

SECCIONES 700 Y 800 – MATERIALES Y MEZCLAS ASFÁLTICAS Y PROSPECCIÓN DE PAVIMENTOS (PRIMERA PARTE)

I.N.V. E – 701	TOMA DE MUESTRAS DE MATERIALES BITUMINOSOS
I.N.V. E – 702	DUCTILIDAD DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS
I.N.V. E – 703	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE BITUMEN
I.N.V. E – 704	AGUA EN LOS MATERIALES ASFÁLTICOS POR DESTILACIÓN
I.N.V. E – 705	CONTENIDO DE MATERIAL INORGÁNICO O CENIZAS EN LOS MATERIALES BITUMINOSOS
I.N.V. E – 706	PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS
I.N.V. E – 707	DENSIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS SÓLIDOS Y SEMISÓLIDOS (MÉTODO DEL PICNOMETRO)
I.N.V. E – 708	ESTIMACIÓN DE LA COMPLEJIDAD DE FLUJO DE UN CEMENTO ASFÁLTICO EMPLEANDO EL ÍNDICE DE THELEN
I.N.V. E – 709	PUNTOS DE INFLAMACIÓN Y DE COMBUSTIÓN MEDIANTE LA COPA ABIERTA CLEVELAND
I.N.V. E – 710	PUNTO DE INFLAMACIÓN DE ASFALTOS LÍQUIDOS MEDIANTE LA COPA ABIERTA TAG
I.N.V. E – 711	CONSISTENCIA DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS MEDIANTE EL FLOTADOR
I.N.V. E – 712	PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE MATERIALES BITUMINOSOS (APARATO DE ANILLO Y BOLA)
I.N.V. E – 713	SOLUBILIDAD DE MATERIALES ASFÁLTICOS EN TRICLOROETILENO
I.N.V. E – 714	VISCOSIDAD SAYBOLT DE ASFALTOS
I.N.V. E – 715	VISCOSIDAD CINEMÁTICA DE ASFALTOS

I.N.V. E – 716	DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD DEL ASFALTO EMPLEANDO VISCOSÍMETROS CAPILARES DE VACÍO
I.N.V. E – 717	DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD DEL ASFALTO EMPLEANDO EL VISCOSÍMETRO ROTACIONAL
I.N.V. E – 718	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE PARAFINAS EN LIGANTES ASFÁLTICOS
I.N.V. E – 719	VISCOSIDADES SAYBOLT FUROL DE ASFALTOS A TEMPERATURAS ELEVADAS
I.N.V.E – 720	EFFECTOS DEL CALOR Y DEL AIRE SOBRE EL ASFALTO EN LÁMINA DELGADA Y ROTATORIA
I.N.V. E – 721	EFFECTOS DEL CALOR Y DEL AIRE SOBRE EL ASFALTO EN LÁMINA DELGADA
I.N.V. E – 722	DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE ROTURA DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN DIRECTA (TD)
I.N.V. E – 723	DESTILACIÓN DE ASFALTOS LÍQUIDOS
I.N.V. E – 724	ÍNDICE DE PENETRACIÓN DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS
I.N.V. E – 725	EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AGUA DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO UTILIZANDO LA PRUEBA DE TRACCIÓN INDIRECTA
I.N.V. E – 726	ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO DE ASFALTOS MODIFICADOS
I.N.V. E – 727	RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN DE ASFALTOS MODIFICADOS
I.N.V. E – 728	RESISTENCIA Y TENACIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS
I.N.V. E – 729	MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE ASFALTO DE MEZCLAS EN CALIENTE POR IGNICIÓN

I.N.V. E – 730	MUESTREO ALEATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS
I.N.V. E – 731	TOMA DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS
I.N.V. E – 732	EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS
I.N.V. E – 733	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECÍMENES SATURADOS Y SUPERFICIALMENTE SECOS
I.N.V. E – 734	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECÍMENES RECUBIERTOS CON UNA PELÍCULA DE PARAFINA
I.N.V. E – 735	GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS
I.N.V. E – 736	PORCENTAJE DE VACIOS CON AIRE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS
I.N.V. E – 737	ENSAYO DE LA MANCHA SOBRE MATERIALES ASFÁLTICOS
I.N.V. E – 738	EFEECTO DEL AGUA SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS (ENSAYO DE INMERSIÓN-COMPRESIÓN)
I.N.V. E – 739	ESTIMACIÓN DEL GRADO DE CUBRIMIENTO DE LAS PARTÍCULAS DE AGREGADO GRUESO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS
I.N.V. E – 740	ENSAYO DE ADHERENCIA EN BANDEJA
I.N.V. E – 741	ESPESOR DE LA PELÍCULA DE ASFALTO EN MEZCLAS BITUMINOSAS
I.N.V. E – 742	MÉTODO DE ENSAYO PARA MEDIR LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE MATERIALES ASFÁLTICOS UTILIZANDO EL DUCTILIMETRO

I.N.V. E – 743	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO UN MEDIDOR NUCLEAR
I.N.V. E – 744	ESPESOR O ALTURA DE ESPECÍMENES COMPACTADOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
I.N.V. E – 745	CONCENTRACIÓN CRÍTICA DE LLENANTE EN MEZCLAS DE CONCRETO ASFALTICO
I.N.V. E – 746	MEDIDA DE LA DENSIDAD DE CAPAS DE CONCRETO ASFÁLTICO EN EL TERRENO EMPLEANDO EL MÉTODO NUCLEAR
I.N.V. E – 747	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE MEZCLAS BITUMINOSAS
I.N.V. E – 748	ESTABILIDAD Y FLUJO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL
I.N.V. E – 749	ENSAYO DE TENSIÓN INDIRECTA PARA DETERMINAR EL MÓDULO RESILIENTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
I.N.V. E – 750	DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS MEDIANTE EL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO
I.N.V. E – 751	MÉTODO DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS UTILIZANDO UNA CÁMARA DE ENVEJECIMIENTO A PRESIÓN (PAV)
I.N.V. E – 752	MÉTODO DE ENSAYO PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE EL REÓMETRO DE VIGA DE FLEXIÓN (BBR)
I.N.V. E – 753	GRÁFICA VISCOSIDAD-TEMPERATURA PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS

TOMA DE MUESTRAS DE MATERIALES BITUMINOSOS

INV E – 701 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma se refiere a la toma de muestras de materiales bituminosos en los sitios de producción, almacenamiento y entrega.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E–701–07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1 La toma de muestras tiene tanta importancia como los ensayos, y se deben adoptar las precauciones necesarias para obtener muestras verdaderamente representativas de la naturaleza y la condición de los materiales bituminosos.
- 2.2 Las muestras se pueden tomar con alguno de los siguientes fines:
 - 2.2.1 Para verificar las condiciones medias de los materiales muestreados.
 - 2.2.2 Para determinar las variaciones máximas de las características del material.

3 PRECAUCIONES

- 3.1 Debido a la gran cantidad de tipos y grados de materiales bituminosos que se despachan y almacenan alternadamente en los mismos recipientes, siempre está latente la posibilidad de que se produzcan contaminaciones con residuos, precipitados o solventes de limpieza. Así mismo, son frecuentes las oportunidades para obtener muestras que no sean verdaderamente representativas del material o que se contaminen después de la toma. Por lo tanto, es responsabilidad del productor, del transportador, del comprador y del operario encargado del muestreo, adoptar todas las precauciones necesarias en el manejo y en las operaciones de muestreo de estos materiales.

4 SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS

- 4.1** Siempre que sea posible, las muestras de los materiales asfálticos se deben tomar en el lugar de su producción o almacenamiento inicial y en un momento tal, que los ensayos para definir la aceptación o el rechazo del material se puedan realizar con la debida anticipación.
- 4.2** Cuando no sea posible hacer el muestreo en el lugar de producción o de almacenamiento inicial, se deberá realizar en el embarque en el instante previo a la entrega.

5 TAMAÑO DE LAS MUESTRAS

- 5.1** Las muestras que se enviarán al laboratorio para realizar los ensayos, según su consistencia, deberán tener los tamaños que se indican a continuación:
- 5.1.1** *Materiales líquidos:*
- 5.1.1.1** Para ensayos rutinarios en el laboratorio, 1 litro (¼ de galón). En el caso de emulsiones, 4 litros (1 galón).
 - 5.1.1.2** De lugares de almacenamiento, 4 litros (1 galón).
 - 5.1.1.3** De barriles o canecas, 1 litro (¼ de galón).
- 5.1.2** *Materiales semisólidos o sólidos:*
- 5.1.2.1** De barriles, canecas o bloques de 1 a 2 kg (2 a 3 lb).
 - 5.1.2.2** De materiales molidos o en polvo a granel o en bolsas, de 1 a 2 kg (2 a 3 lb).

6 RECIPIENTES PARA LAS MUESTRAS

- 6.1** *Tipo de recipientes:*
- 6.1.1** Los recipientes para los asfaltos líquidos serán latas de boca ancha, con tapa de rosca, provista de empaques.
 - 6.1.2** Los recipientes para las emulsiones asfálticas serán jarros de boca ancha, botellas de plástico o latas de boca ancha, con tapa de rosca, provista de empaques plásticos.

6.1.3 Los recipientes para los materiales bituminosos semisólidos o sólidos serán recipientes con tapa a presión o bolsas de plástico, introducidas en cualquier recipiente adecuado para su manejo.

6.2 *Tamaño de los recipientes:*

6.2.1 El tamaño de los distintos recipientes deberá estar de acuerdo con la cantidad de muestra requerida.

7 PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS

7.1 Los recipientes para la toma de muestras deberán ser nuevos. No se podrán lavar ni enjuagar, ni limpiar con trapos engrasados. Tampoco se podrán usar si presentan rastros de elementos fundentes de soldadura o si no están perfectamente limpios y secos. La tapa y el recipiente se deberán poder cerrar herméticamente.

7.2 Se tomarán precauciones para que las muestras no se contaminen. Inmediatamente después de llenado, el recipiente se cerrará herméticamente y se sellará.

7.3 El recipiente con la muestra no se debe sumergir en un solvente, ni limpiar exteriormente con ninguna clase de disolvente. Si es necesario secarlo, se empleará un trapo limpio y seco.

7.4 Las muestras de emulsiones asfálticas no se deben tomar bajo presión, por cuanto la velocidad resultante de ella puede hacer que quede aire atrapado, lo que conduce a resultados incorrectos de los ensayos. Cualquier burbuja en el material es indicativa de aire atrapado. Además, el recipiente se deberá llenar completamente para minimizar la formación de una nata en la interfaz aire-emulsión. Donde haya riesgos de congelamiento, el recipiente con la muestra de emulsión se deberá proteger con un empaque adecuado.

7.5 No se deben transferir las muestras de un recipiente a otro, salvo cuando ello sea requerido por el procedimiento de muestreo.

7.6 Inmediatamente después de lleno, cerrado y sellado, el recipiente se deberá marcar para su adecuada identificación, pero no en su tapa. Se puede cualquier tipo de etiqueta, siempre que se coloque perfectamente, con el fin de evitar su pérdida durante el transporte. Los materiales usados para la identificación de las muestras deben mantener su integridad a temperaturas hasta de 200° C (390° F).

8 TOMA DE MUESTRAS EN EL SITIO DE PRODUCCIÓN

8.1 *Tanques verticales de 800 m³ o más de capacidad, sin mecanismo de agitación (para materiales líquidos o materiales que adquieren consistencia líquida al calentarlos) – Se recomiendan tres métodos para la toma de las muestras (nota 1).*

8.1.1 *Método de la válvula tomamuestras – El tanque deberá contar con tres válvulas de acceso fácil y seguro, localizadas en las siguientes posiciones: la primera en el tercio superior del tanque, a una distancia no mayor de 1 m (3.3 pies) de su parte superior; la segunda, en el tercio medio, y la tercera en el tercio inferior del tanque, pero a una distancia no menor de 1.1 m (3½ pies) del fondo. La Figura 701 - 1 muestra un modelo recomendado de válvula con tubería de 19 mm (3/4") de diámetro interior.*

8.1.1.1 *Antes de tomar la muestra de ensayo, se deberán sacar y desechar un mínimo de 4 litros (1 galón) del producto de cada válvula.*

8.1.1.2 *Para la muestra de ensayo se sacará entre 1 litro (¼ de galón) y 4 litros (1 galón) de cada válvula.*

Nota 1: La mayoría de los materiales bituminosos en estado líquido tienen características de viscosidad y adhesividad tales, que luego del vaciado normal de un recipiente por vertimiento, éste retiene suficiente material para causar la contaminación de una segunda muestra antes de que el recipiente se haya limpiado. Las propiedades antedichas de los materiales bituminosos hacen que la limpieza de los recipientes sea una tarea tediosa y demorada, razón por la cual se recomienda siempre el empleo de recipientes nuevos.

8.1.2 *Método del tubo tomamuestras (el método no es adecuado para cementos asfálticos) – Las muestras se tomarán en las secciones superior, media e inferior del tanque, a los niveles indicados en el numeral 8.1.1, introduciendo el tubo tomamuestras en el material. La Figura 701 - 2 muestra un modelo apropiado (nota 2).*

Nota 2: El tubo tomamuestras se introduce en el tanque con la válvula del fondo abierta (la parte superior no tiene cierre). Cuando se alcanza la profundidad conveniente, se da un tirón a la cadena, con lo cual se cierra la válvula del fondo. Se saca entonces el tubo tomamuestras del tanque y se vierte su contenido en el recipiente adecuado. Este dispositivo se puede usar repetidas veces en el mismo tanque.

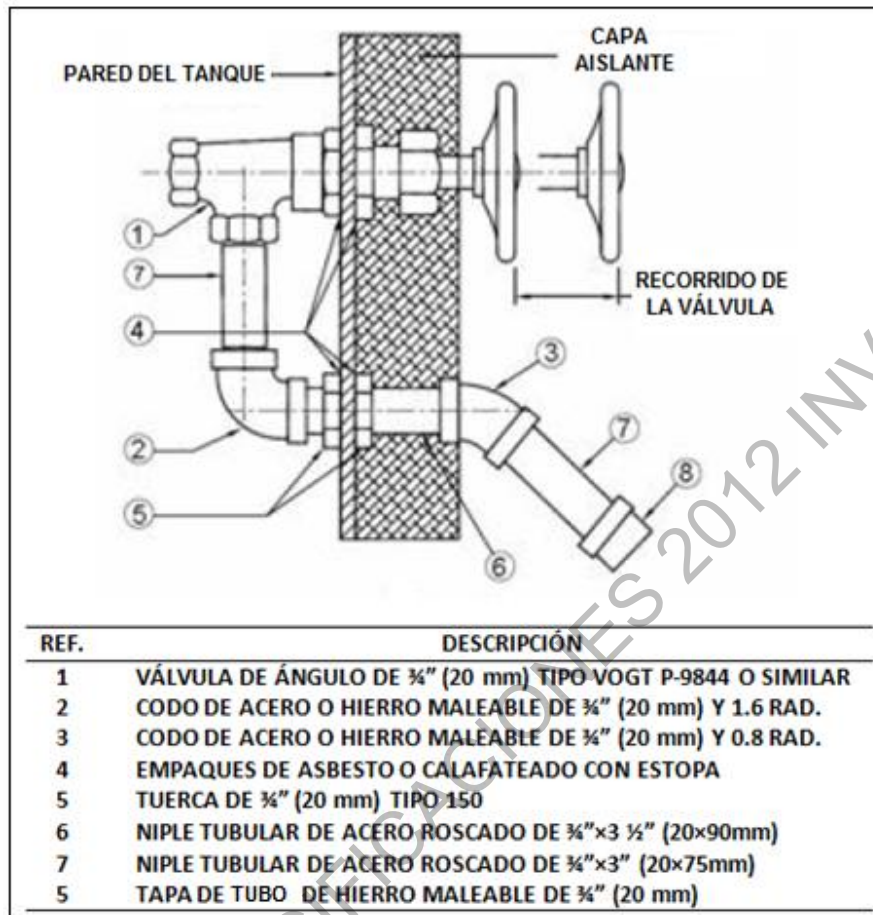


Figura 701 - 1. Ejemplo de válvula tomamuestras

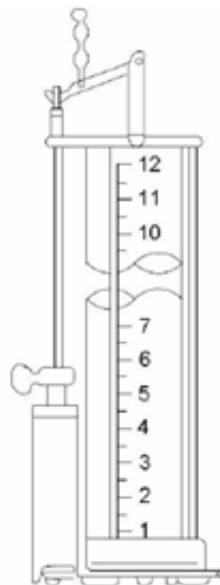


Figura 701 - 2. Tubo tomamuestras

8.1.3 *Método del recipiente desechable* – Las muestras se tomarán en las secciones alta, media y baja, introduciendo en el material el recipiente montado en un soporte con lastre. Lo fundamental del método es emplear un recipiente limpio para tomar la muestra, verter ésta en otro recipiente también limpio y desechar el recipiente introducido en el tanque. Un modelo satisfactorio se indica en la Figura 701 - 3 (nota 3).

Nota 3: Se introduce el conjunto en el tanque con el tapón en posición. Cuando se alcanza la profundidad conveniente se quita el tapón tirando de la cadena de sujeción, con lo cual se comienza a llenar el recipiente. El cese del desprendimiento de burbujas indica que éste se ha llenado completamente; el muestreador se saca a continuación del tanque y se vierte su contenido en un recipiente adecuado. Se debe emplear un recipiente distinto para cada toma de muestra.

8.1.4 Las tres muestras procedentes de los depósitos de almacenamiento se pueden ensayar por separado mediante ensayos de consistencia para detectar su estratificación. También, se pueden mezclar totalmente y tomar una muestra de 1 a 4 litros ($\frac{1}{4}$ a 1 galón) para realizar otros ensayos que se puedan requerir para determinar las características medias del material.

8.2 *Tanques de almacenamiento a granel equipados con mecanismos de agitación (para materiales líquidos o materiales que adquieren consistencia líquida al calentarlos)* – Cuando el tanque esté equipado con un mecanismo de agitación de eficacia comprobada, una sola muestra, tomada por cualquiera de los procedimientos descritos en los numerales 8.1.1, 8.1.2 u 8.1.3, puede ser satisfactoria para realizar los ensayos necesarios.

9 TOMA DE MUESTRAS DE LOS CARROTANQUES, CAMIONES DISTRIBUIDORES O TANQUES DE ALMACENAMIENTO CON RECIRCULACIÓN

9.1 La muestra se tomará de la válvula tomamuestras o del grifo, si los tanques disponen de ellos; de lo contrario, estos dispositivos se deben acoplar en el tanque. Antes de tomar la muestra definitiva, se deberán sacar de la válvula tomamuestras 4 litros (1 galón) del producto, los cuales se deben descartar.

9.2 Las muestras de los materiales líquidos y de los que adquieren esta consistencia por calentamiento, se pueden tomar por el método de inmersión, empleando recipientes de boca ancha sostenidos en un soporte adecuado como el indicado en la Figura 701 - 4 (nota 4). Se debe emplear un recipiente limpio para cada toma y el material obtenido se pasa a otro recipiente nuevo y limpio para formar la muestra de ensayo.

Nota 4: El recipiente se fija en el soporte y se introduce en el tanque hasta la profundidad deseada, donde se deja hasta que se llene completamente. Se saca y se vierte su contenido en el recipiente adecuado. Se debe emplear un recipiente distinto para cada toma de muestra.

- 9.3 Se puede intercalar en la línea de descarga un dispositivo desmontable similar al que se muestra en la Figura 701 - 5. Antes de tomar la muestra definitiva, se deben sacar y descartar 4 litros (1 galón) del producto.

10 TOMA DE MUESTRAS DE BARCOS TANQUES Y BARCAZAS

- 10.1 Para materiales líquidos, incluidos los asfaltos líquidos (cut-backs), se tomarán muestras en la parte superior, media e inferior, siguiendo los métodos descritos en los numerales 8.1.2 y 8.1.3.
- 10.2 Para los restantes materiales asfálticos que adquieren consistencia líquida por calentamiento, se tomará solamente una muestra de la parte superior empleando cualquiera de los dispositivos mostrados en las Figuras 701 - 2, 701 - 3 y 701 - 4.

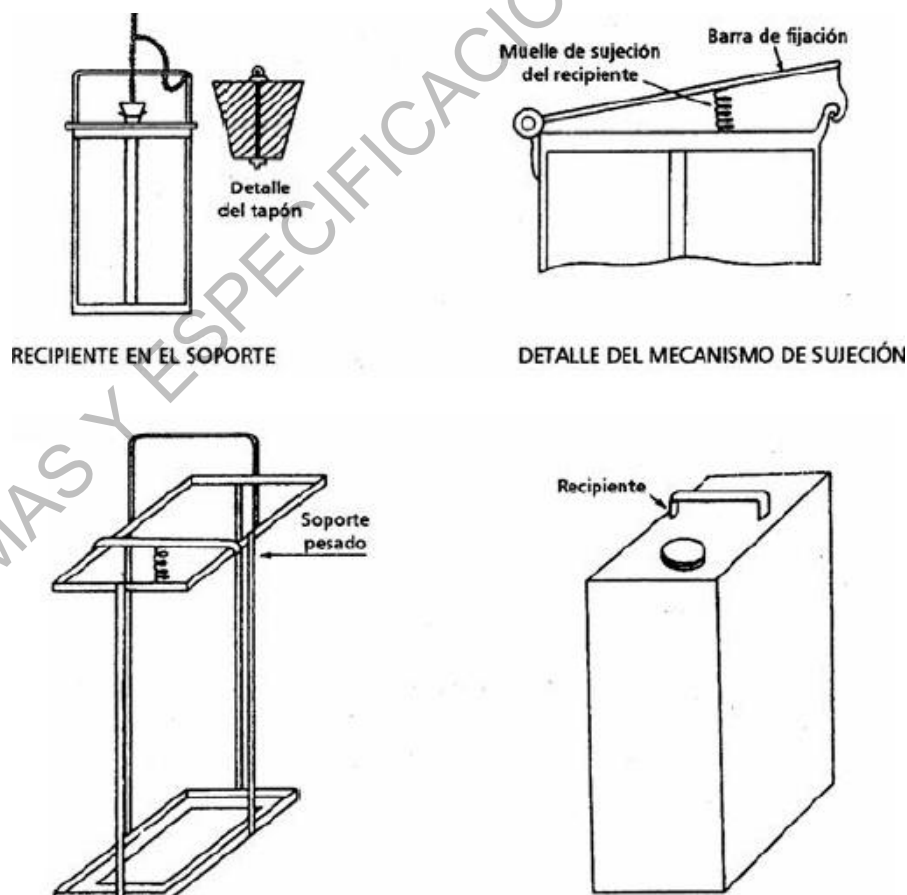


Figura 701 - 3. Recipiente desechable para la toma de muestras por inmersión

11 TOMA DE MUESTRAS DE TUBERÍAS DURANTE LA CARGA Y LA DESCARGA

11.1 Cuando se están cargando o descargando buques-tanques y barcazas, se pueden tomar las muestras en forma conveniente de la tubería a través de la cual está fluyendo el material, intercalando un tubo tomamuestras dentro de una sección ascendente de la tubería en la zona de descarga de la bomba, o en una parte de la tubería completamente llena de material, en la cual éste fluya por gravedad. Un dispositivo de este tipo se muestra en la Figura 701 - 5. El tubo tomamuestras no debe tener un diámetro mayor a $1/8$ del diámetro de la tubería de conducción y su abertura se deberá girar para enfrentar el flujo del material. El tubo tomamuestras deberá estar provisto de una válvula o tapón de cierre que permita la descarga del material dentro de los recipientes para muestreo. Se tomarán, por lo menos, tres muestras de 4 litros (1 galón) a intervalos uniformes durante el tiempo que dure la carga o descarga del material. Al final del período de carga o descarga, las muestras individuales de 4 litros (1 galón) se mezclan totalmente sin alterar sus características, y de dicha mezcla se tomará una muestra de 4 litros (1 galón).

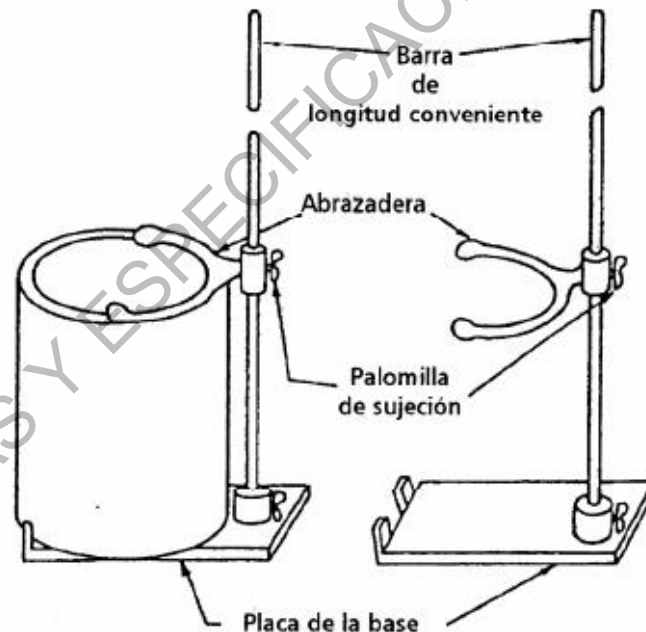


Figura 701 - 4. Recipiente de boca ancha para la toma de muestras por inmersión

11.2 Cuando la toma de muestras se efectúe en buques-tanque y barcazas de una capacidad igual o inferior a 4000 m^3 (25 000 barriles) se deberán tomar por lo menos cinco muestras de 4 litros (1 galón), a intervalos uniformes durante el tiempo que dure la carga o la descarga. Para capacidades mayores de 4000 m^3

(25 000 barriles) se deberán tomar por lo menos diez muestras de 4 litros (1 galón) cada una. Al final del período de carga o descarga, se combinan las muestras individuales de 4 litros (1 galón) sin alterar sus características, y del conjunto se tomará una muestra de 4 litros (1 galón).



Figura 701 - 5. Dispositivo para el muestreo del asfalto en línea

12 TOMA DE MUESTRAS DE CANECAS Y BARRILES

12.1 Las muestras de asfaltos líquidos que se encuentren en canecas o barriles se pueden tomar con precisión tomando 1 litro ($\frac{1}{4}$ de galón) de material, de envases elegidos al azar, de acuerdo con la Sección 13.

13 TOMA DE MUESTRAS DE MATERIALES SEMISÓLIDOS O SÓLIDOS SIN TRITURAR

13.1 *Canecas, barriles, cajas y bolsas* – Cuando no exista duda de que el lote del material procede de una sola partida de producción, será elegido al azar un envase, del cual se tomará la muestra de la manera como se indica más adelante. Cuando haya dudas de si el lote del material procede o no de una sola partida, o cuando las muestras individuales seleccionadas no cumplan con los requisitos de las especificaciones al realizar los ensayos, se elegirá al azar un determinado número de envases, equivalente a la raíz cúbica del número de envases del lote. Para facilitar esta selección se muestra a continuación una

tabla en la cual se indica el número de muestras que se deben elegir de un despacho, de acuerdo con el número de envases que lo componen:

NÚMERO DE ENVASES DEL DESPACHO	NÚMERO DE ENVASES ELEGIDOS
2 a 8	2
9 a 27	3
28 a 64	4
65 a 125	5
126 a 216	6
217 a 343	7
344 a 512	8
513 a 729	9
730 a 1000	10
1001 a 1331	11

13.1.1 Las muestras se tomarán al menos a 75 mm (3") por debajo de la superficie y a 75 mm (3") de las paredes del recipiente. Si el material es suficientemente duro para que se pueda fragmentar, se puede emplear una hachuela limpia y, si el material es blando, una espátula de hoja dura y ancha. Cuando se tomen muestras de más de un envase, cada una de ellas tendrá un peso mínimo de 100 g (¼ lb). Cuando no haya duda de que el lote de material procede de una sola partida de producción, todas las muestras tomadas del lote se fundirán y se mezclarán bien, tomando de esta mezcla una muestra de material de unos 4 litros (1 galón) para realizar con ella los ensayos. En el caso de que haya material procedente de más de una partida y de que las distintas partidas se puedan diferenciar claramente, se preparará una muestra compuesta por 4 litros (1 galón) de cada partida. Cuando no sea posible diferenciar las distintas partidas, cada muestra tomada se ensayará por separado.

14 TOMA DE MUESTRAS DE MATERIALES TRITURADOS O EN POLVO

14.1 Almacenamiento a granel – Las muestras de materiales asfálticos sólidos en fragmentos o en polvo, se tomarán de acuerdo con la norma ASTM D 346 sobre muestreo del carbón. La masa bruta de la muestra será superior a 25 kg (50 lb), de la cual se seleccionará una muestra de 1 a 2 kg (2 a 4 lb) para su ensayo.

14.2 *Tambores, barriles, cajas y bolsas* – Cuando el material se suministra envasado en tambores, barriles, cajas o bolsas, se elegirá al azar un número de envases conforme se describe en la Sección 13. De la parte central de cada uno de los envases se deberá tomar una muestra con una masa mínima de 0.5 kg (1.5 lb) para formar con todas ellas una muestra global de masa superior a 25 kg (50 lb) de la cual se seleccionará una muestra de 1 a 2 kg (2 a 4 lb) para su ensayo, de acuerdo con la norma ASTM D 346 ya mencionada.

15 TOMA DE MUESTRAS AL RECIBO DEL MATERIAL

15.1 La toma de muestras de los materiales asfálticos se hará tan pronto como sea posible, después que el material haya llegado al lugar de almacenamiento o en el instante de su descarga.

15.2 Se deberá tomar un número adecuado de muestras de cada partida de material asfáltico. En el caso de partidas pequeñas, como las transportadas en carro-tanques, las muestras se deberán tomar de manera que representen una cantidad máxima de 40 m³ (10 000 galones) de material.

15.3 La toma de muestras se hará por cualquiera de los tres procedimientos siguientes:

15.3.1 De acuerdo con lo descrito en la Sección 8.

15.3.2 Por medio de una válvula tomamuestras o de un grifo acoplado en la tubería de descarga, extrayendo la muestra de, aproximadamente, el tercio medio de la capacidad del tanque.

15.3.3 Por medio de un dispositivo tomamuestras introducido hasta un nivel de, aproximadamente, el tercio medio de la carga o del tanque.

15.4 Los ensayos para la aceptación del material se deberán realizar sobre una de las muestras tomadas. Las muestras restantes se reservarán para eventuales comprobaciones de los resultados obtenidos, cuando la muestra ensayada no cumpla con las especificaciones.

16 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D140/D140M – 09

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DUCTILIDAD DE LOS MATERIALES ASFÁLTICOS

INV E – 702 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento para determinar la ductilidad de los materiales asfálticos de consistencia sólida y semisólida, midiendo la distancia hasta la cual se elonga una probeta de las dimensiones descritas en la Sección 4 hasta alcanzar la rotura, cuando sus dos extremos son separados a una velocidad de 50 ± 2.5 mm por minuto, a una temperatura de $25 \pm 0.5^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.0^\circ \text{F}$). Si el ensayo se realiza a una temperatura diferente, se deberá especificar la velocidad correspondiente.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-702-07.

2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

- 2.1** El ensayo consiste en someter una probeta del material asfáltico a un ensayo de tracción, en condiciones normalizadas de velocidad y temperatura, en un baño de agua, definiéndose la ductilidad como la longitud máxima, en cm, que se estira la probeta hasta el instante de su rotura.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** El ensayo brinda una medida de las propiedades a tensión de los materiales bituminosos y se usa para establecer si el producto que se ensaya cumple la especificación correspondiente.
- 3.2** Generalmente, se considera que un asfalto de baja ductilidad presentará pobres propiedades adhesivas y un deficiente comportamiento en servicio.

4 EQUIPO Y MATERIALES

- 4.1** *Moldes* – Los moldes para fabricar las probetas deberán ser de bronce o latón, con la forma mostrada en la Figura 702 - 1. A las partes b y b' se las denomina "pinzas" y a las partes a y a' "piezas laterales". Las dimensiones del molde correctamente montado, son las siguientes:

IDENTIFICACIÓN EN LA Figura 702 - 1	DIMENSIÓN	MEDIDA REQUERIDA (mm)
A	Distancia entre centros	112.5 ± 1.0
B	Longitud total de la muestra	75.0 ± 0.5
C	Distancia entre pinzas	30.0 ± 0.3
D	Borde de la pinza	7 ± 0.2
E	Radio de la pinza	16 ± 0.25
F	Ancho de la sección mínima	10.0 ± 0.1
G	Ancho de boca de las pinzas	20.0 ± 0.2
H	Distancia entre centros de radio	43 ± 0.1
I	Diámetro del orificio de la pinza	6.6 ± 0.1
J	Espesor	10.0 ± 0.1

4.2 Placa – Para el llenado de los moldes, se dispondrá de una placa plana de bronce o latón.

4.3 Baño de agua – Un baño de agua que pueda mantener la temperatura de ensayo con una variación máxima de 0.5° C (0.9° F).

4.4 Máquina de ensayo (Ductilómetro) – Sirve cualquier aparato construido de manera que mantenga la probeta continuamente sumergida en agua, mientras las dos pinzas son separadas a una velocidad especificada, sin que se produzcan vibraciones (una de las pinzas se mantiene fija durante el ensayo). La tolerancia máxima admitida en la velocidad especificada es de 5 %. El agua contenida en el tanque de la máquina de ensayo debe cubrir la probeta, tanto por encima como por debajo, en un espesor mínimo de 2.5 cm (1"), y mantenerse en ± 0.5° C (± 0.9° F) de la temperatura de ensayo. La máquina debe disponer de un medio para medir, en cm, la elongación de la probeta en el momento de la rotura.

4.5 Termómetros – Se requiere un termómetro de alguna de las siguientes características (nota 1):

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°C
Inmersión	Total	Total

Nota 1: Si las probetas para el ensayo de ductilidad se acondicionan a 25° C (77° F) en el baño de agua del ensayo de penetración, se puede utilizar el termómetro prescrito para dicho ensayo.

- 4.6** *Agente desmoldante* – Una mezcla como glicerina y dextrina, talco o caolín, o resina Versamid y aceite mineral, para cubrir el fondo y los lados del molde y prevenir que la probeta de ensayo se adhiera a él. Se pueden emplear otros materiales, si está demostrado que no afectan las propiedades físicas de la probeta.
- 4.7** *Horno* – Capaz de mantener en la temperatura de calentamiento requerida por la muestra de asfalto para poder fluir, $\pm 5^\circ \text{C}$ ($\pm 10^\circ \text{F}$).
- 4.8** *Espátula* – De bordes rectos y de mayor anchura que el espécimen que debe enrasar.
- 4.9** *Tamiz* – De 300 μm de abertura (No. 50).
- 4.10** *Aditivo para regular la densidad relativa* – Se emplea una sustancia como alcohol metílico, cloruro de sodio o glicol de etileno, para ajustar la densidad relativa del agua del baño donde se realiza la prueba de ductilidad, con el fin de evitar que la muestra de ensayo suba hasta la superficie del agua o descienda hasta tocar el fondo del baño. Se pueden emplear otros aditivos, si está demostrado que no afectan las propiedades físicas de la probeta.

5 PROCEDIMIENTO

5.1 *Preparación de las probetas:*

5.1.1 Se ensambla el molde sobre la placa de bronce. La superficie de la placa y las superficies interiores de las piezas laterales del molde se cubren con una capa delgada del agente de desprendimiento. La placa debe ser plana y encontrarse a nivel, para que todas las piezas del molde se apoyen completamente sobre la ella.

5.1.2 Se calienta cuidadosamente el material asfáltico, agitándolo en cuanto su consistencia lo permita, para prevenir los sobrecalentamientos locales, hasta que se encuentre lo suficientemente fluido para verterlo en el molde. Luego de una agitación completa, se vierte el asfalto en el molde (nota 2).

Nota 2: Se recomienda que todos los residuos de emulsiones asfálticas y de asfaltos líquidos se pasen a través del tamiz de 300 μm (No. 50) antes verterlos dentro de los moldes. Los procedimientos actuales para la destilación de estos productos los someten a condiciones de temperatura que no serán alcanzadas en el terreno, lo que puede desarrollar residuos en la muestra que afectan de manera drástica y desfavorable los resultados del ensayo. Si el material se tamiza, se hará la anotación correspondiente en el informe.

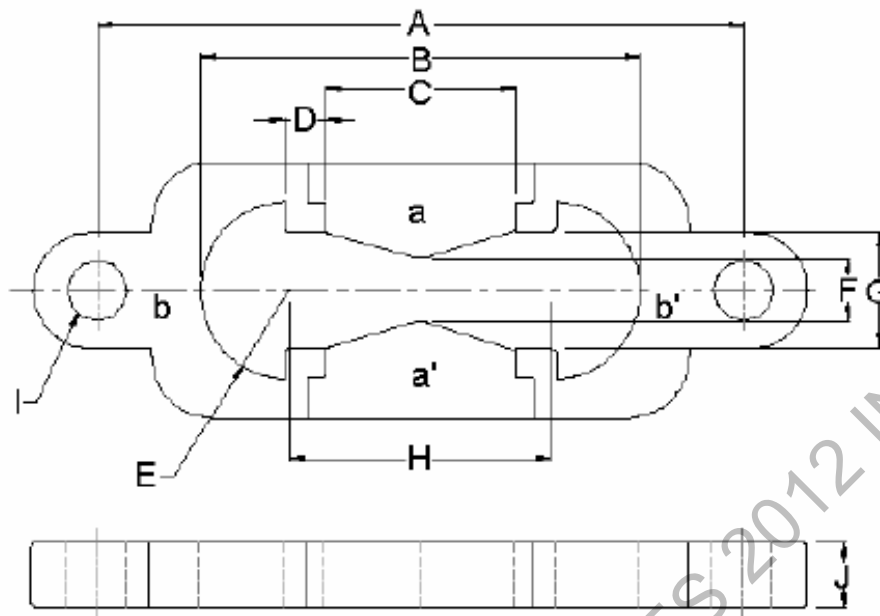


Figura 702 - 1. Molde para el ensayo del ductilómetro

5.1.3 El llenado de los moldes con asfalto se hará con cuidado, sin desordenar el correcto montaje de sus piezas, ya que ello distorsionará la probeta de ensayo. El asfalto se vierte en forma de chorro fino en un recorrido alternativo de extremo a extremo, hasta llenar completamente el molde con un ligero exceso, evitando la inclusión de burbujas de aire.

5.1.4 Se deja enfriar el molde con su contenido a temperatura ambiente durante 30 a 40 min, sumergiéndolo, a continuación, en el baño de agua a la temperatura de ensayo durante otros 30 a 40 minutos. En seguida, se retira el espécimen del agua y empleando una espátula caliente se quita el exceso de material del molde, hasta que la probeta quede perfectamente enrasada (Figura 702 - 2).

5.2 *Conservación de la probeta a la temperatura normalizada* – El conjunto de la placa, molde y probeta enrasada se introduce de nuevo en el baño de agua, manteniéndolo a la temperatura de ensayo, durante un tiempo comprendido entre 85 y 95 minutos. A continuación, se retira la placa del molde con un movimiento deslizante, se quitan las piezas laterales y la probeta queda lista para el ensayo.



Figura 702 - 2. Enrase de la probeta

5.3 Ejecución del ensayo (Figura 702 - 3) – Se monta la probeta en el ductilómetro, introduciendo cada pareja de clavijas de los sistemas fijo y móvil en los orificios correspondientes de cada pinza, poniendo a continuación en marcha el mecanismo de arrastre del equipo a la velocidad especificada, hasta que se produzca la rotura o se alcance la longitud total del ductilómetro si la probeta no se rompió antes. Se determina la distancia, en cm, a la que se han separado ambas pinzas hasta la rotura o hasta el final de la máquina si la probeta no se rompió.



Figura 702 - 3. Ejecución del ensayo

6 INFORME

- 6.1** Se considera normal un ensayo en el cual el material se rompe cerca del centro del espécimen o alcanza el extremo opuesto del ductilómetro. Si la rotura se produce en o cerca de una de las pinzas, la prueba se considera anormal.
- 6.2** Si al ser estirado durante el ensayo, el material bituminoso presenta la tendencia a subir hasta la superficie del agua o a tocar el fondo del ductilómetro, se deberá ajustar la densidad relativa del agua usando alguno de

los aditivos mencionados en el numeral 4.10, para conseguir que el hilo de asfalto quede lo más recto posible, sin elevarse o descender durante el ensayo.

Nota 3: Algunos aditivos usados para ajustar la densidad relativa del agua del baño son tóxicos o pueden causar la corrosión de la máquina de ensayo. Siempre que sea necesario efectuar el ajuste, el operario deberá usar guantes cuando deba meter las manos dentro del baño de agua. Se recomienda cambiar el fluido del baño con frecuencia, para prevenir daños en la máquina.

- 6.3** El resultado de un ensayo normal se reporta como la ductilidad de la muestra, en cm. Si el ensayo no fue normal, se informa que no se pudo medir la ductilidad bajo las condiciones del ensayo.
- 6.4** Si, debido a la limitación en longitud de la máquina de ensayo, no se presentó la rotura de la probeta, se informa como resultado la longitud limitante, en cm+ (por ejemplo, 150 cm+).
- 6.5** Si por insuficiencia de material no se pudieron realizar tres pruebas, se deberá mencionar el número de probetas ensayadas.
- 6.6** En caso de discrepancias, el método de referencia consistirá en la elaboración y el ensayo de tres probetas. Si la discrepancia involucra un residuo de destilación, se pasa el material a través del tamiz de 300 μm de abertura (No. 50), el cual se debe haber calentado a $135 \pm 5^\circ \text{C}$ ($275 \pm 10^\circ \text{F}$), antes de verterlo en los moldes. Se reporta como ductilidad de la muestra, el valor medio de los tres ensayos normales.

7 PRECISIÓN

- 7.1** Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados del ensayo de ductilidad a 25°C (77°F) se presentan en la Figura 702 - 4 y se basan en ensayos sobre muestras de cemento asfáltico.

Nota 4: Los números que se presentan en la Figura 702 - 4 representan los valores límites de la desviación típica (1s) y de la diferencia aceptable entre dos resultados (d2s), para la repetibilidad (un solo operador y laboratorio) y la reproducibilidad (diferentes operadores y laboratorios).

Nota 5: No se dispone de un número suficiente de datos para poder establecer correctamente la precisión del ensayo a 15.6°C . Sin embargo, el análisis de los resultados de ensayos adelantados en 13 laboratorios sobre una muestra con 45 cm de ductilidad, indicó una precisión entre laboratorios de 23 cm.

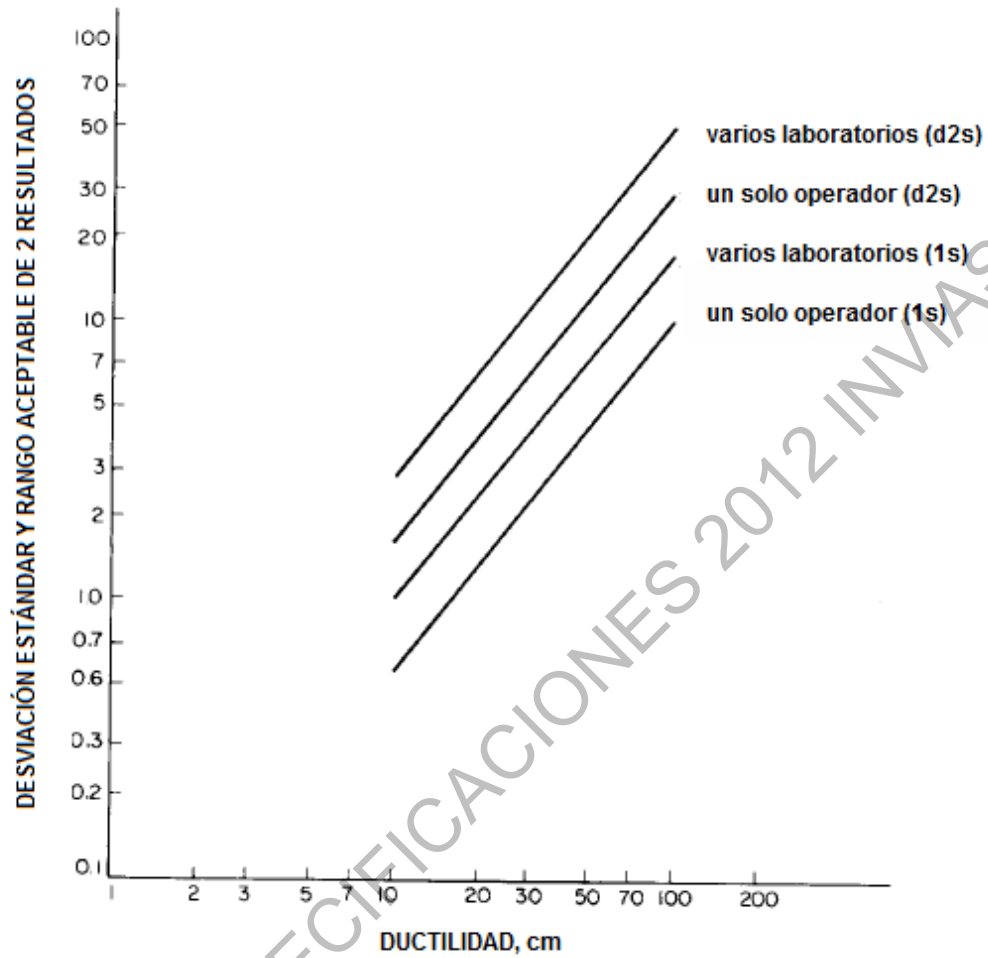


Figura 702 - 4. Datos sobre precisión

8 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 113 - 07

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE BITUMEN

INV E – 703 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere a la determinación del contenido de bitumen de materiales que tienen al menos 25 % de este material. Este contenido se puede determinar con rapidez y exactitud por el procedimiento No. 1 que se describe en la Sección 6. Sin embargo, para algunos materiales que tienen material mineral finamente dividido que puede colmatar el filtro o que puede no ser fácilmente retenido, se deberá aplicar el procedimiento No. 2, descrito en la Sección 7.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-703-07.

2 EQUIPO Y MATERIALES

- 2.1** *Crisol filtrante* – De porcelana, de forma alargada con capacidad entre 25 y 40 ml; que tenga base de porosidad fina (máxima 7 μ m).
- 2.2** *Medio de filtración analítica Celite (CAFA)* – Secado a peso constante a 105° C y almacenado en un recipiente bien tapado.

Nota 1: Se puede usar Celite 211 o Celite 505.

- 2.3** *Vasos de precipitados* – Griffin de forma baja, uno de 30 ml y otro de 150 ml.
- 2.4** *Bisulfuro de carbono* – Grado CP.

Nota 2: Para materiales asfálticos de relleno se puede usar tricloroetileno si se desea. Sin embargo, en ensayos de referencia se debe usar el bisulfuro de carbono

- 2.5** *Matraz filtrante* – Con adaptador para el crisol.
- 2.6** *Horno eléctrico.*
- 2.7** *Quemador Bunsen o mufla.*
- 2.8** *Bomba de succión.*
- 2.9** *Balanza analítica.*

2.10 *Desecador.*

2.11 *Vidrios de reloj.*

2.12 *Cápsula de evaporación.*

3 PRECAUCIONES

3.1 El bisulfuro de carbono es muy inflamable. Sus vapores se pueden encender espontáneamente o en contacto con una superficie caliente. Cuando se use este solvente, la filtración se debe desarrollar bajo una campana extractora de gases y bien distante de llamas u otra fuente de calor. Antes de colocar los crisoles u otros recipientes en el horno, se deben remover todos los vestigios de bisulfuro de carbono (lo que se comprueba por la desaparición del olor). De otra forma, los vapores se encenderán. El bisulfuro de carbono también es muy irritante de la piel y, por lo tanto, se debe evitar el contacto directo con él.

4 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

4.1 La muestra deberá ser representativa, y si contiene más del 2 % de agua se deberá deshidratar por destilación según el método de ensayo ASTM D 370. Si el material es duro y frágil (quebradizo), podrá ser sedimentado y secado a una temperatura inferior a la de volatilización.

5 PREPARACIÓN DEL CRISOL

5.1 Si el crisol, después de una limpieza cuidadosa, ha sido usado para menos de seis (6) determinaciones, se debe limpiar como sigue: Se remueve la capa de CAFA (medio de filtración analítica) colocada en el fondo; se lava el crisol con agua destilada; se seca y se coloca en una mufla encendida durante una hora a 800° C. En seguida, se enfría lentamente colocándolo en el desecador por una hora, para evitar su agrietamiento.

5.2 Después de que el crisol se haya usado en seis (6) determinaciones, se debe remover cualquier ceniza residual de los poros del área filtrante, haciéndolo hervir en solución de ácido clorhídrico 1 + 1. Después, el crisol se hierve en agua destilada, se retrolava completamente con agua destilada, se seca y se coloca en la mufla, como se indica en la Sección 5.1.

6 PROCEDIMIENTO No.1

- 6.1** Se pesan unos 2 g de la muestra (tamaño suficiente para obtener entre 0.1 y 0.3 g de material insoluble) en un vaso de precipitados de 150 ml y se añaden 100 ml de bisulfuro de carbono en pequeñas porciones, con agitación continua, hasta que todos los grumos desaparezcan y no quede nada adherido al vaso. Se cubre el vaso con un vidrio de reloj y se deja en reposo por 15 minutos.
- 6.2** Se transfieren entre 0.45 y 0.55 g de CAFA seco a un crisol filtrante seco y limpio. Se distribuye uniformemente sobre el fondo e inmediatamente se pesa y se anota la masa del crisol con el Celite.
- 6.3** Se decanta la solución de bisulfuro de carbono a través de la capa de CAFA, (previamente humedecida con bisulfuro de carbono) en el crisol preparado, con o sin una ligera succión, según sea necesario, reteniendo en el vaso de precipitados tanto sedimento como sea posible, hasta que la solución haya drenado a través de la capa de CAFA. Se lava el vaso con una pequeña cantidad de bisulfuro de carbono y se transfieren todos los sedimentos al crisol. No se debe permitir que la capa de CAFA se seque en ningún momento, hasta completar la filtración. Se lava el contenido del crisol con bisulfuro de carbono, hasta que el filtrado sea sustancialmente incoloro; entonces, se aplica una succión fuerte para remover el bisulfuro de carbono remanente. Se retira el crisol del adaptador, se lava la base de cualquier producto bituminoso, y se coloca el crisol encima del horno hasta que prácticamente todo el bisulfuro de carbono se haya separado (se deben tener presentes las precauciones mencionadas en el numeral 3.1). Se coloca en el horno a $110 \pm 10^\circ \text{C}$ por lo menos durante 20 minutos. Después, se enfría en el desecador y se determina su masa.
- 6.4** Si alguna materia insoluble se adhiere al vaso de precipitados, se seca éste en el horno a 110°C y se determina su masa. La masa de este material adherido se deberá añadir como corrección a la masa del material insoluble en el crisol.
- 6.5** Si se requiere la determinación del material mineral, se enciende el crisol con la muestra, hasta quedar incandescente con un color rojo opaco. Se mantiene a esta temperatura, hasta que todo el carbono que tenga se haya consumido; entonces, se eleva la temperatura para producir un rojo brillante. Después de enfriar, se añade al residuo una solución saturada de carbonato de amonio en una cantidad aproximada a cinco veces su masa y se deja una hora aproximadamente a la temperatura ambiente en un vaso de precipitados cubierto; después, se seca en un horno a una temperatura entre 105 y 110°C ,

hasta masa constante (nota 3). Se añade a la masa del material mineral la corrección señalada en el numeral 6.4 y si es necesario, también la que se menciona en el numeral 6.6.

Nota 3: En el caso de que estén presentes sales solubles en agua pero no en bisulfuro de carbono, se debe determinar la cantidad de ellas de acuerdo con el procedimiento descrito en los Proceedings de la ASTM, Volumen 37, Parte I, página 395, 1937.

- 6.6** Si existe alguna duda sobre la cantidad de material mineral que puede haber atravesado el filtro, se deberá realizar la corrección descrita en el numeral 7.5.

7 PROCEDIMIENTO No.2

- 7.1** Se pesan aproximadamente 2 g de muestra en un vaso de precipitados tarado, de 50 ml. Se añaden 0.5 g de CAFA recién secado, pesada con aproximación de 0.001 g. Se cubre con 25 ml de bisulfuro de carbono y se agita el CAFA dentro del líquido. Se cubre con un vidrio de reloj y se deja en reposo al menos por 1 hora, agitando ocasionalmente con el fin de disolver completamente la muestra.
- 7.2** Se transfieren entre 0.45 y 0.55 g de CAFA seco, en un crisol filtrante, limpio y seco. Se distribuye uniformemente el Celite sobre el fondo e inmediatamente se pesa y se anota la masa del crisol con el Celite.
- 7.3** Antes de iniciar el proceso de filtrado, se agita la ayuda del filtrado dentro del líquido. Se humedece la capa del Celite colocada en el crisol, con bisulfuro de carbono. Se vierte sobre el Celite la solución contenida en el vaso de precipitados, llenando el crisol hasta su borde superior. Se aplica una ligera succión y a medida que el líquido se va filtrando, se vierte el contenido remanente del vaso de precipitados en el crisol. Se lava el vaso con una pequeña cantidad de bisulfuro de carbono y se transfieren todos los sedimentos del vaso a la capa de Celite. No se debe dejar que la capa de CAFA se seque antes de que se complete la filtración. Se lava el contenido del crisol con bisulfuro de carbono, hasta que el filtrado sea sustancialmente incoloro; entonces, se aplica una succión fuerte para remover el bisulfuro de carbón remanente. Se retira el crisol del adaptador y se lava la base de cualquier producto bituminoso, y se coloca el crisol encima del horno hasta que prácticamente todo el bisulfuro de carbono se haya separado (se deben tener presentes las precauciones mencionadas en el numeral 3.1). Se coloca en el horno a $110 \pm 10^\circ$ C por lo menos durante 20 minutos. Después, se enfría en el desecador y se determina su masa.

- 7.4** Si alguna materia insoluble se adhiere al vaso de precipitados, se seca éste en el horno a 110° C y se determina su masa. La masa de este material adherido se deberá añadir como corrección a la masa del material insoluble en el crisol.
- 7.5** Se enciende la cápsula de evaporación hasta rojo opaco. Se enfría en el desecador y se determina su masa. Se vierte el filtrado del matraz en la cápsula y se lava el matraz muy bien con bisulfuro de carbono, depositando también el desecho del lavado en la cápsula de evaporación. Se enciende este bisulfuro de carbono bajo una campana extractora y se quema el residuo hasta cuando no permanezcan manchas negras o incandescentes. Se requiere mucho cuidado durante el proceso de quemado, para evitar que partículas ligeras encendidas salten por fuera de la cápsula. Se enfría en un desecador y se determina su masa inmediatamente. Esta masa será añadida como una corrección a la masa del material insoluble en el crisol.
- 7.6** Si se necesita determinar el material mineral, se calienta el crisol con su contenido (del numeral 7.3) hasta cuando se encienda con un color rojo opaco. Se mantiene esta temperatura hasta que todo el carbono se haya consumido; entonces, se eleva la temperatura para producir un rojo brillante. Después de enfriar, se añade al residuo una solución saturada de carbonato de amonio en una cantidad aproximada a cinco veces su masa y se deja una hora aproximadamente a la temperatura ambiente en un vaso de precipitados cubierto; después, se seca en un horno a una temperatura entre 105 y 110° C, hasta masa constante (nota 3). Se suman las correcciones mencionadas en los numerales 7.4 y 7.5 a la masa del material mineral que se encuentra en el crisol.
- 7.7** La masa del medio de filtración analítica adicional que se haya utilizado, se debe sustraer de la masa total del residuo insoluble y también de la masa total del material mineral en el crisol, con el fin de obtener la masa neta.

8 CÁLCULOS

- 8.1** Se calcula el contenido de bitumen (% soluble en bisulfuro de carbono), redondeado a 0.1 %, como sigue:

$$\% \text{ de bitumen (\% soluble en bisulfuro de carbono)} = 100 - \left[\frac{A+D}{B} \times 100 \right] \quad [703.1]$$

Donde: A: Masa total del material insoluble presente, g;

B: Masa total de la muestra libre de agua;

D: Masa de corrección.

9 INFORME

9.1 Se informa el contenido de bitumen, como un porcentaje de la masa del material libre de agua. También, se reporta cuál de los procedimientos (el No. 1 o el No. 2) se empleó.

10 PRECISIÓN

10.1 Las desviaciones estándar y los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% de nivel de confianza), se presentan en la Tabla 703 - 1.

Tabla 703 - 1. Desviaciones estándar y diferencias máximas aceptables entre dos resultados

PRODUCTO BITUMINOSO	VARIABILIDAD UN LABORATORIO		VARIABILIDAD ENTRE LABORATORIOS	
	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	REPETIBILIDAD	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	REPRODUCIBILIDAD
Alquitrán, grados líquidos	0.11	0.31	0.22	0.61
Alquitrán, grados semisólidos	0.17	0.48	0.83	2.34

10.1.1 Las desviaciones estándar indicadas representan la desviación estándar estimada del proceso de medida en las condiciones establecidas. Ellas se han calculado multiplicando las desviaciones típicas de los datos aplicables por el factor: $1 + \frac{1}{4 \times (N-1)}$, donde N es el número de ensayos.

10.1.2 De acuerdo con estos valores, dos resultados obtenidos por un solo operador sobre una misma muestra, se consideran dudosos si difieren en más de 0.31 o 0.48, según el tipo de producto ensayado.

10.1.3 Dos resultados obtenidos por distintos operadores en diferentes laboratorios, se consideran dudosos si difieren en más de 0.61 o 2.34, según el tipo de producto ensayado.

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 4 – 86 (Reaprobada 2010)

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA EN LOS MATERIALES BITUMINOSOS POR DESTILACIÓN

INV E – 704 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para la determinación del contenido de agua, en el rango de 0 a 25 %, en los materiales asfálticos en general, como crudos de petróleo, alquitranes y productos derivados de ambos materiales.

Nota 1: Si el material contiene materiales volátiles solubles en el agua, ellos serán medidos como agua en el ensayo

- 1.2 Para el caso de las emulsiones asfálticas, se debe seguir el procedimiento descrito en la norma INV E-761.
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E-704-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Material bituminoso* – Producto líquido muy viscoso o semi-sólido, de color negro o muy oscuro, constituido principalmente por compuestos aromáticos y/o nafténicos de alto peso molecular.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1 El método se basa en la destilación a reflujo de una muestra del material asfáltico, conjuntamente con un solvente volátil no miscible con el agua. El conjunto se calienta y, al condensarse, el solvente cae en un colector graduado del equipo arrastrando el agua que se separa después, formando una capa inferior. El exceso de solvente rebosa y vuelve al matraz.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1 El ensayo se utiliza para determinar la existencia de contaminaciones indebidas en el producto asfáltico y para asegurarse de que no se produzca espuma durante el calentamiento.

- 4.2 La cantidad de agua determinada por este método se usa para verificar el cumplimiento del producto bituminoso en relación con la especificación sobre contenido de agua.

5 EQUIPO

- 5.1 *Aparato de destilación* – Está formado por un matraz de vidrio o metal, calentado por un medio apropiado, y un refrigerante de reflujo que descarga los líquidos condensados en un colector graduado, en el cual se recoge y se mide el agua, devolviéndose el exceso de solvente al matraz. El tipo de aparato empleado no es un rasgo esencial del método, pero es necesario cuidar las uniones entre sus distintas partes para producir un ajuste sin fugas. Si bien estas uniones pueden ser del tipo convencional, son preferibles las de vidrio esmerilado o las que tengan anillos de caucho para uniones de vidrio o metal. En las Figuras 704 - 1, 704 - 2 y 704 - 3 se presentan montajes típicos.
- 5.2 *Matraz de vidrio (Figura 704 - 1)* – Recipiente de vidrio resistente al calor, con un cuello corto en el cual se pueda ensamblar el tubo de reflujo de la trampa que se va a utilizar. Su capacidad puede ser de 500, 1000 o 2000 ml, según la cantidad de muestra requerida.

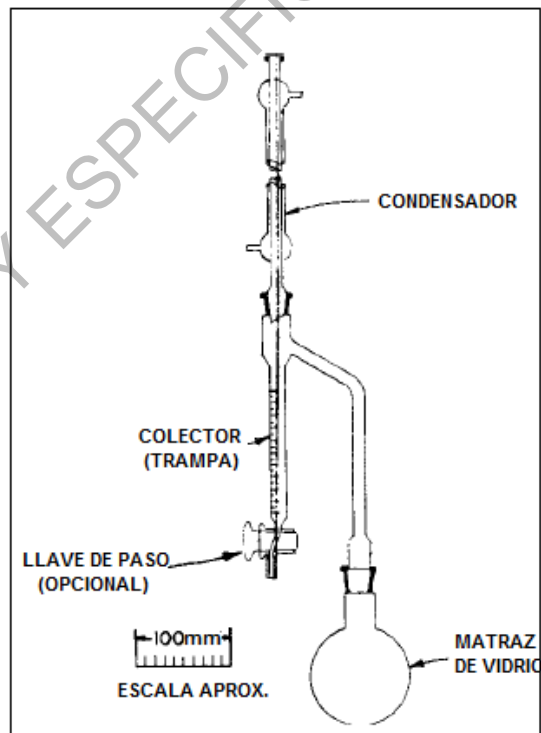


Figura 704 - 1. Montaje con matraz de vidrio (Dean – Stark)

- 5.3 Matraz metálico (Figura 704 - 3)** – Tendrá forma cilíndrica y estará provisto de una pestaña en su borde superior, a la cual se sujeta la tapa por medio de una abrazadera, formando un cierre completamente hermético. Esta tapa será del mismo material que el matraz y estará provista de un orificio de unos 25 mm (1") de diámetro interior. Se dispondrá de matraces metálicos de las mismas capacidades recomendadas antes para los de vidrio.
- 5.4 Sistema de calefacción** – Con el matraz de vidrio se puede utilizar un mechero normal de gas o un calentador eléctrico. Con el metálico se emplearán mecheros anulares de gas, con agujeros de salida en su parte interior y de las dimensiones apropiadas al tamaño del matraz utilizado. Estos mecheros se podrán deslizar verticalmente a lo largo del matraz, para prevenir la formación de espuma o la tendencia a la solidificación que pueden presentar ciertos materiales.
- 5.5 Refrigerante** – Para la condensación de los destilados se utilizará un refrigerante de vidrio del tipo recto y enfriado por agua, con un diámetro interior del tubo de condensación entre 9.5 y 12.5 mm y con camisa de refrigeración de 400 mm de longitud como mínimo. En las Figuras 704 - 1 y 704 - 3 se indica su forma de montaje en el aparato.
- 5.6 Colector graduado (trampa)** – Los colectores para recoger y medir el agua serán de vidrio, y su tamaño se elegirá en función de la cantidad de agua que tenga la muestra. En general, se deberá disponer de colectores de 2 ml graduados en 0.05 ml y de 10 y 25 ml, graduados en 0.1 ml. La Figura 704 - 2 muestra una forma y tamaño apropiados para estos aparatos.

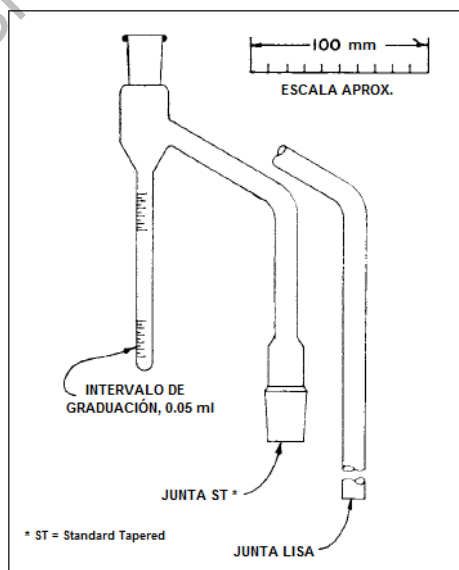


Figura 704 - 2. Colectores con junta esmerilada (ST) y lisa

6 SOLVENTES

6.1 *Solventes aromáticos* – Para productos asfálticos, a los cuales se refiere específicamente esta norma, se emplearán solventes aromáticos, de los cuales son aceptables los que se mencionan a continuación. Se debe tener extremo cuidado al usarlos, pues todos son inflamables y sus gases son nocivos:

6.1.1 Xileno de grado industrial.

6.1.2 Mezcla en volumen de 20 % de tolueno grado industrial y 80 % de xileno grado industrial.

6.1.3 Nafta de petróleo o alquitrán de hulla, libres de agua, y que destile como máximo un 5 % a 125° C (257° F) y como mínimo, el 20 % a 160° C (320° F). Su densidad relativa (gravedad específica) a 15.6/15.6° C (60/60° F) será mayor de 0.8545.

6.2 *Solvente para ensayo en blanco* – El contenido de agua del solvente se debe determinar destilando una cantidad equivalente del mismo solvente usado con la muestra de ensayo en el aparato de destilación y procediendo como se indica en la Sección 9. El resultado del ensayo en blanco se deberá determinar a la división más cercana y se usará para corregir el volumen de agua atrapada según se describe en la Sección 10.

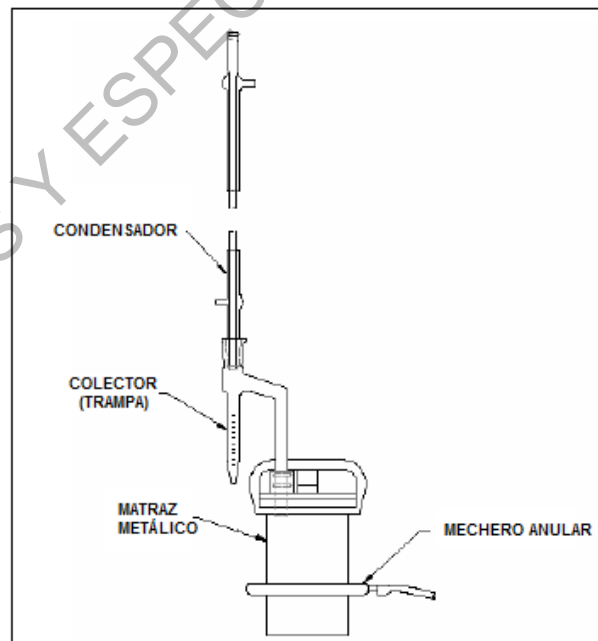


Figura 704 - 3. Montaje con matraz metálico

7 MUESTREO

- 7.1** El muestreo se define como el conjunto de pasos necesarios para obtener una alícuota del contenido de cualquier tanque, tubería u otro sistema, mediante la aplicación de la norma INV E – 701.
- 7.2** El tamaño de la muestra estará de acuerdo con la cantidad de agua que contenga, eligiendo al mismo tiempo el colector, para que el agua recogida no exceda su capacidad, a menos que se utilicen colectores con llaves inferiores de salida que pasen el exceso de agua a una probeta graduada.

8 VERIFICACIÓN

- 8.1** La exactitud de las marcas de graduación en la trampa debe ser certificada o verificada mediante estándares internacionales. La verificación se debe adelantar con una micro-bureta o una micro-pipeta de 5 ml, con posibilidad de lectura a 0.01 ml.
- 8.1.1** En los estilos A, B, C y D de la Tabla 704 - 1, se debe verificar cada subdivisión (esto es, de 0.1 a 1.0 ml) de la porción cónica de la trampa. Después, se verifica cada subdivisión mayor (2.0, 3.0, 4.0 y hasta el volumen total de la trampa).
- 8.1.2** En los estilos E y F, se debe verificar cada subdivisión mayor (0.1 ml, 1.0 ml, 2.0 ml, 4.0 ml y 5.0 ml en el estilo E y 0.05 ml, 0.5 ml, 1.0 ml, 1.5 ml y 2.0 ml en el estilo F).
- 8.2** Todo el ensamble de vidrio se debe verificar antes de su primer uso y luego de manera periódica, como se indica en seguida:
- 8.2.1** Se colocan 400 ml de xileno seco (0.02 % de agua máximo) o el solvente a ser utilizado en el análisis de muestras desconocidas, dentro del aparato y se ensaya de acuerdo con la Sección 9. Cuando se complete, se descarta el contenido de la trampa y se añade el volumen de agua especificado como “primer ensayo” en la Tabla 704 - 2 directamente al matraz y se ensaya como se indica en la Sección 9.
- 8.2.2** Se repite la prueba mencionada en el numeral 8.2.1 y se añade directamente al matraz el volumen de agua señalado como “segundo ensayo” en la Tabla 704 - 2. El ensamble del equipo es satisfactorio

solamente si las lecturas en la trampa están dentro de las tolerancias especificadas en la Tabla 704 - 2.

- 8.3** Una lectura por fuera de los límites permisibles se puede deber a pérdidas de vapor por un montaje deficiente, una ebullición muy rápida, inexactitudes en la calibración de la trampa o el ingreso de una humedad ajena. Una vez eliminados estos factores, se repetirá la verificación.

Tabla 704 - 1. Especificaciones y tipos de colectores graduados

ESTILO	PARTE SUPERIOR DEL TUBO GRADUADO	PARTE INFERIOR DEL TUBO GRADUADO	PARTE INFERIOR DEL TUBO DE VAPOR	TAMAÑO DE LA TRAMPA ml	RANGO ml	MENOR DIVISIÓN DE ESCALA ml	MÁXIMO ERROR DE ESCALA ml
A	Junta ST	Cónica	Junta ST	10	0 a 1.0	0.1	0.05
					> 1.0 a 10.0	0.2	0.1
B	Junta ST	Cónica	Junta ST	25	0 a 1.0	0.1	0.05
C	Junta ST	Cónica	Lisa	25	> 1.0 a 25	0.2	0.1
D	Junta ST	Cónica	Lisa	25	1.0 a 25	0.2	0.1
E	Junta ST	Redonda	Junta ST	5	0 a 5.0	0.1	0.05
				5	0 a 5.0	0.05	0.025
F	Junta ST	Redonda	Junta ST	10	0 a 10.0	0.1	0.1
				2	0 a 2.0	0.05	0.025

Tabla 704 - 2. Límites admisibles en mililitros

CAPACIDAD DEL COLECTOR A 20° C	VOLUMEN DE AGUA AÑADIDO AL MATRAZ A 20° C	LÍMITES ADMISIBLES DE AGUA RECUPERADA A 20° C
<u>COLECTOR CILÍNDRICO</u>		
2 (1 ^{er} ensayo)	1	1 ± 0.05
2 (2° ensayo)	1.9	1.9 ± 0.05
5 (subdivisiones de 0.05 ml) (1 ^{er} ensayo)	1	1 ± 0.05
5 (subdivisiones de 0.05 ml) (2° ensayo)	4.5	4.5 ± 0.05
5 (subdivisiones de 0.1 ml) (1 ^{er} ensayo)	1	1 ± 0.1
5 (subdivisiones de 0.1 ml) (2° ensayo)	4.5	4.5 ± 0.1
10 (1 ^{er} ensayo)	5	5 ± 0.1
10 (2° ensayo)	9	9 ± 0.1
<u>COLECTOR CÓNICO</u>		
10 (1 ^{er} ensayo)	1	1 ± 0.1
10 (2° ensayo)	9	9 ± 0.2
25 (1 ^{er} ensayo)	12	12 ± 0.2
25 (2° ensayo)	24	24 ± 0.2

9 PROCEDIMIENTO

Nota 2: La precisión del resultado de este ensayo se ve afectada por las gotas de agua que queden adheridas a las superficies de los elementos de destilación y no caigan al colector graduado. Para minimizar el problema, se deberán limpiar todos los elementos por medios químicos al menos una vez al día para remover las impurezas que puedan entorpecer el libre drenaje del agua dentro del aparato. Se recomienda una limpieza más frecuente cuando la naturaleza de los materiales que se ensayan produce una contaminación persistente.

- 9.1** Se toma la cantidad adecuada de muestra con una aproximación de $\pm 1\%$, y se introduce en el matraz.
- 9.2** Los materiales sólidos o viscosos (caso de los asfaltos) se pesan directamente en el matraz, añadiendo a continuación 100 ml del solvente adecuado (Sección 6). En el caso de materiales con un contenido bajo de agua, puede ser necesario emplear cantidades mayores de solvente si la muestra es muy grande.

- 9.3** Se pueden emplear bolas de vidrio u otro material adecuado para favorecer la ebullición.
- 9.4** Se montan los componentes del aparato como se indica en las Figuras 704 - 1, 704 - 2 y 704 - 3, eligiendo el colector (trampa) de acuerdo con el contenido de agua esperado y asegurando un cierre completamente hermético en todas las conexiones. Si se emplea el matraz metálico con tapa removible, entre el matraz y la tapa se debe colocar un aro de papel húmedo grueso, impregnado con solvente. El refrigerante y el colector deberán estar químicamente limpios y secos para asegurar un perfecto escurrimiento del agua por sus paredes. Se coloca, también, un tapón de algodón sin apelmazar en el extremo superior del tubo del refrigerante, para evitar la condensación de humedad atmosférica en su interior. Finalmente, se hace circular agua fría a través de la camisa de refrigeración.
- 9.5** Se aplica calor al matraz, ajustando la rata de ebullición hasta conseguir una velocidad de destilación de 2 a 5 gotas por segundo, cayendo desde el extremo inferior del tubo del refrigerante. Si se utiliza el matraz metálico, se comienza colocando el mechero anular a unos 75 mm (3") por encima de su fondo, bajándolo gradualmente al ir progresando la destilación. La destilación se continúa hasta cuando no se observe resto alguno de agua en ninguna parte del aparato, salvo en el colector; y el volumen de agua recogida, se haya mantenido constante durante 5 minutos. Si se observa un anillo persistente de agua condensada en la parte inferior del tubo del refrigerante, se aumenta con cuidado la velocidad de destilación o se aísla durante algunos minutos el condensador de agua.
- 9.6** Una vez finalizada la destilación, se apaga la fuente de calor y se espera que el colector y su contenido se enfríen a temperatura ambiente. Con una varilla fina de vidrio o de politetrafluoroetileno se arrastran las gotas de agua que puedan haber quedado adheridas a las paredes del colector, uniéndolas a la masa de agua. Se lee y anota el volumen de agua recogida en el colector con la aproximación que tenga su escala.
- 9.7** Se debe establecer un ensayo de solvente en blanco, como se indica en el numeral 6.2.

10 CÁLCULOS

10.1 Se calcula el contenido de agua de la muestra como porcentaje en masa o volumen, según la base en la cual se tomó la muestra, mediante las expresiones:

10.1.1 En volumen:

$$\% \text{ agua (V/V)} = \frac{(\text{volumen de agua en la trampa, ml}) - (\text{agua en el solvente en blanco, ml})}{\text{volumen de la muestra de ensayo, ml}} \times 100 \quad [704.1]$$

10.1.2 En masa:

$$\% \text{ agua (V/M)} = \frac{(\text{volumen de agua en la trampa, ml}) - (\text{agua en el solvente en blanco, ml})}{\text{masa de la muestra de ensayo, g}} \times 100 \quad [704.2]$$

11 INFORME

11.1 El resultado se expresará como contenido de agua según esta norma, con una aproximación del 0.05 % si se ha utilizado el colector (trampa) de 2 ml; con una aproximación del 0.1 % si se han utilizado los colectores de 10 o de 25 ml, y a la subdivisión más cercana si se empleó un colector de 5 ml con una muestra de 100 ml o 100 g.

12 PRECISIÓN Y SESGO

12.1 *Precisión* – Se pueden emplear los criterios mencionados en los numerales 12.1.1 y 12.1.2 para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95 % de probabilidad), con los colectores de 10 y 25 ml. Aún no se ha establecido la precisión para el colector de 2 ml.

12.1.1 *Repetibilidad* – Los ensayos realizados por duplicado por un mismo operador y equipo y sobre una misma muestra, se considerarán sospechosos si difieren en más de las cantidades indicadas en la Tabla 704 - 3.

12.1.2 Reproducibilidad – Los ensayos realizados por distintos operadores y laboratorios sobre una misma muestra, se considerarán sospechosos si difieren en más de las cantidades indicadas en la Tabla 704 - 3.

Tabla 704 - 3. Precisión

TIPO	AGUA COLECTADA, ml	DIFERENCIA, ml
Repetibilidad	0.0 – 1.0	0.1
	1.1 – 25	0.1 ml o 2 % del promedio, la que sea mayor
Reproducibilidad	0.0 – 1.0	0.2
	1.1 – 25	0.2 ml o 10 % del promedio, la que sea mayor

12.2 Sesgo – Como no hay un material de referencia aceptado para determinar el sesgo por el procedimiento descrito en esta norma, no se hace declaración sobre el asunto.

13 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 95 – 05 (Reprobada 2010)

CONTENIDO DE MATERIAL INORGÁNICO O CENIZAS EN LOS MATERIALES BITUMINOSOS

INV E – 705 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento a seguir para determinar la materia mineral o las cenizas en los productos bituminosos sólidos, semisólidos o líquidos, utilizados en la construcción de carreteras.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-705-07.

2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

- 2.1 La muestra del producto bituminoso se volatiliza e incinera en un crisol, oxidando completamente el residuo carbonoso y estabilizando posteriormente las cenizas remanentes a 900° C.

3 EQUIPO Y MATERIALES

- 3.1 *Crisol* – Un crisol con tapa, con una capacidad de 50 a 100 ml. Podrá ser de platino, porcelana o sílice fundida.
- 3.2 *Mechero* – Mechero de gas.
- 3.3 *Horno de mufla (Opcional)*.
- 3.4 *Balanza analítica* – Balanza con capacidad de 50 g y sensibilidad de lectura de 0.001 g.
- 3.5 *Desecador* – Con tapa de vidrio.
- 3.6 *Pinzas y guantes* – Para el manejo de elementos calientes.
- 3.7 *Carbonato de amonio*.

4 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 4.1** La muestra deberá ser representativa del material bituminoso. Si contiene más del 2.0 % de agua, se deberá deshidratar por destilación de acuerdo con la norma INV E-704. Si el material es duro y quebradizo, la deshidratación se realizará pulverizándolo previamente y calentándolo a una temperatura por debajo del punto de volatilización del bitumen.
- 4.2** El ensayo de solubilidad de los materiales asfálticos, norma INV E-713, se puede utilizar para la determinación de la materia inorgánica o cenizas, con tal que se asegure que todo el material insoluble se ha transferido al crisol Gooch.

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1** Se determina la masa de una muestra del material (2 a 5 g), con precisión al miligramo, en un crisol tarado. Se calienta lentamente con el mechero para eliminar el material combustible sin que se produzcan salpicaduras, hasta que se inicie la inflamación del contenido del crisol. Entonces, se continúa calentando solamente lo suficiente para mantener la combustión. Cuando todo el material volátil haya ardido, se quema todo el carbono libre con una llama fuerte, o introduciendo el crisol en un horno de mufla, hasta que desaparezca toda la materia carbonosa.
- 5.2** A continuación, se lleva el crisol con el residuo al desecador, se permite que se enfríe y se determina la masa. Luego, se repite la calcinación hasta cuando se obtenga una masa constante. Las determinaciones de masa y el manejo del crisol, se deberán realizar de acuerdo con una técnica aceptada de análisis cuantitativo.
- 5.3** Cuando se esté empleando el residuo procedente de la determinación del contenido de bitumen, se deberá evaporar el filtrado que contiene el bitumen, se calcina el bitumen, y se añadirá la masa de la ceniza obtenida a la masa de la ceniza en el residuo.
- 5.4** Si el residuo contiene carbonatos minerales, se agregan a las cenizas unas pocas gotas de solución saturada de carbonato de amonio, dejándolo en digestión durante 1 h en un vaso tapado. Se seca después en el horno a 100° C (212° F) hasta masa constante, se calienta hasta el rojo apagado durante pocos minutos, luego se enfría y se determina la masa.

6 CÁLCULOS

6.1 El contenido de material inorgánico o cenizas se determina con la expresión:

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{(\text{masa crisol} + \text{cenizas (incluidas las del filtrado)}) - \text{masa crisol}}{(\text{masa crisol} + \text{muestra}) - \text{masa crisol}} \times 100 \quad [704.1]$$

6.2 El resultado se reporta como tanto por ciento en masa con respecto a la muestra ensayada, redondeado a 0.1 %.

7 NORMAS DE REFERENCIA

AASHTO T 111 – 83 (2004)

NLT – 132/90

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS

INV E – 706 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma se refiere a la determinación de la consistencia de los materiales bituminosos sólidos o semisólidos en los cuales el único o el principal componente es un asfalto.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-706-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Penetración* – Consistencia de un material bituminoso expresada por medio de la distancia, en décimas de milímetro, hasta la cual penetra verticalmente una aguja normalizada en el material en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Normalmente, el ensayo se realiza a 25° C, (77° F) durante un tiempo de 5 segundos y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 g; aunque se pueden emplear otras condiciones previamente definidas.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1 Se derrite una muestra del producto bituminoso (si al inicio se encontraba a temperatura ambiente) y se deja enfriar de manera controlada. Posteriormente, empleando un penetrómetro con una aguja normalizada se penetra la muestra bajo unas condiciones especificadas.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1 El ensayo de penetración se usa para medir la consistencia de los productos bituminosos a la temperatura de ensayo. Altos valores de penetración indican consistencias más blandas.
- 4.2 En la norma INV-E-801 se presenta un método para calcular la viscosidad dinámica de un cemento asfáltico a 25° C, a partir de los resultados del ensayo de penetración

5 EQUIPO

5.1 *Penetrómetro (Figura 706 - 1)* – El aparato para la medida de las penetraciones se denomina penetrómetro y, en esencia, está constituido por un mecanismo que permite el movimiento vertical sin rozamiento apreciable de un vástago o soporte móvil al cual se pueda fijar firmemente por su parte inferior, la aguja de penetración. La masa del vástago será de 47.5 ± 0.05 g, y la masa total del conjunto móvil formado por el vástago con la aguja, de 50.0 ± 0.05 g. Se deberá disponer, igualmente, de pesas individuales suplementarias de 50.0 ± 0.05 g y 100.0 ± 0.05 g para obtener otras cargas totales de 100 g y 200 g, según lo requieran las condiciones del ensayo. El penetrómetro deberá estar provisto, además, de una base plana de apoyo para la colocación del recipiente con la muestra, que forme un ángulo de 90 grados con el sistema móvil, así como de un nivel y tornillos de nivelación. El vástago se deberá poder separar fácilmente del conjunto del penetrómetro para verificar y ajustar correctamente su peso. El dispositivo indicador de la penetración de la aguja dentro de la muestra deberá permitir una lectura con aproximación a 0.1 mm

5.1.1 El nivel del penetrómetro deberá ser verificado anualmente con un nivel manual.



Figura 706 - 1. Penetrómetro

5.2 *Aguja de penetración:*

5.2.1 La aguja (Figura 706 - 2) debe ser de acero inoxidable endurecido y templado, (grado 440 C ó equivalente), con una dureza Rockwell HRC

54 a HRC 60. La aguja estándar tiene unos 50 mm (2") de longitud, mientras la aguja larga tiene unos 60 mm (2.4") de longitud. El diámetro de todas las agujas debe estar entre 1.00 y 1.02 mm (0.039 a 0.040"). Uno de los extremos de cualquier aguja debe estar simétricamente ahusado hasta formar un cono de ángulo comprendido entre 8.7° y 9.7° en toda la longitud del cono. El eje del cono debe ser coaxial con el cuerpo recto de la aguja. La variación total axial entre las intersecciones de las superficies del cono y del cilindro, medida como proyección sobre el eje de simetría de la aguja, no deberá exceder de 0.02 mm (0.08"). Después de dada la conicidad, la punta está cortada para formar un tronco de cono, cuya base debe tener un diámetro comprendido entre 0.14 y 0.16 mm (0.0055 y 0.0063"), y debe estar situado en un plano perpendicular al eje de la aguja, con una tolerancia máxima de 2° . Todo el tronco de cono deberá tener bordes filosos y libres de rebabas. Al medir la textura de la superficie troncocónica según la norma American National Standard B-46.1, su rugosidad media superficial deberá estar comprendida entre 0.2 y 0.3 μm (8 a 12 μ "). La rugosidad superficial del eje de la aguja debe estar entre 0.025 y 0.125 μm (1 a 5 μ "). La aguja irá montada rígida y coaxialmente en un casquillo cilíndrico, de latón o acero inoxidable, de 3.2 ± 0.05 mm (0.126 ± 0.002 ") de diámetro y 38 ± 1 mm (1.5 ± 0.04 ") de largo, debiendo quedar una longitud libre de aguja estándar entre 40 y 45 mm (1.57 a 1.77") y de 50 a 55 mm (1.97 a 2.17") para la aguja larga. La excentricidad, o distancia máxima al eje del casquillo, desde cualquier punto de la superficie de la aguja, incluida su punta, no excederá de 1 mm (0.04"). La masa total del conjunto casquillo-aguja será de 2.5 ± 0.05 g, permitiéndose para su ajuste un pequeño agujero o rebaje sobre el casquillo; igualmente, irá grabada sobre éste la identificación individual de la aguja. No se autoriza que el fabricante repita la misma identificación hasta pasados 3 años.

- 5.2.2** Se debe demostrar que las agujas usadas para verificar el cumplimiento de especificaciones por parte de los productos bituminosos satisfacen los requisitos indicados en el numeral 5.2.1.

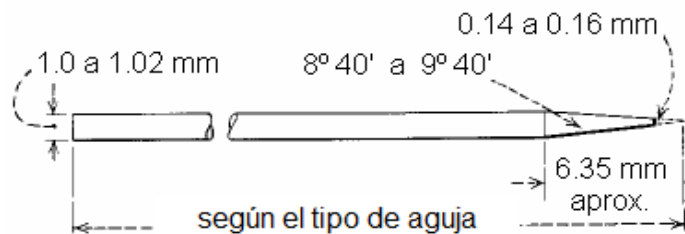


Figura 706 - 2. Aguja para ensayo de penetración

- 5.3 Recipiente para la muestra** – Los recipientes para las muestras serán de metal o vidrio, de forma cilíndrica y fondo plano, y con las siguientes dimensiones interiores:

PENETRACIÓN DEL PRODUCTO BITUMINOSO (0.1 mm)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA INTERIOR (mm)
Menor de 40	33 – 50	8 - 16
Menor de 200	55	35
Entre 200 y 350	55 – 75	45 - 70
Entre 350 y 500	55	70

Nota 1: Para ensayos de referencia de productos de penetración menor de 40, se deberá usar el recipiente de 55 mm de diámetro por 35 mm de altura interior.

- 5.4 Baño de agua** – Para la inmersión de los recipientes con las muestras, se dispondrá de un baño de agua con una capacidad mínima de 10 litros y provisto de un dispositivo capaz de mantener una temperatura de $25 \pm 0.1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 0.2^\circ \text{F}$). El baño irá equipado con una placa de soporte perforada, colocada a una distancia no menor de 50 mm del fondo, ni menor de 100 mm del nivel superior del líquido en el baño. Si el ensayo de penetración se va a realizar en el mismo baño de agua, éste deberá disponer, además, de una plataforma resistente para soportar el penetrómetro. Cuando se requiera realizar ensayos de penetración a bajas temperaturas, se puede utilizar salmuera como líquido del baño.

Nota 2: Se recomienda agua destilada para el baño. Se debe evitar la contaminación del agua del baño por agentes superficiales activos, agentes residuales u otros agentes químicos, pues su presencia puede afectar los valores de penetración.

- 5.5 Recipiente de transferencia** – Si se emplea, deberá tener una capacidad mínima de 350 ml y la altura suficiente para contener la cantidad de agua necesaria para cubrir el recipiente de mayor tamaño para la muestra. Deberá contener algún elemento que garantice un apoyo firme y sin oscilaciones al recipiente para la muestra. Al efecto, resulta apropiada una pequeña plataforma apoyada en tres patas y con tres puntos de contacto con el recipiente.
- 5.6 Dispositivo para medir el tiempo** – Cuando se empleen penetrómetros de operación manual, el tiempo del ensayo se deberá medir mediante un reloj eléctrico, un cronómetro u otro instrumento cualquiera graduado en 0.1 segundos o menos, y que tenga una exactitud de $\pm 0.1 \text{ s}$ en un intervalo de 60

segundos. Se puede utilizar, igualmente, un contador sonoro que emita una señal cada 0.5 segundos, y en el que la cuenta de 11 señales equivalga a un tiempo total de 5 ± 0.1 s. Si el penetrómetro es automático, el dispositivo medidor de tiempo estará calibrado para proporcionar el tiempo del ensayo con exactitud de ± 0.1 s.

- 5.7 Termómetros** – Para controlar las temperaturas del ensayo en el baño de agua se dispondrá de termómetros de mercurio con vástago de vidrio, de inmersión total, con subdivisiones y escala máxima de error de 0.1° C o cualquier otro dispositivo que mida temperaturas con igual precisión, exactitud y sensibilidad. Deben cumplir con las siguientes características principales:

REFERENCIA ASTM	RANGO
17 C o 17 F	19 a 27° C (66 a 80° F)
63 C o 63 F	-8 a 32° C (18 a 89° F)
64 C o 64 F	25 a 55° C (77 a 131° F)

Nota 3: Los termómetros utilizados en el baño de agua deberán ser calibrados como máximo cada seis meses, pudiéndose emplear para ello el método ASTM E - 77.

6 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO

- 6.1** Si la muestra no presenta una consistencia suficientemente fluida cuando se recibe, se deberá calentar cuidadosamente agitándola para evitar sobrecalentamientos locales y para homogeneizar el material, hasta que alcance la fluidez que permita su vertido en el recipiente para la muestra. En ningún caso, la temperatura de calentamiento deberá exceder a la prevista para el punto de ablandamiento (norma INV E-712) en más de 90° C (195° F). El tiempo total de calentamiento deberá ser el mínimo necesario para asegurar la fluidez del producto. Durante el proceso, se deberá agitar continuamente para garantizar la homogeneidad de la muestra. Se deberá evitar la formación de burbujas de aire.

- 6.2** Se vierte la muestra dentro del recipiente adecuado hasta una altura tal, que cuando se enfríe a la temperatura de ensayo, el espesor de la muestra sea, al menos, 120 % la profundidad hasta la cual se espera que penetre la aguja. Se deben preparar porciones separadas para cada variación prevista en las condiciones de ensayo. Si el recipiente para la muestra tiene menos de 65 mm de diámetro y se espera que la penetración sea mayor de 200, se deben

preparar tres porciones separadas para cada variación en las condiciones de ensayo.

Nota 4: Si se dispone de suficiente material, se recomienda llenar el recipiente hasta cerca del borde.

- 6.3** Se permite que la muestra se enfríe al aire a una temperatura entre 15 y 30° C por un período entre 45 minutos y 1 ½ hora para el recipiente pequeño (33 × 16 mm o menos), de 1 a 1 ½ hora para el de tamaño medio (55 × 35 mm), y entre 1 ½ y 2 horas para el grande. A continuación, se colocan las muestras (junto con el recipiente de transferencia si éste se utiliza) en el baño de agua a la temperatura prescrita para el ensayo. Se permite que el recipiente pequeño permanezca allí entre 45 minutos y 1 ½ hora, el mediano entre 1 y 1 ½ hora, y el grande entre 1 ½ y 2 horas.

Nota 5: Si las condiciones lo justifican, resulta apropiado proteger los recipientes con las muestras contra el polvo, con una cobertura holgada. Un vaso de precipitados tipo Griffin resulta adecuado.

7 CONDICIONES DE ENSAYO

- 7.1** Las condiciones normalizadas del ensayo son, respectivamente, de 25° C (77° F), 100 g y 5 segundos para la temperatura, la carga y el tiempo de duración de la misma. Sin embargo, se admite emplear otras condiciones de ensayo (las cuales se deben registrar en el informe), como por ejemplo:

TEMPERATURA, ° C (° F)	CARGA, g	TIEMPO, s
0 (32)	200	60
4 (39.2)	200	60
45 (113)	50	5
46.1 (115)	50	5

8 PROCEDIMIENTO

- 8.1** Primero se comprueba que el vástago soporte de la aguja se encuentre perfectamente limpio y seco, y que se deslice en forma suave y sin rozamiento sobre su guía. La aguja de penetración se limpia con tolueno u otro disolvente apropiado y se seca con un paño limpio, fijándola firmemente en su soporte. Salvo que se especifique otra carga, se coloca el peso suplementario de 50 g sobre el vástago, para obtener la masa móvil total de 100 ± 0.1 g. Si se espera que la penetración sea mayor de 350, se usará la aguja larga; en los demás caso se usará la estándar.

- 8.2** El ensayo de penetración se puede realizar directamente en el baño de agua, colocando el penetrómetro sobre la plataforma que para este fin debe tener el baño, y sobre la base del penetrómetro el recipiente con la muestra, el cual debe quedar completamente sumergido. Si el ensayo no se va a realizar con el penetrómetro dentro del baño, entonces se coloca el recipiente con la muestra dentro del recipiente de transferencia, de manera que aquel quede cubierto completamente con agua a la temperatura de ensayo y, en seguida, se ubica el recipiente de transferencia sobre la base del penetrómetro (Figura 706 - 3).



Figura 706 - 3. Recipiente con la muestra dentro del recipiente de transferencia

- 8.3** Se verifica que el penetrómetro se encuentre nivelado.
- 8.4** Se verifica que el lector digital o la aguja del penetrómetro se encuentren en cero. Se aproxima la aguja del penetrómetro hasta que su punta toque justamente la superficie de la muestra, sin que penetre, lo cual se facilita aproximando la aguja y su imagen reflejada mediante una lámpara auxiliar, convenientemente colocada (nota 6). Se suelta el mecanismo que libera la aguja durante el tiempo especificado. Finalmente, se lee y anota la distancia, expresada en décimas de milímetro, que haya penetrado la aguja en la muestra (Figura 706 - 4). Si el recipiente con la muestra se mueve durante la penetración, se anula el resultado.

Nota 6: Se recomienda emplear una fuente luminosa mediante tubo de polimetilmetacrilato.

- 8.5** Se deberán realizar al menos tres penetraciones en cada recipiente, sobre diferentes puntos de la superficie separados, como mínimo, 10 mm (3/8") entre sí y de las paredes del recipiente. Si se ha utilizado el recipiente de transferencia, el conjunto del recipiente y el baño, se retornarán al baño

principal hasta cuando se vaya a efectuar la penetración siguiente. Después de cada penetración, se desmonta y saca la aguja y se limpia cuidadosamente con un trapo limpio y seco. Cuando las penetraciones obtenidas sean mayores de 200, se usarán al menos tres agujas, dejándolas en la muestra hasta que las tres determinaciones se hayan completado. Si el recipiente para la muestra tiene menos de 65 mm de diámetro y se espera que la penetración sea mayor de 200, la prueba se hace en tres recipientes (preparados como se indica en el numeral 6.2), a razón de una penetración en cada recipiente.

Nota 7: Si el recipiente para la muestra tiene menos de 65 mm de diámetro y se espera que la penetración sea mayor de 200, a menudo no es posible colocar el soporte de la aguja para una tercera determinación sin golpear las otras dos agujas que están dentro de la muestra. Para los ensayos rutinarios se acepta usar un solo recipiente, moviendo las dos primeras agujas el espacio que sea necesario, siempre y cuando la diferencia entre la mayor y la menor penetración no exceda el valor especificado en el numeral 9.1.

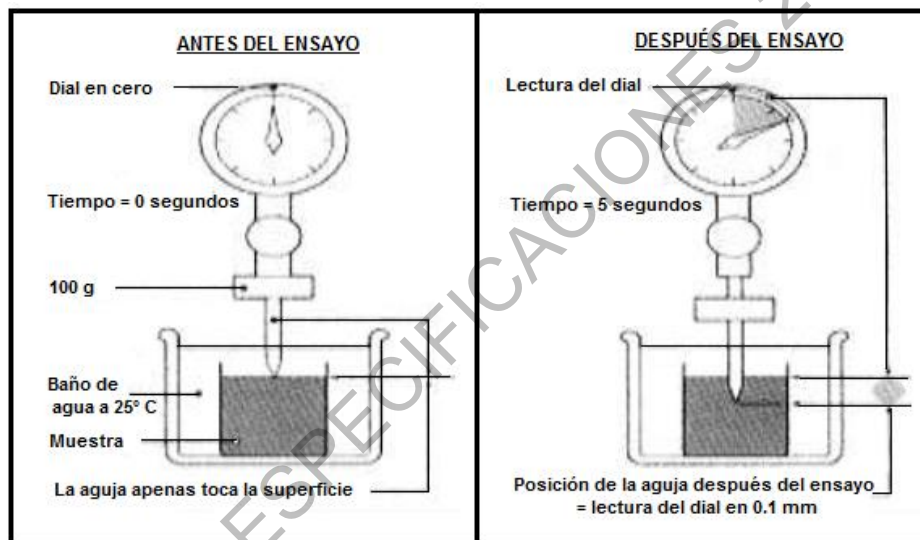


Figura 706 - 4. Esquema del ensayo de penetración

9 INFORME

9.1 El resultado del ensayo será el promedio de tres penetraciones cuyos valores no difieran en más de las siguientes cantidades:

PENETRACIÓN (0.1 mm)	0 a 49	50 a 149	50 a 149	250 y 500
DIFERENCIA MÁXIMA ENTRE VALORES EXTREMOS	2	4	12	20

- 9.2** Si se excede la tolerancia se anulan los resultados obtenidos y se procederá a la realización de un nuevo ensayo.

10 PRECISIÓN Y SESGO

- 10.1** *Precisión* – Los estimativos de precisión se desarrollaron a partir de una base de datos que representaban, aproximadamente, 16 000 repeticiones de ensayos de penetración a 25° C y 4000 repeticiones de ensayos a 4° C. Los materiales provenían de destilación directa y de mezclas de asfaltos con penetraciones entre 29 y 286 (medidas a 25° C). El análisis de los datos indica que la precisión del ensayo se puede describir con las siguientes ecuaciones, donde “x” es el resultado del ensayo de penetración y σ es la desviación estándar de los resultados de los ensayos:

PRECISIÓN DE UN SOLO OPERARIO A 25° C	Si $x < 60$; $\sigma = 0.8$ Si $x > 60$; $\sigma = 0.8 + 0.03(x - 60)$
PRECISIÓN ENTRE VARIOS LABORATORIOS A 25°	Si $x < 60$; $\sigma = 2.5$ Si $x > 60$; $\sigma = 2.5 + 0.05(x - 60)$
PRECISIÓN DE UN SOLO OPERARIO A 4° C	$\sigma = 0.8 + 0.02x$
PRECISIÓN ENTRE VARIOS LABORATORIOS A 4° C	$\sigma = 2.5 + 0.08x$

- 10.1.1** El rango aceptable de dos resultados (95 % de confiabilidad) se puede determinar multiplicando la desviación estándar estimada por 2.83 y redondeando al número entero más cercano.

- 10.2** *Sesgo* – Este método no tiene sesgo, por cuanto los valores se determinan solamente en los términos del método de ensayo.

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 5 – 06

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DENSIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS SÓLIDOS Y SEMI-SÓLIDOS (MÉTODO DEL PICNÓMETRO)

INV E – 707 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento para determinar la densidad y la densidad relativa (gravedad específica) de materiales bituminosos semisólidos, cementos asfálticos y alquitranes blandos, empleando un picnómetro.

Nota 1: Un método alternativo para determinar la densidad se describe en la norma ASTM D 3289. Cuando los materiales son muy fluidos, se puede usar el método descrito en la norma ASTM D 3142.

- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-707-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Densidad* – Es la masa por unidad de volumen de un material.
- 2.2** *Densidad relativa (gravedad específica)* – Es la relación entre la masa de un volumen dado de un material y la masa de un volumen igual de agua a la misma temperatura.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** Se coloca la muestra en un picnómetro calibrado. Se pesa el picnómetro con la muestra. El volumen remanente del picnómetro es completado con agua. Luego se lleva a la temperatura del ensayo y se determina su masa. La densidad de la muestra se calcula a partir de la masa de la muestra y de la masa del agua desalojada por la muestra en el picnómetro lleno.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** Los valores de densidad se usan para realizar conversiones de unidades de volumen a masa y para realizar correcciones en las medidas de volumen, cuando la temperatura de ejecución del ensayo difiere de la temperatura usada como referencia.

5 EQUIPO

- 5.1 *Picnómetro* – Recipiente de vidrio de forma cilíndrica o cónica, con boca esmerilada en la cual debe ajustar, exactamente y sin fugas, un tapón de vidrio de 22 a 26 mm de diámetro, el cual lleva en el centro un orificio de 1.0 a 2.0 mm de diámetro. La superficie superior del tapón será plana y pulida, y la inferior tendrá forma cóncava para facilitar la expulsión del aire a través del orificio. La altura de la sección cóncava deberá ser de 4.0 a 18.0 mm en el centro. El picnómetro deberá tener una capacidad de 24 a 30 ml y una masa, incluido el tapón, no superior a 40 g. En la Figura 707 - 1 se muestran algunos modelos de picnómetros adecuados.

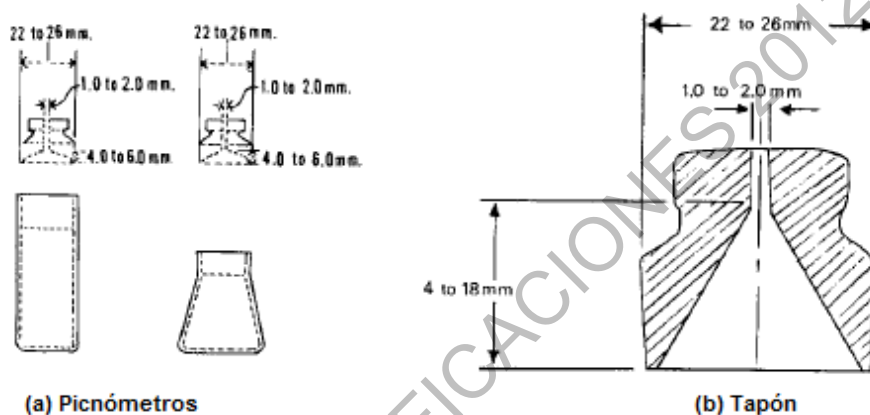


Figura 707 - 1. Modelos de picnómetros y de tapones

- 5.2 *Baño de agua* – Un baño de agua provisto de termostato que pueda regular la temperatura del ensayo con una precisión de $\pm 0.1^\circ \text{C}$ (0.2°F).
- 5.3 *Termómetros* – Calibrados y con líquido en vidrio transparente, de inmersión total, de un rango apropiado, con graduaciones por lo menos cada 0.1°C (0.2°F) y un error máximo de escala de 0.1°C (0.2°F). Los termómetros generalmente utilizados son los ASTM 63C, pero se puede emplear cualquier otro termómetro con igual precisión.
- 5.4 *Vaso de precipitados* – Tipo Griffin, de forma baja, de 600 ml o más de capacidad.
- 5.5 *Balanza* – Con capacidad mínima de 150 g y con exactitud de, al menos, 0.001 g.
- 5.6 *Soporte del vaso de precipitados* – Es conveniente disponer de soportes adecuados que mantengan el vaso de precipitados en posición vertical y a la profundidad correcta en el baño de agua.

6 MATERIALES

- 6.1 *Agua* – Para llenar el picnómetro y el vaso. Deberá ser desionizada o destilada recién hervida y enfriada.

7 MUESTRA

- 7.1 La muestra de ensayo se deberá obtener de acuerdo con el procedimiento de la norma INV E-701.
- 7.2 La muestra deberá estar libre de sustancias extrañas y se deberá mezclar completamente antes de extraer de ella la porción representativa para el ensayo.

8 PREPARACIÓN DEL EQUIPO

- 8.1 Se llena parcialmente el vaso de precipitados con agua preparada según el numeral 6.1 hasta un nivel tal, que cuando se sumerja el picnómetro, la parte superior de éste diste más de 40 mm de la superficie.
- 8.2 Se sumerge parcialmente el vaso de precipitados en el baño a una profundidad tal que su boca quede por encima de la superficie del agua del baño y su fondo a una profundidad no menor de 100 mm de la misma. Se debe utilizar algún método para sujetar el vaso firmemente en esta posición, al tiempo que se debe garantizar que no se restrinja la circulación del agua del baño alrededor del vaso.
- 8.3 La temperatura del baño debe ser la determinada para el ensayo $\pm 0.1^\circ \text{C}$ (0.2°F).

9 CALIBRACIÓN DEL PICNÓMETRO

- 9.1 Se limpian y secan perfectamente el picnómetro y su tapón, y se pesan con aproximación a 1 mg. La masa del picnómetro vacío con el tapón, se designa como A (Figura 707 - 2).



Figura 707 - 2. Determinación de la masa de picnómetro vacío con el tapón

- 9.2** Se saca el vaso de precipitados del baño, si se considera necesario, y se llena el picnómetro con agua destilada o desionizada colocando suavemente el tapón, sin apretarlo. Se coloca el picnómetro en el vaso de precipitados y se aprieta el tapón, no debiendo quedar burbujas de aire ocluidas en el picnómetro en esta operación. El vaso con el picnómetro se vuelve a colocar en el baño de agua, si se había retirado previamente de él.

Nota 2: La calibración se debe realizar a la temperatura de ensayo. Un picnómetro calibrado a una temperatura no se puede usar a otra temperatura sin ser primero recalibrado a ella.

- 9.3** Se deja el picnómetro en el interior del vaso de precipitados por un mínimo de 30 minutos; se saca del agua e inmediatamente se seca la superficie superior del tapón con una pasada de una toalla seca (nota 3). A continuación, se seca rápidamente el resto del picnómetro y se determina su masa con aproximación de 0.1 mg. La masa del picnómetro lleno de agua, se designa como B.

Nota 3: En ningún caso se volverá a secar la parte superior del tapón, aunque se forme una pequeña gota de agua a través del orificio, debido a la expansión. Si la parte superior se seca en el instante de sacar el picnómetro del agua, se determinan la masa del contenido y la temperatura de ensayo. Si durante la determinación de la masa se condensa humedad en el picnómetro, se secará de nuevo su parte exterior rápidamente excluyendo el tapón, antes de pesarlo

10. PROCEDIMIENTO

- 10.1 Preparación de la muestra** – Se calienta con cuidado la muestra, agitándola para evitar sobrecalentamientos locales hasta que tenga la fluidez suficiente para ser vertida. En ningún caso se deberá elevar la temperatura a más de 55° C (131° F) por encima del punto de ablandamiento esperado, si el material es alquitrán; ni en más de 110° C (230° F) por encima del punto de

ablandamiento esperado, para el asfalto. No se debe calentar por más de 60 minutos y se debe evitar que queden burbujas de aire dentro de la muestra.

- 10.2** Se vierte una cantidad de muestra suficiente dentro del picnómetro, limpio y seco y previamente calentado, llenándolo hasta tres cuartos de su capacidad. Se deben tomar precauciones para evitar que el material se ponga en contacto con las paredes del picnómetro por encima del nivel final y para evitar la inclusión de burbujas de aire (nota 4). Se deja enfriar el picnómetro con su contenido hasta la temperatura ambiente durante un período no menor de 40 minutos y se determina la masa con el tapón puesto, con aproximación a 1 mg. La masa del picnómetro con la muestra, se designa como C (Figura 707 - 3).



Figura 707 - 3. Determinación de la masa de picnómetro parcialmente lleno de asfalto

Nota 4: Si inadvertidamente quedaron burbujas incluidas, se remueven rozando la superficie de asfalto en el picnómetro con una llama "suave" de un mechero Bunsen o de un soplete. Para evitar el sobrecalentamiento, no se debe permitir que la llama permanezca en contacto con el asfalto durante más de algunos segundos.

- 10.3** Se remueve el vaso de precipitados del baño de agua, si se considera necesario. Se llena el picnómetro que contiene el asfalto con agua destilada fresca hervida o desionizada a la temperatura de ensayo, colocando flojo el tapón en el picnómetro. No se debe permitir que permanezcan burbujas de aire en el picnómetro. Se coloca el picnómetro en el vaso de precipitados y se ajusta el tapón. Se retorna el vaso de precipitados al baño de agua, si había sido removido de él.
- 10.4** Se mantiene el picnómetro dentro del baño de agua durante un período no menor de 30 minutos. Se saca el picnómetro del baño. Se seca y se determina su masa empleando el mismo procedimiento y tiempo empleados en el numeral 9.3. La masa del picnómetro con la muestra y con agua, se designa como D.

11 CÁLCULOS

11.1 Se calcula la densidad relativa (gravedad específica) con aproximación a 0.001, así:

$$\text{Densidad relativa} = \frac{(C - A)}{[(B - A) - (D - C)]} \quad [707.1]$$

- Donde: A: Masa del picnómetro (incluido el tapón);
 B: Masa del picnómetro lleno de agua;
 C: Masa del picnómetro parcialmente lleno con asfalto;
 D: Masa del picnómetro con asfalto y con agua.

11.2 Se calcula la densidad con aproximación a 0.001, en la siguiente forma:

$$\text{Densidad} = \text{Densidad relativa} \times W_T \quad [707.2]$$

- Donde: W_T : Densidad del agua a la temperatura de ensayo en las unidades deseadas (nota 5).

Nota 5: La densidad del agua, según el "CRC Handbook of Chemistry and Physics", es:

TEMPERATURA, ° C	DENSIDAD DEL AGUA, kg/m ³ (kg/l)
15.6	999.0 (0.9990)
25.0	997.0 (0.9970)

12 INFORME

12.1 Se reporta la densidad con aproximación a 1 kg/m³ (a tres decimales en kg/litro), así como la temperatura de ensayo.

13 PRECISIÓN Y SESGO

13.1 Repetibilidad – La desviación estándar de un solo operador para la densidad relativa de materiales bituminosos semi-sólidos a 15.6° C (60° F) fue 0.0013 y a 25.0° C (77° F) fue 0.00082. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos correctamente realizados por el mismo operador sobre el mismo material, no deberían variar más de:

TEMPERATURA, ° C	DENSIDAD, kg/m ³ (kg/l)
15.6	3.7 (0.0037)
25.0	2.3 (0.0023)

13.2 Reproducibilidad – La desviación estándar entre laboratorios para la densidad relativa de materiales bituminosos semi-sólidos a 15.6° C (60° F) fue 0.0024 y a 25.0° C (77° F) fue 0.0019. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos correctamente realizados por dos laboratorios sobre muestras del mismo material, no deberían variar más de:

TEMPERATURA, ° C	DENSIDAD, kg/m ³ (kg/l)
15.6	6.8 (0.0068)
25.0	5.4 (0.0054)

13.3 Sesgo – No se presenta información sobre sesgo en el procedimiento de este método de ensayo, puesto que no hay un material que tenga un valor aceptado como referencia.

14 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 70 – 09

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

ESTIMACIÓN DE LA COMPLEJIDAD DEL FLUJO DE UN CEMENTO ASFÁLTICO EMPLEANDO EL ÍNDICE DE THELEN

INV E – 708 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe un procedimiento para estimar el comportamiento reológico de un cemento asfáltico a temperaturas medias de servicio, mediante el índice de Thelen.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Índice de Thelen (n)* – Parámetro que se obtiene a partir de la pendiente de la línea recta que relaciona el logaritmo de la penetración con el logaritmo del tiempo, cuando se ejecutan ensayos de penetración con diferentes tiempos de penetración de la aguja a 25° C (77° F).

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1 Se realizan ensayos de penetración en las condiciones normalizadas de carga y temperatura de la norma INV E-706 (100 g, 25° C), pero variando el tiempo de penetración de la aguja. Con los datos obtenidos se dibuja una gráfica doble logarítmica relacionando la penetración contra el tiempo, a partir de la cual se obtiene un índice que describe la complejidad de flujo del asfalto a la temperatura del ensayo

4 EQUIPO

- 4.1 *Equipo para el ensayo de penetración* – Se emplea el equipo necesario para la ejecución del ensayo descrito en la norma INV E-706.

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1 La muestra se debe preparar y ensayar a 25° C, como se describe en la norma INV E-706.

- 5.2 Se repite dos o tres veces el procedimiento descrito en el numeral 5.1, pero variando el tiempo de penetración de la aguja, de manera que se tengan datos por encima y por debajo de 5 segundos.

6 CÁLCULOS

- 6.1 Empleando los pares de valores tiempo – penetración, se dibuja una línea recta en coordenadas log–log , que tenga en las abscisas el tiempo (en segundos) y en las ordenadas los valores de penetración (0.1 mm) (Figura 708 - 1).
- 6.2 Se determina la pendiente de la línea recta que mejor se ajuste a los datos, m.
- 6.3 Se calcula el índice de Thelen (n) con la expresión:

$$n = \frac{1}{m} - 1 \quad [708.1]$$

- 6.4 Se establece el grupo al cual pertenece el asfalto ensayado, utilizando la Tabla 708 - 1.

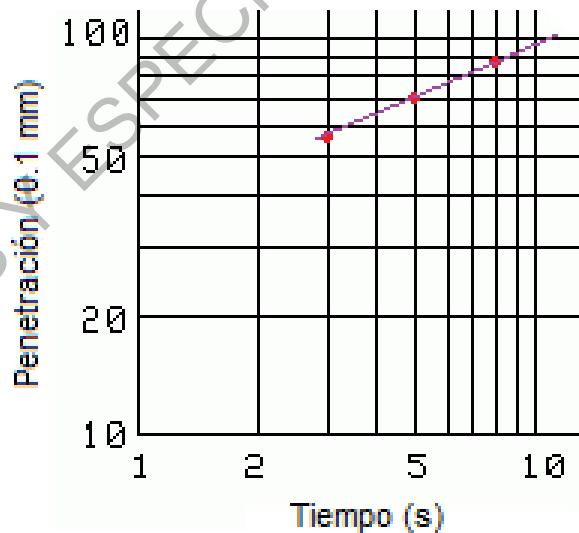


Figura 708 - 1. Relación penetración – tiempo de un cemento asfáltico

Tabla 708 - 1. Relación general entre el índice de Thelen (n) y el tipo de asfalto

n	GRUPO	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL GRUPO
1.0 - 1.2	1	Asfaltos de comportamiento newtoniano o muy cercano a él. El gradiente de velocidad es directamente proporcional al esfuerzo de corte, y la deformación es directamente proporcional al tiempo; en consecuencia, no existe efecto elástico o, si existe, es muy reducido
1.2 – 3.0	2	Asfaltos que, por deformación a temperaturas normales de servicio, presentan efectos elásticos netos, además de lo que se podría considerar una proporcionalidad newtoniana entre el gradiente de velocidad y el esfuerzo de corte después de un cierto grado de deformación. Reológicamente, son líquidos visco-elásticos
> 3.0	3	Asfaltos que, a temperaturas normales de servicio, muestran una recuperación casi total después de deformaciones relativamente pequeñas. Las deformaciones mayores son permanentes, pero el gradiente de velocidad no es proporcional al esfuerzo de corte. Presentan mayores efectos elásticos que los del grupo 2. En otras palabras, poseen un valor de fluencia más o menos medible; para esfuerzos de corte inferiores al valor de fluencia, las deformaciones son prácticamente elásticas y, para esfuerzos mayores, el sistema fluye plásticamente. Reológicamente, son sólidos plásticos-elásticos

7 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

EBERTO PETRONI, “Materiales Asfálticos para Caminos”, Departamento de Vías de Comunicación, Escuela de Graduados Rama Ingeniería de Caminos, Universidad de Buenos Aires, s/f

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

PUNTOS DE INFLAMACIÓN Y DE COMBUSTIÓN MEDIANTE LA COPA ABIERTA CLEVELAND

INV E – 709 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento para determinar los puntos de inflamación y de combustión de productos de petróleo, empleando una copa abierta de Cleveland de manejo manual o automático.
- 1.2 El método es aplicable a todos los productos de petróleo con puntos de inflamación por encima de 79° C (175° F) y por debajo de 400° C (752° C), con excepción de los fuel-oils.
- 1.3 Esta prueba es dinámica y su resultado depende del control de la velocidad a la cual se incrementa la temperatura del producto, así como del diseño del aparato, de su estado y de la manera como se realice la prueba. En consecuencia, el punto de inflamación sólo se puede definir en términos de un método de ensayo normalizado y no se puede garantizar una correlación válida, de tipo universal, con los resultados obtenidos al usar métodos o equipos diferentes a los especificados en esta norma.
- 1.4 Esta norma reemplaza la norma INV E-709-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Dinámica (en productos de petróleo)* – Condición en la cual la muestra de ensayo y el vapor sobre ella no se encuentran en equilibrio térmico en el instante en el cual se aplica la fuente de inflamación. Esto se debe, principalmente, a que al calentar la muestra a la velocidad especificada, la temperatura del vapor se encuentra en retardo respecto de la temperatura de la muestra.
- 2.2 *Punto de inflamación (en productos de petróleo)* – La menor temperatura, corregida a una presión barométrica de 101.3 kPa (760 mm Hg), a la cual la aplicación de una fuente de ignición hace que los vapores de la muestra de ensayo desprendan una llamarada repentina bajo las condiciones especificadas de la prueba.

- 2.3** *Punto de combustión (en productos de petróleo)* – La menor temperatura corregida a una presión barométrica de 101.3 kPa (760 mm Hg), a la cual la aplicación de una fuente de ignición hace que los vapores de la muestra de ensayo ardan con una llama sostenida durante un mínimo de 5 segundos, bajo las condiciones especificadas de la prueba.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** La copa del ensayo se llena con la muestra hasta un nivel especificado. Se aumenta la temperatura de la muestra, primero con rapidez y luego a una rata constante y lenta, a medida que se aproxima al punto de inflamación. A intervalos de tiempo especificados, se pasa una pequeña llama de ensayo a través de la copa. La temperatura más baja a la cual la aplicación de la llama de ensayo hace que los vapores que se encuentran por encima de la superficie del líquido desprendan una llamarada repentina, se toma como punto de inflamación. Para determinar el punto de combustión, se continúa la aplicación de la llama de ensayo a través de la copa, hasta que haga que el espécimen arda con una llama sostenida, por lo menos durante 5 segundos.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** El punto de inflamación mide la tendencia de la muestra a formar una mezcla inflamable con el aire en condiciones controladas de laboratorio. Esta es solo una de varias de las propiedades que se deben considerar al evaluar los riesgos de inflamación de un material.
- 4.2** El punto de inflamación da una indicación de la posible presencia de sustancias altamente volátiles e inflamables en un producto relativamente no volátil o no inflamable.
- 4.3** Este método de ensayo se usa para medir y describir las propiedades de respuesta al calor y a la llama bajo condiciones de laboratorio controladas, y la información obtenida como resultado de su ejecución no se puede extrapolar para describir o valorar el riesgo de combustión de los materiales bajo la condición de un incendio real. Los resultados del ensayo se deben tomar solamente como elementos estimativos de las precauciones por adoptar durante la manipulación de estos productos para prevenir los riesgos de un incendio.

5 EQUIPO

- 5.1** *Aparato de copa abierta de Cleveland (de operación manual)* – Este aparato consta de la copa de ensayo, placa de calentamiento, aplicador de la llama, calentador y soportes, descritos en detalle en el Anexo A. En las Figuras 709 - 1, 709 - 2 y 709 - 3, se ilustran el aparato ensamblado, la placa de calentamiento y la copa, con sus respectivas dimensiones.
- 5.2** *Aparato de copa abierta de Cleveland (de operación automática)* – Este aparato se puede usar para el desarrollo del ensayo, según lo indicado en el numeral 10.2.
- 5.3** *Termómetro* – Un termómetro de mercurio con las características que se muestran en seguida, que tenga un rango de temperatura de -6 a 400°C (20° a 760°F). Alternativamente, se pueden emplear medidores eléctricos de temperatura, tales como termocuplas o termómetros de resistencia, que presenten la misma respuesta que el termómetro de mercurio.

REFERENCIA ASTM	ESCALA ($^{\circ}\text{C}$)	GRADUACIONES ($^{\circ}\text{C}$)	LONGITUD TOTAL (mm)	ERROR MÁXIMO ($^{\circ}\text{C}$)
11 C	-6 a $+400$	2	308	1° hasta 260 2° por encima de 260

6 REACTIVOS

- 6.1** *Solventes para limpieza* – De grado técnico, apropiados para limpiar el material asfáltico que quede adherido a la copa luego del ensayo. Pueden ser tolueno o acetona.

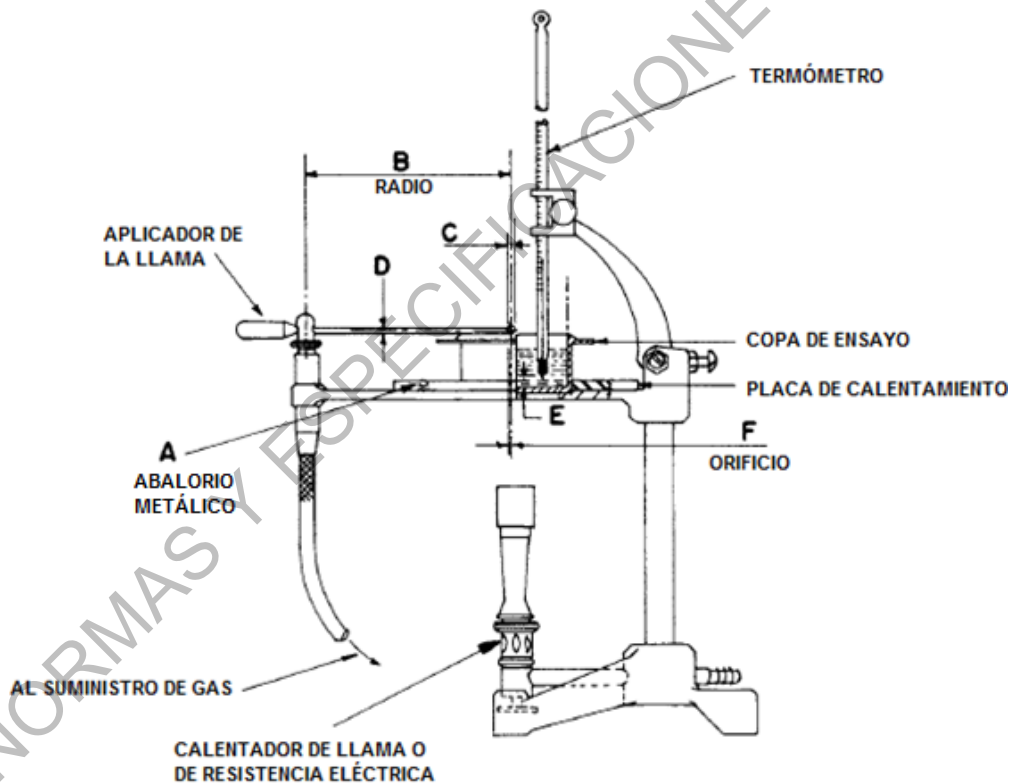
Nota 1: El tolueno, la acetona y muchos otros solventes son inflamables y constituyen un riesgo para la salud. Su almacenamiento, manejo y desperdicio se deberán ajustar a las regulaciones vigentes.

7 PREPARACIÓN DEL APARATO

7.1 Se apoya el aparato de copa abierta de Cleveland sobre una mesa firme, a nivel, en un cuarto o compartimento libre de corrientes de aire. Se protege de la luz fuerte la parte superior del aparato, empleando cualquier medio adecuado, para detectar con facilidad el punto de inflamación. Los ensayos efectuados en sitios donde existan corrientes de aire, no son dignos de confianza.

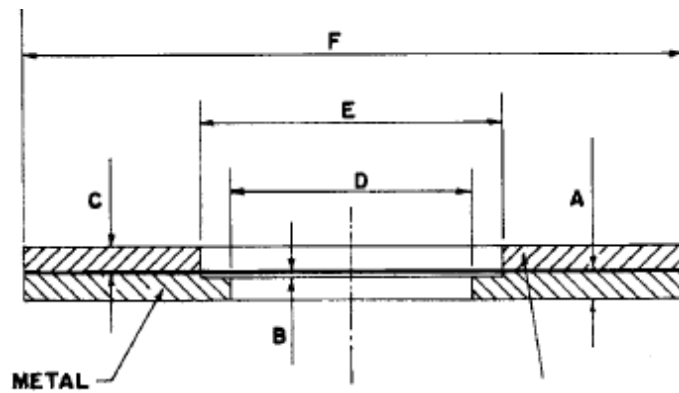
Nota 2: Se recomienda instalar un protector contra las corrientes de aire, para prevenir que ellas afecten los vapores que se producen sobre la copa de ensayo. El protector debiera cubrir tres lados del área vecina a la copa (Ver Anexo A). Algunos aparatos ya tienen este dispositivo incorporado.

Nota 3: Para algunas muestras cuyos vapores o productos de la pirólisis son objetables, se permite colocar el aparato con un protector en una cámara aislante, cuyo escape debe ser ajustable de manera que se puedan extraer los vapores sin que se produzcan corrientes de aire sobre la copa de ensayo durante los últimos 56° C (100° F) de elevación de la temperatura, antes del punto de inflamación.



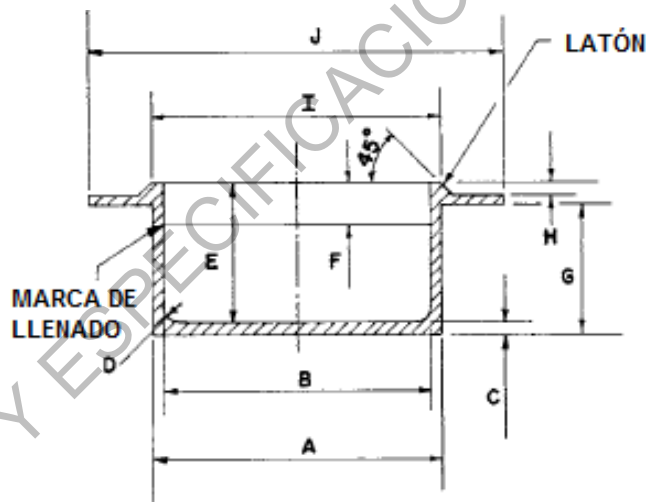
	milímetros		pulgadas	
	min	max	min	max
A— Diámetro	3.2	4.8	0.126	0.189
B— Radio	152	nominal	6	nominal
C— Diámetro	1.6	nominal	0.063	nominal
D		2		0.078
E	6	7	0.236	0.276
F— Diámetro	0.8	nominal	0.031	nominal

Figura 709 - 1. Equipo de la copa abierta de Cleveland



	milímetros		pulgadas	
	min	max	min	max
A	6	7	0.236	0.276
B	0.5	1.0	0.020	0.039
C	6	7	0.236	0.276
D— Diámetro	55	56	2.165	2.205
E— Diámetro	69.5	70.5	2.736	2.776
F— Diámetro	146	159	5.748	6.260

Figura 709 - 2. Placa de calentamiento



	milímetros		pulgadas	
	min	max	min	max
A	67.5	69	2.658	2.717
B	63	64	2.480	2.520
C	2.8	3.5	0.110	0.138
D— Radio	4	nominal	0.157	nominal
E	32.5	34	1.280	1.339
F	9	10	0.354	0.394
G	31	32.5	1.221	1.280
H	2.8	3.5	0.110	0.138
I	67	70	2.638	2.756
J	97	100	3.819	3.937

Figura 709 - 3. Copa abierta de Cleveland

- 7.2** Se limpia la copa de ensayo con el solvente de limpieza para remover cualquier residuo de algún ensayo previo. Si hay residuos de carbón, se deberán remover con una esponjilla metálica. Se debe tener certeza absoluta de que la copa está perfectamente limpia y seca antes de cada uso. De ser necesario, se lava con agua fría y se seca por unos pocos minutos sobre una llama abierta o sobre una placa calentadora para remover cualquier traza de solvente o humedad. Antes de su empleo, se enfría la copa hasta, por lo menos, 56° C (100° F) por debajo del punto de inflamación supuesto.
- 7.3** Mediante un soporte adecuado, se sostiene el termómetro en una posición vertical, con su extremo inferior a 6.4 ± 0.1 mm ($1/4 \pm 1/50$ ") sobre el fondo de la copa y localizado en un punto equidistante entre el centro y la pared de la misma, y en un diámetro perpendicular al arco (o línea) de barrido de la llama de ensayo y del lado opuesto al brazo del aplicador de la misma.
- Nota 4: Cuando el termómetro esté en posición, la línea de inmersión grabada en él deberá estar 2 ± 0.1 mm ($5/64 \pm 1/50$ ") por debajo del nivel del borde de la copa. Igualmente, en algunos equipos automáticos la posición del medidor de temperatura se ajusta automáticamente.*
- 7.4** El aparato, manual o automático, se deberá preparar para de acuerdo con las instrucciones de su fabricante, en relación con su calibración, su verificación y su operación.

8 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 8.1** Se debe obtener una muestra representativa, según la norma INV E-701. Se requieren, al menos, 70 ml de muestra para cada determinación.
- 8.2** Si no se toman precauciones para evitar la pérdida de volátiles de la muestra, se pueden obtener puntos de inflamación erróneamente altos. No se debe abrir innecesariamente el recipiente donde se guarda la muestra, para prevenir pérdidas de volátiles o ingreso de humedad. La muestra solo se puede transferir de un recipiente a otro si su temperatura es inferior, al menos, 56° C (100° F) bajo el punto de inflamación supuesto. Siempre que sea posible, el punto de inflamación debiera ser primer ensayo a realizar sobre una muestra de asfalto. Las muestras para el ensayo se deben almacenar a temperatura ambiente.
- 8.3** No se deben guardar muestras en recipientes agrietados o permeables a los gases, pues el material volátil se puede escapar por las grietas o las paredes.

- 8.4** En el material puede estar presente un alto contenido de hidrocarburos en forma de gases, como el propano y el butano, y no ser detectados en el ensayo, debido a su evaporación durante el muestreo y la colocación en la copa. Esto es especialmente evidente en residuos pesados de asfalto provenientes de procesos de extracción con solventes.
- 8.5** Las muestras de materiales muy viscosos se pueden calentar hasta que alcancen una fluidez razonable antes de ser ensayadas. Sin embargo, nunca se deben calentar más de lo absolutamente necesario. En particular, no se deberán calentar por encima del punto de inflamación esperado menos 56° C (100° F). Si se llega a exceder este límite, se deberá esperar a que la temperatura descienda hasta él, antes de transferir la muestra a la copa de ensayo.
- 8.6** Muestras que contengan agua libre o disuelta pueden ser deshidratadas con cloruro de calcio o se pueden filtrar a través de un papel de filtro cualitativo, o secar con un algodón absorbente. Si la muestra que contiene agua es muy viscosa, se puede calentar hasta que alcance una fluidez razonable antes de ser filtrada, pero no se debe calentar por periodos muy prolongados, ni más allá de 56° C (100° F) bajo el punto de inflamación esperado.

Nota 5: Si se sospecha que la muestra contiene contaminantes volátiles, se debe omitir el tratamiento descrito en los numerales 8.5 y 8.6.

9 CALIBRACIÓN Y NORMALIZACIÓN

- 9.1** Se ajusta el sistema de detección automático del punto de inflamación, si se utiliza, según las instrucciones del fabricante del equipo.
- 9.2** Se calibra el dispositivo de medición de la temperatura, según las instrucciones del fabricante.
- 9.3** El funcionamiento del equipo manual o automático se debe verificar por lo menos una vez por año, determinando el punto de inflamación de un material de referencia certificado (CRM por su sigla en inglés), como los de la lista del Anexo B, cuyo punto de inflamación sea razonablemente cercano al esperado en las muestras para ensayo. El material de referencia se debe ensayar de acuerdo con el procedimiento descrito en esta norma y el punto de inflamación observado (numerales 10.1.10 o 10.2.5) se deberá corregir por el efecto de la presión barométrica (ver Sección 11). El punto de inflamación obtenido se deberá encontrar dentro del rango indicado en la Tabla 709B - 1

del Anexo B o en el rango previamente calculado para un CRM que no se encuentre en la tabla.

- 9.4** Una vez que se ha verificado el funcionamiento del aparato, se debe determinar el punto de inflamación de patrones secundarios de trabajo (SWS), junto con sus límites de control. Estos materiales secundarios se pueden emplear para la ejecución de chequeos de comportamiento más frecuentes (Ver Anexo B).
- 9.5** Cuando los puntos de inflamación obtenidos no están dentro de los límites referidos en los numerales 9.3 y 9.4, se deben revisar el estado y la operación del aparato, para asegurar su conformidad con los detalles descritos en el Anexo A, prestando especial atención a la posición del medidor de temperatura, a la aplicación de la llama de ensayo y a la velocidad de calentamiento. Después de ajustado el aparato, se repite el proceso con un espécimen fresco (Ver numeral 9.3), con especial atención a los detalles procedimentales prescritos en la Sección 10.

10 PROCEDIMIENTO

10.1 *Empleando equipo manual:*

10.1.1 Se llena la copa a cualquier temperatura que no sea mayor de 56° C (100° F) por debajo del punto de inflamación esperado de la muestra, de manera que la parte superior del menisco quede a nivel con la marca de llenado de la copa. Si se ha vertido demasiada muestra en la copa, se remueve el exceso empleando una jeringa u otro dispositivo apropiado; sin embargo, si ha quedado material adherido a la parte exterior de la copa, ésta se deberá vaciar, limpiar y volver a llenar. Se deshacen todas las burbujas de aire sobre la superficie de la muestra con un implemento puntiagudo u otro dispositivo apropiado, y se mantiene el nivel requerido de muestra para el ensayo. Si persiste la espuma durante las etapas finales del ensayo, éste se debe dar por terminado y se ignorará cualquier resultado.

10.1.2 No se debe añadir material sólido a la copa de ensayo. Las muestras sólidas o muy viscosas se deben calentar previamente en otro recipiente, hasta que alcancen la fluidez necesaria para ser vertidas en la copa, dentro del límite de temperatura citado con anterioridad.

- 10.1.3** Se enciende la llama de ensayo y se ajusta a un diámetro entre 3.8 y 5.4 mm (1/8 a 3/16") o al tamaño del abalorio metálico de comparación, si hay uno montado en el aparato (Ver Anexo A).

Nota 6: Precauciones – (1) La presión de gas entregada por el equipo no debe exceder de 3 kPa de presión de agua. (2) El operador debe tener cuidado cuando se utilice una llama de gas y evitar que los gases de la llama influyan en la ejecución del ensayo, minimizando así su influencia en los resultados. (3) El operador debe trabajar con cuidado e implementar acciones de seguridad durante la aplicación inicial de la llama, puesto que las muestras que tienen un bajo punto de inflamación pueden presentar un destello muy fuerte cuando la llama es aplicada en primera instancia. (4) Las temperaturas alcanzadas durante el ensayo, hasta del orden de 400° C (752° F) son consideradas de alta peligrosidad.

Nota 7: Resulta útil la realización de algunas aplicaciones preliminares de llama durante la etapa inicial del calentamiento, para detectar si la muestra contiene algún material volátil inesperado. Un intervalo típico es al comienzo del calentamiento y luego cada 10° C, hasta llegar a la temperatura normalizada para la aplicación de la llama (Ver numeral 10.1.5).

- 10.1.4** Inicialmente, se aplica calor de manera que la velocidad de incremento de temperatura de la muestra sea de 5 a 17° C (9 a 30° F) por minuto. Cuando la temperatura de la muestra sea de, aproximadamente, 56° C (100° F) por debajo del punto de inflamación esperado, se disminuye la intensidad del calor, de manera que la temperatura aumente, para los últimos 28° C (50° F) antes de llegar al punto de inflamación, a razón de 5 a 6° C (9 a 11° F) por minuto.

Nota 8: Con materiales de bajo punto de inflamación o muy viscosos, se recomienda usar la tasa de calentamiento de 5 a 6° C/min desde el comienzo hasta el final del ensayo.

- 10.1.5** Cuando la temperatura de la muestra esté unos 28° C (50° F) por debajo del punto de inflamación supuesto, se comienza la operación de barrido con la llama de ensayo, una vez por cada aumento de 2° C (5° F). Se pasa la llama de ensayo a través del centro de la copa, en ángulos rectos con el diámetro que pasa a través del termómetro, con un movimiento suave y continuo, bien sea en una línea recta o a lo largo del arco de una circunferencia que tenga un radio de, al menos, 150 ± 0.1 mm (6 ± 0.039"). El centro de la llama de prueba se debe mover en un plano horizontal que esté a no más de 2 mm (5/64") por encima del plano del borde superior de la copa, pasando en un solo sentido. La siguiente pasada [a una temperatura 2° C (5° F) mayor] se realizará en la dirección opuesta. El tiempo empleado para efectuar un barrido de la llama de ensayo a través de la copa, deberá ser de 1 ± 0.1 segundos.

Nota 9: Algunos aparatos automáticos pasan la llama de ensayo en una sola dirección. Los aparatos que trabajan de esta manera, cortan el suministro de gas luego de cada aplicación, retornan a la posición inicial sin crear ninguna corriente cerca o sobre la copa y luego

reencienden la llama de ensayo sin que entre gas al espacio de vapor de la copa, antes de la siguiente pasada.

Nota 10: Cuando se esté determinando el punto de inflamación del asfalto, se recomienda remover con una espátula, cuidadosamente y hacia un solo lado, cualquier costra que se forme sobre la superficie de la muestra antes de cada aplicación de la llama. De acuerdo con los datos disponibles, si esta película no se remueve, se obtienen puntos de inflamación mayores que los reales (Ver Anexo C).

- 10.1.6** Durante los últimos 28° C (50° F) de aumento de temperatura antes del punto de inflamación esperado, se debe evitar la perturbación de los vapores en la copa de ensayo por movimientos repentinos o por corrientes de aire cerca de la copa.
- 10.1.7** Cuando persiste espuma encima del espécimen de ensayo durante los últimos 28° C (50° F) por debajo del punto de inflamación supuesto, se da por terminado el ensayo y se ignora cualquier resultado.
- 10.1.8** Se debe prestar atención a todos los detalles relacionados con la llama de ensayo, tales como tamaño de ésta y las velocidades de incremento de la temperatura y de paso de la llama sobre el espécimen, con el fin de garantizar la validez de los resultados del ensayo.
- 10.1.9** Cuando se ensaye una muestra para la cual se desconozca la temperatura esperada de punto de inflamación, se debe llevar el material en la copa de ensayo a una temperatura no mayor a 50° C (122° F), o si el material requiere calentamiento antes de colocarlo en la copa, se calentará hasta la temperatura adecuada de transferencia y, posteriormente, se permitirá que la temperatura disminuya a 50° C (122° F). A continuación, se aplica la llama de ensayo como se describió en el numeral 10.1.5, comenzando al menos 5° C (9° F) por encima de la temperatura de inicio. Se continúa el calentamiento de la muestra a una rata de 5 a 6° C (9 a 11° F) por minuto, aplicando la llama de ensayo a intervalos de 2° C (5° F) como se describe en el numeral 10.1.5, hasta obtener el punto de inflamación.

Nota 11: El resultado del punto de inflamación obtenido en la prueba ejecutada en el modo de punto de inflamación esperado desconocido, se debe tomar sólo como una aproximación. Este valor se podrá tomar como punto de inflamación esperado, al ensayar una nueva muestra del mismo asfalto en el modo de operación normalizado.

- 10.1.10** Se registra como punto de inflamación observado, la lectura en el aparato de medida de temperatura, en el instante en que la llama de ensayo produce un destello marcado sobre la superficie de la muestra (Figura 709 - 4).

10.1.10.1 Se considera que la muestra se ha inflamado, cuando aparece una llama larga en cualquier punto de la superficie, que se propaga instantáneamente sobre la superficie del espécimen.

10.1.11 No se debe confundir el verdadero destello que indica el punto de inflamación, con un halo azulado que, a veces, rodea la llama de ensayo. Este no es el punto de inflamación y debe ser ignorado.



Figura 709 - 4. Punto de inflamación

10.1.12 Cuando se detecta un punto de inflamación o de combustión durante algún ensayo preliminar de aplicación de llama o en la primera aplicación de la llama de ensayo (Ver numeral 10.1.5), la prueba se deberá interrumpir, los resultados serán descartados y se repetirá nuevamente el ensayo con una muestra fresca. La primera aplicación de la llama sobre la muestra fresca se deberá realizar a una temperatura menor en 28° C (50° F) o más, de la hallada cuando el punto de inflamación fue detectado en la primera aplicación.

10.1.13 Para determinar el punto de combustión, se continua calentando el espécimen a la misma velocidad de 5 a 6° C (9 a 11° F)/min y se continúa pasando la llama de ensayo a intervalos de 2° C (5° F), hasta que el espécimen se encienda y mantenga la llama por lo menos durante 5 segundos (Figura 709 - 5). Se registra como punto de combustión la temperatura a la cual la llama de ensayo produce esta ignición sostenida de la muestra.



Figura 709 - 5. Punto de combustión

10.1.14 Determinados los puntos de inflamación y combustión, se apaga la muestra, se suspenden el calentamiento y el paso de la llama de ensayo, y se dejan enfriar los aparatos. Cuando se hayan enfriado hasta una temperatura de manejo segura, inferior a 60° C (140° F), se remueve la copa y se limpia, al igual que el resto de accesorios, de la manera que lo recomiende el fabricante.

10.2 *Empleando equipo automático:*

10.2.1 El equipo automático deberá ser capaz de desarrollar el procedimiento descrito en el numeral 10.1, incluyendo el control de la velocidad de calentamiento, la aplicación de la llama de ensayo, la determinación del punto de inflamación o de combustión, o de ambos, y registrarlos.

10.2.2 Se llena la copa con la muestra hasta que el borde superior del menisco quede exactamente a nivel con la marca de llenado y se coloca la copa en el centro de la placa de calentamiento. La temperatura de la copa y de la muestra de ensayo no debe ser mayor de 56° C (100° F) por debajo del punto de inflamación esperado. Si se ha incluido demasiada cantidad de muestra a la copa, se remueve el exceso empleando una jeringa u otro dispositivo apropiado; sin embargo, si ha quedado material adherido a la parte exterior de la copa, ésta se deberá vaciar, limpiar y volver a llenar. Se deshacen todas las burbujas de aire sobre la superficie de la muestra con un implemento puntiagudo u otro dispositivo apropiado, y se mantiene el nivel requerido de muestra para el ensayo. Si persiste la espuma durante las etapas finales del ensayo, éste se debe dar por terminado y se desechará cualquier resultado.

10.2.3 No se debe añadir material sólido a la copa de ensayo. Las muestras sólidas o muy viscosas se deben calentar previamente en otro recipiente, hasta que alcancen la fluidez necesaria para ser vertidas en la copa; sin embargo, la temperatura de este calentamiento no debe sobrepasar el límite de 56° C (100° F) por debajo del punto de inflamación esperado.

10.2.4 Se enciende la llama de ensayo y se ajusta a un diámetro entre 3.8 y 5.4 mm (1/8" a 3/16") o al tamaño del abalorio metálico de comparación, si hay uno montado en el aparato (Ver Anexo A).

Nota 12: Precauciones – (1) La presión de gas entregada por el equipo no debe exceder de 3 kPa de presión de agua. (2) El operador debe tener cuidado cuando se utilice una llama de gas y evitar que los gases de la llama influyan en la ejecución del ensayo y así minimizar su influencia en los resultados. (3) El operador debe trabajar con cuidado e implementar acciones de seguridad durante la aplicación inicial de la llama, puesto que las muestras que tienen un bajo punto de inflamación pueden presentar un destello muy fuerte cuando la llama es aplicada en primera instancia. (4) Las temperaturas alcanzadas durante el ensayo, hasta del orden de 400° C (752° F) son consideradas de alta peligrosidad y riesgo para la salud humana.

10.2.5 Se enciende el equipo automático, según el manual de instrucciones, y se continúa con el proceso descrito en los numerales 10.1.1 a 10.1.14.

11 CÁLCULOS

11.1 Si la presión barométrica real del ambiente en el momento del ensayo difiere de 101.3 kPa (760 mm Hg), se deben corregir los puntos de inflamación y/o de combustión, de la siguiente forma:

$$\text{Punto de inflamación corregido} = C + 0.25 (101.3 - K) \quad [709.1]$$

$$\text{Punto de inflamación corregido} = F + 0.06 (760 - P) \quad [709.2]$$

$$\text{Punto de inflamación corregido} = C + 0.033 (760 - P) \quad [709.3]$$

Donde: C: Punto de inflamación observado, °C;

F: Punto de inflamación observado, °F;

P: Presión barométrica del ambiente, mm Hg;

K: Presión barométrica del ambiente, kPa.

Nota 13: La presión barométrica usada en estos cálculos es la del ambiente en el laboratorio en el instante del ensayo. Muchos barómetros aneroides, como los usados en las estaciones meteorológicas de los aeropuertos, son pre-correctados para dar lecturas correspondientes al nivel de mar y, por lo tanto, no suministran una lectura correcta para este ensayo.

- 11.2** Las mismas fórmulas del numeral 11.1 se usan para calcular el punto de combustión corregido. En este caso, los valores C y F corresponden al punto de combustión observado.
- 11.3** El valor corregido del punto de inflamación o de combustión, o ambos, se debe registrar redondeado al grado Celsius (o 2° F) más cercano.

12 INFORME

- 12.1** Se informa el valor corregido del punto de inflamación o de combustión, o ambos, con el redondeo indicado en el numeral 11.3.

13 PRECISIÓN Y SESGO

- 13.1** *Precisión* – La precisión de este método de ensayo, determinada por el examen estadístico de los resultados de ensayos ejecutados en varios laboratorios, es la siguiente:

- 13.1.1** *Repetibilidad* – Resultados duplicados por el mismo operador, sobre muestras idénticas, ensayadas correctamente y empleando el mismo equipo, se deberán considerar dudosos si difieren en más de las siguientes cantidades (95 % de confiabilidad):

Punto de inflamación 8° C (15° F)

Punto de combustión 8° C (15° F)

- 13.1.2** *Reproducibilidad* – Resultados obtenidos por dos operarios trabajando en diferentes laboratorios, sobre muestras del mismo material, ensayadas correctamente, se deberán considerar dudosos si difieren en más de las siguientes cantidades:

Punto de inflamación 18° C (32° F)

Punto de combustión 14° C (25° F)

Nota 14: La precisión para muestras de asfalto en cuya superficie ha formado costra y ésta se haya removido, no se ha establecido.

Nota 15: La precisión para muestras de asfalto en las cuales se utiliza el procedimiento del Anexo C, no se ha establecido.

13.2 Sesgo – El procedimiento de este ensayo no tiene sesgo, por cuanto los puntos de inflamación y de combustión solo se pueden definir en términos de este método de ensayo

13.3 Sesgo relativo – Los análisis estadísticos de los datos no muestran una diferencia significativa entre las varianzas de reproducibilidad usando el equipo manual o el automático para las muestras estudiadas, excepto para muestras de aceites lubricantes de multiviscosidad o aceites minerales blancos. En el caso de que se presente incertidumbre sobre resultados entre determinaciones con equipo manual o equipo automático, se tomará como referencia el resultado obtenido mediante la determinación manual.

14 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 92 – 11

ANEXO A (Aplicación obligatoria)

EQUIPO DE LA COPA DE CLEVELAND

A.1 Copa de ensayo – De acuerdo con la Figura 709 - 3 y con las dimensiones indicadas en ella. La copa puede ser de latón u otro material inoxidable de conductividad equivalente. Puede estar equipada con una manija.

A.2 Placa de calentamiento – De materiales y dimensiones suficientes para asegurar que el calentamiento que se transmite hacia la copa sea aplicado solo por la parte inferior de ésta. La Figura 709 - 2 muestra un ejemplo de placa manual que utiliza mecheros Bunsen o elementos orientados de calefacción eléctrica.

A.3 Aplicador de la llama de ensayo – Puede ser de cualquier tipo de diseño adecuado, pero debe terminar en una boquilla de 1.6 ± 0.05 mm (1/16") de diámetro, provista de un orificio central para la salida del gas, con un diámetro

de 0.8 ± 0.05 mm (1/32"). El aplicador puede estar montado de forma que permita la repetición automática del barrido de la llama de ensayo sobre la muestra haciendo girar el orificio de la boquilla en un arco de circunferencia con un radio no menor de 150 mm (6"). El centro de la llama de ensayo se deberá mover siempre en un plano horizontal que esté a no más de 2 mm (5/64") por encima del borde la copa. Es conveniente instalar un pequeño abalorio con un diámetro de 3.2 a 4.8 mm (1/8 a 3/16") en una posición tal, que permita comparar el tamaño de la llama de ensayo con él.

- A.4** *Calentador* – El calor puede ser suministrado por cualquier fuente apropiada. El uso de un quemador de gas o incluso de una lámpara de alcohol está permitido pero, bajo ninguna circunstancia, se permite que productos de combustión o de llama libre envuelvan la copa de ensayo. Es preferible el uso de un calentador eléctrico que se pueda regular manual o automáticamente. La fuente de calor se debe colocar centrada bajo el orificio de la placa de calentamiento, debiéndose evitar los sobrecalentamientos locales. Los calentadores de llama se deben proteger de las corrientes de aire o de radiaciones excesivas empleando cualquier protector adecuado, que no supere el nivel de la superficie superior de la placa de calentamiento.
- A.5** *Soporte del dispositivo de medida de la temperatura* – Cualquier dispositivo que permita sostener el termómetro en la posición especificada durante el ensayo y que, además, permita la fácil remoción de éste una vez terminado el ensayo.
- A.6** *Soporte de la placa calentadora* – Cualquier soporte adecuado que la sostenga a nivel y con firmeza.
- A.7** *Pantalla de protección (opcional)* – Para evitar las corrientes de aire durante el ensayo, se puede utilizar una pantalla de base cuadrada, de unos 410 mm de lado y 610 mm de altura, y abierta frontalmente.

ANEXO B (Aplicación obligatoria)

VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL APARATO

B.1 *Material de referencia certificado (CRM)* – El CRM es un hidrocarburo o cualquier derivado del petróleo estable y con 99% o más de pureza molar, al cual se le ha establecido previamente el punto de inflamación, a través de un método específico y con base en estudios entre laboratorios, siguiendo las guías ASTM RR: D02–1007 o las guías ISO 34 y 35.

B.1.1 En la Tabla 709B - 1 se presentan los valores típicos de los puntos de inflamación, corregidos por la presión barométrica, para algunos materiales de referencia, así como sus límites típicos. Quienes suministren materiales CRM, deberán entregar certificados indicando el método específico de determinación del punto de inflamación para cada lote del material. Los límites para materiales diferentes de los mencionados en la tabla se pueden determinar a partir de los valores de reproducibilidad de este método de ensayo, reducidos por el efecto interlaboratorio y multiplicados luego por 0.7 (Ver Research Report RR: S 15–1008 de la ASTM).

Tabla 709B - 1. Valores típicos de punto de inflamación y límites típicos para CRM

HIDROCARBURO	% PUREZA MOLAR	PUNTO DE INFLAMACIÓN (° C)	LÍMITES (°C)
Tetradecano	99 +	115.5	± 8
Hexadecano	99 +	138.8	± 8

B.2 *Patrón secundario de trabajo (SWS)* – El SWS es un hidrocarburo o cualquier derivado del petróleo estable y con 99 % o más de pureza molar, del cual se sabe que su composición permanece apreciablemente estable.

B.2.1 Se establece el promedio de las determinaciones del punto de inflamación y los límites de control estadístico (3 veces la desviación estándar) para el SWS, empleando técnicas estadísticas normales.

ANEXO C (Informativo)

TÉCNICA PARA PREVENIR LA FORMACIÓN DE COSTRA EN ASFALTOS DURANTE LA EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE PUNTOS DE INFLAMACIÓN Y DE COMBUSTIÓN SEGÚN ESTA NORMA DE ENSAYO

C.1 *Introducción*

C.1.1 La técnica que se describe en este Anexo, fue desarrollada por Imram Hussami de la compañía de refinación Frontier El Dorado.

C.2 *Materiales*

C.2.1 *Papel de filtro* – No. 417 o equivalente, de 7.5 cm de diámetro.

C.2.2 *Anillo tensor de restricción* – Debe ser de alambre metálico, de forma circular, pero con dobleces interiores rectos de longitud 15 mm y paralelos uno a otro, como lo muestra la Figura 709C - 1. Las dimensiones del anillo son: alambre metálico de 2 mm de espesor, de 62 a 63 mm de diámetro exterior con extremos doblados que se separan 15 mm de la circunferencia del anillo. La longitud total del alambre es, más o menos, 210 mm. Se puede usar un gancho de alambre de colgar ropa para fabricar el anillo de tensión.

C.2.3 *Perforadora de un solo orificio* – Capaz de perforar en el centro del papel de filtro un agujero de 6 mm de diámetro.

C.3 *Procedimiento*

C.3.1 Se ubica el centro del papel de filtro con ayuda de una regla. Empleando la perforadora, se perfora un orificio de 6 mm de diámetro en el centro del papel de filtro.

C.3.2 Se doblan los bordes del papel de filtro, cerca de 6 mm por todo su alrededor y se lo coloca en el fondo de la copa de Cleveland, con los 6 mm de los bordes doblados hacia arriba.

C.3.3 Se coloca el anillo tensor de restricción ajustado sobre la parte curvada del papel filtro en el fondo de la copa (el anillo de tensión previene que el papel filtro se mueva hacia arriba durante el ensayo).

- C.3.4** Se llena la copa con la muestra, hasta 4 a 5 mm por debajo de la marca de llenado (esto es para compensar la muestra que es absorbida por el papel de filtro, la cual será liberada durante el ensayo). **Precaución:** Llenar la copa con la muestra hasta la línea marcada puede producir resultados prematuros del punto de inflamación.
- C.3.5** Se inicia el ensayo, usando un aparato manual o automático, y se determina el punto de inflamación.
- C.3.6** Se reporta el punto de inflamación corregido por la presión barométrica, con aproximación a 1° C.

Nota C.1: El uso de esta técnica alternativa puede causar burbujeo en algunas muestras y éste, a su vez, puede interferir con la detección del punto de inflamación en un aparato automático y, así mismo, puede causar una baja velocidad de calentamiento en la misma muestra

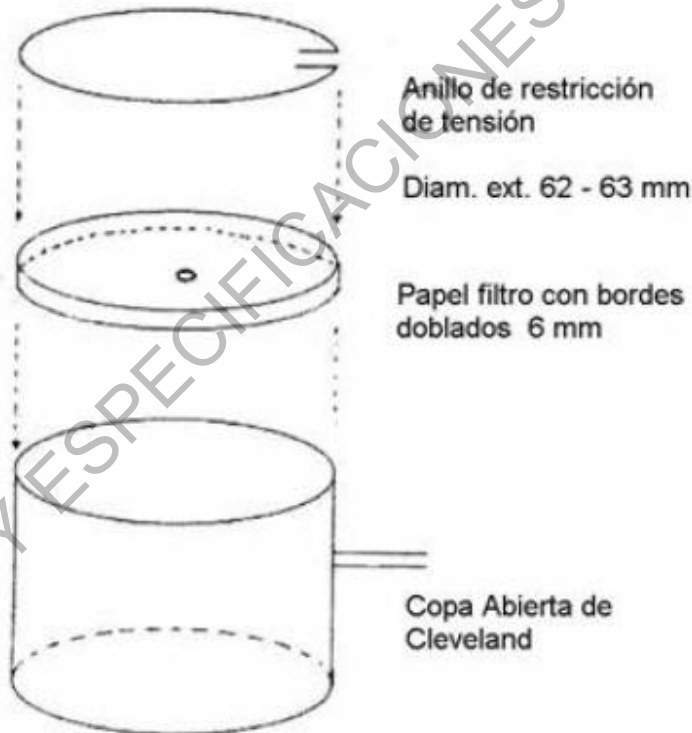


Figura 709C - 1. Técnica para prevenir la formación de costra en la superficie de muestras de asfalto en desarrollo del ensayo de punto de inflamación según el método de esta norma

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

PUNTO DE INFLAMACIÓN DE ASFALTOS LÍQUIDOS MEDIANTE LA COPA ABIERTA TAG

INV E – 710 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere a la determinación del punto de inflamación de un asfalto líquido que tenga un punto de inflamación menor de 93.3° C (200° F), empleando el aparato de copa abierta Tag.

Nota 1: Generalmente, las especificaciones asignan el método de la copa abierta de Cleveland para cementos asfálticos y asfaltos líquidos que tengan puntos de inflamación por encima de 79° C (175° F).

- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-710-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Se coloca la muestra en la copa del aparato Tag y se calienta a una velocidad lenta y constante. Se pasa, a intervalos especificados, una pequeña llama de ensayo siguiendo un plano a nivel, a través de la copa, con una rata uniforme. El punto de inflamación es la temperatura más baja a la cual la aplicación de la llama de ensayo hace producir un destello al vapor presente en la superficie del líquido.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Los resultados obtenidos al aplicar esta norma permiten verificar si un asfalto líquido ha sido preparado con un solvente que cumpla el rango especificado de inflamabilidad y si no ha sido contaminado con solventes de menor punto de inflamación.

- 3.2** Esta norma debe ser considerada únicamente como la respuesta de un determinado material inflamable ante el calor o el fuego en condiciones especiales de laboratorio, por lo que no se debe utilizar para estimar o valorar el peligro real de incendio que puedan presentar estos productos bajo otras circunstancias. Los resultados del ensayo son, sin embargo, útiles para poder establecer niveles de riesgo en el manejo de estos productos, una vez que se hayan tenido en cuenta todos los factores de incidencia en cada caso en particular.

4 EQUIPO

4.1 *Equipo de ensayo copa abierta Tag (de operación manual)* – El aparato está conformado por las siguientes partes, las cuales deben cumplir con las dimensiones mostradas en las Figuras 710 - 1, 710 - 2 y 710 - 3.

4.1.1 *Baño de cobre* – Equipado con un rebosadero para mantener constante el nivel del líquido, a 3.2 mm (1/8") por debajo del borde superior de la copa de vidrio.

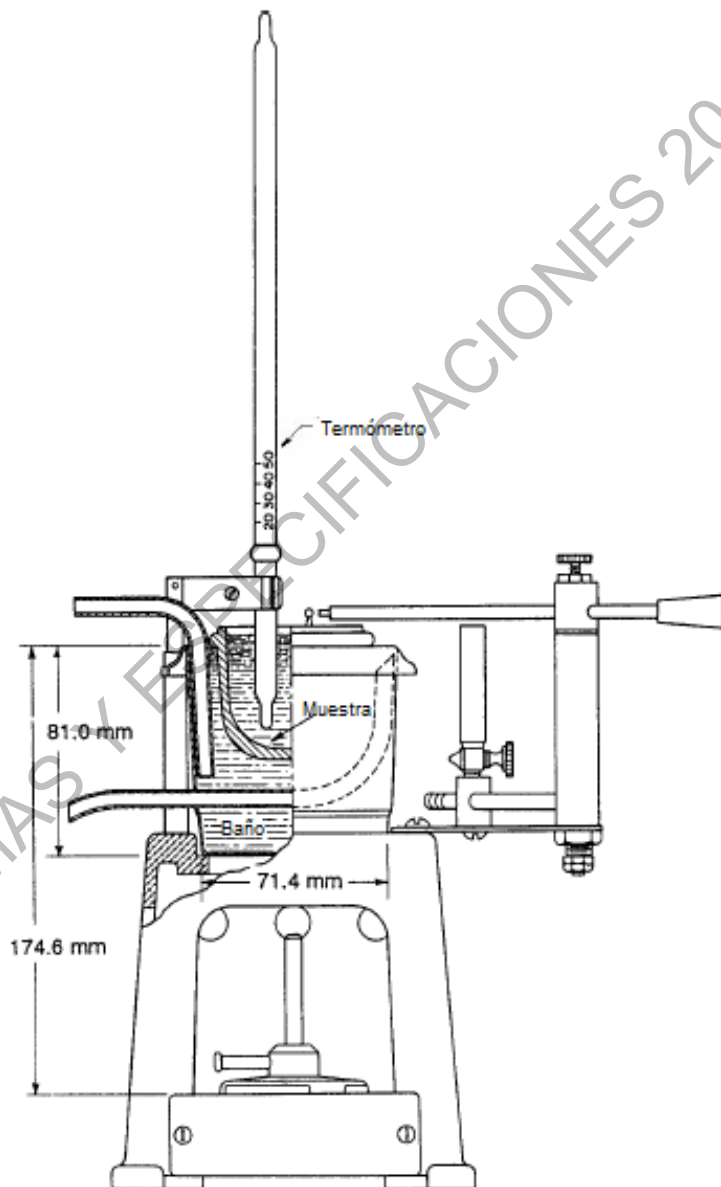


Figura 710 - 1. Equipo de la copa abierta Tag para el ensayo del punto de inflamación

- 4.1.2** *Soporte del termómetro* – Montado en el aparato como se muestra en la Figura 710 - 1, para mantener firmemente el termómetro en posición vertical.
- 4.1.3** *Copa de ensayo (Figura 710 - 2)* – De vidrio transparente, moldeado, templado, resistente al calor y libre de defectos superficiales.
- 4.1.4** *Placa de enrase* – Para el ajuste adecuado del nivel de líquido en la copa. Consiste en una lámina de aluminio pulimentado o acero inoxidable, con la forma y dimensiones mostradas en la Figura 710 - 3, provista de dos salientes triangulares para ajustar el nivel del líquido en la copa de vidrio a 3.2 mm (0.125 ") por debajo de su borde superior. La placa lleva, además, dos agujeros calibrados para ajustar el tamaño de la llama de ensayo y la altura del aplicador de la llama por encima del borde de la copa.
- 4.1.5** *Elemento de calefacción* – El quemador será de gas, pequeño, de dimensiones adecuadas para calentar el baño. Se puede emplear una abrazadera de tornillos para ayudar a regular el gas. También, se puede utilizar un calentador eléctrico pequeño con reóstato.

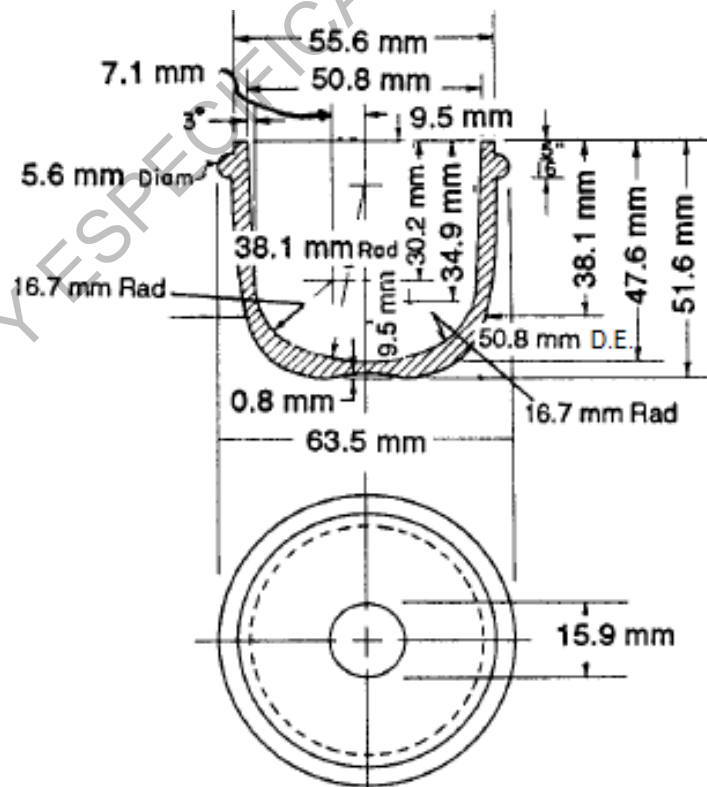


Figura 710 - 2. Copa de vidrio para el ensayo

4.1.6 Aplicador de la llama de ensayo – El dispositivo de ignición está formado por un pequeño mechero de gas tipo soplete, terminado en una boquilla de, aproximadamente, 1.6 mm (1/16") de diámetro, con orificio de 0.8 mm (0.03") de diámetro. El aplicador debe estar montado de forma que la boquilla se pueda desplazar en un plano horizontal por encima de la copa de ensayo, mediante un mecanismo giratorio que permita a la llama de ensayo describir un arco de circunferencia con un radio mínimo de 152.4 mm (6"). Es conveniente instalar en algún emplazamiento apropiado un pequeño abalorio de 4.0 mm (5/32") de diámetro, para verificar el calibre de la llama de ensayo. Si se monta cerca del final del aplicador, una parte de la punta de la boquilla se deberá extender, al menos, 3 mm (1/8") más allá del abalorio.

4.1.7 Pantalla de protección – Se puede colocar un protector contra corrientes de aire, conformado por dos láminas rectangulares de material incombustible de 610 × 710 mm (24 × 28") unidas por el lado de 710 mm (28"), preferiblemente mediante bisagras. Para cubrir la pantalla cuando esté abierta, se deberá fijar mediante bisagras a una de las hojas laterales una lámina triangular de 610 × 610 × 860 mm (24 × 24 × 34"). El interior de la pantalla de protección se deberá pintar de color negro mate, si se usa con el equipo manual. Si el sitio donde está instalado el equipo no está afectado por corrientes de aire, la pantalla resulta innecesaria.

4.2 Termómetro – Se deberá emplear un termómetro de mercurio de bajo rango, de – 5 a 110° C (20 a 230° F), graduaciones cada 0.5° C y 57 mm de inmersión, conforme con los requerimientos para los termómetros de referencia 9 C o 9 F de la ASTM. Alternativamente, se pueden emplear medidores eléctricos de temperatura, tales como termocuplas o termómetros de resistencia, que presenten la misma respuesta que el termómetro de mercurio.

Nota 2: El dispositivo para medir la temperatura se deberá calibrar de acuerdo con las instrucciones de su fabricante.

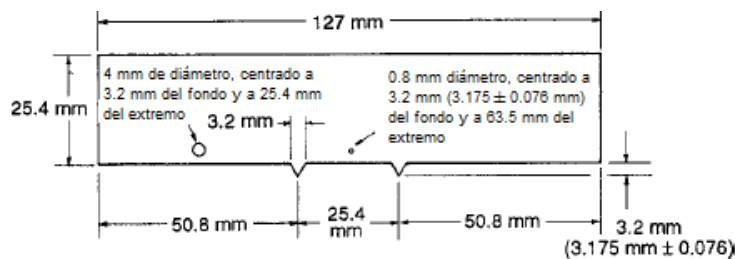


Figura 710 - 3. Placa de enrase (para ajustar el nivel del líquido en la copa de ensayo y para calibrar la altura de la llama de ensayo y el tamaño de la llama)

5 REACTIVOS Y MATERIALES

5.1 Medios para el baño:

- 5.1.1 *Agua* – Para productos con punto de inflamación hasta de 79° C (175° F).
- 5.1.2 *Solución acuosa de glicol (1 + 1)* – Para puntos de llama por encima de 79° C (175° F).

5.2 *Solventes para limpieza* – De grado técnico, apropiados para limpiar el material asfáltico que quede adherido a la copa luego del ensayo, así como para secarla.

6 MUESTRA DE ENSAYO

6.1 Se debe obtener una muestra representativa, según la norma INV E-701.

6.2 La muestra se deberá transferir a la copa del aparato de ensayo a una temperatura no mayor de 10° C (18° F) por debajo del punto de inflamación supuesto. Se pueden obtener resultados erróneos, si no se toman precauciones para evitar la evaporación de materiales volátiles. No se debe abrir innecesariamente el recipiente donde se guarda la muestra, para prevenir pérdidas de volátiles o ingreso de humedad. Siempre que sea posible, el punto de inflamación debiera ser primer ensayo a realizar sobre una muestra de asfalto.

7 PREPARACIÓN DEL EQUIPO

7.1 Se coloca el equipo de ensayo en una posición nivelada sobre una mesa sólida, libre de vibraciones, en un lugar aislado de corrientes de aire. La parte superior del equipo se deberá proteger de la luz fuerte, de manera que la llama se pueda ver fácilmente. Durante el ensayo, se deberá mantener una temperatura ambiente de $25 \pm 5^\circ \text{C}$ ($77 \pm 9^\circ \text{F}$).

7.2 Se ajustan las posiciones horizontal y vertical del aplicador de la llama de ensayo. El centro del orificio del aplicador se deberá mover sobre un arco de circunferencia con un radio de 152 mm (6.0") y en un plano situado 3.2 mm (0.13") por encima del borde superior de la copa. La llama de ensayo deberá

pasar a través del centro de la copa en ángulos rectos con el diámetro que pasa a través del termómetro. Estos ajustes se deberán hacer únicamente cuando se requieran, ya que usualmente el aparato se emplea de manera continua para series de ensayos.

Nota 3: La placa de enrase se emplea como elemento de calibración para ajustar la altura del aplicador.

- 7.3** Si se requiere la pantalla de protección, se coloca de manera que sus lados formen un ángulo recto y el equipo de ensayo se encuentre cerca de la parte posterior de ella.

8 PROCEDIMIENTO

8.1 Aparato de operación manual:

8.1.1 Se coloca la copa de vidrio en el baño metálico y se ajusta el soporte del termómetro de manera que éste quede firmemente soportado en una posición vertical, equidistante del centro y del borde interior de la copa, y sobre una línea que pase a través del centro de la copa y del eje de rotación del aplicador. El termómetro se debe ubicar de modo que su extremo inferior quede 6.3 mm (¼") por encima del fondo interior de la copa.

8.1.2 Se llena el baño metálico con agua o con la solución acuosa de glicol, a una temperatura máxima igual a 10° C (18° F) por debajo del probable punto de inflamación del material que va a ser ensayado. Cuando se emplee agua, la fría de grifo es satisfactoria en la mayoría de los casos y se puede introducir dentro de la cámara entre el baño y la copa de la muestra, hasta que se note un ligero exceso de flujo en el pico de rebose.

8.1.3 Se apoya la placa de enrase sobre el borde de la copa y se llena ésta con el material que va a ser ensayado, hasta que el nivel toque exactamente las salientes triangulares de la placa de enrase. (Aproximadamente a 3.2 mm (1/8") por debajo del borde de la copa).

Nota 4: La muestra de ensayo deberá estar a 10° C (18° F) por debajo del punto de inflamación anticipado o a una temperatura menor.

8.1.4 Se enciende la llama de ensayo y se ajusta a un diámetro aproximadamente igual al del abalorio pero, en ningún caso, mayor de 4 mm (5/32").

Nota 5: Algunos equipos traen un orificio para comparación de 4 mm de diámetro en la placa de enrase, en lugar del abalorio.

- 8.1.5** Se aplica calor al líquido del baño, regulándolo para conseguir una velocidad de aumento de temperatura de 1° C (2° F) por minuto \pm 6 s.

Nota 6: Durante el proceso de determinación de los puntos de inflamación y de combustión de líquidos viscosos o que tiendan a formar costra en la superficie de la muestra, se recomienda aplicar el siguiente procedimiento: Unos 15 s antes de pasar el aplicador de la llama de ensayo, se inserta en la muestra el extremo de una varilla de agitación en posición vertical y una profundidad de unos 13 mm (½"). Se mueve la varilla tres o cuatro veces de un lado al otro de la copa, siguiendo más o menos la misma trayectoria del aplicador. Se retira la varilla y se continúa con el procedimiento normal de ensayo.

- 8.1.6** Cuando la temperatura de la muestra se encuentre 10° C (18° F) por debajo del punto de inflamación supuesto, se realiza un ajuste final al nivel de la muestra en la copa de ensayo (una jeringa o un gotero constituyen un medio conveniente para adicionar o remover muestra de la copa). A intervalos sucesivos de 1° C (2° F), se pasa la llama de ensayo por encima de la muestra con un movimiento suave y continuo, de manera que el tiempo empleado para efectuar el barrido de la llama de ensayo a través de la copa, sea de 1 s. La primera pasada se debe efectuar inmediatamente después del ajuste final del nivel de la muestra. Cada pasada deberá ser en una sola dirección y el aplicador se deberá mantener en la posición apagada en uno y otro extremo del giro, excepto cuando se aplica la llama a la muestra.
- 8.1.7** Se registra como punto de inflamación, la lectura de la temperatura en el momento en que la aplicación de la llama de ensayo cause un destello distintivo nítido en el interior de la copa.

9 CÁLCULOS

- 9.1** Si la presión barométrica real del ambiente en el momento del ensayo difiere de 101.3 kPa (760 mm Hg), se deben corregir los puntos de inflamación y/o de combustión, de la siguiente forma:

$$\text{Punto de inflamación corregido} = C + 0.25 (101.3 - K) \quad [710.1]$$

$$\text{Punto de inflamación corregido} = F + 0.06 (760 - P) \quad [710.2]$$

$$\text{Punto de inflamación corregido} = C + 0.033 (760 - P) \quad [710.3]$$

- Donde: C: Punto de inflamación observado, °C;
- F: Punto de inflamación observado, °F;
- P: Presión barométrica del ambiente, mm Hg;
- K: Presión barométrica del ambiente, kPa.

Nota 7: La presión barométrica usada en estos cálculos es la del ambiente en el laboratorio en el instante del ensayo. Muchos barómetros aneroides, como los usados en las estaciones meteorológicas de los aeropuertos, son pre-correctados para dar lecturas correspondientes al nivel de mar y, por lo tanto, no suministran una lectura correcta para este ensayo.

10 INFORME

- 10.1** Se informa el punto de inflamación corregido, determinado en la copa abierta de Tag, redondeado a 1° C (2° F).

11 PRECISIÓN Y SESGO

11.1 Precisión:

11.1.1 Repetibilidad – La desviación estándar para ensayos realizados por un mismo operador ha sido establecida en 3.7° C (7° F); por lo tanto, los resultados obtenidos en dos determinaciones realizadas por un mismo operador sobre un mismo asfalto, no deben diferir en más de 10° C (18° F).

11.2 Reproducibilidad – La desviación estándar para ensayos realizados en diferentes laboratorios ha sido establecida en 5.4° C (10° F); por lo tanto, los resultados de dos ensayos correctamente realizados en diferentes laboratorios, empleando dos muestras diferentes de mismo asfalto, no deben diferir en más de 15° C (27° F).

11.3 Sesgo – El procedimiento descrito en esta norma no tiene sesgo, por cuanto el punto de inflamación solo se puede definir en términos de este método de ensayo.

12 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 3143 – 08

CONSISTENCIA DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS MEDIANTE EL FLOTADOR

INV E – 711 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento a seguir para realizar el ensayo del flotador en los cementos asfálticos utilizados en la construcción de carreteras.
- 1.2 Mediante este ensayo se puede determinar, también, la consistencia de algunos tipos de materiales asfálticos que resultan demasiado fluidos para someterlos al ensayo de penetración.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 El ensayo consiste en rellenar con el material asfáltico caliente el interior de una pieza metálica en forma de tronco de cono, denominada collar, el cual, una vez frío el material, se enrosca en el fondo una cazuela (flotador). El conjunto se hace flotar en un baño de agua a temperatura especificada, midiéndose el tiempo que tarda el agua del baño en ingresar al interior del flotador a través del material asfáltico reblandecido.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 El ensayo es útil para determinar la consistencia del asfalto, como uno de los parámetros empleados en la verificación de la uniformidad de los despachos o de las fuentes de suministro.
- 3.2 Se han establecido relaciones empíricas entre el resultado de este ensayo y la viscosidad del producto bituminoso a la temperatura de la prueba.

4 EQUIPO

- 4.1 *Flotador (Figuras 711 - 1 y 711 - 2)* – Consiste en una cazuela metálica en forma de casquete esférico, con un orificio roscado en su parte inferior, en el cual se atornilla el collar descrito en el numeral 4.2. Está construido de

aluminio o de una aleación de aluminio, con la forma y dimensiones mostradas en la Figura 711 - 2.

- 4.2** *Collar (Figuras 711 - 1 y 711 - 2)* – Formado por una pieza de bronce o latón, en forma de tronco de cono. Su forma y dimensiones se detallan, también, en la Figura 711 - 2.
- 4.3** *Calibración del aparato* – El conjunto formado por el flotador con el collar enroscado en él y lleno con la muestra, deberá tener una masa total de 53.2 g. Una vez colocado el conjunto en el agua y flotando como lo muestra la Figura 711 - 3, deberá quedar una altura libre desde la superficie del agua hasta el borde superior del flotador de 8.5 ± 1.5 mm. La calibración de la masa del flotador tiene por objeto ajustar esta profundidad de inmersión.
- 4.4** *Termómetro* – Un termómetro de los utilizados para el ensayo de punto de ablandamiento, de las siguientes características:

REFERENCIA ASTM	ESCALA °C	GRADUACIONES °C	LONGITUD TOTAL mm	ERROR MÁXIMO °C
15C	-2 a 80	0.2	370 a 380	0.2

- 4.4.1** En lugar del termómetro convencional se puede emplear un termopar (termocupla) tipo K, de alambre calibre 30 AWG (American Wire Gauge), con un rango de temperatura de 25° C a 260° C o más amplio, y una sensibilidad aproximada de $41\mu\text{V}/^\circ$. Su longitud debe oscilar entre 61 y 76 cm. El dispositivo deberá cumplir lo exigido en las tablas temperatura/voltaje del NIST (*National Institute of Standards and Technology*).
- 4.5** *Baño de ensayo* – Un baño circular con un diámetro interior no menor de 185 mm y de 185 mm de altura de agua contenida; o un baño rectangular con dimensiones internas iguales o mayores de 150 mm de ancho y 300 mm de largo, con un nivel de agua de, por lo menos, 110 mm de fondo. En ambos casos, la altura de la superficie del baño por encima del nivel de agua será de 40 mm. El baño deberá disponer de un soporte para sostener en posición apropiada el dispositivo de medida de la temperatura durante la ejecución del ensayo. El baño se podrá calentar con electricidad, a gas u otro sistema idóneo.

- 4.6 *Baño de agua a 5° C* – Un baño de agua, de dimensiones apropiadas, mantenido a $5.0 \pm 1.0^\circ \text{C}$ mediante hielo fundente.
- 4.7 *Placa de bronce o latón* – Plana y pulida, de 75 mm x 50 mm, tratada con un producto antiadherente del asfalto. Para esta finalidad se pueden emplear, entre otros, talco, caolín o una mezcla a partes iguales de glicerina y dextrina.
- 4.8 *Cronómetro.*
- 4.9 *Espátula o cuchillo.*



Figura 711 - 1. Flotador y collar

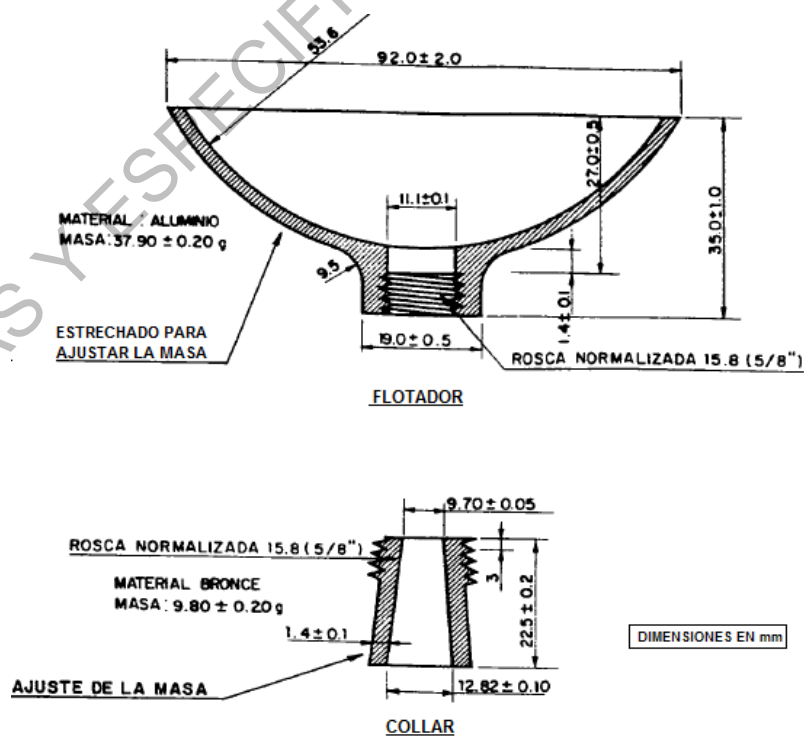


Figura 711 - 2. Dimensiones del flotador y del collar

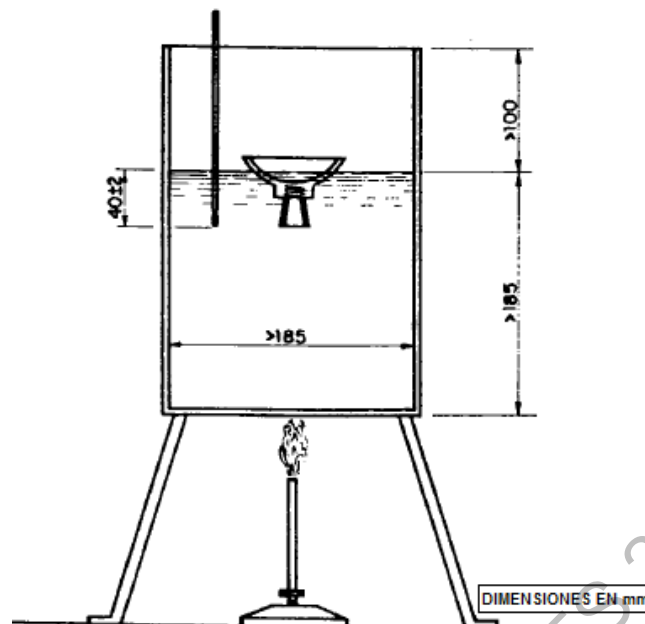


Figura 711 - 3. Calibración del aparato

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1 Se coloca el collar, apoyado sobre su base menor, en la base de bronce tratada con el producto antiadherente.
- 5.2 Se calienta cuidadosamente la muestra del material asfáltico, agitándola en cuanto su consistencia lo permita y evitando sobrecalentamientos locales, hasta que presente la fluidez suficiente para verterla. Durante la agitación se debe evitar la inclusión de burbujas de aire. A continuación, se vierte la muestra dentro del collar hasta que su nivel sobresalga ligeramente por encima del borde del mismo.
- 5.3 Se deja enfriar la muestra dentro del collar a temperatura ambiente, durante un período de 15 a 60 minutos. A continuación, y sin despegar el collar de la placa, se sumerge el conjunto en el baño de agua a 5° C durante 5 minutos, después de los cuales se saca de allí y, con ayuda de una espátula o un cuchillo caliente, se enrasa el exceso de asfalto que sobresale de la base mayor del collar. Se coloca de nuevo el conjunto de collar y placa en el baño de agua a 5° C durante un lapso de 15 a 30 minutos.
- 5.4 Se calienta el baño de ensayo a la temperatura escogida para el ensayo, la cual se deberá mantener toda la duración de éste con una precisión de $\pm 0.5^{\circ}$ C, sin emplear agitación. La temperatura se mide sumergiendo el termómetro en el

baño hasta que su extremo inferior quede a una profundidad de 40 ± 2 mm, medida desde la superficie del agua.

- 5.5 Una vez completado el segundo período de inmersión en el baño de agua a 5° C, se separa el collar de la placa deslizándolo lateralmente y se enrosca completamente en el fondo del flotador, sumergiendo el conjunto flotador-collar en el mismo baño de agua a 5° C durante 1 minuto.
- 5.6 Se saca el conjunto flotador-collar del baño de agua a 5° C, se elimina el agua que pueda haber en el interior del flotador y se comienza el ensayo, colocando el conjunto sobre la superficie del agua del baño de ensayo, verificando que no entre agua al flotador a través del collar. En ese mismo instante, se pone a funcionar un cronómetro. Durante el ensayo, el flotador se puede desplazar lateralmente, pero no debe rotar. Debido a la temperatura a la cual se encuentra este baño, el cemento asfáltico se va reblandeciendo paulatinamente y haciéndose más fluido, hasta que, finalmente, la presión del agua la hace irrumpir en el interior del flotador provocando su hundimiento (figura 4). En este momento se detiene el cronómetro (Figura 711 - 4).

Nota 1: Durante el ensayo se debe verificar que el ajuste entre el collar y el flotador es correcto y que no se produce filtración de agua al interior de éste.

6 CÁLCULOS E INFORME

- 6.1 El tiempo, en segundos, transcurrido desde la colocación del conjunto en el baño de ensayo hasta la entrada del agua en el flotador, se toma como la consistencia del material a la temperatura de ensayo. El valor obtenido se reporta redondeado a 1 s.



Figura 711 - 4. Irrupción del agua dentro del flotador

7 PRECISIÓN Y SESGO

- 7.1 Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados sobre cementos asfálticos se presentan en la Tabla 711 - 1.

Tabla 711 - 1. Precisión

ENSAYOS A 60° C	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (% DE LA MEDIA)	DIFERENCIA ACEPTABLE ENTRE 2 RESULTADOS (% DE LA MEDIA)
<i>Precisión de un solo operador:</i> Cementos asfálticos de penetración 120 o más	1.7	4.8
<i>Precisión entre varios laboratorios:</i> Cementos asfálticos de penetración 120 o más	10.7	30.2

8 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

ASTM D139-07

JOSÉ MARÍA MUÑOZ CEBRIAN & F. DO PINO GONZÁLEZ, "El ensayo del flotador, un método sencillo para determinar las propiedades reológicas de los betunes asfálticos entre 40° y 80° C", Memorias del Segundo Congreso Latinoamericano del Asfalto, Tomo 1, Páginas 135 a 150

ANEXO A (Informativo)

ESTIMACIÓN DE LA VISCOSIDAD ABSOLUTA DE UN CEMENTO ASFÁLTICO A PARTIR DEL RESULTADO DEL ENSAYO DEL FLOTADOR

- A.1 Los autores del informe mencionado en el Sección 8 comprobaron que, dentro del rango 40 – 80° C, existe una correspondencia satisfactoria entre el tiempo determinado en el ensayo del flotador y la viscosidad absoluta de los cementos asfálticos, y establecieron una equivalencia entre los segundos del flotador y la viscosidad en centiPoises, mediante la ecuación:

$$V = 1038T - 81\,374$$

[711.1]

Donde: T: Consistencia del asfalto en el ensayo del flotador a una temperatura en el rango 40 – 80° C, s;

V: Viscosidad a la misma temperatura, cP;

A.1.1 El coeficiente de correlación de la ecuación es 0.989.

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE MATERIALES BITUMINOSOS (APARATO DE ANILLO Y BOLA)

INV E – 712 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma se refiere a la determinación del punto de ablandamiento de productos bituminosos en el intervalo de 30 a 157° C (86 a 315° F), utilizando el aparato de anillo y bola sumergido en agua destilada (30 a 80° C) o en glicerina USP (más de 80 hasta 157° C).
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-712-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Punto de ablandamiento en el aparato de anillo y bola* – Temperatura (grados Celsius) medida en el líquido del baño, en el instante en el que se produce el contacto entre la masa bituminosa y la placa de referencia, en las condiciones descritas en esta norma.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1 Dos discos horizontales de material bituminoso, fundidos entre anillos de latón, se calientan a una velocidad controlada en un baño líquido, mientras cada uno de ellos soporta una bola de acero. El punto de ablandamiento se considera como el valor medio de las temperaturas a las cuales los dos discos se ablandan lo suficiente, para que cada bola envuelta en material bituminoso caiga una distancia de 25 mm (1").

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1 Los productos bituminosos son materiales visco-elásticos y no cambian del estado sólido al estado líquido a una temperatura definida, sino que se tornan gradualmente más blandos y menos viscosos a medida que se eleva la temperatura. Por esta razón, el punto de ablandamiento se debe determinar

por medio de un método arbitrario pero muy definido, que produzca resultados reproducibles y comparables.

- 4.2** El punto de ablandamiento es útil en la clasificación de los productos bituminosos y es un buen indicador de la tendencia del material a fluir cuando está sometido a temperaturas elevadas durante su vida de servicio. También, sirve para establecer la uniformidad de los suministros del producto y de las fuentes de abastecimiento.

5 EQUIPO

- 5.1** *Anillos* – De latón, de bordes cuadrados, conforme con las dimensiones mostradas en la Figura 712 - 1a.
- 5.2** *Placa de base* – Plana, hecha de material no absorbente, con espesor suficiente para prevenir la deformación y de tamaño adecuado [50 × 75 mm (2 × 3")] para mantener dos o más anillos.
- 5.3** *Bolas* – Dos esferas de acero de 9.5 mm de diámetro (3/8"), cada una de ellas con una masa de 3.5 ± 0.05 g.
- 5.4** *Guías para el centrado de las bolas* – Dos guías de latón para centrar las bolas de ensayo, una en cada anillo, con la forma y dimensiones mostradas en la Figura 712 - 1b.
- 5.5** *Baño* – Vaso de vidrio que se pueda calentar, con un diámetro interno no menor de 85 mm, y una altura no inferior a 120 mm.
- Nota 1: Un vaso de precipitados de forma baja, tipo Griffin, de vidrio resistente al calor, cumple estos requisitos.*
- 5.6** *Soporte de los anillos y montaje* – Un soporte de latón, diseñado para sostener los dos anillos en posición horizontal, con la forma y dimensiones mostradas en la Figura 712 - 1d. El montaje completo se muestra en la figura 1d, con el fondo de los anillos colocado 25 mm (1") por encima de la superficie superior de la placa de referencia. La superficie inferior de esta placa deberá estar 16 ± 3 mm ($5/8 \pm 1/8$ ") por encima del fondo del baño.
- 5.7** *Termómetros* – Dos termómetros para punto de ablandamiento, a baja y alta temperatura, con las siguientes características:

REFERENCIA ASTM	ESCALA (° C)	GRADUACIONES (° C)	LONGITUD TOTAL (mm)	ERROR MÁXIMO (° C)
15 C	-2 a 80	0.2	397	0.2
16 C	30 a 200	0.5	397	0.3

5.7.1 Se puede usar cualquier otro tipo de termómetro, siempre y cuando tenga una exactitud igual o superior a la de los termómetros especificados.

5.7.2 El termómetro adecuado se deberá colocar en el montaje como se indica en la Figura 712 - 1d, cuidando que el extremo inferior del bulbo esté a nivel con la parte inferior de los anillos y a una distancia de éstos menor de 13 mm (0.5"), pero sin tocarlos.

5.8 *Aparatos automáticos* – Los aparatos normales se pueden sustituir por aparatos de funcionamiento semi-automático o automático que reproduzcan las mismas condiciones de ensayo que aquellos (Figura 712 - 2).

6 REACTIVOS Y MATERIALES

6.1 *Líquidos para el baño:*

6.1.1 *Agua destilada recién hervida* – Para evitar la formación de burbujas sobre la superficie del espécimen, las cuales pueden afectar los resultados del ensayo.

6.1.2 *Glicerina USP* – [**Precaución:** su punto de inflamación es de 160° C (320° F)].

6.2 *Productos antiadherentes* – Aceite de silicona, grasa, una mezcla de glicerina y dextrina, talco o arcilla china, para colocar sobre la placa de base, con el fin de evitar que el producto bituminoso se adhiera a ella cuando se llenan los anillos con el material bituminoso. Si se usan siliconas, se deben emplear guantes desechables de caucho para manejar los elementos untados con ellas; así mismo, se deben aislar de otros elementos del equipo de ensayo, pues la silicona puede producir contaminaciones que dan lugar a errores en los resultados de algunos ensayos sobre los asfaltos.

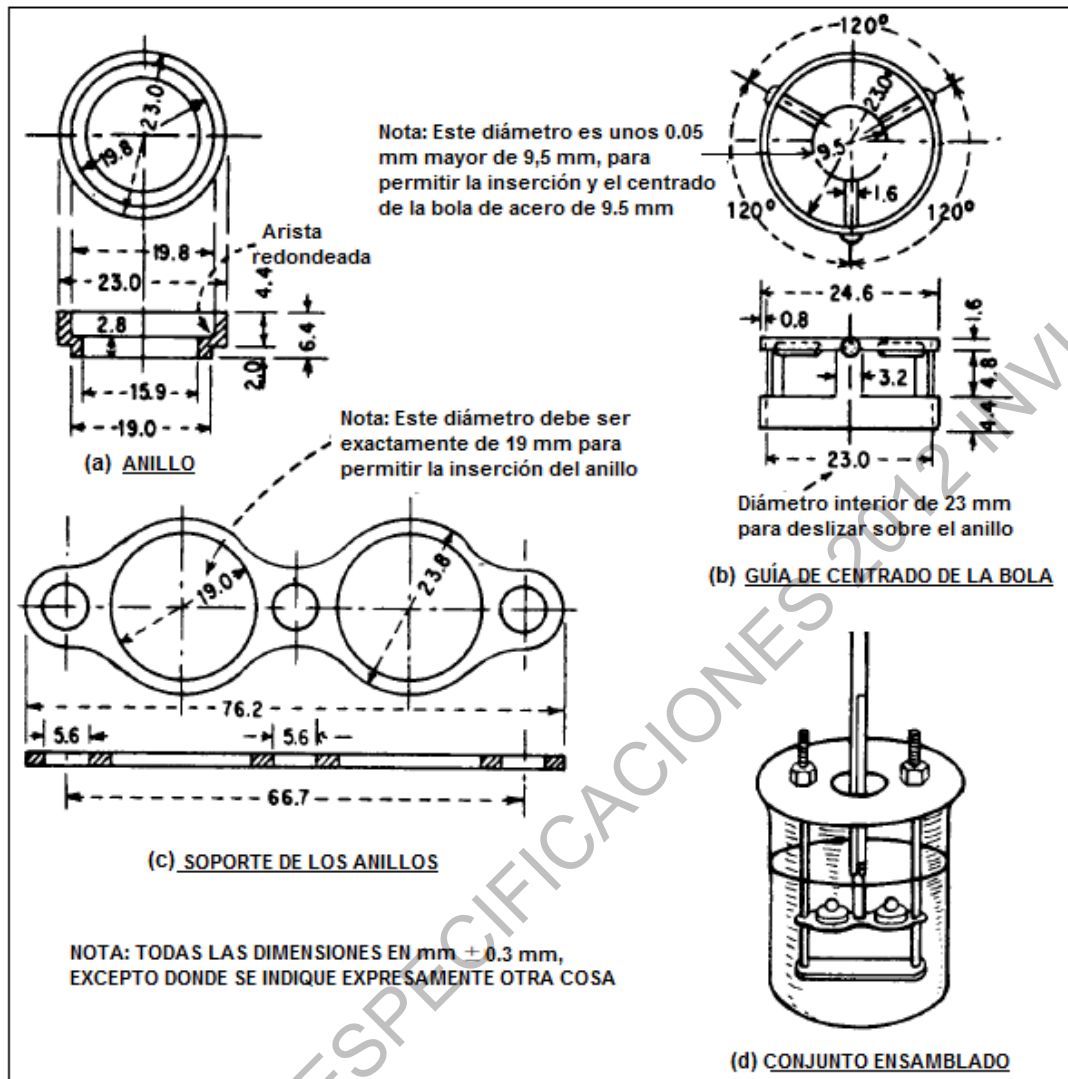


Figura 712 - 1. Aparato de anillo y bola

7 PREPARACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO

- 7.1 El material bituminoso se deberá muestrear de acuerdo con la norma INV E-701.
- 7.2 Antes de iniciar labores, se debe verificar que todo haya sido planeado (equipos, materiales, etc.) para terminar el ensayo en un lapso de 6 horas. Se calienta cuidadosamente la muestra de material bituminoso, agitando frecuentemente para evitar sobrecalentamientos localizados, hasta asegurar que esté suficientemente fluida para poderla verter (nota 2). Al agitarse, se deberá evitar la formación de burbujas.

Nota 2: Para este propósito, es útil una placa eléctrica de calentamiento con una potencia de 37 kW/m².

- 7.2.1** El calentamiento de la muestra no debe tomar más de 2 horas y, en ningún caso, la temperatura será mayor que 110° C (200° F) por encima del punto de ablandamiento esperado.
- 7.2.2** Si el ensayo se debe repetir, no se recalentará la misma muestra, sino que se deberá utilizar una muestra fresca.
- 7.3** Se calientan los dos anillos de latón sin la placa de base, aproximadamente a la misma temperatura de vertido del producto asfáltico, y se colocan sobre la placa de base que ha sido tratada con un producto antiadherente.
- 7.4** Se vierte el producto bituminoso dentro de los anillos con un ligero exceso, para que una vez frío, quede un sobrante de material por encima de su borde. Se deja enfriar a temperatura ambiente durante un mínimo de 30 minutos. Para materiales que son blandos a la temperatura ambiente, se enfrían los especímenes, al menos durante 30 minutos, a una temperatura inferior en no menos de 10° C (18° F) al punto de ablandamiento esperado. Desde el momento en que se forman los discos hasta la terminación del ensayo, no deberán transcurrir más de 240 minutos.
- 7.5** Cuando los especímenes se hayan enfriado, se corta el exceso de material de la parte superior, con un cuchillo o una espátula caliente, para que la superficie del disco coincida con el nivel superior del anillo.



Figura 712 - 2. Equipo automático para determinar el punto de ablandamiento

8 PROCEDIMIENTO

- 8.1** Dependiendo del punto de ablandamiento esperado, se escogen el baño líquido y el termómetro adecuado, entre los siguientes casos:
- 8.1.1** Baño con agua destilada recién hervida, para puntos de ablandamiento esperados entre 30 y 80° C (86 y 176° F); se debe usar un termómetro 15 C (o 15 F). La temperatura inicial del baño deberá ser de $5 \pm 1^\circ \text{C}$ ($41 \pm 2^\circ \text{F}$).
 - 8.1.2** Baño con glicerina USP, para puntos de ablandamiento esperados por encima de 80° C (176° F) y hasta 157° C (315° F); se debe usar un termómetro 16 C (o 16 F). La temperatura inicial del baño deberá ser de $30 \pm 1^\circ \text{C}$ ($86 \pm 2^\circ \text{F}$).
 - 8.1.3** Para ensayos con fines de referencia, todos los puntos de ablandamiento superiores a 80° C (176° F) se deberán determinar en un baño de glicerina, salvo que el cliente exija otra cosa.
- 8.2** Se hace el montaje de los aparatos en una campana de laboratorio, colocando los anillos con los especímenes, las guías para el centrado de las bolas y los termómetros en posición, y se llena el baño con el líquido apropiado, a la temperatura especificada (Ver numerales 8.1.1 y 8.1.2) hasta una altura de $105 \pm 3 \text{ mm}$ ($4 \frac{1}{8} \pm \frac{1}{8}''$), con el montaje en su lugar. Usando unas pinzas, se colocan las dos bolas en el fondo del baño para que adquieran la misma temperatura de iniciación que el resto del montaje.
- 8.3** Se coloca todo el conjunto del baño en agua con hielo, si es necesario, o se calienta muy suavemente, para alcanzar y mantener durante 15 minutos la temperatura de iniciación apropiada. Se debe cuidar de no contaminar el líquido del baño.
- 8.4** Usando otra vez las pinzas, se colocan las bolas centradas en sus guías correspondientes, sobre cada uno de los anillos del material a ensayar.
- 8.5** Se calienta el baño en forma pausada, con una rata constante de elevación de la temperatura de 5°C (9°F)/min (nota 3). De ser necesario, se colocará una pantalla para proteger el baño de la acción de corrientes de aire. No se debe promediar la velocidad de elevación de la temperatura durante el período del ensayo. La máxima variación permitida para un período de 1 minuto, después de transcurridos los 3 primeros minutos, será de $\pm 0.5^\circ \text{C}$ ($\pm 1^\circ \text{F}$). Se debe

anular y repetir cualquier ensayo en el cual la rata de elevación de la temperatura no caiga dentro de estos límites.

Nota 3: Ajustarse a la velocidad de calentamiento especificada es esencial para lograr la reproducibilidad de los resultados. Para el calentamiento se permite el uso de un mechero de gas o un plato caliente eléctrico; sin embargo el plato eléctrico precisa tener un sistema para incrementar la temperatura sin demora, y mantener la velocidad de calentamiento prescrita.

- 8.6** Se anota para cada pareja de anillo y bola, la temperatura indicada por el termómetro en el momento en que el producto bituminoso que rodea la bola, toque el fondo de la placa de referencia (Figura 712 - 3). No se debe hacer ninguna corrección por la parte del vástago del termómetro que no se encuentre sumergida. Si la diferencia entre las dos temperaturas excede de 1° C (2° F), el ensayo se considera inválido y se deberá repetir.

9 CÁLCULOS

- 9.1** El punto de ablandamiento por el método de anillo y bola se expresará como el valor medio de las dos determinaciones realizadas, según el numeral 8.6.
- 9.2** Para un espécimen de un producto bituminoso dado, el punto de ablandamiento determinado en un baño con agua, será inferior que el determinado con glicerina. Ya que la determinación del punto de ablandamiento es necesariamente arbitraria, esta diferencia es importante solamente para puntos de ablandamiento ligeramente por encima de los 80° C (176° F).
- 9.3** El cambio de agua por glicerina para puntos de ablandamiento por encima de 80° C, crea una discontinuidad. Con el redondeo, los más bajos puntos de ablandamiento que es posible obtener con baños de glicerina son del orden de 84.5° C (184° F). En estos casos, la corrección será de - 4.2° C (- 7.6° F). Si se necesita resolver una discrepancia, el ensayo se debe repetir en un baño de agua.
- 9.3.1** Bajo cualquier circunstancia, si el valor medio de las dos temperaturas determinadas en glicerina, es de 80.0° C (176° F) o menor, se deberá repetir el ensayo utilizando el baño de agua.
- 9.4** Para convertir puntos de ablandamiento determinados en agua que estén ligeramente por encima de 80° C (176° F), en puntos determinados en el baño de glicerina, la corrección es de + 4.2° C (+ 7.6° F). Para dilucidar discrepancias, se deberá repetir el ensayo en un baño de glicerina.

- 9.4.1** Bajo cualquier circunstancia, si el valor medio de las dos temperaturas determinadas en agua es de 85° C (185.0° F) o mayor, se deberá repetir el ensayo utilizando el baño de glicerina.

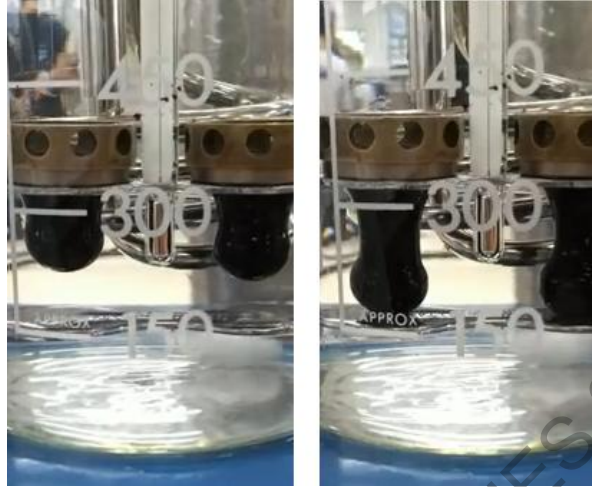


Figura 712 - 3. Terminación del ensayo de punto de ablandamiento

10 INFORME

- 10.1** Se informará el punto de ablandamiento promedio de la muestra ensayada.
- 10.1.1** Cuando se utilice un termómetro 15C (o 15F), las temperaturas se deben reportar con aproximación de 0.2° C (0.5° F).
- 10.1.2** Cuando se utilice un termómetro 16C (o 16F), las temperaturas se deben reportar con aproximación de 0.5° C (1.0° F).
- 10.2** Se informará la clase de líquido utilizado para el baño durante el ensayo.

11 PRECISIÓN Y SESGO

- 11.1** *Precisión* – Cuando se utilice agua destilada o glicerina USP, se emplearán los siguientes criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95 % de probabilidad):
- 11.1.1** *Precisión de un operador* – Se ha encontrado que la desviación estándar para un operador de este ensayo, es de 0.41° C (0.73° F). Por consiguiente, los resultados de dos ensayos efectuados correctamente

por el mismo operador, sobre la misma muestra de asfalto, no deberían diferir en más de 1.2° C (2.0° F).

11.1.2 *Precisión entre varios laboratorios* – La desviación estándar para este caso es de 0.70° C (1.26° F). Por consiguiente, los resultados de dos ensayos efectuados correctamente en dos laboratorios sobre la misma muestra de asfalto, no deberían diferir en más de 2.0° C (3.5° F).

11.2 *Sesgo* – El procedimiento descrito en esta norma no tiene sesgo, puesto que el valor de punto de ablandamiento de materiales bituminosos se define en términos de este método de prueba.

12 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D36/D36M – 09

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

SOLUBILIDAD DE MATERIALES ASFÁLTICOS EN TRICLOROETILENO

INV E – 713 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma de ensayo se refiere a la determinación del grado de solubilidad en tricloroetileno de materiales asfálticos que tengan poco o ningún material mineral.

Nota1: Esta norma no es aplicable ni a alquitranes ni a sus residuos de destilación, como tampoco a derivados de petróleo altamente craqueados.

- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-713-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** La muestra se disuelve en tricloroetileno y se pasa a través de una almohadilla de fibra de vidrio. El material insoluble se lava, se seca y se pesa.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Este método es una medida de la solubilidad del asfalto en tricloroetileno. La parte que es soluble representa los constituyentes cementantes activos del asfalto.

4 EQUIPO

- 4.1** El conjunto del aparato filtrante mostrado en la Figura 713 - 1, está compuesto por los siguientes elementos:

- 4.1.1** *Crisol Gooch* – Esmaltado interior y exteriormente con excepción del fondo exterior, con las siguientes dimensiones aproximadas: diámetro de 44 mm en la boca superior, ahusado hasta un diámetro de 36 mm en el fondo, y profundidad de 20 a 30 mm.

- 4.1.2** *Almohadilla de fibra de vidrio* – De 32 a 34 mm de diámetro, de porosidad fina, baja velocidad de flujo y retención de partículas de 1.5 μm .
- 4.1.3** *Matraz de vidrio (kitasato)* – De paredes resistentes, de 250 o 500 ml de capacidad, con tubo de desprendimiento.
- 4.1.4** *Alargadera para el crisol Gooch* – De 40 a 42 mm de diámetro interior.
- 4.1.5** *Tubo o adaptador de caucho* – Para sostener el crisol sobre la alargadera.

Nota 2: Se pueden emplear otros ensambles que permitan la filtración en vacío utilizando un crisol.

- 4.2** *Matraz Erlenmeyer* – De 125 ml y otro recipiente adecuado.
- 4.3** *Horno* – Capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).
- 4.4** *Desecador* – De tamaño adecuado, cargado con un desecante efectivo.
- 4.5** *Balanza analítica* – Con una capacidad de 200 g y una sensibilidad de 0.0001 g.
- 4.6** *Tapón de neopreno* – Con diámetro igual al de la boca del kitasato y con un orificio central para acomodar la alargadera.
- 4.7** *Bomba de vacío.*

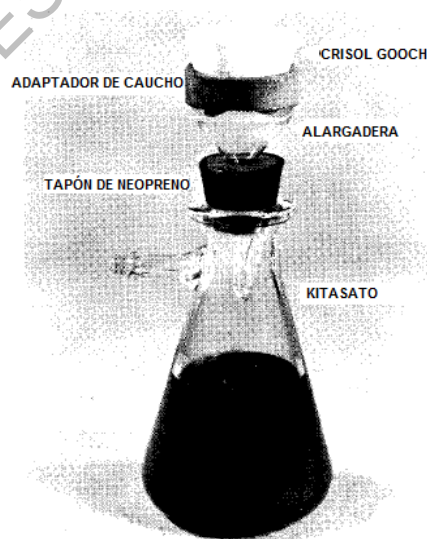


Figura 713 - 1. Ensamble del aparato de filtración

5 SOLVENTES

- 5.1 *Tricloroetileno* – De grado técnico.

6 PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

- 6.1 El tricloroetileno es tóxico; tomar o respirar niveles altos de tricloroetileno puede producir graves efectos sobre la salud. En presencia de llamas o resistencias calentadas al rojo, sus vapores se transforman en fosgeno, un gas sumamente tóxico; por lo tanto, se debe emplear en condiciones muy favorables de ventilación y no se debe fumar ni tener puntos de calor encendidos cuando se trabaje con él.

7 PREPARACIÓN DEL CRISOL

- 7.1 El aparato filtrante se debe armar tal como se muestra en la Figura 713 - 1. Se dispone un lecho de fibra de vidrio sobre el crisol, humedeciéndolo con el solvente que se vaya a utilizar y asentándolo firmemente en el fondo del crisol mediante una ligera succión efectuada con la bomba de vacío. Se seca en el horno el crisol con su contenido a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 10^\circ \text{F}$) durante 15 minutos. Se enfría en el desecador durante 30 ± 5 minutos y se determina su masa (A) con aproximación a 0.1 mg. Se almacena en un desecador hasta que llegue el momento de ser empleado.

8 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 8.1 Si la muestra no es fluida, se calienta con cuidado hasta una temperatura conveniente, pero en ningún caso mayor de 100°C por encima del punto de ablandamiento. Normalmente, la temperatura a la cual se realiza este ensayo no influye en los resultados, por lo que se puede efectuar a temperatura ambiente. Sin embargo, para ensayos de referencia o de arbitraje, el matraz y la muestra en solución se deberán colocar en un baño de agua a $38 \pm 0.3^\circ \text{C}$ durante una hora, antes de la filtración.

9 PROCEDIMIENTO

- 9.1 Ante todo, se debe tomar nota de las precauciones de seguridad mencionadas en la Sección 6. Se transfieren aproximadamente 2 g de la muestra a un matraz Erlenmeyer de 125 ml previamente tarado, o a otro recipiente adecuado (Figura 713 - 2). Se permite que la muestra alcance la temperatura ambiente y se determina la masa del conjunto, partir de la cual se determina la masa de la muestra (B), con aproximación a 1 mg. Se agregan al matraz 100 ml de tricloroetileno en pequeñas porciones con agitación continua hasta que desaparezcan todos los terrones y no quede material adherido a las paredes del recipiente. Se tapa el recipiente y se deja en reposo al menos por 15 minutos (Figura 713 - 3).



Figura 713 - 2. Transferencia de la muestra al matraz Erlenmeyer



Figura 713 - 3. Muestra disuelta en tricloroetileno

9.2 Se coloca sobre la alargadera el crisol Gooch previamente preparado y pesado, se humedece la almohadilla de fibra de vidrio con una pequeña porción de tricloroetileno y se decanta la solución a través de la almohadilla de fibra de vidrio del crisol con o sin una ligera succión, según sea necesario (Figura 713 - 4). Cuando la materia insoluble sea apreciable, se procura retenerla en el matraz tanto cuanto sea posible, con el fin de evitar la obstrucción del filtro. Se lava el frasco con una pequeña cantidad de solvente, y empleando un chorro de solvente de una botella de lavado se transfiere todo el material insoluble al crisol. Si fuere necesario, se frota con una varilla de vidrio con un trozo de tubo de caucho en su extremo, para remover la materia insoluble que se hay adherido al matraz. Se enjuagan completamente el agitador y el matraz. Se lava con solvente la materia insoluble en el crisol hasta que el filtrado sea esencialmente incoloro; entonces, se aplica una succión fuerte para remover el solvente residual. A continuación, se retira el crisol de la alargadera, se lava su fondo con disolvente para liberarlo de cualquier materia disuelta, colocándolo luego sobre un horno o sobre un baño de vapor hasta que sea eliminado todo olor a solvente (ver precauciones de seguridad en la Sección 6). Una vez evaporado el solvente, se coloca el crisol dentro del horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 10^\circ \text{F}$) por un período mínimo de 20 minutos. Se enfría en un desecador durante 30 ± 5 minutos y se determina su masa con aproximación de 0.1 mg. Se repiten las operaciones de secado y pesado, hasta que en dos pesadas consecutivas se obtenga una diferencia de no mayor de ± 0.3 mg. La masa obtenida se llamará C.



Figura 713 - 4. Filtración de la solución

Nota 3: Para obtener resultados precisos, el tiempo de enfriado en el desecador debe ser el mismo (dentro de un rango de ± 5 min) luego de todos los calentamientos. Por ejemplo, si la masa del crisol vacío se determinó luego de un período de 30 min en el desecador, su masa conteniendo el material insoluble de deberá determinar luego de 30 ± 5 min de enfriado en el desecador. Si los crisoles vacíos o con la materia insoluble han permanecido en el desecador durante toda la noche, se deberán recalentar en el horno durante un mínimo de 30 min y luego se les permite enfriar durante el lapso prescrito, antes de determinar su masa.

10 CÁLCULOS E INFORME

10.1 Se calculan los porcentajes totales de materia insoluble y soluble en el solvente usado, empleando las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ insoluble} = \left[\frac{C - A}{B} \right] \times 100 \quad [713.1]$$

$$\% \text{ soluble} = \left[\frac{B - (C - A)}{B} \right] \times 100 \quad [713.2]$$

- Donde: A: Masa del crisol y filtro;
B: Masa de la muestra;
C: Masa del crisol, filtro y el material insoluble.

10.2 Para porcentajes de materia insoluble menores de 1.0, se informa con aproximación a 0.01 %, y para porcentajes de insolubles mayores o iguales 1.0, con aproximación a 0.1 %.

11 PRECISIÓN Y SESGO

11.1 *Precisión* – Datos obtenidos por el laboratorio de referencia de materiales de la AASHTO ensayando 132 muestras con 13 200 repeticiones del ensayo, con valores de solubilidad entre 99.5 y 100 %, permitieron establecer los siguientes valores de precisión:

Desviación estándar entre varios laboratorios (1s) = 0.01 + (0.75 × % insoluble).

Desviación estándar de un solo operador (1s) = 0.01 + (0.25 × % insoluble).

11.2 *Sesgo* – Como no hay un material de referencia aceptado para establecer el sesgo por este método, no se presenta ninguna declaración al respecto.

12 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 2042 – 09

VISCOSIDAD SAYBOLT DE ASFALTOS

INV E – 714 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma hace referencia a los procedimientos empíricos para determinar la viscosidad Saybolt Universal o Saybolt Furol de productos asfálticos, a temperaturas especificadas entre 21 y 99° C (70 y 210° F).

Nota 1: Para determinar la viscosidad cinemática, son preferibles los métodos descritos en las normas INV E-715 y ASTM D 445. Ellos requieren muestras más pequeñas, menor tiempo de ejecución y proporcionan mayor exactitud. La viscosidad cinemática se puede convertir a Saybolt mediante las tablas de la norma ASTM D 2161. Se recomienda calcular los índices de viscosidad a partir de la viscosidad cinemática y no de la viscosidad Saybolt.

- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-714-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Viscosidad Saybolt Universal* – Es el tiempo corregido, en segundos, durante el cual fluyen 60 ml de muestra a través de un orificio Universal, calibrado bajo condiciones específicas. El valor de la viscosidad se informa en segundos Saybolt Universal (SSU) a una temperatura especificada.

- 2.2** *Viscosidad Saybolt Furol* – Es el tiempo corregido, en segundos, durante el cual fluyen 60 ml de muestra a través de un orificio Furol, calibrado bajo condiciones específicas. El valor de la viscosidad se informa en segundos Saybolt Furol (SSF) a una temperatura especificada.

- 2.2.1** La palabra Furol es una contracción de las palabras "Fuel and road oils" (aceites y combustibles para carreteras).

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** Se determina el tiempo, en segundos, que tardan en fluir 60 ml de muestra a través de un orificio calibrado, bajo condiciones cuidadosamente controladas. El tiempo obtenido se corrige por un factor que depende de la abertura del orificio, y se informa como la viscosidad de la muestra a la temperatura de ensayo.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** Este método es útil para caracterizar ciertos productos del petróleo, e igualmente como elemento para establecer la uniformidad de los embarques y de las fuentes de suministro.
- 4.2** La viscosidad Saybolt Furol es, aproximadamente, 1/10 de la viscosidad Saybolt Universal, y se recomienda para la caracterización de los productos del petróleo como el fuel-oil y otros materiales residuales cuya viscosidad Saybolt Universal sea mayor de 1000 segundos.
- 4.3** La determinación de la viscosidad Saybolt de materiales a altas temperaturas, está cubierta por la norma INV E-719.

5 EQUIPO

- 5.1** *Viscosímetro Saybolt* – El viscosímetro deberá ser de un metal no corrosivo, con las dimensiones mostradas en la Figura 714 - 1. La boquilla del orificio, Furol o Universal, se puede fabricar como una parte intercambiable. Una tuerca en el extremo inferior del viscosímetro permite asegurarla al baño. El viscosímetro se debe montar verticalmente en el baño, verificando el alineamiento con un nivel de burbuja colocado sobre el plano de la galería. El extremo inferior del tubo del viscosímetro se cierra con un corcho o tapón, para evitar el flujo de la muestra antes de iniciar el ensayo. Para facilitar la remoción del tapón, se puede atar a él una cadena o cuerda.

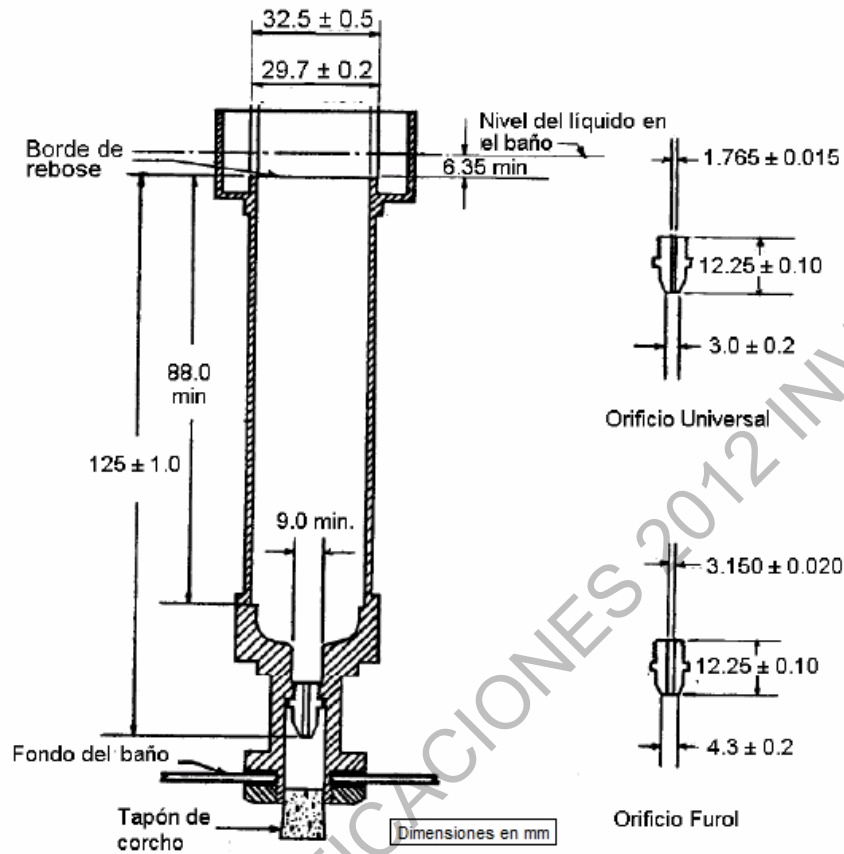


Figura 714 - 1. Viscosímetro Saybolt con orificio Universal y Furol

5.2 *Baño termostático* – Sirve tanto para sostener el viscosímetro en posición vertical, como para alojar el líquido del baño. Debe estar aislado térmicamente y equipado con un dispositivo para agitación y un serpentín de refrigeración y provisto de un calentador con termostato, capaz de mantener el baño dentro de los límites de temperatura especificados en la Tabla 714 - 2. Tanto el serpentín como el calentador se deben colocar a más de 30 mm (1 ¼") del viscosímetro. Debe contar con medios para mantener el líquido del baño al menos 6 mm (¼") por encima del borde de rebose del flujo (Ver Figura 714 - 1).

5.3 *Pipeta de extracción* – Como se muestra en la Figura 714 - 2. Se emplea para vaciar y enrasar la muestra en la galería del viscosímetro.

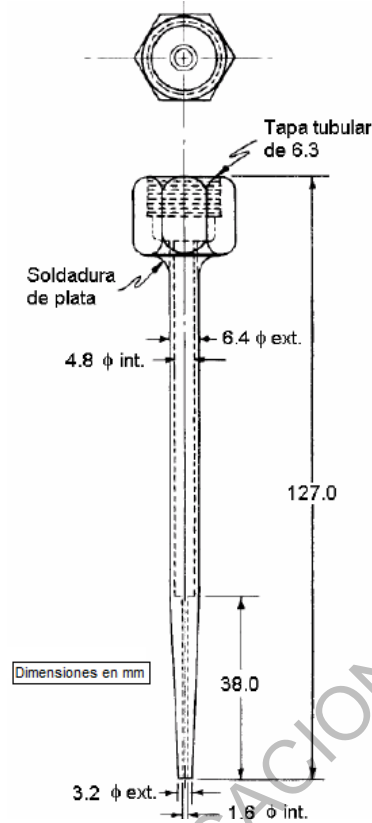


Figura 714 - 2. Pipeta de extracción para usar con el viscosímetro Saybolt

- 5.4 *Soporte para termómetro* – Igual o similar al mostrado en la Figura 714 - 3.
- 5.5 *Termómetros para el viscosímetro Saybolt* – De los que se indican en la Tabla 714 - 1, para la lectura de la temperatura de la muestra, los cuales deben cumplir los requerimientos de la norma ASTM E-1.

Tabla 714 - 1. Termómetros ASTM para Viscosidad Saybolt

TEMPERATURA NORMALIZADA DE ENSAYO ° C (° F)	TERMÓMETRO ASTM No.	TERMÓMETRO	
		RANGO ° C (° F)	SUBDIVISIONES ° C (° F)
21.1 (70)	17C (17F)	19 a 27 (66 a 80)	0.1 (0.2)
25.0 (77)	17C (17F)	19 a 27 (66 a 80)	0.1 (0.2)
37.8 (100)	18C (18F)	34 a 42 (94 a 108)	0.1 (0.2)
50.0 (122)	19C (19F)	49 a 57 (120 a 134)	0.1 (0.2)
54.4 (130)	19C (19F)	19 a 57 (120 a 134)	0.1 (0.2)
60.0 (140)	20C (20F)	57 a 65 (134 a 148)	0.1 (0.2)
82.8 (180)	21C (21F)	79 a 87 (174 a 188)	0.1 (0.2)
98.9 (210)	22C (22F)	95 a 103 (204 a 218)	0.1 (0.2)

- 5.6 *Termómetros para el baño* – Para viscosidad Saybolt o de otro tipo, pero de exactitud similar.
- 5.7 *Embudo de filtración* – Como el que se muestra en la Figura 714 - 4, equipado con tamices intercambiables de 150 μm (No. 100) y 75 μm (No. 200).
- 5.8 *Matraz receptor* – De 60 ml de capacidad, de las características mostradas en la Figura 714 - 5.
- 5.9 *Cronómetro* – Graduado en décimas (1/10) de segundo y con una exactitud de 0.1 % cuando se realiza el ensayo durante un período de 60 minutos. Se aceptan cronómetros eléctricos si son operados en un circuito de frecuencia controlada y si garantizan la precisión y la exactitud indicadas.

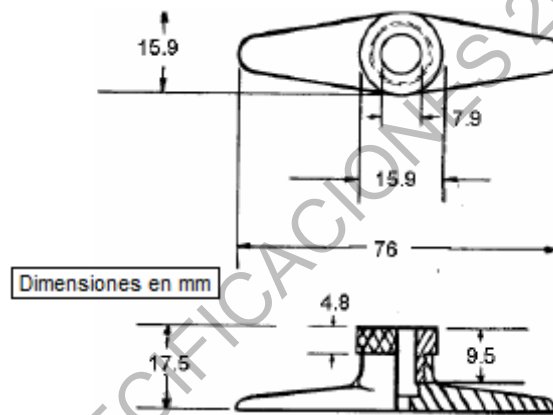


Figura 714 - 3. Soporte para termómetro

6 MUESTREO

- 6.1 El muestreo del material se deberá efectuar de acuerdo con la norma INV E-701.

7 PREPARACIÓN DEL EQUIPO

- 7.1 Se debe emplear el orificio Universal con lubricantes y destilados con tiempos de flujo mayores de 32 segundos, si se desea que el ensayo tenga la exactitud deseada. No es conveniente el uso de este orificio cuando el tiempo de flujo del líquido es superior a 1000 segundos.

- 7.2** Análogamente, se deberá emplear el orificio Furol para materiales residuales con tiempos de flujo mayores de 25 segundos (Ver, también, el numeral 4.2).
- 7.3** Se limpia completamente el viscosímetro con un solvente apropiado de baja toxicidad; en seguida, se extrae todo solvente del viscosímetro y de su galería. El matraz receptor se deberá limpiar de la misma manera.

Nota 2: El émbolo suministrado comúnmente con el viscosímetro, nunca se deberá emplear para limpieza, ya que puede dañar el borde de rebose y las paredes del viscosímetro.

- 7.4** Se colocan el viscosímetro y el baño en un lugar libre de corrientes de aire o de cambios bruscos de temperatura ambiente, así como de polvo o vapores que puedan contaminar la muestra.

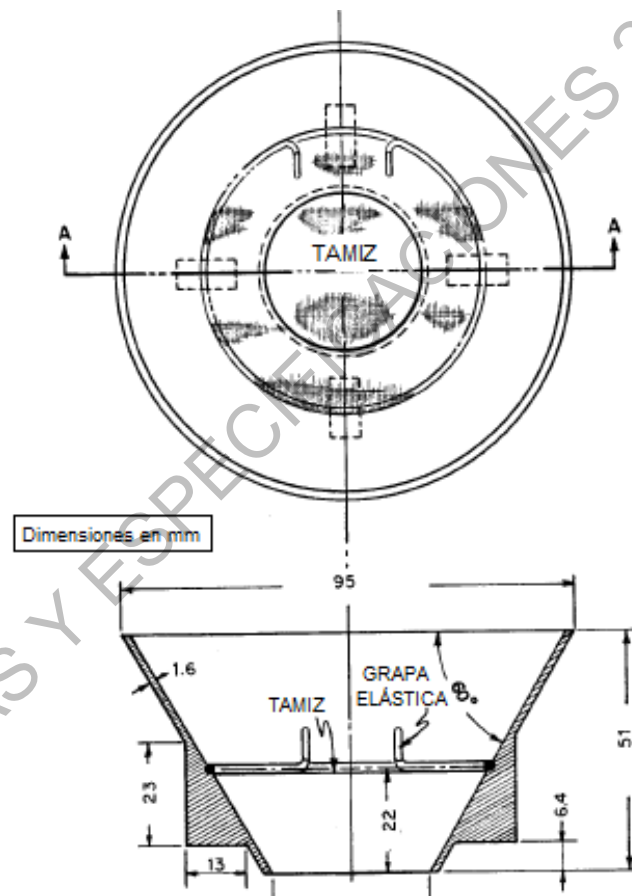


Figura 714 - 4. Embudo filtrador para usarlo con el viscosímetro Saybolt

- 7.5** Se coloca el matraz receptor debajo de la salida del viscosímetro, de manera que su marca quede entre 100 y 130 mm (4" a 5") por debajo del fondo del tubo del viscosímetro, y que la descarga de material apenas toque el cuello del matraz.

7.6 Empleando el líquido adecuado, escogido de acuerdo a las indicaciones de la Tabla 714 - 2, se llena el baño hasta una altura no menor de 6 mm (¼") por encima del borde de rebose del viscosímetro.

Tabla 714 - 2. Líquido recomendado para el baño

TEMPERATURA DE ENSAYO, °C (°F)	LÍQUIDO RECOMENDADO PARA EL BAÑO	DIFERENCIA MÁXIMA DE TEMPERATURA ^A , °C (°F)	CONTROL DE FUNCIONAMIENTO DE LA TEMPERATURA DEL BAÑO, °C (°F)
21.1 (70)	Agua	± 0.05 (0.10)	± 0.03 (0.05)
25.0 (77)	Agua	± 0.05 (0.10)	± 0.03 (0.05)
37.8 (100)	Agua o Aceite de Viscosidad 50 – 70 SSU a 37.8°C (100°F)	± 0.15 (0.25)	± 0.03 (0.05)
50.0 (122)	Agua o Aceite de Viscosidad 120 – 150 SSU a 37.8°C (100°F)	+ 0.20 (0.35)	± 0.03 (0.05)
54.4 (130)	Agua o Aceite de Viscosidad 120 – 150 SSU a 37.8°C (100°F)	+ 0.30 (0.50)	± 0.03 (0.05)
60.0 (140)	Agua o Aceite de Viscosidad 120 – 150 SSU a 37.8°C (100°F)	+ 0.60 (1.0)	± 0.06 (0.1)
82.2 (180)	Agua o Aceite de Viscosidad 300 – 370 SSU a 37.8°C (100°F)	+ 0.80 (1.5)	± 0.06 (0.1)
98.9 (210)	Aceite de Viscosidad 330 – 370 SSU a 37.8°C (100°F)	+ 1.10 (2.0)	± 0.06 (0.1)

^A Diferencia máxima permisible entre las temperaturas del baño y la muestra en el instante del ensayo

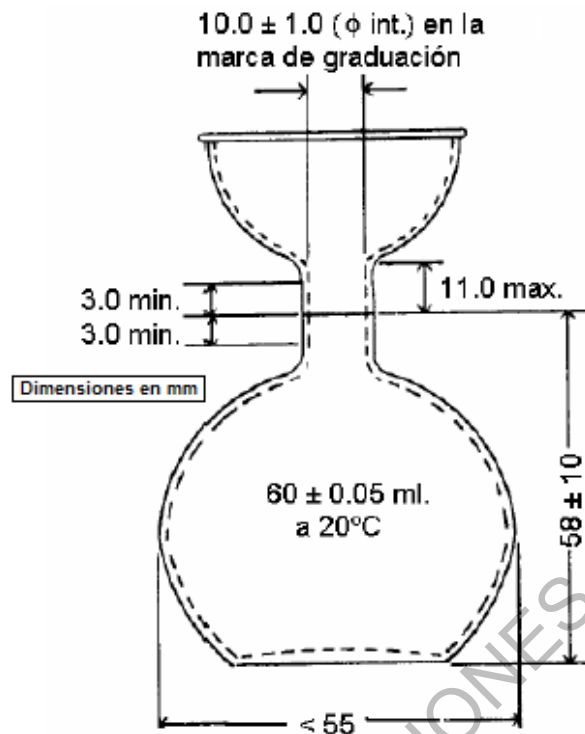


Figura 714 - 5. Matraz receptor

- 7.7 Se proveen una agitación y un control térmico adecuados al baño, de manera que la temperatura de la muestra de ensayo en el viscosímetro no varíe en más de $\pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.05^{\circ}\text{F}$) después de que se haya alcanzado la temperatura escogida para el ensayo.
- 7.8 No se deben efectuar medidas de viscosidad por debajo del punto de rocío de la atmósfera ambiental.
- 7.9 Para ensayos de calibración y de arbitraje, se debe mantener la temperatura ambiente de laboratorio entre 20 y 30°C (68 y 86°F) y registrar la temperatura real. Sin embargo, temperaturas ambiente hasta de 38°C (100°F), no producen errores en exceso de 1 %.

8 CALIBRACIÓN Y NORMALIZACIÓN

- 8.1 El viscosímetro Saybolt Universal se debe calibrar a intervalos regulares, midiendo el tiempo de flujo a 37.8°C (100°F) de un aceite calibrado de viscosidad normalizada, siguiendo el procedimiento dado en la Sección 9. En el Anexo A se presentan diferentes aceites disponibles de viscosidad normalizada.

- 8.2** El tiempo de flujo del aceite de viscosidad normalizada deberá ser igual al valor certificado de viscosidad Saybolt. Si el tiempo de escurrimiento difiere del valor certificado en más de 0.2 %, se debe calcular un factor de corrección, F, para el viscosímetro, así:

$$F = \frac{V}{t} \quad [714.1]$$

Donde: V: Valor certificado de viscosidad Saybolt del aceite normalizado;

t: Tiempo de flujo medido a 37.8° C (100° F), s.

Nota 3: Si la calibración se basa en un aceite de viscosidad normalizada que tenga un tiempo de flujo entre 200 y 600 segundos, el factor de corrección es válido para cualquier viscosidad y temperatura.

- 8.3** El viscosímetro Saybolt Furol se calibra a 50° C (122° F), de la misma manera que se indicó arriba, empleando un aceite de viscosidad normalizada que tenga un tiempo de salida mínimo de 90 segundos.
- 8.4** Para ensayos de arbitraje, no se permite el empleo de viscosímetros o de orificios que requieran correcciones mayores de 1.0 %.

9 PROCEDIMIENTO

- 9.1** Se establece y controla la temperatura del baño, de manera que sea la misma escogida para el ensayo.

9.1.1 Las temperaturas normales de ensayo para medir viscosidades Saybolt Universal son 21.1, 37.8, 54.4 y 98.9° C (70, 100, 122 y 210° F).

9.1.2 Las temperaturas de ensayo para medir viscosidades Saybolt Furol son 25.0, 37.8, 50.0 y 98.9° C (77, 100, 122 y 210° F).

9.1.3 Otras temperaturas de ensayo que se emplean son 60.0 y 82.2° C (140 y 180° F).

- 9.2** Se inserta un tapón de corcho (que tenga una cuerda unida para removerlo fácilmente) en la cámara de aire de la parte inferior del viscosímetro. El corcho se deberá ajustar suficientemente, para evitar el escape de aire de la cámara al llenar el viscosímetro, lo cual se evidencia por la ausencia de aceite sobre el corcho cuando éste se retira más tarde.

- 9.3** Si la temperatura escogida para el ensayo es mayor que la del ambiente, el ensayo se puede apresurar precalentando la muestra en su recipiente original, a no más de 1.7° C (3° F) por encima de la temperatura de ensayo. Nunca se debe precalentar la muestra dentro de los 28° C (50° F) cercanos a su punto de inflamación, puesto que las pérdidas por volatilidad pueden alterar su composición.
- 9.4** Se remueve la muestra con una varilla hasta que esté perfectamente homogeneizada y se filtra a través del embudo con una malla de alambre de 150 µm (No. 100) directamente dentro del tubo del viscosímetro, hasta que el nivel quede por encima del borde de rebose.
- 9.5** Se agita la muestra dentro del viscosímetro con el termómetro de viscosidad instalado sobre su soporte (Figura 714 - 3), con un movimiento circular y en un plano horizontal, girando entre 30 y 50 vueltas por minuto, hasta que la temperatura de la muestra permanezca constante dentro de un intervalo de $\pm 0.03^\circ \text{C}$ (0.05°F) respecto de la de ensayo, luego de 1 minuto de agitación continua.
- Nota 4: Nunca se debe intentar ajustar la temperatura sumergiendo cuerpos calientes o fríos en la muestra, ya que esta forma de tratamiento térmico puede afectar la muestra y la precisión del ensayo.*
- 9.6** Se saca el termómetro e inmediatamente se introduce la punta del tubo de extracción (Figura 714 - 2) en la galería y se aplica succión para extraer material, hasta que su nivel quede por debajo del borde de rebose. El tubo se puede introducir en cualquier punto de la galería, pero no debe tocar el borde del rebose en ningún momento, ya la altura de carga efectiva de la muestra se podría reducir.
- 9.7** Se verifica que el matraz receptor se halle en la posición adecuada; entonces, se remueve rápidamente el corcho del viscosímetro usando el cordel que tiene unido y se pone a funcionar el cronómetro en ese mismo instante (Figura 714 - 6).
- 9.8** Se detiene el cronómetro en el momento en que la parte inferior del menisco de material alcance la marca de graduación del matraz receptor. Se anota el tiempo de flujo, en segundos, con aproximación a 0.1 s.

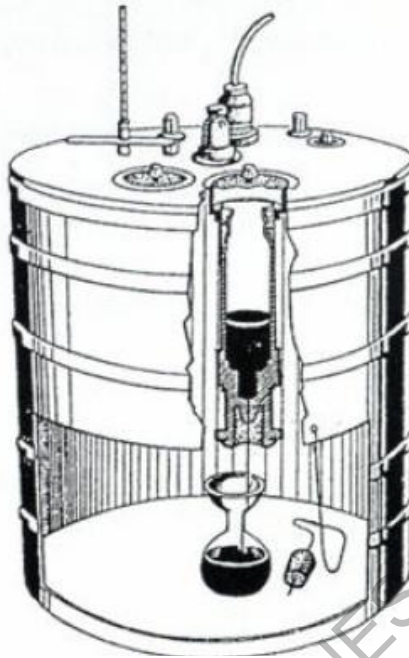


Figura 714 - 6. Conjunto de baño y viscosímetro durante el ensayo

10 CÁLCULOS

10.1 Se multiplica el tiempo de flujo por el factor de corrección para el viscosímetro (Sección 8).

11 INFORME

11.1 Se informa el tiempo de flujo corregido, como la viscosidad Saybolt Universal (SSU) o Saybolt Furol (SSF) del material, a la temperatura a la cual se hizo el ensayo.

11.2 Se informan los valores redondeados al segundo para resultados superiores a 200 SSU o SSF, y redondeados a 0.1 s para resultados inferiores a 200 SSU o SSF.

12 PRECISIÓN Y SESGO

12.1 Los resultados presentados no deben diferir en más de:

12.1.1 Repetibilidad – Los ensayos realizados por duplicado por un mismo operador y equipo, sobre una misma muestra, se consideran satisfactorios si no difieren del valor medio en más de 1 %.

12.1.2 Reproducibilidad – Los ensayos realizados en distintos laboratorios con diferentes operadores y equipos, sobre muestras del mismo producto, se consideran satisfactorios si no difieren del valor medio en más del 2 %.

13 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 88 – 07

ANEXO A (Aplicación obligatoria)

ACEITES DE CALIBRADO DE VISCOSIDAD NORMALIZADA

- A.1** Los aceites de calibrado de viscosidad normalizada, son aceites muy estables cuya viscosidad Saybolt, acreditada mediante el certificado correspondiente, se obtiene a partir de su viscosidad cinemática y de tablas de conversión con ayuda de las tablas incluidas en la norma ASTM D 2161. Los valores Saybolt aproximados de algunos aceites de calibrado de viscosidad normalizada, se muestran en la Tabla 714A - 1.
- A.2** Una vez calibrado un viscosímetro con un aceite de este tipo, se pueden obtener, para ensayos de rutina, otros aceites de calibrado a partir de aceites suficientemente estables y determinarse su viscosidad Saybolt en este viscosímetro de calibración ya conocida.
- A.3** Las viscosidades normalizadas también se pueden usar para calibraciones rutinarias a temperaturas diferentes de las mostradas en la Tabla 714A - 1.

Tabla 714A - 1. Aceites de viscosidad normalizada

ACEITE DE VISCOSIDAD NORMALIZADA	A 37.8° C (100° F)		A 98.9° C (210° F)		A 50.0° C (122° F)	
	SSU	mm ² /s	SSU	mm ² /s	SSU	mm ² /s
S3	36	3.0	-	-	-	-
S6	46	6.0	-	-	-	-
S20	100	20	-	-	-	-
N26	130	27	-	-	-	-
N35	170	35	-	-	-	-
N44	220	48	-	-	-	-
S60	280	60	-	-	-	-
N75	380	82	-	-	-	-
N100	500	110	-	-	-	-
N140	720	160	-	-	-	-
S200	925	200	105	20	-	-
N250	1300	280	140	29	-	-
N350	1570	340	160	32	-	-
N415	2180	470	200	41	-	-
S600	-	-	240	50	120	310
S2000	-	-	360	72	-	-

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

VISCOSIDAD CINEMÁTICA DE ASFALTOS

INV E – 715 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma presenta procedimientos para determinar la viscosidad cinemática de asfaltos líquidos (bitúmenes), aceites para carreteras, residuos de destilación de asfaltos líquidos (bitúmenes), todos ellos a 60° C (140° F), y de cementos asfálticos a 135° C (275° F) (nota 1), en el rango de 6 a 100 000 mm²/s (cSt).
- 1.2** Los resultados de este método se pueden emplear para calcular la viscosidad cuando se conoce o se puede determinar la densidad del material a la temperatura de ensayo. Ver el Anexo A para el método del cálculo.

Nota 1: Este método se puede emplear a otras temperaturas y a viscosidades cinemáticas más bajas, pero la precisión se basa en determinaciones sobre asfaltos líquidos y aceites de carreteras a 60° C (140° F) y sobre cementos asfálticos a 135° C (275° F), únicamente en el rango de viscosidad de 30 a 6000 mm²/s (cSt).

- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E-715-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Viscosidad cinemática* – Relación entre la viscosidad dinámica o absoluta y la densidad de un líquido; es una medida de la resistencia al flujo bajo la acción de la gravedad. Su unidad SI es m²/s; para uso práctico, es más conveniente usar el submúltiplo mm²/s. La unidad cgs de la viscosidad cinemática es 1 cm²/s y se llama stoke (St). La unidad que se acostumbra emplear es el centistoke (1 cSt = 10⁻²St), que equivale a 1 mm²/s.
- 2.2** *Densidad* – Masa por unidad de volumen del líquido. La unidad de densidad en el sistema cgs es 1 g/cm³ y en el sistema SI es 1 Mg/m³.
- 2.3** *Viscosidad* – La relación entre el esfuerzo de corte aplicado y la velocidad de corte se llama coeficiente de viscosidad. Este coeficiente es una medida de la resistencia al flujo de un líquido. Su unidad cgs es 1 g/cm·s (1 dina·s/cm²) y se llama poise (P). La unidad SI de la viscosidad es 1 Pa·s (1 N·s/m²) y es equivalente a 10 P. Frecuentemente, se usa el centipoise (1cP = 10⁻²P).

- 2.4** *Líquido newtoniano* – Líquido en el cual la velocidad de corte es proporcional al esfuerzo de corte. La relación constante entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte es la viscosidad del líquido. Si la relación no es constante, el líquido no es newtoniano.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** Se mide el tiempo necesario para que un volumen fijo de líquido fluya, por capilaridad, a través de un viscosímetro capilar de vidrio, bajo una cabeza reproducible con exactitud y a una temperatura muy bien controlada. La viscosidad cinemática se calcula multiplicando el tiempo de flujo en segundos por el factor de calibración del viscosímetro.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** La viscosidad cinemática caracteriza el comportamiento del flujo. El método se usa para determinar la consistencia de un ligante bituminoso como un elemento para establecer la uniformidad de embarques o de fuentes de suministro. Usualmente, se especifica 60° y 135° C. También, se utiliza para conocer el comportamiento reológico del producto y para determinar las temperaturas de elaboración y compactación de las mezclas asfálticas.

5 EQUIPO

- 5.1** *Viscosímetros de tipo capilar* – Hechos de vidrio de borosilicato templado, adecuados para este ensayo. En el Anexo B se describen los siguientes: (1) Viscosímetro Cannon-Fenske para líquidos opacos, (2) Viscosímetro de brazo transversal Zeitfuchs; (3) Viscosímetro Lantz-Zeitfuchs; y (4) Viscosímetro BS de tubo U modificado de flujo invertido.

Nota 2: Los viscosímetros calibrados se pueden obtener de proveedores comerciales. Detalles relacionados con la calibración de los viscosímetros se dan en el Anexo C.

- 5.2** *Termómetros* – Se pueden utilizar termómetros calibrados de líquido en vidrio con una exactitud, después de la corrección, de 0.02° C (0.04° F), o cualquier otro dispositivo termométrico de igual exactitud. Los termómetros para la viscosidad cinemática ASTM 47C y 47F e IP 35C y 35F son adecuados para uso a 60° C (140° F), mientras que los termómetros ASTM para viscosidad cinemática 110C y 110F son apropiados para uso a 135° C (275° F).

5.2.1 Los termómetros especificados están normalizados a "inmersión total", lo que significa inmersión hasta la parte superior de la columna de mercurio, con el resto del vástago y la cámara de expansión de la parte superior del termómetro, expuestos a la temperatura ambiente. No es recomendable la práctica de sumergir completamente el termómetro. Cuando los termómetros están completamente sumergidos, se deben determinar y aplicar correcciones para cada termómetro individual, basadas en la calibración bajo condiciones de inmersión completa. Si el termómetro está completamente sumergido en el baño durante su empleo, la presión del gas en la cámara de expansión será más alta o más baja que durante la normalización, lo que se puede traducir en lecturas más altas o más bajas en el termómetro.

5.2.2 Es necesario recalibrar periódicamente los termómetros de líquido en vidrio, empleando las técnicas descritas en la norma ASTM E 77 (Ver Anexo D).

5.3 *Baño* – Adecuado para la inmersión del viscosímetro, de manera que el reservorio líquido o la parte superior del capilar, el que esté más elevado, quede al menos a 20 mm por debajo del nivel superior del baño. Deberá tener los medios para asegurar la visibilidad del viscosímetro y del termómetro. Debe tener soportes firmes para el viscosímetro o éste puede ser parte integral del baño. La eficiencia de la agitación y el balance entre la pérdida y el suministro de calor deben ser tales, que la temperatura del líquido del baño no cambie en más de $\pm 0.03^{\circ} \text{C}$ ($\pm 0.05^{\circ} \text{F}$) sobre la longitud del viscosímetro, o entre un viscosímetro y otro en las diferentes posiciones del baño a 60°C (140°F).

Nota 3: El agua destilada es un líquido adecuado para el baño, para determinaciones a 60°C (140°F); para las determinaciones a 135°C (275°F), se ha encontrado adecuado el aceite blanco USP con un punto de inflamación mayor de 215°C (420°F). El punto de inflamación se debe determinar de acuerdo con la norma INV E-709.

5.4 *Cronómetro* – Un cronómetro u otro dispositivo para medir el tiempo, graduado en divisiones de 0.1 segundo o menos, y con exactitud de 0.05 % cuando se ensaya a intervalos mayores de 15 minutos. El dispositivo se deberá calibrar al menos semestralmente.

5.4.1 Se pueden usar dispositivos eléctricos de cronometraje, únicamente en circuitos cuyas frecuencias sean controladas con una exactitud de 0.05 % o mejor.

- 5.4.1.1** Cuando se empleen dispositivos eléctricos para controlar el tiempo, se deben evitar corrientes alternas cuyas frecuencias sean intermitentes y no se puedan controlar continuamente, como las proporcionadas por algunos sistemas de suministro público de corriente, ya que pueden dar lugar a errores considerables, particularmente durante intervalos de tiempo reducidos.

6 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 6.1** Para disminuir la pérdida de los constituyentes volátiles y para obtener resultados reproducibles, se debe proceder como sigue:

6.1.1 *Procedimiento para asfaltos líquidos y aceites para carreteras:*

- 6.1.1.1** Se deja que las muestras, selladas tal como se recibieron en el laboratorio, alcancen la temperatura ambiente.

- 6.1.1.2** Se abre el recipiente que contiene la muestra y se mezcla completamente la misma, agitándola durante 30 segundos, teniendo cuidado para impedir que quede aire atrapado. Si la mezcla es muy viscosa para tal agitación, se coloca el recipiente sellado con ella dentro de un baño u horno mantenido a $63 \pm 3^\circ \text{C}$ ($145 \pm 5^\circ \text{F}$), hasta que alcance la fluidez suficiente para permitir la agitación.

- 6.1.1.3** Se carga inmediatamente el viscosímetro o, si el ensayo se va hacer en un instante posterior, se vierten aproximadamente 20 ml en uno o más recipientes limpios y secos, que tengan una capacidad de unos 30 ml, e inmediatamente se sellan herméticamente.

- 6.1.1.4** Para materiales con viscosidad cinemática mayor de $800 \text{ mm}^2/\text{s}$ (cSt) a 60°C (140°F), se calienta la muestra de 20 ml en el recipiente sellado dentro de un horno o un baño mantenido a $63 \pm 3^\circ \text{C}$ ($145 \pm 5^\circ \text{F}$), hasta que alcance la fluidez suficiente para una transferencia conveniente al viscosímetro. Tal calentamiento no deberá durar más de 30 minutos.

6.1.2 *Procedimiento para el cemento asfáltico:*

6.1.2.1 Se calienta la muestra con cuidado para evitar sobrecalentamiento local, hasta que alcance la fluidez suficiente para vaciarla, agitando ocasionalmente para ayudar a la transferencia del calor y asegurar la uniformidad.

6.1.2.2 Se transfieren un mínimo de 20 ml a un recipiente adecuado y se calientan a $135 \pm 5.5^{\circ} \text{C}$ ($275 \pm 10^{\circ} \text{F}$), agitando ocasionalmente para evitar sobrecalentamientos locales y el atrapamiento de aire.

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** Los detalles específicos de la operación varían según el tipo de viscosímetro. En el Anexo B se presentan las descripciones detalladas de operación para los diferentes viscosímetros. Sin embargo, en todos los casos se debe seguir el procedimiento general que se describe en los numerales 7.2 a 7.8.
- 7.2** Se mantiene el baño a la temperatura de ensayo, con una tolerancia de $\pm 0.01^{\circ} \text{C}$ ($\pm 0.02^{\circ} \text{F}$). Se aplican las correcciones necesarias a todas las lecturas de los termómetros, en caso de haberlas.
- 7.3** Se escoge un viscosímetro limpio y seco, que dé un tiempo de flujo mayor de 60 segundos, y se precalienta a la temperatura de ensayo.
- 7.4** Se carga el viscosímetro de la manera indicada por el diseño del instrumento, como se indica en el Anexo B.
- 7.5** Se deja que el viscosímetro cargado permanezca un tiempo suficiente en el baño para alcanzar la temperatura de ensayo, como se indica en el Anexo B.
- 7.6** Se inicia el flujo del asfalto en el viscosímetro, como se detalla en el Anexo B.
- 7.7** Se mide, con una tolerancia de 0.1 s, el tiempo requerido para que el borde de ataque del menisco pase de la primera marca de tiempo hasta la segunda. Si este tiempo de flujo es menor de 60 segundos, se escoge un viscosímetro de diámetro capilar más pequeño y se repite la operación.
- 7.8** Una vez concluido el ensayo, se limpia completamente el viscosímetro mediante varios enjuagues con un solvente apropiado completamente miscible con la muestra, seguido por un solvente totalmente volátil. Se seca el tubo pasando una corriente lenta de aire filtrado seco a través del capilar

durante dos minutos, o hasta que se remueva la última traza de solvente. Alternativamente, el viscosímetro se puede limpiar en un horno para el secado de recipientes de vidrio, a una temperatura que no exceda de 500° C (932° F), seguido de un enjuague con agua destilada o desionizada y acetona libre de residuos, más un secado con aire filtrado seco. Periódicamente, y si se observan depósitos, se debe limpiar el viscosímetro con una solución ácida fuerte para remover depósitos orgánicos, se enjuaga completamente con agua destilada y con acetona libre de residuos y se seca con aire filtrado seco.

Nota 4: El horno para el secado puede quemar el pegante que conecta el tubo viscosímetro al soporte.

7.8.1 Para limpiar el viscosímetro se puede utilizar una solución de limpieza de ácido crómico, adicionando, con todas las precauciones, 800 ml de ácido sulfúrico concentrado a una solución de 92 g de dicromato de sodio en 458 ml de agua. Se acepta el uso de soluciones limpiadoras comerciales a base de ácido sulfúrico. Las soluciones que contienen cromo presentan problemas para su eliminación, motivo por el cual se debe tratar de evitar su uso.

7.8.2 No se recomienda el uso de soluciones alcalinas limpiadoras de vidrio, ya que producen variaciones en los resultados de la calibración del viscosímetro.

8 CÁLCULOS

8.1 Se calcula la viscosidad cinemática con tres (3) cifras significativas, empleando la siguiente ecuación:

$$\text{Viscosidad cinemática, mm}^2/\text{s (cSt)} = C \times t \quad [715.1]$$

Donde: C: Constante de calibración del viscosímetro, mm²/s² (cSt/s);

t: Tiempo de flujo, s.

9 INFORME

9.1 Se informa siempre la temperatura de ensayo junto con el resultado; por ejemplo:

$$\text{Viscosidad cinemática a } 60^\circ \text{ C (140}^\circ \text{ F)} = 75.6 \text{ mm}^2/\text{s (cSt)}$$

10 PRECISIÓN Y SESGO

10.1 Precisión – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados de viscosidad obtenidos por este método se dan en la Tabla 715 - 1.

10.2 Sesgo – Como no hay un material que tenga un valor de referencia aceptado en este método de ensayo, no se puede determinar el sesgo.

Tabla 715 - 1. Aceptación de los resultados de ensayo para la viscosidad cinemática

MATERIAL E ÍNDICE TIPO	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (% DE LA MEDIA) ^A	RANGO ACEPTABLE DE DOS RESULTADOS (% DE LA MEDIA) ^A
<i>Precisión de un operario</i>		
Cemento Asfáltico a 135°C (275°F)	0.64	1.8
Asfalto líquido a 60°C (140°F):		
Por debajo de 3000 mm ² /s (cSt)	0.53	1.5
De 3000 a 6000 mm ² /s (cSt)	0.71	2.0
Por encima de 6000 mm ² /s (cSt)	3.2	8.9
<i>Precisión de varios laboratorios</i>		
Cemento Asfáltico a 135°C (275°F)	3.1	8.8
Asfalto líquido a 60°C (140°F):		
Por debajo de 3000 mm ² /s (cSt)	1.06	3.0
De 3000 a 6000 mm ² /s (cSt) ^B	3.11	9.0
Por encima de 6000 mm ² /s (cSt) ^B	3.6	10.0

^A Representan, respectivamente, los límites 1s % y d2s %, descritos en la norma ASTM C-670

^B Con base en menos de 30 grados de libertad

Nota 5: Los valores de la columna 2 son los coeficientes de variación que se han encontrado apropiados para los materiales y condiciones de ensayo descritos en la columna 1. Los valores de la columna 3 son los límites que no deberían ser excedidos por la diferencia entre los resultados de dos ensayos realizados adecuadamente.

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D2170/D2170M – 10

ANEXO A (Aplicación obligatoria)

CÁLCULO DE LA VISCOSIDAD DINÁMICA DE UN LÍQUIDO NEWTONIANO

- A.1** La viscosidad dinámica de un líquido newtoniano se calcula multiplicando la viscosidad cinemática por la densidad del líquido a la temperatura de ensayo.
- A.2** Para asfaltos de pavimentación a 135° C (275° F), la densidad se puede determinar a partir de la gravedad específica a 25/25° C (77/77°F), multiplicando por un factor 0.934 g/cm³; o a partir de la gravedad específica a 15.5/15.5° C (60/60° F), multiplicando por un factor 0.931 g/cm³. Estos factores se basan en un coeficiente promedio de expansión de 0.00061/°C (0.00034/°F) para el cemento asfáltico.
- A.3** Cuando no se conoce la gravedad específica del asfalto, la viscosidad dinámica se puede obtener satisfactoriamente a 135° C (275° F), multiplicando la viscosidad cinemática a 135° C (275° F) por una densidad asumida de 0.948 g/cm³. Este valor de densidad es equivalente a una gravedad específica de 1.015 a 25/25°C (77/77°F). Ensayos realizados sobre un gran número de asfaltos indican que el error introducido por esta suposición no debe exceder de ± 3%.

ANEXO B (Aplicación obligatoria)

VISCOSÍMETROS DE FLUJO INVERTIDO

- B.1** Objeto:
- B.1.1** Los viscosímetros de flujo invertido para líquidos transparentes y opacos incluyen los viscosímetros Cannon-Fenske opaco, el de brazo transversal Zeitfuchs, el BS/IP/RF y el Lantz-Zeitfuchs. A diferencia de lo que ocurre en el viscosímetro Ostwald modificado y en los de nivel suspendido, la muestra de líquido fluye dentro de un bulbo de aforo que no ha sido humedecido anteriormente por la muestra, permitiendo así el aforo de líquidos cuyas películas delgadas sean opacas. Los viscosímetros de flujo invertido se emplean en la medida de viscosidades cinemáticas de líquidos opacos y transparentes hasta de 100 000 mm²/s (cSt).

B.2 Equipo:

B.2.1 En las Figuras 715B - 1 a 715B - 4 se muestran esquemas con las dimensiones, constantes aproximadas, rangos de viscosidad cinemática, diámetros capilares y volúmenes del bulbo para cada uno de los viscosímetros de flujo invertido. En este método, el intervalo de viscosidad cinemática se basa en un tiempo de flujo mínimo de 60 s. Las longitudes de la parte superior del tubo K, L, M y N en las Figuras 715B - 1 a 715B - 4, se incrementan o disminuyen de acuerdo con los requerimientos de inmersión dados en el numeral 5.3.

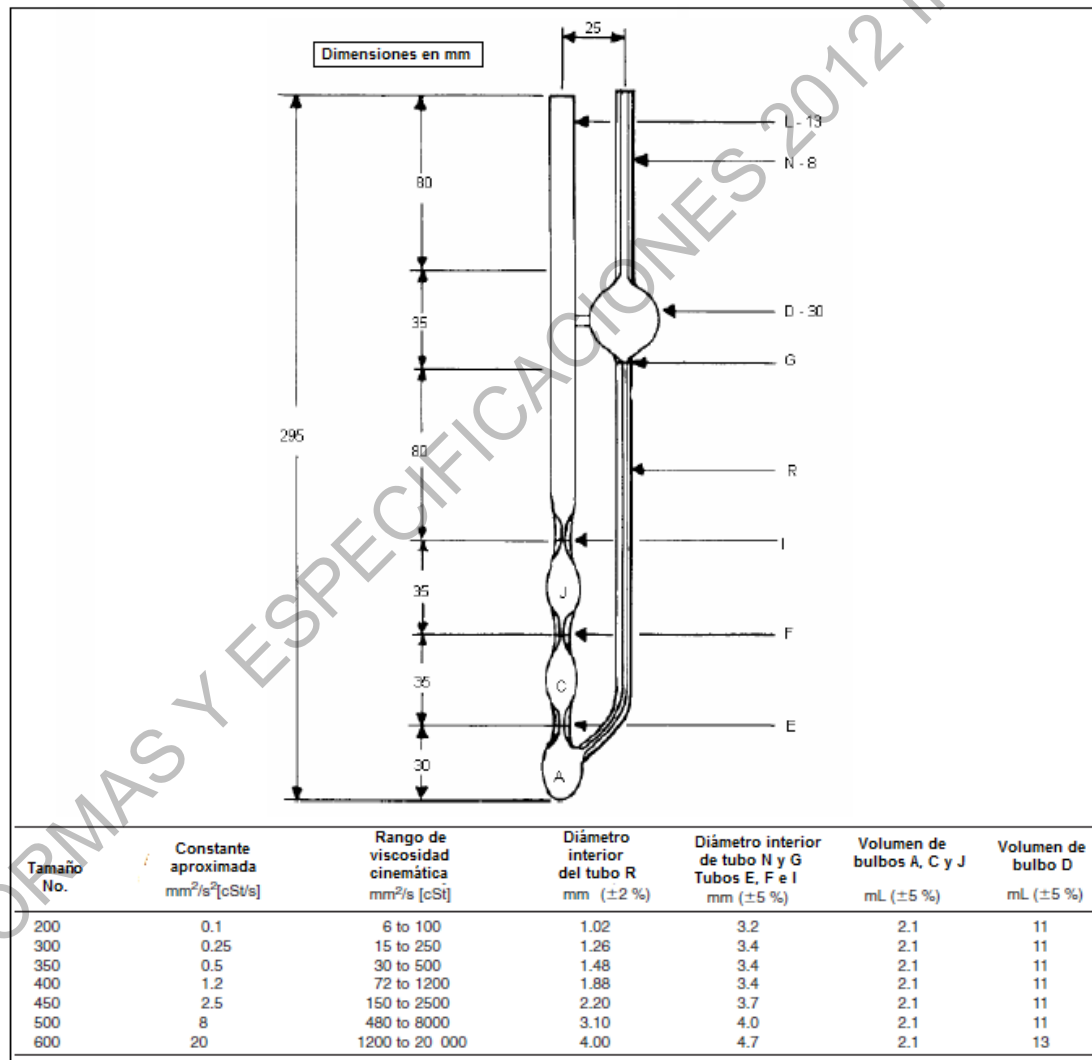


Figura 715B - 1. Viscosímetro Cannon- Fenske para líquidos opacos y transparentes

B.3 Instrucciones de operación:

- B.3.1** En la Sección 7 se ha descrito un procedimiento normalizado de operación. Algunas instrucciones adicionales de operación para viscosímetros de flujo invertido se presentan en los siguientes párrafos, con énfasis en procedimientos que son específicos para un instrumento en particular o para este grupo de instrumentos.
- B.3.2** Se escoge un viscosímetro limpio y seco, que dé un tiempo de flujo mayor de 60 segundos.
- B.3.3** Se carga el viscosímetro de la manera que ordena el diseño del instrumento. Esta operación debe estar de acuerdo con la empleada en la calibración del aparato. Si la muestra puede contener pelusa, partículas sólidas, etc., se debe filtrar como se indica en el método D 445 de la ASTM.

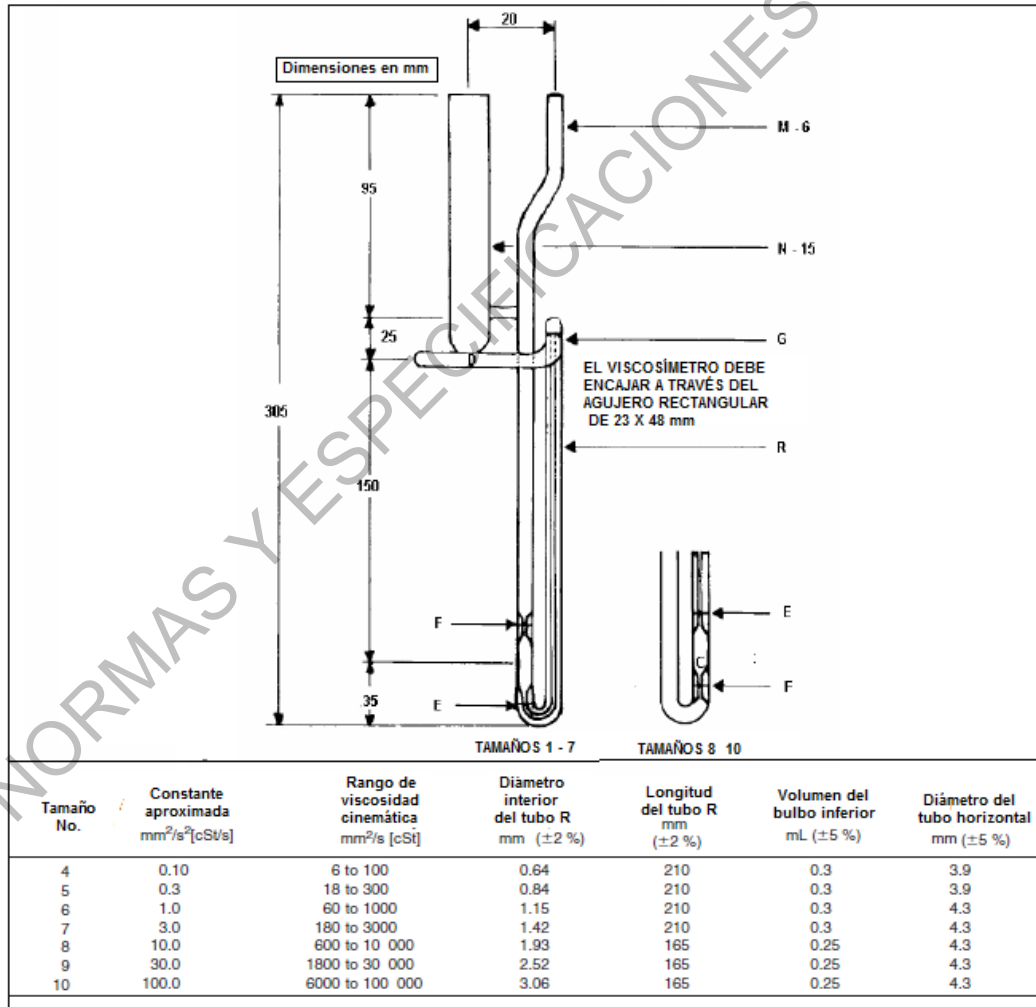


Figura 715B - 2. Viscosímetro de brazo transversal Zeitzuch para líquidos transparentes y opacos

- B.3.3.1** Para cargar el viscosímetro opaco Cannon-Fenske, se invierte el aparato y se aplica succión al tubo L, sumergiendo el tubo N en la muestra de líquido. Se carga líquido a través del tubo N, llenando el bulbo D hasta la marca de llenado G. Se limpia el exceso de muestra del tubo N y se vuelve a invertir el viscosímetro hacia su posición normal. Se monta el viscosímetro en el baño de temperatura constante, manteniendo vertical el tubo L. Cuando la muestra pase a través del tubo capilar R y llene el bulbo A aproximadamente hasta la mitad, se detiene el flujo colocando un tapón en el tubo L.
- B.3.3.2** El viscosímetro Zeitfuchs de brazo transversal se monta en el baño de temperatura constante, manteniendo el tubo N en posición vertical. Se introduce muestra a través del tubo N, teniendo cuidado de no humedecer los lados de dicho tubo, dentro del brazo transversal D hasta que el borde de ataque quede dentro de 0.5 mm de la marca de llenado G sobre el tubo sifón.
- B.3.3.3** Se monta el viscosímetro Lantz-Zeitfuchs en el baño de temperatura constante, manteniendo el tubo N en posición vertical. Se introduce muestra suficiente a través del tubo N hasta llenar completamente el bulbo D, rebosando ligeramente dentro del bulbo de rebose K. Si la muestra fue vertida a una temperatura mayor que la del ensayo, se esperan 15 minutos para que la muestra en el viscosímetro alcance la temperatura del baño y se agrega más muestra para que rebose ligeramente dentro del bulbo K. Este período de 15 minutos forma parte y no es una adición al tiempo de equilibrio mencionado en el numeral B.3.4.

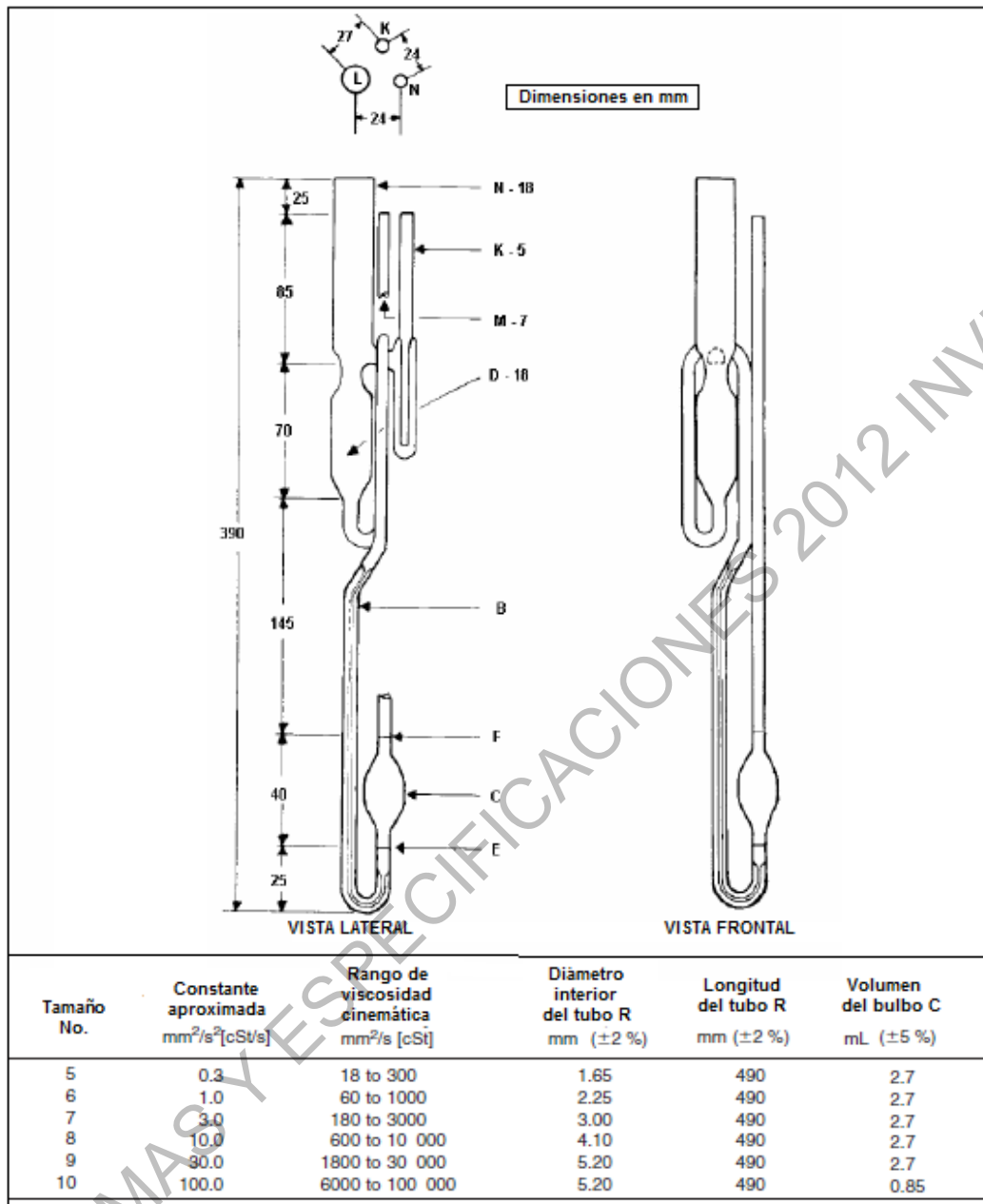


Figura 715B - 3. Viscosímetro de flujo invertido tipo Lantz-Zeitfuchs para líquidos opacos

B.3.3.4 Se monta el viscosímetro BS/IP/RF en el baño de temperatura constante manteniendo el tubo L en posición vertical. Se vierte la muestra a través del tubo N hasta un punto exactamente por encima de la marca de llenado G; se permite que la muestra fluya libremente a través del capilar R, teniendo cuidado de que la columna de líquido permanezca sin romperse, hasta que el menisco inferior esté cerca de 5

mm por debajo de la marca de llenado H y se detiene entonces su flujo, cerrando el tubo de aforo con un tapón de corcho o de caucho en el tubo L. Si fuere necesario, se adiciona más líquido para llevar el menisco superior ligeramente por encima de la marca G. Después de permitir que la muestra alcance la temperatura del baño (Ver numeral B.3.4) y que cualquier burbuja de aire alcance la superficie, se suelta suavemente el tapón, permitiendo que la muestra fluya hasta la marca de llenado inferior H y de nuevo se detiene el flujo. Se remueve el exceso de muestra por encima de la marca de llenado G, insertando la pipeta especial hasta que su corcho descansa sobre la parte superior del tubo N; entonces, se aplica una succión suave hasta que el aire suba a través de la pipeta. El menisco superior deberá coincidir con la marca G.

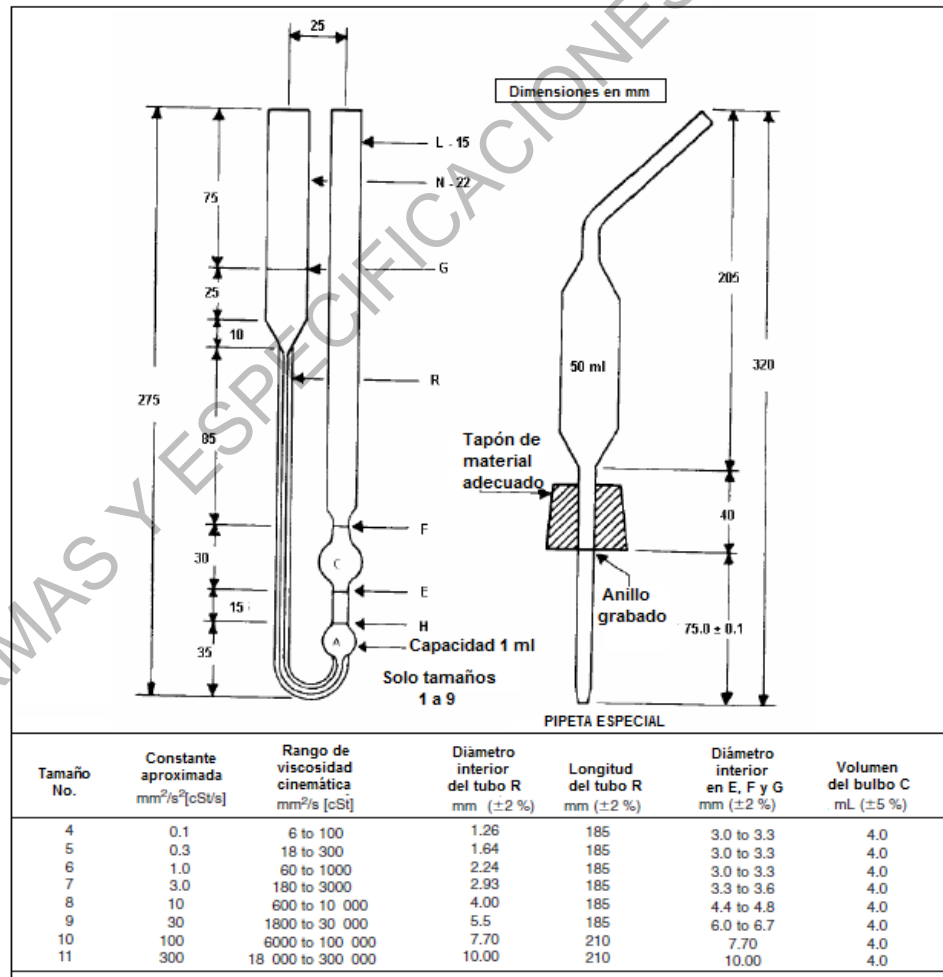


Figura 715B - 4. Viscosímetro BS/IP/RF de tubo en U y de flujo invertido para líquidos opacos

- B.3.4** Se permite que el viscosímetro permanezca en el baño a temperatura constante el tiempo suficiente para asegurar que la muestra alcance la temperatura de equilibrio (mínimo 10 minutos, máximo 30 minutos).
- B.3.5** Para los viscosímetros Cannon-Fenske y BS/IP/RF, se remueve el tapón en los tubos N y L, respectivamente, y se permite que la muestra fluya por gravedad. Para el viscosímetro de brazo transversal Zeitfuchs, se aplica un ligero vacío al tubo M (o una ligera presión al tubo N) para hacer que el menisco se mueva sobre el tubo sifón y unos 30 mm por debajo del nivel del tubo D en el capilar R; iniciando así el flujo por gravedad. Para el viscosímetro Lantz- Zeitfuchs, se aplica un ligero vacío al tubo M (o presión al tubo N con el tubo K cerrado), hasta que el menisco inferior esté opuesto a la marca inferior aforo E. Se permite que la muestra fluya por gravedad.
- B.3.6** Se mide, con una aproximación de 0.1 s, el tiempo requerido para que el menisco pase de la marca de aforo E a la marca F, tal como se indica en la Sección 7.
- B.3.7** Se calcula la viscosidad de acuerdo a la Sección 8 de esta norma.
- B.3.8** Se limpia completamente el viscosímetro como se indica en el numeral 7.8 de esta norma.

ANEXO C (Aplicación obligatoria)

CALIBRACIÓN DE VISCOSÍMETROS

C.1 Objeto:

- C.1.1** Este anexo describe los materiales y procedimientos usados para calibrar o verificar la calibración de los viscosímetros empleados en esta norma de ensayo.

C.2 Materiales de referencia:

- C.2.1** Aceites de viscosidad normalizada, de conformidad con las normas ASTM, que tengan las viscosidades cinemáticas aproximadas que se muestran en la Tabla 715C - 1. Con cada muestra se deben suministrar los valores certificados de viscosidad cinemática que se establezcan.

C.3 Calibración:

C.3.1 *Calibración del viscosímetro de rutina utilizando líquidos de viscosidad normal* – Se escoge de la Tabla 715C - 1 un líquido normalizado que tenga un tiempo de flujo mínimo de 200 s a la temperatura de calibración, [preferiblemente 37.8° C (100° F)]. Se determina el tiempo de flujo con aproximación a 0.1 s mediante el procedimiento descrito en la Sección 7 y se calcula la constante del viscosímetro C_0 en la siguiente forma:

$$C = \frac{u}{t} \quad [715.2]$$

Donde: u : Viscosidad para el líquido estándar, mm^2/s (cSt);

t : Tiempo de flujo, s.

C.3.2 Para los viscosímetros Zeitfuchs de brazo transversal, Lantz-Zeitfuchs y BS/IP/RF, la constante del viscosímetro es independiente de la temperatura.

C.3.3 El viscosímetro Cannon-Fenske para líquidos opacos tiene un volumen fijo de muestra cargada a la temperatura de llenado. Si la temperatura de ensayo (T_t) difiere de la de llenado (T_f), la constante del viscosímetro (C_t) se calcula con la expresión:

$$C_t = C_0 [1 + F(T_t - T_f)] \quad [715.3]$$

Donde: C_0 : Constante del viscosímetro cuando se llena y ensaya a la misma temperatura;

F : Factor de dependencia de la temperatura (Ver numeral C.3.4).

C.3.4 Se calcula el factor de dependencia de la temperatura, F , con la ecuación:

$$F = \frac{4\alpha V}{\pi d^2 h} = \frac{[4V(\rho_f - \rho_t)]}{[\pi d^2 h \rho_t (T_t - T_f)]} \quad [715.4]$$

- Donde: V: Volumen de carga, cm³;
- d: Diámetro promedio del menisco en el recipiente superior, cm;
- h: Cabeza promedio guía, cm;
- α : Coeficiente de expansión térmica de la muestra de ensayo entre la temperatura de llenado y la de ensayo;
- ρ : Densidad, g/cm³.

C.3.5 Si el viscosímetro se usa en un sitio diferente al del laboratorio de calibración, la constante C se debe corregir debido a la diferencia en la aceleración de la gravedad g, de la siguiente manera:

$$C_2 = \left[\frac{g_2}{g_1} \right] \times C_1 \quad [715.5]$$

- Donde: C₂: Constante de calibración en el laboratorio de ensayo;
- C₁: Constante de calibración en el laboratorio de calibración;
- g₂: Aceleración de la gravedad en el laboratorio de ensayo;
- g₁: Aceleración de la gravedad en el laboratorio de calibración.

C.3.5.1 Los certificados de los viscosímetros deben establecer el valor de g en el sitio del laboratorio de calibración. La falta de corrección por efecto de la gravedad puede ocasionar errores de 0.2%.

C.3.6 *Calibración de viscosímetros de rutina por medio de un viscosímetro normalizado* – Se escoge cualquier aceite de petróleo que tenga un tiempo de flujo mínimo de 200 s. Se escoge, también, un viscosímetro estándar de constante C conocida. Puede ser un viscosímetro patrón calibrado por el procedimiento de “ajuste”, usando viscosímetros de diámetros sucesivamente mayores, iniciando con agua destilada a la viscosidad básica normal (ver norma ASTM D 2162), o un viscosímetro

de rutina del mismo tipo, calibrado mediante comparación con un viscosímetro patrón. Los viscosímetros calibrados se consiguen en los almacenes de venta de equipos de laboratorio.

C.3.6.1 Se montan en el mismo baño el viscosímetro normalizado y el que va a ser calibrado y se determinan los tiempos de flujo del aceite, mediante el procedimiento descrito en la Sección 7.

C.3.6.2 Se calcula la constante C_1 como sigue (nota 5):

$$C_1 = (t_2 \times C_2) / t_1 \quad [715.6]$$

- Donde:
- C_1 : Constante de calibración del viscosímetro de rutina;
 - t_1 : Tiempo de flujo con aproximación a 0.1 s en el viscosímetro de rutina;
 - C_2 : Constante de calibración del viscosímetro normalizado;
 - t_2 : Tiempo de flujo con aproximación a 0.1 s en el viscosímetro normalizado.

Tabla 715C - 1. Aceites de viscosidad normalizada

ACEITES DE VISCOSIDAD NORMALIZADA, DE ACUERDO CON LAS NORMAS ASTM	VISCOSIDAD CINEMÁTICA APROXIMADA, mm^2/s (cSt)		
	A 40°C (104°F)	A 50°C (122°F)	A 100°C (212°F)
S 60	54	35	7.5
S 200	180	110	20
S 600	520	310	50
S 2000	1600	800	72
S 8000	6700	3200	240
S 30000	23 000	11 000	630

ANEXO D (Informativo)

DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE CONGELACIÓN Y RECALIBRACIÓN DE TERMÓMETROS DE LÍQUIDO EN VIDRIO PARA VISCOSIDAD CINEMÁTICA

- D.1** Para lograr una exactitud de $\pm 0.02^\circ \text{C}$, empleada para calibrar los termómetros de líquido en vidrio para el ensayo de viscosidad cinemática, se requiere hacer una verificación en el punto de congelación y efectuar las correcciones debidas al cambio observado en el punto de congelación. Se recomienda que el intervalo entre verificaciones no exceda de seis meses para termómetros usados; mientras que para termómetros nuevos el chequeo debe ser mensual durante los primeros seis meses de uso.
- D.2** Un procedimiento de medida del punto de congelación y de re-calibración de termómetros se describe en el numeral 6.5 de la norma ASTM E 77. Las sugerencias que se dan en los siguientes numerales de este anexo aplican únicamente a termómetros de vidrio con mercurio para la determinación de viscosidades cinemáticas.
- D.2.1** La lectura del punto de congelación de los termómetros de líquido en vidrio para viscosidad cinemática se puede establecer dentro de los 60 minutos siguientes al inicio del ensayo de temperatura pero, en ningún caso, antes de 3 minutos. Esta lectura se indica con una aproximación de 0.01°C (0.02°F).
- D.2.2** Se toman trozos de hielo preferiblemente hechos con agua pura o destilada. Se deben desechar los trozos con apariencia turbia o con incrustaciones de materiales diferentes al agua. Se enjuaga el hielo con agua destilada y se tritura en fragmentos pequeños, evitando el contacto directo con las manos u objetos químicamente impuros. Se llena un matraz Dewar con el hielo triturado y se adiciona suficiente agua destilada previamente enfriada para formar nieve a medio derretir, pero no tanta que haga flotar el hielo. A medida que se derrite el hielo, se decanta parcialmente el agua y se agrega más hielo triturado. Se inserta el termómetro y se amontona hielo suavemente alrededor de su vástago hasta la altura correspondiente a una división de la escala por debajo de 0°C (32°F). Debido a la fusión, puede ser necesario reamontonar hielo alrededor del termómetro.

- D.2.3** Transcurrido un período no menor de tres minutos, se golpea suavemente el vástago del termómetro y se toma la lectura. Para definir el punto de congelación, dos lecturas sucesivas a un intervalo no menor de 1 minuto deberán coincidir dentro de un décimo de una división de graduación.
- D.2.4** Se registra la lectura del punto de congelación y se compara con la lectura de la calibración previa. Si la lectura encontrada es superior o inferior a la lectura correspondiente a la calibración previa, se deberán aumentar o disminuir las lecturas a todas las demás temperaturas.
- D.2.5** El procedimiento de punto de congelación descrito en los párrafos anteriores se usa para recalibrar los termómetros de líquido en vidrio usados en ensayos de viscosidad cinemática. No es necesaria una nueva calibración completa para satisfacer la exactitud atribuida a este termómetro.
- D.3** Se recomienda que los termómetros para viscosidad cinemática se coloquen en posición vertical cuando no son utilizados, con el fin de prevenir la separación de la columna de mercurio.
- D.4** Se recomienda que en estos termómetros las lecturas se realicen con aproximación al $1/5$ más cercano de una división, utilizando un medio apropiado de magnificación. Puesto que los termómetros típicos de viscosidad cinemática se colocan en un baño (que tiene visión por el frente), las lecturas se deben hacer bajando el termómetro, de manera que la parte superior de la columna de mercurio quede entre 5 y 15 mm por debajo de la superficie del líquido del baño. Se debe tener cuidado para asegurar que la cámara de expansión de la parte superior del termómetro esté sobre la superficie del baño de temperatura constante. Si la cámara de expansión está a una temperatura mayor o menor que la del ambiente, se puede producir un error significativo (del orden de una a dos divisiones del termómetro). Una lupa puede resultar de utilidad para leer la escala con aproximación de $1/5$ de división.

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD DEL ASFALTO EMPLEANDO VISCOSÍMETROS CAPILARES DE VACÍO

INV E – 716 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento para determinar la viscosidad de un ligante asfáltico (bitumen), empleando viscosímetros capilares de vacío a 60° C (140° F). Se aplica a materiales que tengan viscosidades en el rango de 0.0036 a 20 000 Pa·s (0.036 a 200 000 Poises).

Nota 1: El método de ensayo se puede usar a otras temperaturas, pero la precisión se basa en determinaciones sobre cementos asfálticos a 60° C.

- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-716-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Líquido newtoniano* – Líquido en el cual la velocidad de corte es proporcional al esfuerzo de corte. La relación constante entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte es la viscosidad del líquido. Si la relación no es constante, el líquido no es newtoniano.
- 2.2** *Viscosidad* – La relación entre el esfuerzo cortante aplicado y la velocidad de corte se llama coeficiente de viscosidad. Este coeficiente es, entonces, una medida de la resistencia del líquido a fluir, y se llama comúnmente viscosidad del líquido. La unidad de viscosidad en el sistema SI es 1 Pa·s (1 N·s/m²) y se denomina Pascal-segundo. La unidad de viscosidad en el sistema cgs es 1 g/cm·s (1 dina·s/cm²) y se denomina poise (P). 1 Pa·s equivale a 10 P.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** Se mide el tiempo necesario para que un volumen fijo de líquido fluya a través de un tubo capilar por acción del vacío, bajo condiciones estrechamente controladas de vacío y temperatura. La viscosidad, en Pa·s, se calcula multiplicando el tiempo de flujo, en segundos, por el factor de calibración del viscosímetro.

Nota 2: La velocidad de corte decrece a medida que el líquido se mueve hacia arriba en el tubo; también, puede variar por el uso de diferentes grados de vacío o de diferentes tamaños de viscosímetros. Por consiguiente, este método es apropiado para medir la viscosidad de líquidos newtonianos (flujo simple) y no-newtonianos (flujo complejo).

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** La viscosidad a 60° C (140° F) caracteriza el comportamiento del flujo y se puede usar para verificar el cumplimiento de las especificaciones por parte de los asfaltos líquidos y los cementos asfálticos.

5 EQUIPOS

- 5.1** *Viscosímetros* – De tipo capilar, contruidos de vidrio de borosilicato templado; adecuados para este ensayo. En los Anexos de esta norma se describen los siguientes:

5.1.1 *Viscosímetro de vacío Cannon – Manning (CMVV)* (Figura 716 - 1) – Se describe en el Anexo A.

5.1.2 *Viscosímetro de vacío del Instituto del Asfalto (AIVV)* (Figura 716 - 2) – Se describe en el Anexo B.

5.1.3 *Viscosímetro de vacío Koppers modificado (MKVV)* (Figura 716 - 3) – Se describe en el Anexo C.

5.1.4 En el Anexo D se dan detalles con respecto a la calibración de los viscosímetros.

Nota 3: La medida de viscosidad con el viscosímetro CMVV puede ser 1 a 5% inferior a la medida con los viscosímetros AIVV o MKVV en el mismo rango de viscosidad. La diferencia se puede deber a un flujo no-newtoniano del asfalto.

- 5.2** *Termómetros* – Se pueden utilizar termómetros calibrados de líquido en vidrio con una exactitud, después de la corrección, de 0.02° C (0.04° F), o cualquier otro dispositivo termométrico de igual exactitud. Los termómetros para la viscosidad cinemática ASTM 47C y 47F e IP 35C y 35F son adecuados para uso a 60° C (140° F).

5.2.1 Los termómetros especificados están normalizados a "inmersión total", lo que significa inmersión hasta la parte superior de la columna de

mercurio, con el resto del vástago y la cámara de expansión de la parte superior del termómetro, expuestos a la temperatura ambiente. No es recomendable la práctica de sumergir completamente el termómetro. Cuando los termómetros están completamente sumergidos, se deben determinar y aplicar correcciones para cada termómetro individual, basadas en la calibración bajo condiciones de inmersión completa. Si el termómetro está completamente sumergido en el baño durante su empleo, la presión del gas en la cámara de expansión será más alta o más baja que durante la normalización, lo que se puede traducir en lecturas más altas o más bajas en el termómetro.

5.2.2 Es necesario recalibrar periódicamente los termómetros de líquido en vidrio, empleando las técnicas descritas en la norma ASTM E-77 (Ver Anexo D de la norma INV E-715).

5.3 *Baño* – Adecuado para la inmersión del viscosímetro, de manera que el reservorio líquido o la parte superior del capilar, el que esté más elevado, quede al menos a 20 mm por debajo del nivel superior del baño. Deberá tener los medios para asegurar la visibilidad del viscosímetro y del termómetro. Debe tener soportes firmes para el viscosímetro o éste puede ser parte integral del baño. La eficiencia de la agitación y el balance entre la pérdida y el suministro de calor deben ser tales, que la temperatura del líquido del baño no cambie en más de $\pm 0.03^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.05^{\circ}\text{F}$) sobre la longitud del viscosímetro, o entre un viscosímetro y otro en las diferentes posiciones del baño a 60°C (140°F).

5.4 *Sistema de vacío* – Un equipo (bomba de vacío) capaz de mantener vacío dentro de ± 0.5 mm del nivel deseado, hasta 40.0 kPa (300 mm Hg). El sistema básico se muestra esquemáticamente en la Figura 716 - 4. Se debe usar una tubería de vidrio con diámetro interno de 6.35 mm ($\frac{1}{4}$ "). Todas las uniones de vidrio deben ser herméticas, de manera que cuando el sistema esté cerrado no haya pérdidas de vacío. El sistema de medida del vacío se debe calibrar anualmente.

5.5 *Cronómetro* – Un cronómetro u otro dispositivo para medir el tiempo, graduado en divisiones de 0.1 segundo o menos, y con exactitud de 0.05 % cuando se ensaya a intervalos mayores de 15 minutos. El dispositivo de deberá calibrar al menos semestralmente.

5.5.1 Se pueden usar dispositivos eléctricos de cronometraje, únicamente en circuitos cuyas frecuencias sean controladas con una exactitud de 0.05 % o superior.

- 5.5.1.1** Cuando se empleen dispositivos eléctricos para controlar el tiempo, se deben evitar corrientes alternas cuyas frecuencias sean intermitentes y no se puedan controlar continuamente, como las proporcionadas por algunos sistemas de suministro público de corriente, ya que pueden dar lugar a errores considerables, particularmente durante intervalos de tiempo reducidos.

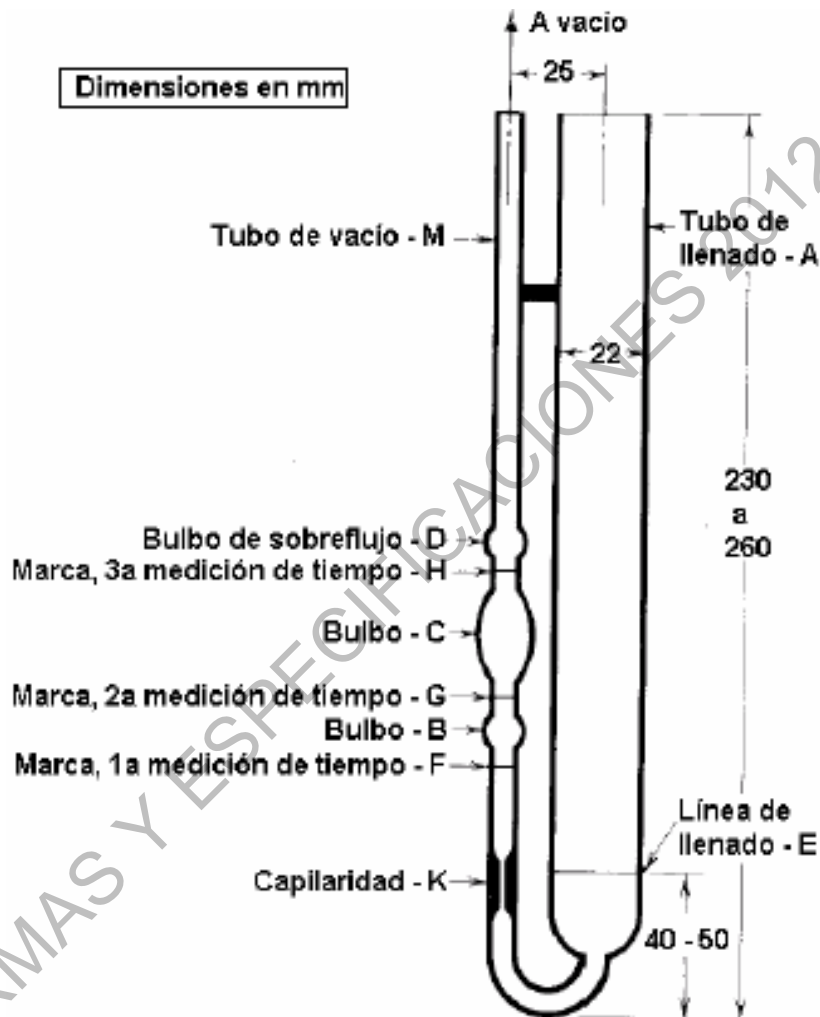


Figura 716 - 1. Viscosímetro capilar de vacío Cannon - Manning (CMVV)

6 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

- 6.1** Se calienta la muestra con cuidado para evitar sobrecalentamiento local, hasta que alcance la fluidez suficiente para vaciarla, agitando ocasionalmente para ayudar a la transferencia del calor y asegurar la uniformidad.

6.2 Se transfieren un mínimo de 20 ml a un recipiente adecuado y se calienta a $135 \pm 5.5^\circ \text{C}$ ($275 \pm 10^\circ \text{F}$), agitando ocasionalmente para evitar sobrecalentamientos locales y el atrapamiento de aire.

Nota 4: Si se sospecha que la muestra puede contener material sólido, se cuela la muestra fundida dentro del contenedor a través de tamiz $300 \mu\text{m}$ (No. 50).

Nota 5: Los asfaltos muy viscosos o modificados suelen requerir calentamiento en un horno a $163 \pm 5^\circ \text{C}$ ($325 \pm 10^\circ \text{F}$), con el fin de que alcancen la fluidez suficiente para ser agitados y vertidos.

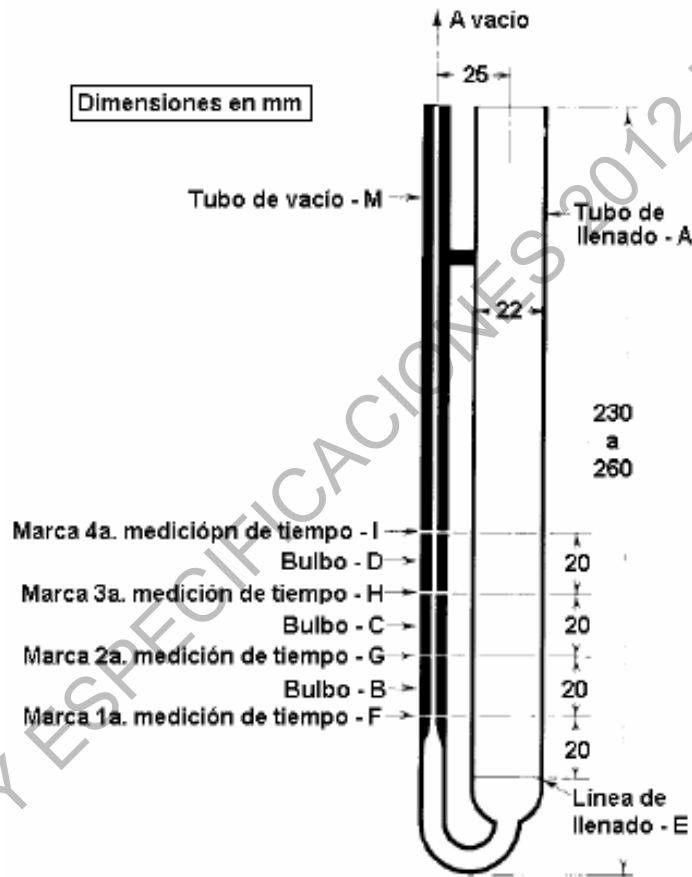


Figura 716 - 2. Viscosímetro capilar de vacío del Instituto del Asfalto (AIVV)

7 PROCEDIMIENTO

7.1 Los detalles específicos de la operación varían según el tipo de viscosímetro. En los Anexos A, B y C se presentan las descripciones detalladas de operación para los viscosímetros mencionados en esta norma. Sin embargo, en todos los casos se debe seguir el procedimiento general que se describe en los numerales 7.1.1 a 7.1.9.

- 7.1.1** Se mantiene el baño a la temperatura de ensayo, con una tolerancia de $\pm 0.03^\circ \text{C}$ ($\pm 0.05^\circ \text{F}$). Se aplican las correcciones necesarias a todas las lecturas de los termómetros, en caso de haberlas.
- 7.1.2** Se escoge un viscosímetro limpio y seco, que dé un tiempo de flujo mayor de 60 segundos, y se precalienta a $135 \pm 5.5^\circ \text{C}$ ($275 \pm 10^\circ \text{F}$).
- 7.1.3** Se carga el viscosímetro vertiendo la muestra preparada dentro de él y se llena con una aproximación de $\pm 2 \text{ mm}$ hasta la línea de llenado E (Figuras 716 - 1, 716 - 2 y 716 - 3).
- 7.1.4** Se coloca el viscosímetro cargado en un horno o baño a $135 \pm 5.5^\circ \text{C}$ ($275 \pm 10^\circ \text{F}$), por un período de $10 \pm 2 \text{ min}$, para permitir que escapen las burbujas de aire mayores.

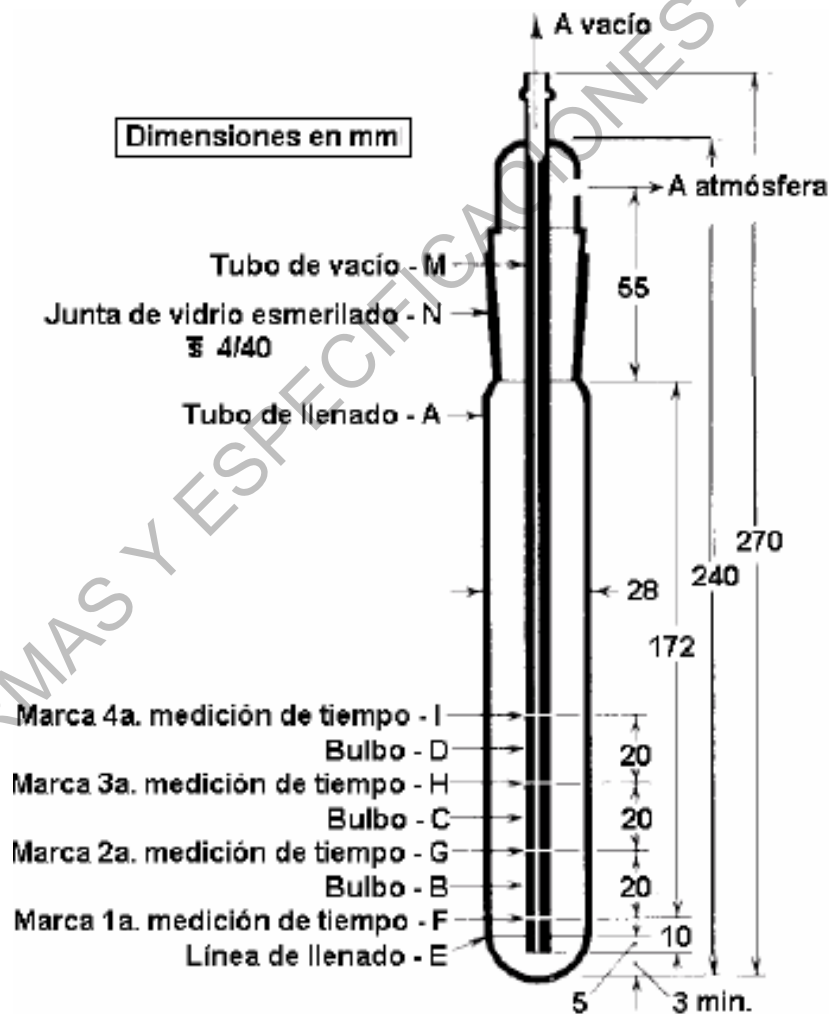


Figura 716 - 3. Viscosímetro capilar de vacío Koppers Modificado (MKVV)

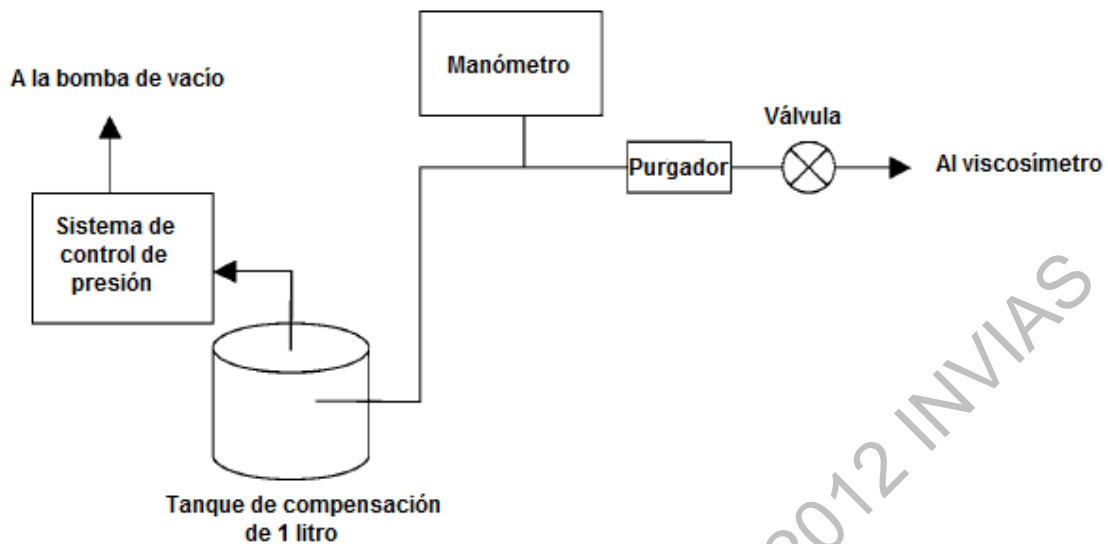


Figura 716 - 4. Sistema sugerido de vacío para viscosímetros capilares de vacío

- 7.1.5** Se retira el viscosímetro del horno o baño y, dentro de un lapso de 5 minutos, se coloca en un soporte y se pone en posición vertical en el baño, en forma que la marca superior de aforo esté, como mínimo, 20 mm por debajo de la superficie del líquido del baño.
- 7.1.6** Se establece un vacío de 40.0 ± 0.07 kPa (300 ± 0.5 mm Hg) con el sistema de vacío y se conecta éste al viscosímetro, manteniendo cerrada la válvula o llave de paso de la línea que conduce al viscosímetro.
- 7.1.7** Después de que el viscosímetro haya estado dentro del baño un período de 30 ± 5 min, se inicia el flujo del asfalto en el viscosímetro abriendo la válvula en la línea que lo conecta con el sistema de vacío.
- 7.1.8** Se mide, con exactitud de 0.1 s, el tiempo requerido para que el borde de ataque del menisco pase entre los pares sucesivos de marcas de aforo. Se registra el primer tiempo de flujo que exceda de 60 s entre un par de marcas de aforo, anotando las identificaciones de las dos marcas.
- 7.1.9** Una vez concluido el ensayo, se limpia completamente el viscosímetro mediante varios enjuagues con un solvente apropiado completamente miscible con la muestra, seguido por un solvente totalmente volátil. Se seca el tubo pasando una corriente lenta de aire filtrado seco a través del capilar durante dos minutos, o hasta que se remueva la última traza de solvente. Alternativamente, el viscosímetro se puede limpiar

en un horno para el secado de recipientes de vidrio, a una temperatura que no exceda de 500° C (932° F), seguido de un enjuague con agua destilada o desionizada y acetona libre de residuos, más un secado con aire filtrado seco. Periódicamente, y si se observan depósitos, se debe limpiar el viscosímetro con una solución ácida fuerte para remover depósitos orgánicos, se enjuaga completamente con agua destilada y con acetona libre de residuos y se seca con aire filtrado seco.

7.1.9.1 Para limpiar el viscosímetro se puede utilizar una solución de limpieza de ácido crómico, adicionando, con todas las precauciones, 800 ml de ácido sulfúrico concentrado a una solución de 92 g de dicromato de sodio en 458 ml de agua. Se acepta el uso de soluciones limpiadoras comerciales a base de ácido sulfúrico. Las soluciones que contiene cromo presentan problemas para su eliminación, motivo por el cual se debe tratar de evitar su uso.

7.1.9.2 No se recomienda el uso de soluciones alcalinas limpiadoras de vidrio, ya que producen variaciones en los resultados de la calibración del viscosímetro.

8 CÁLCULOS

8.1 Se selecciona el factor de calibración que corresponde al par de marcas usadas para la determinación (numeral 7.1.8). Se calcula y se registra la viscosidad con tres dígitos significativos, usando la siguiente ecuación:

$$\text{Viscosidad (Pa}\cdot\text{s)} = Kt \quad [716.1]$$

Donde: K: Factor de calibración seleccionado, Pa·s/s;

t: Tiempo de flujo, s.

Nota 6: Si el factor de calibración del viscosímetro (K_{cgs}) está en unidades cgs (Poise/s), el factor (K_{si}) en unidades SI (Pa·s/s) se calcula de la siguiente manera:

$$K_{si} = K_{cgs}/10 \quad [716.2]$$

9 INFORME

- 9.1 Se informa siempre la temperatura de ensayo, junto con el resultado; por ejemplo: viscosidad a 60°C (140 ° F) y vacío de 40.0 kPa (300 mm HG), en Pa·s.

10 PRECISIÓN Y SESGO

- 10.1 *Precisión* – Se puede usar el siguiente criterio (ver nota 1) para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95 % probabilidad).

10.1.1 *Repetibilidad* – Resultados duplicados de un mismo operador, usando el mismo viscosímetro, no serán considerados dudosos a menos que difieran en más del 7 %, de su valor medio.

10.1.2 *Reproducibilidad* – Los resultados presentados por dos laboratorios diferentes no se considerarán sospechosos, a menos que los dos resultados difieran más del 10 % de su valor medio.

- 10.2 *Sesgo* – Debido a que no hay un valor aceptado como referencia, no se puede determinar el sesgo para este método de ensayo.

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D2171/D2171M – 10

ANEXO A (Aplicación obligatoria)

VISCOSÍMETRO CAPILAR DE VACÍO CANNON – MANNING (CMVV)

A.1 *Objeto:*

- A.1.1 El viscosímetro capilar de vacío Cannon-Manning se consigue en once tamaños (Tabla 716A - 1), abarcando un rango de 0.0036 a 8000 Pa·s (0.036 a 80 000 P). Los tamaños 10 a 14 son los más adecuados para medir la viscosidad de cementos asfálticos a 60° C (140° F).

A.2 Equipo:

A.2.1 La Figura 716 - 1 presenta detalles del diseño y la construcción del viscosímetro capilar de vacío Cannon-Manning. Los tamaños, los factores de bulbo aproximados, los factores de calibración aproximados y los rangos de viscosidad, se dan en la Tabla 716A - 1. La Figura 716A - 1 muestra algunos viscosímetros de este tipo.



Figura 716A - 1. Viscosímetros Cannon - Manning

- A.2.2** Para todos los tamaños de viscosímetros, el volumen del bulbo de medida C es aproximadamente el triple que el del bulbo B.
- A.2.3** Se puede hacer un soporte adecuado perforando dos orificios, de 22 y 8 mm de diámetro, respectivamente, a través de un tapón de caucho No. 11. La distancia entre los centros de los orificios será de 25 mm. Se ranura el tapón de caucho entre los orificios y también entre el orificio de 8 mm y el borde del tapón. Cuando se coloque en el orificio de 50 mm de la tapa del baño, el tapón fijará el viscosímetro en su lugar. Los tapones de estas características se consiguen en el comercio.

Tabla 716A - 1. Tamaños normalizados de viscosímetros, factores de calibración aproximados y rangos de viscosidad para viscosímetros capilares de vacío Cannon - Manning

NÚMERO DEL TAMAÑO DEL VISCOSÍMETRO	FACTOR DE CALIBRACIÓN APROXIMADO, K ^A , VACÍO DE 40 kPa (300 mm Hg), Pa·s/s (P/s/10)		RANGO DE VISCOSIDAD, Pa·s ^B	RANGO DE VISCOSIDAD, P ^B
	Bulbo B	Bulbo C		
4	0.0002	0.00006	0.0036 a 0.08	0.036 a 0.8
5	0.0006	0.0002	0.012 a 0.24	0.12 a 2.4
6	0.002	0.0006	0.036 a 0.8	0.36 a 8
7	0.006	0.002	0.12 a 2.4	1.2 a 24
8	0.02	0.006	0.36 a 8	3.6 a 80
9	0.06	0.02	1.2 a 24	12 a 240
10	0.2	0.06	3.6 a 80	36 a 800
11	0.6	0.2	12 a 240	120 a 2400
12	2.0	0.6	36 a 800	360 a 8000
13	6.0	2.0	120 a 2400	1200 a 24 000
14	20.0	6.0	360 a 8000	3600 a 80 000

^A Los factores de calibración exactos se deben determinar con aceites de viscosidad normalizada

^B Los rangos de viscosidad mostrados en la tabla corresponden a un tiempo de llenado de 60 a 400 segundos. Se pueden usar tiempos de flujo mayores (hasta 1000 segundos).

ANEXO B (Aplicación obligatoria)

VISCOSÍMETRO CAPILAR DE VACÍO DEL INSTITUTO DEL ASFALTO (AIVV)

B.1 Objeto:

B.1.1 El viscosímetro capilar de vacío del Instituto del Asfalto (AIVV) se consigue en siete tamaños (Tabla 716B - 1), abarcando un rango de 4.2 a 580 000 Pa·s (42 a 5 800 000 P). Los tamaños 50 a 200 son los más adecuados para medir la viscosidad de los cementos asfálticos a 60° C.

B.2 Equipo:

- B.2.1** La Figura 716 - 2 presenta detalles del diseño y la construcción del viscosímetro capilar de vacío del Instituto del Asfalto. Los números que definen los tamaños, los radios aproximados, los factores de calibración aproximados y los rangos de viscosidad para la serie de viscosímetros del Instituto del Asfalto, se indican en la Tabla 716B - 1.
- B.2.2** El viscosímetro tiene bulbos de medición B, C y D ubicados en el tubo de vacío M, el cual tiene un capilar de vidrio de precisión. Los bulbos de medición tienen segmentos capilares de 20 mm de longitud, separados por las marcas de aforo F, G, H, e I.
- B.2.3** Se puede hacer un soporte adecuado perforando dos orificios, de 22 y 8 mm de diámetro, respectivamente, a través de un tapón de caucho No. 11. La distancia entre los centros de los orificios será de 25 mm. Se ranura el tapón de caucho entre los orificios y también entre el orificio de 8 mm y el borde del tapón. Cuando se coloque en el orificio de 50 mm de la tapa del baño, el tapón fijará el viscosímetro en su lugar. Los tapones de estas características se consiguen en el comercio.

Tabla 716B - 1. Tamaños normalizados de viscosímetros, radios capilares, factores de calibración aproximados y rangos de viscosidad para viscosímetros capilares de vacío del Instituto del Asfalto

NÚMERO DEL TAMAÑO DEL VISCOSÍMETRO	RADIO APROXIMADO DEL CAPILAR, mm	FACTOR DE CALIBRACIÓN APROXIMADO, K ^A , VACÍO DE 40 kPa (300 mm Hg), Pa·s/s (P/s/10)			RANGO DE VISCOSIDAD, Pa·s ^B	RANGO DE VISCOSIDAD, P ^B
		BULBO B	BULBO C	BULBO D		
25	0.125	0.2	0.1	0.07	4.2 a 80	42 a 800
50	0.25	0.8	0.4	0.3	18 a 320	180 a 3200
100	0.50	3.2	1.6	1.0	60 a 1280	600 a 12 800
200	1.0	12.8	6.4	4.0	240 a 5200	2400 a 52 000
400	2.0	50.0	25.0	16.0	960 a 20 000	9600 a 200 000
400R ^C	2.0	50.0	25.0	16.0	960 a 140 000	9600 a 1 400 000
800R ^C	4.0	200.0	100.0	64.0	3800 a 580 000	38 000 a 5 800 000

^A Los factores de calibración exactos se deben determinar con aceites de viscosidad normalizada

^B Los rangos de viscosidad mostrados en la tabla corresponden a un tiempo de llenado de 60 a 400 segundos. Se pueden usar tiempos de flujo mayores (hasta 1000 segundos).

^C Los viscosímetros de diseño especial para asfaltos empleados en impermeabilización de techos, tienen marcas adicionales de 5 y 10 mm sobre la marca de aforo F. Así, usando estas marcas, el rango de viscosidad máxima se aumenta con respecto al que se usó en el factor de calibración del bulbo B.

ANEXO C (Aplicación obligatoria)

VISCOSÍMETRO CAPILAR DE VACIO KOPPERS MODIFICADO (MKVV)

C.1 Objeto:

C.1.1 Los viscosímetros de vacío Koppers Modificado se consiguen en cinco tamaños (Tabla 716C - 1) abarcando un rango de 4.2 a 20 000 Pa·s (42 a 200.000 P). Los tamaños 50 a 200 son los más adecuados para medir la viscosidad de los cementos asfálticos a 60° C.

C.2 Equipo:

C.2.1 La Figura 716 - 3 presenta detalles del diseño y la construcción del viscosímetro capilar de vacío Koppers modificado. Los números que definen los tamaños, los radios aproximados, los factores de calibración aproximados y los rangos de viscosidad para la serie de viscosímetros Koppers modificados, se indican en la Tabla 716C - 1.

C.2.2 Este viscosímetro consiste en un tubo de llenado independiente, A, y un tubo capilar de vacío de vidrio taladrado a precisión, M. Estas dos partes están unidas por una junta de vidrio esmerilado, N, que tiene una tapa normal 24/40. Los bulbos de medición B, C y D en el capilar de vidrio, son segmentos capilares de 20 mm de longitud, separados por las marcas de aforo F, G, H e I.

C.2.3 Se puede hacer un soporte adecuado para el viscosímetro, taladrando un orificio de 28 mm a través del centro de un tapón de caucho No 11 y haciendo una ranura entre el orificio y el borde del tapón. Cuando se coloque en el orificio de 50 mm de la tapa del baño, el tapón fijará el viscosímetro en su lugar.

Tabla 716C - 1. Tamaños normalizados de viscosímetros, radios capilares, factores de calibración aproximados y rangos de viscosidad para viscosímetros capilares de vacío Koppers modificado

NÚMERO DEL TAMAÑO DEL VISCOSÍMETRO	RADIO APROXIMADO DEL CAPILAR, mm	FACTOR DE CALIBRACIÓN APROXIMADO, K^A , VACÍO DE 40 kPa (300 mm Hg), Pa·s/s (P/s/10)			RANGO DE VISCOSIDAD, Pa·s ^B	RANGO DE VISCOSIDAD, P ^B
		BULBO B	BULBO C	BULBO D		
25	0.125	0.2	0.1	0.07	4.2 a 80	42 a 800
50	0.25	0.8	0.4	0.3	18 a 320	180 a 3200
100	0.50	3.2	1.6	1.0	60 a 1280	600 a 12 800
200	1.0	12.8	6.4	4.0	240 a 5200	2400 a 52 000
400	2.0	50.0	25.0	16.0	960 a 20 000	9600 a 200 000

^A Los factores de calibración exactos se deben determinar con estándares de viscosidad

^B Los rangos de viscosidad mostrados en la tabla corresponden a un tiempo de llenado de 60 a 400 segundos. Se pueden usar tiempos de flujo mayores (hasta 1000 segundos).

ANEXO D (Aplicación obligatoria)

CALIBRACIÓN DE VISCOSÍMETROS

D.1 Objeto:

D.1.1 Este anexo describe los materiales y procedimientos usados para calibrar o verificar la calibración de los viscosímetros empleados en esta norma de ensayo.

D.2 Materiales de referencia:

D.2.1 Aceites de viscosidad normalizada, de conformidad con las normas ASTM, que tengan las viscosidades aproximadas que se muestran en la Tabla 716D - 1.

D.3 *Calibración:***D.3.1** *Calibración del viscosímetro de vacío por medio de aceite de viscosidad normalizada* – El viscosímetro de vacío se calibra como sigue:

D.3.1.1 Se selecciona en la Tabla 716D - 1 un aceite de viscosidad normalizada, que tenga un tiempo mínimo de flujo de 60 s a la temperatura de calibración.

D.3.1.2 Se carga un viscosímetro limpio y seco, vaciando la muestra hasta la línea de llenado E, con una tolerancia de ± 2 mm (ver Figuras 716 - 1, 716 - 2 y 716 - 3).

D.3.1.3 Se coloca el viscosímetro cargado en el baño, el cual se debe encontrar a la temperatura de calibración $\pm 0.01^\circ$ C ($\pm 0.02^\circ$ F).

D.3.1.4 Se establece un vacío de 40.0 ± 0.07 kPa (300 ± 0.5 mm Hg) con el sistema de vacío y se conecta éste al viscosímetro, manteniendo cerrada la válvula o llave de paso de la línea que conduce al viscosímetro.

D.3.1.5 Después de que el viscosímetro haya estado dentro del baño un período de 30 ± 5 min, se inicia el flujo del asfalto en el viscosímetro abriendo la válvula en la línea que lo conecta el sistema de vacío.

D.3.1.6 Se mide, con exactitud de 0.1 s, el tiempo requerido para que el borde de ataque del menisco pase entre las marcas de aforo F y G. Empleando un segundo cronómetro, se mide, también con exactitud de 0,1 s, el tiempo requerido para que el borde del menisco pase entre las marcas de aforo G y H. Si el instrumento contiene marcas de aforo adicionales, se determina en forma similar el tiempo de flujo para cada bulbo sucesivo.

D.3.1.7 Se calcula el factor de calibración, K, para cada bulbo en la siguiente forma:

$$K = \frac{\eta}{t} \quad [716.3]$$

- Donde:
- K: Factor de calibración del bulbo del viscosímetro a 40.0 kPa (300 mm Hg), Pa·s/s;
 - η : Viscosidad del aceite de viscosidad normalizada a la temperatura de calibración, Pa·s;
 - t: Tiempo de flujo, s.

D.3.1.8 Se repite el procedimiento de calibración usando el mismo u otro aceite de viscosidad normalizada. Se anota el promedio de la constante de calibración, K, para cada bulbo.

Nota D.1: Las determinaciones por duplicado de la constante de calibración, K, para cada bulbo, deben estar dentro del 2 % de su promedio.

Nota D.2: Las constantes del bulbo son independientes de la temperatura.

D.3.2 *Calibración de un viscosímetro de vacío mediante un viscosímetro normalizado de vacío* – El viscosímetro de vacío se calibra como sigue:

D.3.2.1 Se elige un producto asfáltico que tenga un tiempo de flujo de, al menos, 60 s. Se elige, también, un viscosímetro cuyos bulbos tengan constantes conocidas.

D.3.2.2 Se montan en el mismo baño a 60° C (140° F) el viscosímetro normalizado junto con el que se va a calibrar y se determinan los tiempos de flujo del asfalto por el procedimiento descrito en el numeral 7.1 de la presente norma.

D.3.2.3 Se calcula la constante, K, para cada bulbo como sigue:

$$K_1 = (t_2 \times K_2) / t_1 \quad [716.4]$$

- Donde:
- K₁: Constante del bulbo del viscosímetro que se está calibrando;
 - t₁: Tiempo de flujo con aproximación a 0.1 s, en el bulbo del viscosímetro que se está calibrando;
 - K₂: Constante del bulbo del viscosímetro normalizado;

t₂: Tiempo de flujo con aproximación a 0.1 s, en el bulbo del viscosímetro normalizado.

Tabla 716D - 1. Aceites de viscosidad normalizada

ACEITES DE VISCOSIDAD NORMALIZADA	VISCOSIDAD APROXIMADA, Pa·s			VISCOSIDAD APROXIMADA, P		
	A 25° C (68° F)	A 40° C (104° F)	A 60° C (140° F)	A 25° C (68° F)	A 40° C (104° F)	A 60° C (140° F)
N 30 000	80	-	4.7	800	-	47
N 190 000	520	140	33	5200	1400	330
N 2 700 000	5300	-	340	53 000	-	3400
S 30 000	71	20	-	710	200	

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD DEL ASFALTO EMPLEANDO UN VISCOSÍMETRO ROTACIONAL

INV E – 717 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento a seguir para medir la viscosidad de un ligante asfáltico a una temperatura elevada, desde 60 hasta más de 200° C, usando un viscosímetro rotacional.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-717-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Líquido newtoniano* – Líquido en el cual la velocidad de corte es proporcional al esfuerzo de corte. La relación constante entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte es la viscosidad del líquido. Si la relación no es constante, el líquido no es newtoniano.
- 2.2** *Viscosidad* – La relación entre el esfuerzo cortante aplicado y la velocidad de corte se llama coeficiente de viscosidad. Este coeficiente es, entonces, una medida de la resistencia del líquido a fluir, y se llama comúnmente viscosidad del líquido. La unidad de viscosidad en el sistema SI es 1 Pa·s (1 N·s/m²) y se denomina Pascal-segundo. La unidad de viscosidad en el sistema cgs es 1 g/cm·s (1 dina·s/cm²) y se denomina poise (P). 1 Pa·s equivale a 10 P.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** Este método se utiliza para medir la viscosidad del asfalto a las temperaturas de aplicación. Se coloca una pequeña cantidad de muestra de asfalto en un recipiente a temperatura constante. El par de torsión requerido para mantener rotando a velocidad constante un vástago cilíndrico sumergido en la muestra, se utiliza para determinar la resistencia relativa a la rotación. La viscosidad del ligante en Pa·s, se calcula a partir de los valores de torque y velocidad de rotación.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** Este método de ensayo se puede usar para medir la viscosidad aparente del asfalto a las temperaturas de aplicación.
- 4.2** La medida de viscosidad a altas temperaturas se usa para determinar la manejabilidad y la facilidad de bombeo en la refinería, terminal o planta asfáltica. Los valores medidos mediante este procedimiento se pueden utilizar para desarrollar diagramas de temperatura contra viscosidad, los cuales se utilizan para estimar las temperaturas apropiadas de mezclado y compactación durante el diseño de las mezclas asfálticas en caliente.

5 EQUIPO Y MATERIALES

- 5.1** *Horno* – Capaz de mantener y controlar cualquier temperatura, desde la ambiente hasta 260° C, con una precisión de $\pm 3^\circ$ C.
- 5.2** *Termómetros* – Para medir temperaturas desde 60 hasta 200° C, legibles cada 0.2° C.
- 5.3** *Balanza* – Con capacidad de 2000 g y lecturas de 0.1 g.
- 5.4** *Vástagos cilíndricos* – De varios tamaños, para emplear con asfaltos de diferentes viscosidades.
- 5.5** *Viscosímetro rotacional (Figura 717 - 1)* – Capaz de medir el par de torsión necesario para hacer girar el vástago sumergido en asfalto a velocidad constante y a la temperatura de ensayo fijada. El equipo debe tener una pantalla digital donde se muestre automáticamente la viscosidad de la muestra en Pascales-segundo (Pa·s).
- 5.6** *Unidad de control de temperatura* – Dispositivo capaz de mantener la temperatura de las muestras con una precisión de $\pm 1^\circ$ C, en un rango de temperaturas de ensayo comprendido entre 60 y 165° C o más.
- 5.7** *Elementos adicionales* – Contenedor térmico con tapa aislante, cápsulas para las muestras, soporte para las cápsulas, pinzas de extracción, lienzo para limpiar, etc.

- 5.8 *Solventes o limpiadores desengrasantes* – Alcohol mineral, varsol, o un limpiador desengrasante formulado para limpiar los recipientes, vástagos y accesorios utilizados durante el ensayo.



Figura 717 - 1. Elementos para determinar la viscosidad empleando el viscosímetro rotacional

6 PREPARACIÓN DEL APARATO

- 6.1 Para que su funcionamiento sea correcto, el viscosímetro rotacional se debe encontrar perfectamente nivelado en el instante del ensayo. Para ello, se ubica un nivel tipo burbuja encima del viscosímetro, el cual se ajusta mediante tornillos de nivelación dispuestos en la base del equipo.

7 CALIBRACIÓN Y NORMALIZACIÓN

- 7.1 La exactitud del transductor giratorio se verifica usando un líquido de referencia (líquido newtoniano), de viscosidad conocida a diferentes temperaturas. El comportamiento newtoniano del líquido en todo el rango de velocidades de corte y temperaturas de ensayo, deberá estar certificado. La viscosidad medida con el viscosímetro debe estar dentro de un $\pm 2\%$; en caso contrario, se deberá calibrar el transductor rotatorio.

- 7.2** La exactitud de la lectura del sistema de control de temperatura se verifica colocando la muestra de asfalto en la cámara de ensayo hasta que se estabilice a una determinada temperatura. La temperatura indicada se debe verificar con un medidor de trazabilidad NIST (*National Institute of Standards and Technology*), tal como se indica en la norma ASTM E-1.

8 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 8.1** Se obtiene la muestra de asfalto o asfalto modificado de acuerdo con la norma INV E-701.
- 8.2** Se calienta el asfalto del cual se obtiene la muestra, hasta que esté lo suficientemente fluido para ser vertido. El calentamiento previo al ensayo remueve asociaciones moleculares reversibles (endurecimiento estérico) que pueden ocurrir durante el almacenamiento a temperatura ambiente.

Nota 1: Se recomienda una temperatura mínima de calentamiento tal, que produzca una consistencia equivalente a la de un aceite de motor SAE 10W30 (listo para verter, pero no excesivamente fluido) a temperatura ambiente. La temperatura dependerá del grado del ligante asfáltico y de su historia de envejecimiento, si se conoce. Se recomienda no calentar los asfaltos a más de 135° C; sin embargo, algunos asfaltos modificados o envejecidos pueden requerir una temperatura mayor.

9 PROCEDIMIENTO

- 9.1** Se debe leer y comprender la información contenida en el manual de instrucciones del viscosímetro rotacional, antes de proceder con su manejo.
- 9.2** Se encienden el viscosímetro rotacional y la unidad de control de temperatura.
- 9.3** Se precalienta el soporte de las cápsulas para las muestras, junto con la cápsula para la muestra y el vástago seleccionado, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
- 9.4** Se ajusta la unidad de control de temperatura a la temperatura de ensayo deseada.
- 9.5** Se calienta la cantidad requerida de ligante asfáltico, según lo recomendado por el fabricante, de acuerdo con el numeral 8.2.
- 9.6** Cuando la unidad de control térmico indique que se ha alcanzado la temperatura de ensayo deseada, se retira de ella el soporte de las cápsulas

conteniendo la cápsula para la muestra y se adiciona a ésta la cantidad requerida de asfalto (Figura 717 - 2).

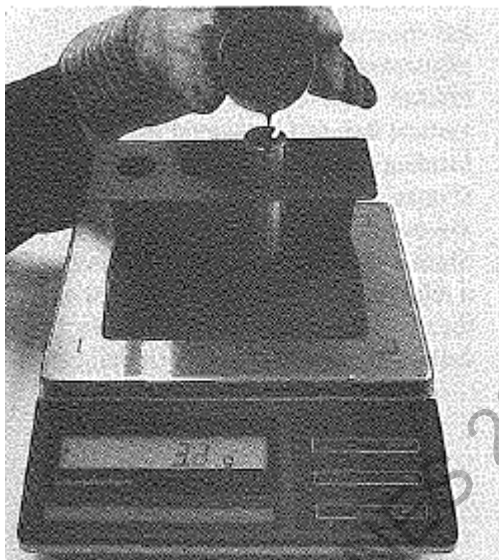


Figura 717 - 2. Vertimiento de la muestra dentro de la cápsula

- 9.7** Con ayuda de las pinzas de extracción se remueve de su soporte la cápsula que contiene la muestra caliente y se coloca en el contenedor térmico.
- 9.8** Se alinea el contenedor térmico con el viscosímetro. Se retira del horno el vástago seleccionado y se coloca en la parte inferior del viscosímetro, utilizando los elementos de acople que éste tiene para ello. Una vez acoplado el vástago, se baja suavemente de modo que penetre en la muestra asfáltica hasta que el asfalto cubra su parte cónica superior. Este procedimiento puede variar, dependiendo de las recomendaciones del fabricante.
- 9.9** Se coloca la tapa aislante sobre la abertura del contenedor térmico y se lleva la muestra de asfalto a la temperatura deseada en un término aproximado de 30 minutos. Se ajusta la velocidad de rotación a 20 rpm y se ajusta el lector digital, para que indique la viscosidad en pascales–segundo (Pa·s). Esta operación se puede efectuar de forma manual o usando un software especial.
- 9.10** Se permite que la muestra de asfalto se equilibre a la temperatura deseada, por un periodo mínimo de 10 minutos. Durante este período de equilibrio, se pone a rotar el vástago y se va observando la viscosidad. Se espera a que la lectura en la pantalla se estabilice, antes de realizar cualquier medida. Si el par de torsión observado está fuera del rango para la combinación seleccionada del vástago y velocidad de rotación, se cambian el vástago y/o la velocidad,

según las recomendaciones dadas por el fabricante para el valor anticipado (supuesto) de viscosidad. Si se hace el cambio, se deberá reemplazar la muestra de ensayo por una nueva. Cuando la lectura de la viscosidad permanece constante, se considera equilibrada la temperatura y se puede comenzar el ensayo.

- 9.11** Se lee y registra el valor de la viscosidad a intervalos de un minuto por un total de tres minutos.
- 9.12** Se retira la cápsula del contenedor térmico utilizando las pinzas de extracción y se desecha la muestra. Se deja enfriar la cápsula unos 5 minutos y luego se limpia empleando alcohol mineral u otro solvente apropiado. En seguida, se limpia con un lienzo de manera que no queden residuos de solventes. La acetona es efectiva para remover residuos de solventes
- 9.13** Se repiten los pasos 9.1 a 9.12 para determinar la viscosidad a otras temperaturas.

10 CÁLCULOS

- 10.1** Se determina la viscosidad del asfalto como el promedio de las tres mediciones realizadas. Si el valor de viscosidad entregado en la pantalla digital del viscosímetro rotacional está expresado en centipoises (cP), se multiplica por 0.001 para obtener la viscosidad en pascuales–segundo (Pa·s).

Nota 2: 10P = 1 Pa·s; 1 cP = mPa·s

11 INFORME

- 11.1** El informe debe incluir:

11.1.1 Fecha y hora del ensayo.

11.1.2 Temperatura de ensayo redondeada a 1° C.

11.1.3 Velocidad de giro en rpm.

11.1.4 Tamaño del vástago utilizado.

11.1.5 Torque medido, expresado en %.

11.1.6 Viscosidad promedio, Pa·s.**12 PRECISIÓN Y SESGO**

12.1 *Precisión* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados de medición de viscosidad por este método se presentan en la Tabla 717 - 1.

Tabla 717 - 1. Precisión

CONDICIÓN	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (1s, %)	RANGO ACEPTABLE ENTRE DOS RESULTADOS (d2s, %)
<i>Precisión de un solo operador</i> Viscosidad promedio (Pa·s)	1.2	3.5
<i>Precisión varios laboratorios</i> Viscosidad promedio (Pa·s)	4.3	12.1

Nota 3: Los estimativos de precisión de la Tabla 717 - 1 se basan en el análisis de los resultados de ensayos de ocho pares de muestras en la prueba de competencia AMRL. Los datos analizados provenían de un grupo de entre 142 y 202 laboratorios que ensayaron cada uno de los ocho pares de muestras. El análisis incluyó cinco grados de asfaltos PG 52–34, PG 64–16, PG 64–22, PG 70–22 y PG 76–22 (modificado con SBS). Los promedios de viscosidad de los asfaltos sin modificar variaron entre 1.621 y 1.638 Pa·s. Los detalles de este análisis se encuentran en el informe de la NCHRP Project No. 9–26, Fase 3.

Nota 4: Como ejemplo, dos ensayos realizados por un operador sobre el mismo material dieron valores de viscosidad de 0.500 y 0.510 Pa·s. El promedio de estos dos valores es 0.505 Pa·s. Por lo tanto, el rango aceptable de los resultados es 3.5 % de 0.505, es decir 0.018 Pa·s. Como la diferencia entre 0.500 y 0.510 Pa·s es menor que 0.018 Pa·s, se concluye que los resultados están dentro del rango aceptable.

12.2 *Sesgo* – Todavía no existe un valor de referencia aceptable; por lo tanto, no se puede presentar información sobre el sesgo.

13 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, “Superpave asphalt binder test methods: An illustrated overview”, Publication No. FHWA-SA-94-068, February 1995

AASHTO T 316 – 06

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE PARAFINAS EN LIGANTES ASFÁLTICOS

INV E – 718 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe un método para determinar el contenido de parafinas en los ligantes asfálticos.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Parafinas* – Mezcla de hidrocarburos que cristaliza en una mezcla al 50 % (V/V) de éter y etanol a temperaturas hasta -20°C , que se obtiene por un proceso específico y su punto de fusión es superior a 25°C .

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1 El contenido de parafinas del producto bituminoso se determina después de la extracción de los asfaltenos con destilado ligero de petróleo, y de la extracción con ácido sulfúrico fumante de la mayor parte los componentes aromáticos. La muestra extraída se disuelve en una mezcla de etanol y éter de suficiente volumen para que todos los componentes aceitosos permanezcan en solución al enfriarse después para precipitar las parafinas. La solución se enfría a $-20 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y las parafinas cristalizadas se filtran y se recogen en un crisol de filtrado, enfriado también a $-20 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Los cristales de parafina se vuelven a disolver en tolueno caliente que se evapora y, a continuación, se pesa el residuo.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1 El asfalto procedente de ciertos crudos ricos en parafina no es apto para fines viales, por cuanto la naturaleza cristalina y no adherente de las parafinas causa efectos negativos sobre la calidad y el comportamiento del producto. A altas temperaturas, las parafinas reducen la resistencia a las deformaciones permanentes de las mezclas asfálticas y a bajas temperaturas se cristalizan y

contribuyen al agrietamiento. Además, afectan adversamente la adherencia con los agregados.

5 EQUIPO

- 5.1 *Matraces Erlenmeyer* – De 150 ml, con tapón esmerilado.
- 5.2 *Placa porosa filtrante* – De porosidad P16, 10 a 16 μm (norma ISO 4793).
- 5.3 *Matraz de vacío* – De 500 ml y dispositivo de aspiración para hacer vacío.
- 5.4 *Embudo de decantación* – De 500 ml.
- 5.5 *Cristalizador* – Con diámetro aproximado de 50 mm.
- 5.6 *Balanza* – De ± 2 mg de precisión, con posibilidad de lectura de 0.1 mg.
- 5.7 *Recipiente termoaislado* – Que contiene un líquido refrigerante mantenido a una temperatura de $-20 \pm 0.5^\circ \text{C}$ por un dispositivo apropiado.
- 5.8 *Baño de agua* – Con regulación de 30 a 40° C, para evaporar las soluciones.
- 5.9 *Horno* – De ventilación forzada, termostáticamente regulable, que pueda mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$.
- 5.10 *Termómetros de varilla de vidrio* – Uno para la muestra, con escala de -38 a $+50^\circ \text{C}$, con subdivisiones cada 1°C , longitud total de 360 ± 5 mm, inmersión de 180 ± 5 mm y diámetro exterior de la varilla de 10 ± 0.5 mm. Otro para el baño, con escala de -38 a $+50^\circ \text{C}$, con subdivisiones cada 0.5°C , longitud total de 220 ± 5 mm, inmersión de 50 ± 5 mm y diámetro exterior de la varilla de 8 ± 0.5 mm.

Nota 1: En lugar de termómetros de columna de mercurio se pueden utilizar otros medios para medir la temperatura. Sin embargo, el sistema de referencia es el termómetro de mercurio y cualquier otro tipo de dispositivo se debe calibrar para conseguir las mismas lecturas que con el de columna de mercurio, pero teniendo en cuenta el tiempo diferente de respuesta térmica.

Nota 2: Al medir y regular temperaturas constantes, como ocurre con este método de ensayo, los distintos dispositivos pueden mostrar variaciones cíclicas mayores que los termómetros de mercurio, en función de la duración del ciclo de calentamiento y de la cantidad de calor aportado.

6 REACTIVOS

- 6.1 *Tolueno* – Grado 1, según la norma ISO 5272.
- 6.2 *Ácido sulfúrico* – Concentrado al 96 % (1835 kg/m³ de densidad a 20° C).
- 6.3 *Ácido sulfúrico fumante* – 60 % de SO₃ (V/V) en H₂SO₄.
- 6.4 *Etanol* – 99 % (V/V).
- 6.5 *Etoxi-etano (éter dietílico) anhidro*.
- 6.6 *Hidróxido de sodio* – En pastillas.
- 6.7 *Fenolftaleína* – Solución al 1% de fenolftaleína en 99 % de etanol.
- 6.8 *Destilado ligero de petróleo* – Con una densidad aproximada de 645 kg/m³ a 15° C y un rango de destilación entre 30 y 75° C, aproximadamente.
- Nota 3: También es apropiado el producto denominado éter de petróleo.*
- 6.9 *Agua* – Debe cumplir con el grado 3 de la norma ISO 3696. Sus características fundamentales se muestran en la Tabla 718 - 1:

Tabla 718 - 1. Calidad del agua grado 3 norma ISO 3696

CONTAMINANTE	PARÁMETRO	RESULTADO
Iones	Resistividad a 25 °C/MΩ·cm Conductividad a 25 °C/μS·cm ⁻¹	0.2 máx. 5.0 máx.
Acidez/alcalinidad	pH a 25° C	5.0 -7.5
Sólidos totales	mg/kg	2 máx.

Nota 4: Todos los reactivos deberán ser de calidad analítica reconocida.

7 MUESTREO

- 7.1 Las muestras de laboratorio se deben tomar de acuerdo con la norma INV E-701.

8 PROCEDIMIENTO

- 8.1** Se pesa, aproximadamente, 1 g del producto asfáltico, con exactitud de 1 mg, en cada uno de los dos matraces Erlenmeyer, secos y previamente tarados con sus tapones, para obtener las masas respectivas de las dos muestras, M_1 y M'_1 .
- 8.2** Se añaden a cada muestra 70 ± 2 ml del destilado ligero de petróleo y se agita hasta que se hayan disuelto completamente.
- 8.3** Se colocan los matraces, con su tapón, en posición inclinada y se les deja en reposo, protegidos de la luz, durante 48 horas.
- 8.4** Utilizando la placa filtrante, se filtra la mezcla con vacío y se lava el precipitado (que contiene los asfaltenos) con destilado ligero de petróleo hasta que el filtrado sea prácticamente incoloro.
- 8.5** Se vierte la solución de destilado de petróleo (que contiene los maltenos y la parafina) en el embudo de decantación.
- 8.6** Se añaden 30 ± 2 ml de una solución ácida compuesta por 2/3 de ácido sulfúrico y 1/3 de ácido sulfúrico fumante.
- 8.7** Se agita suavemente para evitar que se produzca una reacción rápida y la formación de una emulsión estable; luego, se agita enérgicamente, procurando que el embudo se mantenga inclinado para poder abrir la llave de purga y permitir que salgan los vapores de destilado de petróleo formados como consecuencia de la reacción exotérmica.
- 8.8** Se deja reposar durante 12 ± 4 horas y, a continuación, se decanta la capa ácida. Se añaden 30 ± 2 ml de ácido sulfúrico, se agita como se indicó antes y se decanta de nuevo al cabo de 4 ± 2 horas. Si la capa ácida está coloreada, se repite el tratamiento con ácido sulfúrico.
- 8.9** Se lava la solución dejada en el embudo de decantación, primero con agua y después con una solución alcohólica de hidróxido de sodio al 5 % (50 ± 2 ml de agua, 50 ± 2 ml de etanol y 5 ± 0.1 g de hidróxido de sodio) y, finalmente, repetidas veces con agua hasta que se compruebe, con el indicador de fenolftaleína, que no hay reacción alcalina de la capa de agua.
- 8.10** Se vierte la solución en un matraz Erlenmeyer y se evapora el destilado de petróleo.

- 8.11** Se disuelve el residuo con 50 ± 2 ml de etoxi-etano y después se añaden 50 ± 2 ml de etanol.
- 8.12** Se deja en reposo durante 1 hora a $-20 \pm 0.5^\circ \text{C}$ en el recipiente termoaislado. Simultáneamente, se deja enfriar un matraz Erlenmeyer que contenga 60 ± 2 ml de una mezcla de partes iguales de etanol y etoxi-etano.
- 8.13** Utilizando la placa filtrante, enfriada también a $-20 \pm 0.5^\circ \text{C}$, se filtra la muestra con vacío en menos de 5 minutos. Si la solución no se filtra en ese tiempo, la parafina, que cristaliza a $-20 \pm 0.5^\circ \text{C}$, se volverá a disolver y el ensayo se deberá rechazar. Se lava tres veces con 20 ± 2 ml de la mezcla de etanol y etoxi-etano enfriada a $-20 \pm 0.5^\circ \text{C}$, hasta que se eliminen los componentes aceitosos.
- 8.14** Se lleva la placa filtrante al horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ durante 1 hora y, a continuación, se coloca en un desecador.
- 8.15** Utilizando la menor cantidad posible de tolueno caliente, se disuelve la parafina y se recoge la solución en un cristizador previamente pesado.
- 8.16** Se evapora el disolvente y se pesa la parafina, con aproximación al mg. Así, se obtienen las masas M_2 y M'_2 para cada una de las muestras.

9 CÁLCULOS

- 9.1** Se calcula el contenido de parafinas (C_p y C'_p) de las dos muestras, como porcentaje en masa, aplicando las ecuaciones:

$$C_p = \frac{M_2}{M_1} \times 100 \quad [718.1]$$

$$C'_p = \frac{M'_2}{M_1} \times 100 \quad [718.2]$$

- 9.2** Los dos resultados se consideran válidos si no difieren en más de 1 %. Se determina el valor promedio.

10 INFORME

10.1 Deberá contener lo siguiente:

- 10.1.1 Identificación completa de la muestra (tipo de asfalto, procedencia).
- 10.1.2 Resultado de los otros ensayos de control que se hayan realizado sobre la misma muestra.
- 10.1.3 Contenido de parafinas, redondeado al 0.5 % más próximo.

11 PRECISIÓN

- 11.1 *Repetibilidad* – La diferencia entre dos resultados de ensayos, obtenidos por el mismo operador con el mismo equipo, en condiciones de operación constantes y para idéntico material de ensayo, no deberá, en una larga serie de ensayos, aplicando correctamente el método de ensayo descrito en esta norma, exceder más de una vez en 20 casos, el valor indicado en la Tabla 718 - 2.
- 11.2 *Reproducibilidad* – La diferencia entre dos resultados únicos e independientes, obtenidos por distintos operadores trabajando en laboratorios diferentes con el mismo material de ensayo, no deberá, en una larga serie de ensayos, aplicando correctamente el método de ensayo descrito en esta norma, exceder más de una vez en 20 casos, el valor indicado en la tabla 2.

Tabla 718 - 2. Precisión

CONTAMINANTE	REPETIBILIDAD r	REPRODUCIBILIDAD R
Porcentaje del contenido de parafinas (en % absoluto)	1	2

Nota 5: Estos valores de precisión no son necesariamente aplicables en condiciones de ensayo diferentes, ni a asfaltos oxidados o modificados

12 NORMAS DE REFERENCIA

UNE – EN – 12606 – Mayo 2000

VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL DE ASFALTOS A TEMPERATURAS ELEVADAS

INV E – 719 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere al procedimiento empírico para determinar la viscosidad Saybolt Furol de productos asfálticos, a temperaturas especificadas entre 120 y 240° C (248 y 464° F).

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Viscosidad Saybolt Furol* – Es el tiempo corregido, en segundos, durante el cual fluyen 60 ml de muestra a través de un orificio Furol, calibrado bajo condiciones específicas. El valor de la viscosidad se informa en segundos Saybolt Furol (sSF) a una temperatura especificada.

- 2.1.1** La palabra Furol es el acrónimo de "*Fuel and road oils*" (aceites y combustibles para carreteras).

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** Se determina el tiempo, en segundos, que tardan en fluir 60 ml de muestra a través de un orificio calibrado, bajo condiciones cuidadosamente controladas. El tiempo obtenido se corrige por un factor que depende de la abertura del orificio, y se informa como la viscosidad de la muestra a la temperatura de ensayo.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** Este método es útil para caracterizar ciertos productos asfálticos e igualmente como elemento para establecer la uniformidad de los embarques y de las fuentes de suministro.
- 4.2** Este método de ensayo constituye una extensión del descrito en la norma INV E-714.

5 EQUIPO

- 5.1 Viscosímetro Saybolt y baño termostático** – Los mismos descritos en los numerales 5.1 y 5.2 de la norma INV E-714. En el presente caso, se permite el empleo de una fuente externa de calor pero, en tal caso, ella se deberá ubicar a más de 51 mm (2") del viscosímetro. También resulta aceptable un baño seco de temperatura constante, constituido por un bloque de aluminio que cubra el rango de temperaturas indicado en el numeral 1.1, Este tipo de baño no requiere elementos para la agitación.
- 5.2 Anillo de desplazamiento** – Como el mostrado en la Figura 719 - 1, construido con el mismo material anticorrosivo del viscosímetro.

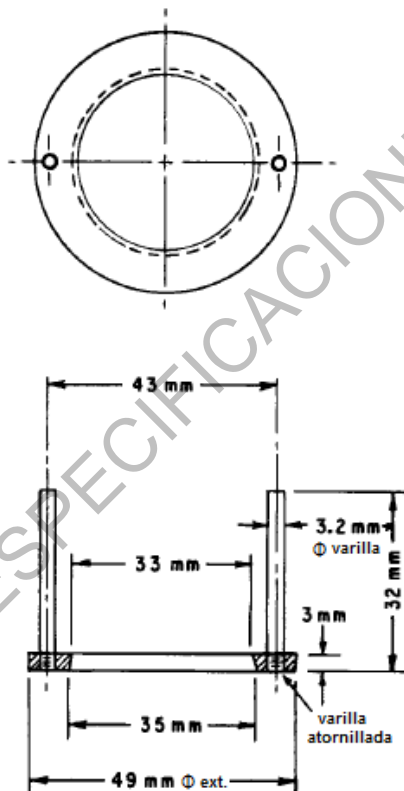


Figura 719 - 1. Anillo de desplazamiento

- 5.3 Tapa** – Una tapa metálica para el viscosímetro, cilíndrica y con una superficie superior plana, de aproximadamente 57 mm (2 ¼") de diámetro y 7 mm (¼") de altura (nota 1). Debe tener en el centro un orificio de diámetro ligeramente mayor que el del termómetro para el viscosímetro, así como otros dos orificios pequeños laterales, para permitir el paso de las varillas verticales del anillo de desplazamiento.

Nota 1: La tapa de una caja de pomada de tipo Gill de 3 onzas, cumple estos requisitos (Figura 719 - 2).



Figura 719 - 2. Caja tipo Gill

5.4 *Termómetros para el viscosímetro Saybolt* – De los indicados en la Tabla 719 - 1, para la lectura de la temperatura de la muestra, los cuales deben cumplir los requerimientos de la norma ASTM E 1.

Tabla 719 - 1. Termómetros ASTM para viscosidad Saybolt

TEMPERATURA NORMALIZADA DE ENSAYO ° F (° C)	TERMÓMETRO ASTM No. ^A	TERMÓMETRO	
		RANGO (° F)	SUBDIVISIONES (° F)
250 (121)	77F	245 a 265	0.5
275 (135)	108F	270 a 290	0.5
300 (149)	78F	295 a 315	0.5
325 (163)	109F	320 a 340	0.5
350 (177)	79F	345 a 365	0.5
400 (204)	80F	395 a 415	0.5
450 (232)	81F	445 a 465	0.5

^A No hay termómetros comparables calibrados en ° C

5.5 *Soporte para termómetro* – Igual al descrito en la norma INV E-714.

5.6 *Termómetros para el baño* – Para viscosidad Saybolt o de otro tipo, pero de exactitud similar.

5.7 *Tamiz* – De 850 µm (No. 20).

5.8 *Matraz receptor* – De 60 ml de capacidad, igual al mostrado en la Figura 714 - 5 de la norma INV E-714.

5.9 *Cronómetro* – Graduado en décimas (1/10) de segundo y con una exactitud de 0.1 % cuando se realiza el ensayo durante un período de 60 minutos. Se

aceptan cronómetros eléctricos si son operados en un circuito de frecuencia controlada y si garantizan la precisión y la exactitud indicadas.

- 5.10 Placa para calentamiento** – Eléctrica, de unos 200 mm (8") de diámetro, con graduación para 3 niveles de calentamiento, ajustada a 1200 W en el nivel máximo y de 500 a 600 W en el nivel medio.

6 MUESTREO

- 6.1** El muestreo del material se deberá efectuar de acuerdo con la norma INV E-701.

7 PREPARACIÓN DEL EQUIPO

- 7.1** Se limpia completamente el viscosímetro con xileno; en seguida, se remueve todo solvente del viscosímetro y de su galería y se seca bien. El matraz receptor y el anillo de desplazamiento se deberán limpiar de la misma manera. Como el xileno es un solvente tóxico e inflamable, todas las áreas de trabajo deberán tener campanas extractoras y mantenerse libres de chispas o llamas. Si el viscosímetro está caliente, la vaporización del xileno se puede reducir llenando el tubo rápidamente y permitiendo que fluya de inmediato a través del orificio. El orificio se puede limpiar con un palillo de madera.

Nota 2: El viscosímetro se puede mantener limpio llenándolo con aceite para cilindros luego de cada ensayo, y dejándolo dentro del viscosímetro durante varios minutos antes de drenarlo para proceder a su limpieza con xileno. Si se desea, el viscosímetro se puede dejar lleno de aceite entre ensayos, drenándolo y limpiándolo con xileno justo antes de cada prueba.

- 7.2** Se colocan el viscosímetro y el baño en un lugar libre de corrientes de aire o de cambios bruscos de temperatura ambiente, así como de polvo o vapores que puedan contaminar la muestra.
- 7.3** Se coloca el matraz receptor debajo de la salida del viscosímetro, de manera que su marca quede entre 100 y 130 mm (4 a 5") por debajo del fondo del tubo del viscosímetro, y que la descarga de material apenas toque el cuello del matraz.
- 7.4** Empleando el líquido adecuado, escogido de acuerdo a las indicaciones de los numerales 7.4.1 y 7.4.2, se llena el baño hasta una altura no menor de 6 mm ($\frac{1}{4}$ ") por encima del borde de rebose del viscosímetro.

- 7.4.1** Se debe usar aceite SAE grado 40 para temperaturas de ensayo hasta de 149° C (300° F).
- 7.4.2** Para temperaturas por encima de 149° C (300° F), se deberá emplear un aceite para cilindros que tenga a 98.9° C (210° F) una viscosidad Saybolt Universal de 175 a 185 s, y un punto de inflamación mínimo de 300° C (572° C), determinado de acuerdo con la norma INV E-709.
- 7.4.3** Periódicamente, se debe cambiar el líquido del baño y limpiar las paredes exteriores de los tubos para remover cualquier depósito de carbón.
- 7.5** Se proveen una agitación y un control térmico adecuados al baño, de manera que la temperatura de la muestra de ensayo en el viscosímetro no varíe en más de $\pm 0.3^{\circ}$ C ($\pm 0.5^{\circ}$ F) después de que se haya alcanzado la temperatura escogida para el ensayo.

8 CALIBRACIÓN Y NORMALIZACIÓN

- 8.1** El viscosímetro Saybolt Furol se debe calibrar a intervalos regulares, siguiendo el procedimiento dado en la Sección 8 de la norma INV E-714, y calculando el factor de corrección correspondiente.
- 8.2** No se permite el empleo de viscosímetros o de orificios que requieran correcciones mayores de 1.0 %.

9 PROCEDIMIENTO

- 9.1** Se establece y controla la temperatura del baño, de manera que sea la misma escogida para el ensayo.
- 9.1.1** Las temperaturas de ensayo para medir las viscosidades Saybolt Furol de los materiales asfálticos son 121, 135, 149, 163, 177, 204 y 232° C (250, 275, 300, 325, 350, 400 y 450° F).
- 9.2** Se inserta un tapón de corcho (que tenga una cuerda unida para removerlo fácilmente) en la cámara de aire de la parte inferior del viscosímetro. El corcho se deberá ajustar suficientemente, para evitar el escape de aire de la cámara al llenar el viscosímetro, lo cual se evidencia por la ausencia de aceite sobre el corcho cuando éste se retira más tarde.

- 9.3** Se coloca el anillo de desplazamiento en la galería del viscosímetro.
- 9.4** Se precalientan (en la placa de calentamiento) 500 g (1 lb) de muestra en un recipiente de estaño profundo y sin costuras, a una temperatura entre 10 y 15° C (18 a 27° F) por encima de la elegida para realizar el ensayo.
- 9.4.1** La placa de calentamiento se deberá graduar en el nivel medio de potencia durante la primera media hora, y el nivel máximo durante el resto del período de calentamiento (Ver numeral 5.10). Se debe evitar el sobrecalentamiento inicial, ya que puede producir la oxidación de la muestra, con la consecuente alteración de la viscosidad.
- 9.4.2** Se agita ocasionalmente la muestra con una varilla durante las etapas iniciales del calentamiento. La agitación se deberá volver continua durante los últimos 28° C (50° F).
- 9.4.3** El precalentamiento se debe completar en un lapso no mayor de 2 h, e inmediatamente se debe proceder a determinar la viscosidad. No se permite recalentar de la muestra.
- 9.5** Se precalienta el tamiz de 850 μm (No. 20) a la temperatura de ensayo y se filtra la muestra a través de él directamente dentro del tubo del viscosímetro, hasta que el nivel quede justamente por encima del borde de rebose.
- Nota 3: La muestra apenas debe rebosar el borde de la galería, de manera que la remoción posterior del anillo de desplazamiento haga que el exceso fluya hacia la galería sin llenarla por completo.*
- 9.6** Se coloca la tapa (numeral 5.3) sobre el anillo de desplazamiento y se inserta el termómetro apropiado para el ensayo en su orificio central. El termómetro deberá estar equipado con su soporte.
- 9.7** Se agita la muestra dentro del viscosímetro usando el termómetro de viscosidad, aplicando un movimiento circular y en un plano horizontal sin golpear el orificio, girando entre 30 y 50 vueltas por minuto, hasta que la temperatura de la muestra permanezca constante dentro de un intervalo de $\pm 0.3^\circ\text{C}$ (0.5°F) respecto de la de ensayo, luego de 1 minuto de agitación continua.
- 9.8** Se saca el termómetro e inmediatamente se retiran del viscosímetro la tapa y el anillo de desplazamiento. Se verifica que el exceso de muestra en la galería se encuentre por debajo del borde de rebose y se vuelve a colocar la tapa sobre el viscosímetro.

- 9.9** Se verifica que el matraz receptor se halle en la posición adecuada; entonces, se remueve rápidamente el corcho del viscosímetro usando el cordel que tiene unido y se pone a funcionar el cronómetro en ese mismo instante.
- 9.10** Se detiene el cronómetro en el momento en que la parte inferior del menisco de material alcance la marca de graduación del matraz receptor. Se anota el tiempo de flujo, en segundos, con aproximación a 0.1 s.

10 CÁLCULOS

- 10.1** Se multiplica el tiempo de flujo por el factor de corrección para el viscosímetro (numeral 8.1).

11 INFORME

- 11.1** Se informa el tiempo de flujo corregido, como la viscosidad Saybolt Furol (sSF) del material, a la temperatura a la cual se hizo el ensayo.
- 11.2** Se informan los valores redondeados al segundo para resultados superiores a 200 sSF, y redondeados a 0.5 s para resultados inferiores a 200 sSF.

12 PRECISIÓN Y SESGO

- 12.1** Los resultados presentados no deben diferir en más de:

12.1.1 *Repetibilidad* – Los ensayos realizados por duplicado por un mismo operador y equipo, sobre una misma muestra, se consideran satisfactorios si no difieren del valor medio en más de 1 %.

12.1.2 *Reproducibilidad* – Los ensayos realizados en distintos laboratorios con diferentes operadores y equipos, sobre muestras del mismo producto, se consideran satisfactorios si no difieren del valor medio en más de 2 %.

13 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 102/E102M – 93 (Reaprobada 2009)

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

EFFECTO DEL CALOR Y DEL AIRE SOBRE EL ASFALTO EN LÁMINA DELGADA Y ROTATORIA

INV E – 720 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Este método de ensayo se emplea para medir el efecto del calor y del aire sobre una lámina delgada de materiales asfálticos semisólidos en movimiento. Los efectos de este procedimiento se determinan a partir de la medición de ciertas propiedades del asfalto, antes y después del ensayo.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-720-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Una película de material asfáltico en movimiento es calentada durante 85 minutos en un horno a 163° C (325° F). Los efectos del calor y del aire sobre el material se determinan a partir de los cambios en los valores de los ensayos físicos efectuados antes y después del tratamiento en el horno. Se proporciona un procedimiento opcional para determinar el cambio de masa de la muestra.
- 2.2 Se han desarrollado valores de precisión para este método de ensayo, para la viscosidad a 60° C (140° F), la ductilidad a 15.6° C (60° F) y el cambio de masa.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 Este método de ensayo indica el cambio aproximado que sufren las propiedades del asfalto durante el proceso convencional de mezclado en caliente a una temperatura del orden de 150° C (302° F), mediante la determinación de la viscosidad y otras medidas reológicas. El ensayo produce un residuo que se aproxima a la condición del asfalto cuando se incorpora en el pavimento. Si la temperatura de mezclado difiere apreciablemente de 150° C (302° F), se presentará un efecto mayor o menor sobre las propiedades del asfalto. El ensayo se emplea, también, para determinar el cambio de masa del cemento asfáltico, el cual es una medida de la presencia de productos volátiles.

4 EQUIPO

4.1 *Horno* – Deberá ser eléctrico, de pared doble del tipo de convección. Sus dimensiones interiores deberán ser: 381 mm (15") de altura, 483 mm (19") de ancho (incluida la cámara impelente) y 445 ± 13 mm ($17 \frac{1}{2}'' \pm \frac{1}{2}''$) de profundidad (con la puerta cerrada). La puerta deberá tener una ventana simétricamente localizada con dimensiones de 305 a 330 mm (12 a 13") de ancho, por 203 a 229 mm (8 a 9") de alto. La ventana deberá tener dos hojas de vidrio resistentes al calor, separadas mediante un espacio con aire, y deberá permitir una vista sin obstrucciones del interior del horno. El tope del elemento superior de calefacción se debe hallar a 25 ± 3 mm ($1 \pm \frac{1}{8}''$) por debajo del piso del horno.

4.1.1 El horno deberá estar ventilado en el fondo y en la parte superior. Los respiraderos del fondo deberán estar localizados simétricamente para suministrar aire alrededor de los elementos calefactores y deberán tener un área libre de 15.0 ± 0.7 cm² (2.31 ± 0.11 pulg²). Los respiraderos superiores también deberán estar dispuestos simétricamente y tener un área libre de 9.3 ± 0.45 cm² (1.45 ± 0.07 pulg²).

4.1.2 El horno deberá tener una cámara de aire continua alrededor de sus paredes y techo, de 38.1 mm ($1 \frac{1}{2}''$) de ancha. En un punto medio a lo ancho del horno y con su eje a 152.4 mm (6") de la cara frontal del disco portamuestras, va colocado un ventilador circular, con caja en forma de jaula de ardilla, de 133 mm ($5 \frac{1}{4}''$) de diámetro externo y 73 mm ($2 \frac{7}{8}''$) de ancho, movido por un motor externo a 1725 rpm. La jaula de ardilla se deberá instalar de manera que el ventilador gire en dirección opuesta a sus aspas. Al girar el ventilador, impulsa el aire en sentido descendente; éste asciende luego por la cámara de aire de las paredes y vuelve a ser expulsado hacia el interior del horno a través del ventilador. Las Figuras 720 - 1 y 720 - 2 muestran detalles de este sistema de circulación.

4.1.3 El horno deberá estar equipado con un termostato de control, que pueda mantener la temperatura a 163° C (325° F) con una precisión de $\pm 1.0^\circ$ C (1.8° F). El elemento sensor del termostato se deberá colocar en un punto que permita que el horno mantenga el control de la temperatura como se establece en la presente norma.

4.1.4 El termómetro se deberá colgar o fijar a un soporte en el techo, a unos 50.8 mm (2") de su pared derecha y a la mitad de su profundidad, con

su bulbo a la altura del eje del disco portamuestras ± 25.4 mm (± 1 "). Con el horno precalentado a la temperatura de ensayo, los controles para el calentamiento deberán tener capacidad suficiente para llevar de nuevo el horno a dicha temperatura dentro de un período máximo de 10 minutos, una vez que éste sea cargado completamente con las muestras de ensayo.

- 4.1.5** El horno deberá estar provisto de un portamuestras circular, colocado verticalmente, de 304.8 mm (12") de diámetro (Ver Figura 720 - 2). El portamuestras deberá estar provisto de orificios circulares con flejes para sostener firmemente ocho recipientes de vidrio en posición horizontal (Ver Figura 720 - 3). Mediante un motor, el portamuestras debe girar alrededor de un eje de 19 mm ($\frac{3}{4}$ ") de diámetro, a una velocidad uniforme de 15 ± 0.2 rpm.
- 4.1.6** El horno debe estar provisto de un insuflador de aire caliente, que lanza un chorro en el interior de cada uno de los recipientes, cuando éstos pasan por el punto más bajo de su recorrido circular. El aire sale a través de una boquilla de 1.016 mm (0.04") de diámetro después de un recorrido a lo largo de un tubo de cobre de 7.6 m (25") de largo y de 8 mm (5/16") de diámetro exterior, arrollado en espiral en un plano sobre el suelo del horno y conectado exteriormente a una fuente regulada de aire fresco, seco y libre de polvo.

Nota 1: Un gel de solución de sílice activada, tratado con un indicador, es un desecador satisfactorio para mantener el aire seco.

- 4.2** *Medidor del caudal de aire* – Puede ser de cualquier tipo adecuado, capaz de medir con precisión un caudal de aire de 4000 ml/min. El medidor debe estar ubicado en un nivel inferior en relación con los dispositivos de regulación y en uno superior en relación con la espiral de cobre, y debe estar posicionado de manera que se mantenga aproximadamente a la temperatura ambiente. El flujo de aire se debe calibrar periódicamente usando un medidor de volumen de gas que utiliza un principio mecánico (wet-test meter) u otro método de desplazamiento. La calibración se basa en el caudal a la salida del tubo de cobre y se debe realizar a temperatura ambiente y con el horno apagado.

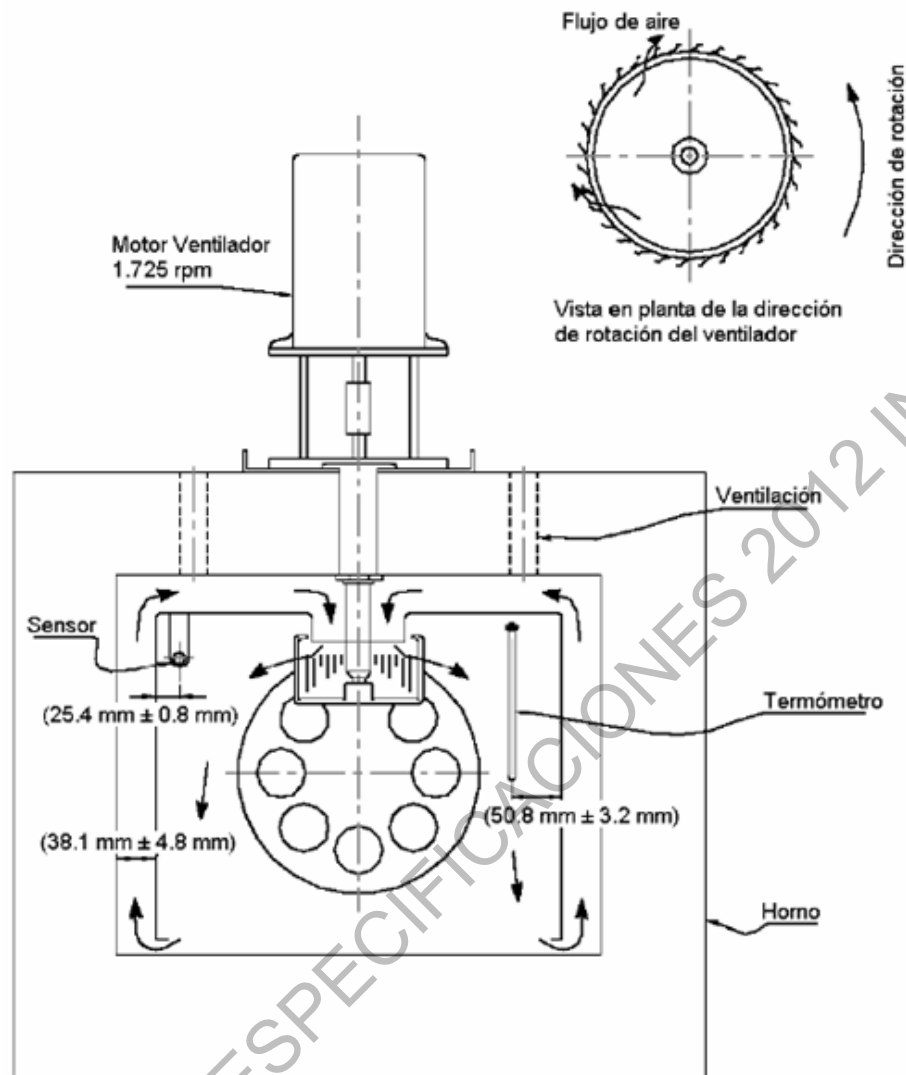


Figura 720 - 1. Esquema frontal del flujo de aire

- 4.3 Termómetro** – Termómetro para medir pérdida por calentamiento, con las siguientes características:

REFERENCIA ASTM	ESCALA °C	INMERSIÓN mm	GRADUACIÓN °C	ERROR MÁXIMO °C
13C	155 a 170	total	0.5	0.5

- 4.3.1** Con el fin de reducir el riesgo de rotura, el termómetro se deberá encapsular parcial o totalmente en un estuche de polímero transparente de 0.25 mm (0.01") de espesor máximo. Si se usa el estuche, se deberá instalar de manera que tenga un contacto

sustancial con el termómetro, y éste deberá ser recalibrado tras la instalación del estuche.

4.3.2 En lugar del termómetro, se puede instalar un sistema electrónico de medición de la temperatura, que cumpla los siguientes requisitos:

4.3.2.1 Que sea un termómetro de resistencia de platino (PRT) grado A de 3 o 4 hilos, conforme con la especificación ASTM E 1137. El sensor se deberá montar en la misma posición y orientación que el termómetro de ensayo que reemplaza.

4.3.2.2 Su respuesta térmica no debe diferir en más de 30 % de la del termómetro convencional. La respuesta térmica es el tiempo requerido para lograr el 95 % de respuesta a un cambio de temperatura, partiendo de la del aire al ambiente y terminando a cualquier temperatura conveniente entre 165 y 170° C. La norma ASTM E 644 presenta guías para determinar el tiempo de respuesta térmica.

4.3.2.3 El circuito de medida electrónica debe incluir una pantalla para lectura digital, con una resolución de 0.1° C o mejor.

4.3.2.4 El sensor y el circuito se deben calibrar y verificar como una sola unidad, y de acuerdo con la trazabilidad del NIST (*National Institute Standards and Technology*). El sistema se debe calibrar antes de ponerlo en servicio y se deberá verificar al menos una vez al año. La norma ASTM E 644 presenta una guía para la calibración. La verificación se debe adelantar con el horno equilibrado a la temperatura normal de trabajo, con el sensor de verificación en contacto con el del equipo de ensayo. Si la diferencia entre los dos excede de 0.2° C, la verificación se debe considerar fallida y, entonces, se deberá recalibrar el sistema.

4.4 *Recipientes* – Los recipientes dentro de los cuales se ensaya la muestra, deberán ser de vidrio resistente al calor, y sus dimensiones deben ser las mostradas en la Figura 720 - 3.

4.5 *Estante enfriador* – Construido de lámina metálica de estaño, aluminio o acero, que permita colocar los recipientes contenedores de las muestras para que se enfríen en posición horizontal y en un mismo plano. Su construcción debe permitir el flujo libre de aire alrededor de cada recipiente, con una luz

mínima de 25 mm (1") tanto entre recipientes como con respecto a cualquier otra superficie sólida.

5 PREPARACIÓN DEL HORNO

- 5.1 Se ajusta la salida de la boquilla de aire caliente, para que quede a 6.35 mm ($\frac{1}{4}$ ") de la boca del recipiente de vidrio para la muestra. La boquilla se debe ubicar de manera que el chorro de aire salga horizontalmente e incida sobre el centro de la boca del recipiente a su paso frente a él.
- 5.2 Se coloca el termómetro con el extremo de su bulbo a una altura de ± 25.4 mm (1") del plano imaginario que pasa por el eje del portamuestras.
- 5.3 Se nivela el horno, para que los ejes de los recipientes de vidrio queden horizontales cuando estén en posición en el portamuestras.
- 5.4 Se precalienta el horno durante un mínimo de 16 horas antes del ensayo, con todos los controles graduados en la posición correcta de funcionamiento. El control térmico se debe ajustar de modo que después de cargar el horno con todas las muestras y el aire insuflado, alcance de nuevo la temperatura de $163 \pm 0.5^\circ \text{C}$ ($325 \pm 1.0^\circ \text{F}$) dentro de un período de 10 min, como se indica en el numeral 4.1.4.

Nota 2: Debido a que la presencia de los recipientes afecta la distribución de la temperatura dentro del horno, éste deberá contener recipientes durante el proceso de ajuste de la temperatura. Para tal efecto, se pueden emplear recipientes vacíos.

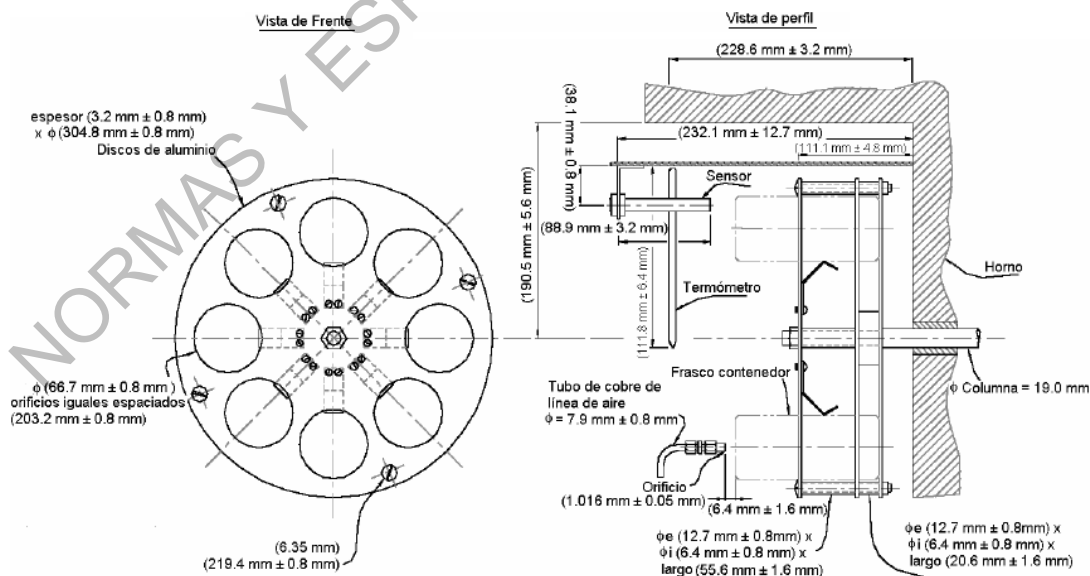


Figura 720 - 2. Portamuestras circular

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** La muestra recibida se debe hallar exenta de agua. Se calienta dentro de su recipiente con la tapa apenas ajustada, en un horno a una temperatura que no exceda de 163° C (325° F), durante el tiempo mínimo necesario para asegurar que la muestra esté completamente fluida. Se agita manualmente, evitando incorporar burbujas de aire.
- 6.2** Se vierten 35 ± 0.5 g de la muestra dentro de cada uno de los recipientes de vidrio que sean necesarios hasta completar la cantidad material suficiente para los ensayos de caracterización que se deben efectuar sobre el residuo. Para ensayos de referencia, se requieren ocho recipientes de vidrio.
- 6.3** Inmediatamente después de verter la muestra dentro del recipiente, se coloca éste en posición horizontal y se rota lentamente hasta completar al menos un giro completo, buscando un pre-cubrimiento de su superficie cilíndrica. El pre-cubrimiento del extremo abierto del recipiente no es necesario y se debe evitar que el asfalto salga del recipiente durante esta operación. Se coloca el recipiente horizontalmente en un estante limpio y seco libre de corrientes de aire y a temperatura ambiente, lejos de hornos y otras fuentes de calor.

Nota 3: Con ciertos ligantes, resulta imposible el pre-cubrimiento completo de los recipientes.

Nota 4: Para obtener la máxima precisión en la determinación de la pérdida de masa, el estante de enfriamiento se debe ubicar en un lugar con la misma temperatura y humedad ambiente que la balanza utilizada para pesar los recipientes. El problema se puede minimizar montando una fuente de iones pasivos en la pantalla que protege la balanza contra las corrientes de aire.

Nota 5: La electricidad estática puede producir medidas inestables de masa, en parte, debido a las características de los recipientes de vidrio.

- 6.3.1** Se permite que los recipientes se enfríen en el estante, durante un lapso comprendido entre 60 y 180 min.
- 6.3.2** Cuando se desee hallar el cambio de masa, se deben usar dos recipientes para su determinación. La masa de ellos se mide, luego del enfriamiento, en una balanza analítica con una resolución de 0.001 g o mejor. Los recipientes se colocan por separado de manera vertical en la balanza y se anota la masa con la resolución máxima de ésta.
- 6.4** Con el horno a la temperatura de ensayo y el flujo de aire regulado a 4000 ± 200 ml/min, se colocan los recipientes que contienen el asfalto en el disco portamuestras, de manera que éste quede balanceado, completando los espacios no ocupados del portamuestras con recipientes vacíos. Se cierra la

puerta del horno y se hace girar el portamuestras a una rata de 15 ± 0.2 rpm. Se mantienen las muestras en el horno con el flujo de aire y el portamuestras girando durante 85 minutos. La temperatura de ensayo de $163 \pm 0.5^\circ \text{C}$ ($325 \pm 1^\circ \text{F}$), se debe alcanzar dentro de las primeros 10 minutos; si esto no se logra, se debe anular la prueba.

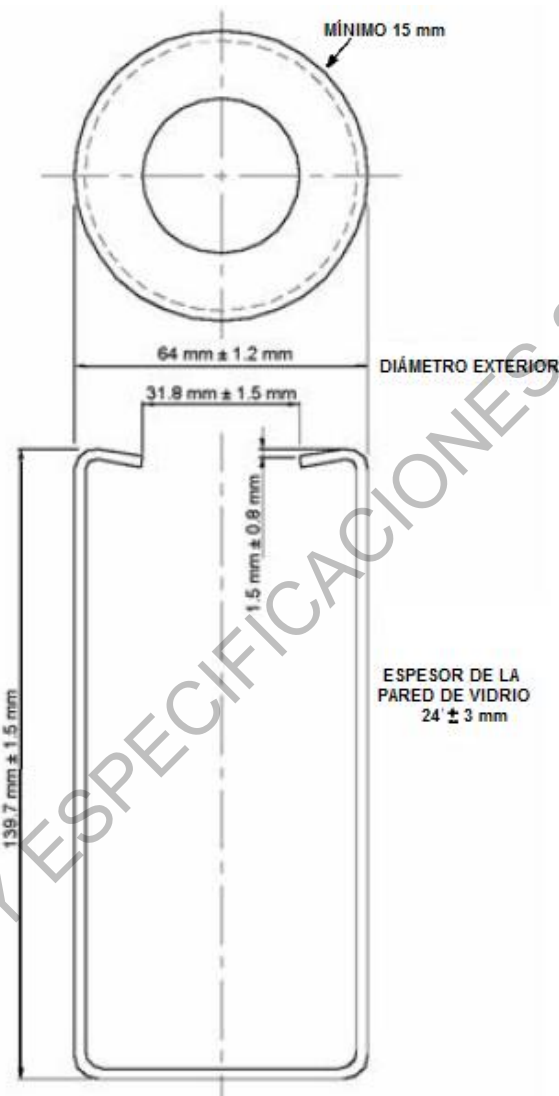


Figura 720 - 3. Recipiente para la muestra

- 6.5 Al término del período de ensayo, se sacan del horno los recipientes destinados a establecer el cambio de masa y se colocan horizontalmente en el estante (Figura 720 - 4). En seguida, se retiran los recipientes restantes, de uno en uno, y se transfiere su contenido a otro recipiente de mayor tamaño cuya capacidad sea, por lo menos, superior en un 30 % al volumen total esperado de residuo. La transferencia se debe realizar vertiendo primero todo asfalto

que fluya libremente y, luego, raspando tanto residuo remanente como sea posible. La puerta del horno debe permanecer cerrada mientras se remueve el residuo de cada recipiente, con el interruptor en posición de encendido, y con los cilindros restantes girando en el portamuestras. No deberán transcurrir más de 5 minutos entre la remoción del primer recipiente y la del último.

Nota 6: Se puede usar cualquier técnica o herramienta de raspado, mientras permita remover al menos el 90 % del residuo de los recipientes. Para este propósito, se ha determinado que el raspado es más efectivo en sentido circunferencial que en sentido longitudinal.



Figura 720 - 4. Recipientes sobre el estante

- 6.6** Luego de removidos los residuos de los recipientes de vidrio, se agita suavemente el recipiente que los contiene para lograr su homogeneidad, con el debido cuidado para impedir la entrada de aire. Los ensayos sobre el residuo se deben efectuar dentro de las 72 horas siguientes a la ejecución del ensayo de lámina asfáltica delgada en movimiento.
- 6.7** Si se está determinando el cambio de masa, se permite que los recipientes donde se encuentran las muestras destinadas a su determinación se enfríen sobre el estante durante un lapso de 60 a 180 min. En seguida, se obtiene la masa de cada recipiente, colocándolo en posición vertical sobre una balanza analítica con resolución de 0.001 g o mejor. Se debe anotar si alguna de las muestras se salió de su recipiente.

Nota 7: Algunos laboratorios han informado que las muestras fluyen de los recipientes durante el ensayo. Si ello ocurre, se deben verificar la nivelación del horno y las dimensiones del recipiente. Los recipientes con bocas muy pequeñas parecen más susceptibles a este problema. Se debe descartar el uso de cualquier recipiente cuyas dimensiones no satisfagan los requisitos de esta norma.

Nota 8: Para mejorar la precisión en la determinación del cambio de masa, los recipientes destinados a ello se deben manejar con guantes limpios o pinzas. Su traslado a la balanza se deberá hacer con las pinzas, para prevenir contaminaciones y cambios de temperatura que puedan alterar el valor medido de masa.

7 INFORME

- 7.1** Los resultados del ensayo se deben expresar en función de los cambios físicos que han tenido lugar en la muestra. Los valores correspondientes se obtendrán mediante ensayos apropiados, según las normas INV, sobre el material antes y después de la ejecución del ensayo del asfalto en lámina delgada y rotatoria.
- 7.2** Si se determinó el cambio de masa, se reporta como el promedio del cambio encontrado en los dos recipientes, expresado como porcentaje respecto de la masa inicial, con aproximación a 0.001 %. La pérdida de masa se debe reportar como un número negativo, mientras la ganancia de masa se informará como un número positivo.

Nota 9: En este ensayo se puede obtener pérdida o ganancia de masa. Durante el ensayo, los componentes volátiles se evaporan (produciendo una disminución en la masa), mientras que el oxígeno reacciona con la muestra (causando un aumento en la masa). El efecto combinado determina si la muestra tiene una ganancia o una pérdida de masa. Es así como muestras con muy bajo porcentaje de componentes volátiles presentan usualmente una ganancia de masa, en tanto que muestras con alto porcentaje de componentes volátiles suelen exhibir una pérdida de masa.

8 PRECISIÓN Y SESGO

- 8.1** *Precisión* – El criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados de viscosidad a una temperatura de 60° C (140° F) y de ductilidad a 15.6° C (60° F), en el residuo después del ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento, se muestran en la Tabla 720 - 1.
- 8.1.1** Los valores dados en la columna 2 de la tabla corresponden a la desviación estándar (normal) que ha sido encontrada apropiada para los materiales y condiciones de ensayo descritos en la primera columna.
- 8.1.2** Los valores dados en la columna 3 son los límites que no deben ser excedidos por la diferencia de los resultados entre dos ensayos.
- 8.1.3** Los valores de la columna 4 corresponden a los coeficientes de variación que han sido encontrados apropiados para los materiales y condiciones de ensayo descritos en la primera columna.

Tabla 720 - 1. Precisión del ensayo sobre el residuo

MÉTODOS DE ENSAYO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE DE 2 RESULTADOS (d2s)	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (% DEL PROMEDIO) (1s%)	RANGO ACEPTABLE DE 2 RESULTADOS (% DEL PROMEDIO) (d2s%)
<i>Precisión de un solo operador</i>				
Viscosidad a 60°C (140°F)	-	-	2.3	6.5
Ductilidad a 15.6°C (60°F) ^A	3	9	-	-
<i>Precisión varios laboratorios</i>				
Viscosidad a 60°C (140°F)	-	-	4.2	11.9
Ductilidad a 15.6°C (60°F) ^A	6	16	-	-

^A Se basan en el análisis de información de resultados de ensayo de 16 laboratorios sobre 2 tipos de asfaltos en un rango de 13 a 30 cm.

8.1.4 Los valores dados en la columna 5, son los límites que no deben ser excedidos por la diferencia entre los resultados de dos ensayos adecuadamente realizados, expresados como porcentaje de su valor medio.

8.2 La precisión para la determinación de los valores de pérdida de masa se ha estimado a partir del análisis de datos que representan unas 5900 repeticiones de este ensayo. El análisis indica que la desviación estándar (1s) se puede expresar en función del cambio de masa (X), de acuerdo con las ecuaciones que se presentan en la Tabla 720 - 2.

Tabla 720 - 2. Relaciones entre la desviación estándar y el cambio de masa

CAMBIO DE MASA (X)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s) UN SOLO OPERADOR	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s) VARIOS LABORATORIOS
Si $X \leq -0.1\%$	$1s = 0.013 - 0.070X$	$1s = 0.020 - 0.200X$
Si $X > -0.1\%$	$1s = 0.020$	$1s = 0.040$

- 8.3** El límite de confianza de 95 % para el rango aceptable de dos resultados (d_{2s}), se determina multiplicando la desviación estándar ($1s$) por un factor de 2.83.
- 8.4** *Sesgo* – Este método no tiene sesgo, por cuanto los valores determinados están definidos en términos del método de ensayo.

9 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 2872 – 04

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

EFFECTO DEL CALOR Y DEL AIRE SOBRE EL ASFALTO EN LÁMINA DELGADA

INV E – 721 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Este método de ensayo se refiere a la determinación del efecto del calor y del aire sobre una película de materiales asfálticos semisólidos. Los efectos de este tratamiento se determinan a partir de la medición de algunas propiedades seleccionadas del asfalto, antes y después del ensayo.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-721-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Se calienta una lámina de material asfáltico en un horno a 163° C (325° F) durante 5 horas. Se determinan los efectos del calor y del aire a partir de los cambios en las propiedades físicas, medidas antes y después del tratamiento en el horno. Se presenta, además, un procedimiento alternativo para determinar el cambio en la masa de la muestra.
- 2.2** Los valores de precisión para el método se han desarrollado para la viscosidad, los cambios de viscosidad y de penetración, el cambio de masa y la ductilidad.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Este método indica el cambio aproximado que se produce en las propiedades del asfalto durante el proceso convencional de mezclado en caliente a temperaturas del orden de 150° C (302° F), a partir de medidas de viscosidad, penetración o ductilidad. El residuo obtenido como resultado de la ejecución del ensayo presenta una condición similar a la del asfalto cuando la mezcla asfáltica se coloca en el terreno. Si la temperatura de mezclado difiere apreciablemente de 150° C (302° F), el efecto que se presentará sobre estas propiedades, será mayor o menor, dependiendo de la temperatura de mezclado.

4 EQUIPO

4.1 Horno (Figura 721 - 1) – Debe ser eléctrico y cumplir los requisitos de la especificación ASTM E 145 para hornos de convección por gravedad y ventilación forzada tipo IB, y tener una temperatura de operación hasta 180° C (356° F). Durante los ensayos para comprobar el cumplimiento de los requisitos de la especificación ASTM E 145, la plataforma del horno, debidamente centrada, como se indica en el numeral 4.1.2, debe permanecer en su sitio y girando.

4.1.1 Construcción – El horno debe ser de geometría ortogonal con dimensiones interiores entre (excluyendo el espacio ocupado por el elemento de calefacción) 330 mm (13") y 535 mm (21"). En la parte delantera debe tener una puerta con cierre perfectamente hermético, que al abrirla deje practicable, en su totalidad, el recinto interior a lo ancho y alto del horno. La puerta puede tener una ventana con dimensiones mínimas de 100 × 100 mm (4 × 4") y con dos hojas de vidrio separadas mediante un espacio con aire, a través de las cuales se pueda leer, sin abrir la puerta, un termómetro vertical, localizado como se indica en el numeral 4.2; como alternativa a la ventana, el horno puede tener una puerta interior de vidrio, a través de la cual se pueda observar el termómetro al abrir momentáneamente la puerta exterior. El horno debe ser ventilado mediante corrientes de convección de aire y, para este propósito, debe estar provisto de aberturas para la entrada de aire y para la salida de vapores y del aire caliente. Cualquier tamaño y disposición de aberturas son satisfactorios, si cumplen con los requerimientos de la especificación ASTM E 145, para el horno del Tipo IB.

4.1.2 Plataforma giratoria – El horno debe estar provisto de una plataforma circular metálica que tenga un diámetro entre 250 mm (9.8") y 450 mm (18"). La construcción de la plataforma debe ser tal, que proporcione una superficie plana para el sostén de los recipientes, sin obstaculizar la circulación del aire, cuando éstos se hallen en su sitio. La plataforma debe quedar centrada horizontalmente con respecto a las dimensiones interiores del horno y estar suspendida de un eje vertical, el cual debe estar provisto de los mecanismos necesarios para hacerla rotar a una velocidad de 5.5 ± 1 rpm. La posición vertical deseable de la plataforma es a 150 mm (6") sobre el fondo del horno. La plataforma debe estar construida o marcada de manera que los recipientes que contienen las muestras se puedan colocar siempre en la misma posición. Deberá contener entre dos y seis posiciones para los recipientes con las

muestras. Cada posición deberá ser simétrica con respecto al eje y a cualquier orificio de la plataforma. El número de posiciones debe ser el máximo posible, sin que se violen los requisitos previos.

- 4.2** *Termómetro* – Un termómetro para pérdida por calentamiento, de acuerdo con las exigencias para termómetros 13 C y las siguientes características principales:

REFERENCIA ASTM	ESCALA (° C)	GRADUACIONES (° C)	LONGITUD TOTAL (mm)	ERROR MÁXIMO (° C)
13 C	155 - 170	0.5	169	0.5

- 4.2.1** Se admite, también, un termómetro de resistencia de platino grado A, conocido como PRT (*Platinum Resistance Thermometer*) o RTD (*Resistance Temperature Detector*) de acuerdo a la especificación ASTM E 1137/ E 1137M, con un medidor legible a 0.1° C y con exactitud verificada a 163° C (325° F). Cuando se emplee el termómetro 13 C, deberá estar soportado desde el eje de la plataforma giratoria, en posición vertical, en un punto equidistante del centro y del borde de la plataforma. La parte inferior del bulbo del termómetro debe quedar 40 mm (1.5") por encima de la parte superior de la plataforma. El termómetro debe estar centrado radialmente sobre la posición de un recipiente para muestra de ensayo. Si se usa un PRT o RTD, deberá ser independiente del sistema de control térmico del horno y el extremo de su sensor de medida se debe ubicar 40 mm (1.5") por encima de la plataforma y centrado sobre el arco de los recipientes que rotan. Los termómetros se deben calibrar en el instante de su instalación, y su exactitud a 163° C (325 °F) se debe verificar al menos una vez al año.

- 4.3** *Recipientes para las muestras (Figura 721 - 2)* – Recipientes cilíndricos de 140 ± 1 mm (5 ½ ± 0.04") de diámetro interior y 9.5 ± 1.5 mm (3/8 ± 1/16") de profundidad, con fondo plano. Al colocar 50 ml de muestra en un recipiente con estas dimensiones se obtiene un espesor de película de, aproximadamente, 3.2 mm (1/8"). Los recipientes deben ser de acero inoxidable y el espesor de su lámina debe ser de, aproximadamente, 0.64 mm (0.025").

Nota 1: Los recipientes para la contención de las muestras tienen tendencia a deformarse con el uso. Aunque los ensayos indican que un alabeo de pequeña magnitud no afecta los resultados de manera

significativa, es aconsejable una inspección frecuente para eliminar recipientes demasiado deformados o deteriorados. Se ha encontrado que el espesor indicado para el metal proporciona una rigidez adecuada sin que el recipiente tenga un peso excesivo. Recipientes de acero inoxidable elaborados con lámina de calibre No. 24 (0.6 mm) cumplen con el espesor recomendado. Los elaborados con lámina de calibre No. 26 (0.5 mm) también son aceptables, pero tienen mayor tendencia a alabearse con el uso.

- 4.4 Balanzas** – Si se desea encontrar la pérdida por calentamiento, se deberá emplear una balanza con capacidad de 200 g y sensibilidad de 0.001 g; si se desea encontrar sólo el residuo, se deberá emplear una con capacidad de 2 kg y sensibilidad de 0.1 g.



Figura 721 - 1. Horno para el ensayo de lámina asfáltica delgada



Figura 721 - 2. Recipientes para el ensayo al horno de lámina asfáltica delgada

5 PREPARACIÓN DEL HORNO

- 5.1** Se debe asegurar que el extremo del elemento para la medida de la temperatura esté ubicado 40 mm (1.5") por encima de la parte superior de la plataforma giratoria, y centrado sobre el arco de los recipientes al girar.
- 5.2** Se debe asegurar que el horno se encuentre nivelado y que la plataforma gire en un plano horizontal. La desviación máxima con respecto a la horizontal durante la rotación, no debe exceder de 3°.
- 5.3** Se precalienta el horno durante un lapso mínimo de 2 horas antes del ensayo, con el control ajustado a la temperatura requerida para el ensayo. El ajuste se deberá elegir de manera que cuando el horno esté completamente lleno, se equilibre a $163 \pm 1^\circ \text{C}$ ($325 \pm 2^\circ \text{F}$).

Nota 2: Retirar del horno los recipientes para las muestras afecta los patrones de convección, lo que puede hacer que la lectura de temperatura sea diferente de la deseada.

6 PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES

- 6.1** Se coloca suficiente material para el ensayo en un recipiente adecuado y se calienta hasta que alcance a una condición fluida. Se debe tener cuidado para que no se presente un sobrecalentamiento local de la muestra y que la mayor temperatura alcanzada no exceda de 163°C (325°F). La muestra se debe agitar durante el período de calentamiento, evitando la incorporación de burbujas de aire en ella. Se transfieren $50 \pm 0.5 \text{ g}$ a cada uno de dos o más recipientes tarados, que cumplan con las exigencias del numeral 4.3.
- 6.2** Al mismo tiempo, se vierte una parte de la muestra dentro de los recipientes especificados para la medida de las propiedades originales del asfalto. Se efectúan los ensayos correspondientes a las propiedades que se quieren medir, mediante las normas de ensayo INV apropiadas.
- 6.3** Si se desea obtener el valor cuantitativo del cambio de masa, las muestras para el ensayo al horno se enfrían hasta la temperatura ambiente y se determina la masa de cada muestra separadamente con aproximación a 0.001 g. Si no se necesita el cambio en la masa, las muestras se dejan enfriar hasta aproximadamente la temperatura ambiente, antes de colocarlas en el horno como se indica en el numeral 7.1.

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** Con el horno precalentado y ajustado como se describe en el numeral 5.3, se colocan rápidamente los recipientes con las muestras sobre las posiciones predeterminadas de la plataforma circular (notas 3 y 4). Cualquier posición vacante se debe ocupar con un recipiente vacío para que todas las posiciones se encuentren ocupadas. Se cierra el horno y se inicia la rotación de la plataforma. Se debe mantener la temperatura en el rango especificado durante 5 horas a partir del instante en que se introducen las muestras y que el horno haya alcanzado dicha temperatura. El período de 5 horas se deberá iniciar cuando la temperatura alcance 162° C (323° F) y en ningún caso, el tiempo total que permanezca una muestra en el horno, deberá ser mayor de 5 ¼ horas. Al término del período de calentamiento, se remueven las muestras del horno. Si no se va a determinar el cambio de masa, se procederá como se indica en el numeral 7.3. Si el cambio de masa se está determinando, se enfrían las muestras a la temperatura ambiente, se determina su masa con aproximación a 0.001 g y se calcula el cambio de masa, sobre la base del asfalto contenido en cada recipiente (nota 5).

Nota 3: Los materiales que presenten características diferentes de cambio de masa no se deben ensayar al mismo tiempo, debido a la posibilidad de absorción cruzada.

Nota 4: Este método de ensayo no prohíbe colocar una muestra de asfalto bajo el termómetro de mercurio. Sin embargo, no se recomienda utilizar esta posición para una muestra, sino más bien colocar un recipiente vacío en ella con el fin de minimizar el riesgo asociado con una rotura del termómetro.

Nota 5: Cuando no se puedan efectuar los ensayos completos durante el mismo día, y si se está determinando el cambio de masa, se deben determinar las masas de los residuos y almacenarlos durante toda la noche antes de calentarlos nuevamente. Si no se va a determinar el cambio de masa, se transfiere el residuo a la lata de 240 ml (8 onzas) como se indica en la Sección 7.3, antes de su almacenamiento durante la noche.

- 7.2** Después de determinar la masa de las muestras, se colocan sobre una lámina refractaria y luego sobre la plataforma del horno, el cual se mantiene a 163° C (325° F). Se cierra el horno y se rota la plataforma durante 15 minutos. Inmediatamente, se procede como se describe en el numeral siguiente.
- 7.3** Se retira cada uno de los recipientes y se transfiere su contenido a una lata sin costuras de unos 240 ml (8 onzas) de capacidad. Se remueve sustancialmente todo el material de los recipientes, raspándolo con una espátula adecuada o un cuchillo. Mientras se está removiendo el residuo de cada recipiente, la puerta del horno debe permanecer cerrada con el interruptor en la posición de encendido y con las muestras restantes rotando sobre la plataforma. El último recipiente deberá ser removido del horno antes de que se cumplan 5 minutos de haber retirado el primero. Mientras se encuentran en una condición

semifluida, los residuos combinados se deben agitar completamente hasta conseguir homogeneidad. De ser necesario, los residuos combinados se calientan en el recipiente cubierto dentro de un horno a una temperatura no mayor de 163° C (325° F). Los ensayos requeridos sobre el residuo se ejecutarán de acuerdo con las normas INV apropiadas (generalmente, las relacionadas con penetración y viscosidad), dentro de las 72 horas siguientes.

Nota 6: Se debe tener cuidado al recalentar la muestra, por cuanto un recalentamiento excesivo puede afectar la severidad aparente del ensayo.

8 INFORME

- 8.1** Se reportan los valores de las propiedades originales del asfalto, medidas como se indica en numeral 6.2 y los valores de las propiedades del residuo, como se indica en el numeral 7.3. El cambio de viscosidad se puede expresar, también, como la relación entre la viscosidad del residuo asfáltico y la viscosidad del asfalto original. El cambio de penetración se evalúa como la penetración del residuo, expresada como porcentaje de la penetración original.
- 8.2** Se reportan los resultados de ductilidad o de otros ensayos, de acuerdo con las normas de ensayo INV apropiadas.
- 8.3** Cuando se haya determinado, se reportará el cambio promedio en la masa del material en todos los recipientes empleados en el ensayo, como porcentaje con respecto a la masa original del material.

Nota 7: Los resultados de este ensayo pueden indicar una pérdida o una ganancia en la masa del ligante asfáltico. Durante el ensayo, los componentes volátiles se evaporan (produciendo una disminución en la masa), mientras que el oxígeno reacciona con la muestra (causando un aumento en la masa). El efecto combinado determina si la muestra tiene una ganancia o una pérdida de masa. Es así como muestras con muy bajo porcentaje de componentes volátiles presentan usualmente una ganancia de masa, en tanto que muestras con alto porcentaje de componentes volátiles suelen exhibir una pérdida de masa.

Nota 8: Si se advierte la formación de una costra durante el ensayo, se deberá hacer la anotación correspondiente en el informe.

9 PRECISIÓN Y SESGO

- 9.1** *Precisión* – Los criterios sobre aceptación de los resultados de la viscosidad a 60° C (140° F) y a 135° C (275° F), de la relación de la viscosidad a 60° C (140° F), del cambio en la penetración a 25° C (77° F), de la ductilidad a 15.6° C (60° F) (promedio de tres medidas), y del cambio de masa, de acuerdo con los resultados obtenidos mediante este método, se muestran en la Tabla 721 - 1. Los valores de la columna 2 son las desviaciones estándar que han sido

establecidas como apropiadas para los materiales originales y las condiciones de ensayo descritas en la columna 1. Los valores de la columna 3 corresponden a los límites que no se deben exceder por la diferencia entre los resultados de dos ensayos realizados adecuadamente. Los valores de la columna 4 corresponden a los coeficientes de variación que han sido establecidos como apropiados para los materiales y las condiciones de ensayo descritos en la columna 1. Los valores de la columna 5 corresponden a los límites que no debe exceder la diferencia entre los resultados de dos ensayos realizados de manera adecuada, expresada como porcentaje de su valor medio.

- 9.2 *Sesgo* – No es posible determinar el sesgo para este método de ensayo, por cuanto no hay un material disponible con un valor de referencia aceptado.

Tabla 721 - 1. Precisión del ensayo sobre el residuo TFOT

MATERIAL E ÍNDICE	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE DE DOS RESULTADOS (d2s)	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (PORCENTAJE DE LA MEDIA) (1s%)	RANGO ACEPTABLE DE DOS RESULTADOS (PORCENTAJE DE LA MEDIA) (d2s%)
<i>Precisión de un solo operador:</i>				
Penetración retenida (%)	1.43	4.0	-	-
Cambio de masa (%):				
No más de 0.4 %	0.014	0.04	-	-
Mayor de 4 %	-	-	2.9	8.0
Viscosidad a 60° C (140° F)	-	-	3.3	9.3
Viscosidad a 135° C (275° F)	-	-	2.0	5.7
Cambio de viscosidad a 60° C (140° F)	-	-	5.6	16.0
Ductilidad a 15.6° C (60° F)	7	20	-	-
<i>Precisión entre varios laboratorios</i>				
Penetración retenida (%)	2.90	8	-	-
Cambio de masa (%):				
No más de 0.4 %	0.055	0.16	-	-
Mayor de 4 %	-	-	14.0	40.0
Viscosidad a 60° C (140° F)	-	-	11.6	33.0
Viscosidad a 135° C (275° F)	-	-	6.4	18.0
Cambio de viscosidad a 60° C (140° F)	-	-	9.1	26.0
Ductilidad a 15.6° C (60° F)	12	34	-	-

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D1754/D1754M – 09

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE ROTURA DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN DIRECTA (TD)

INV E – 722 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Este método de ensayo permite determinar la deformación y la tensión de falla de ligantes asfálticos mediante un ensayo de tracción directa. Se puede utilizar para ensayar tanto asfaltos originales como envejecidos mediante los métodos INV E-720, ensayo de película delgada rotatoria o INV E-751, de envejecimiento acelerado en cámara a presión (PAV). El equipo de ensayo está diseñado para un rango de temperatura de + 6 a - 36° C.
- 1.2** Este método está limitado a ligantes asfálticos que contengan material con partículas de dimensiones menores a 250 µm.
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E-722-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Ligante asfáltico* – Cemento asfáltico, producido a partir de petróleo, con o sin la adición de modificadores orgánicos con partículas de tamaño menor a 250 µm.
- 2.2** *Frágil* – Tipo de falla en un ensayo de tracción directa, donde la curva tensión-deformación es esencialmente lineal hasta el punto de falla, la que se produce por rotura súbita del material sin una reducción apreciable de la sección transversal.
- 2.3** *Frágil-dúctil* – Tipo de falla en un ensayo de tracción directa, donde la curva tensión-deformación es curvilínea y la falla se produce por rotura súbita del material. Sólo se produce una pequeña reducción de la sección transversal de la probeta antes de la rotura.
- 2.4** *Dúctil* – Tipo de falla en un ensayo de tracción directa, donde el material no llega a la rotura, sino que falla por fluencia a grandes niveles de deformación.

- 2.5** *Deformación de tracción* – Deformación axial resultante de la aplicación de una carga de tracción, que se calcula como el cambio de la longitud efectiva de la probeta causada por la aplicación de la carga de tracción, dividida por la longitud efectiva original, antes de aplicar la carga.
- 2.6** *Tensión de tracción* – Tensión axial resultante de la aplicación de una carga de tracción, calculada como la carga de tracción dividida por el área original de la sección transversal de la probeta.
- 2.7** *Falla* – Punto en el cual la carga de tensión alcanza un valor máximo a medida que la probeta es sometida a tracción a una velocidad de deformación constante.
- 2.8** *Tensión de falla* – Tensión de tracción en la probeta cuando la carga alcanza un valor máximo durante el procedimiento de ensayo.
- 2.9** *Deformación de falla* – La deformación de tracción correspondiente a la tensión de falla.
- 2.10** *Sección calibrada o nominal* – Parte central de la probeta en la cual la sección transversal no varía longitudinalmente. La geometría de la sección calibrada tiene 18 mm de largo (ver Figura 722 - 1).
- 2.11** *Longitud corregida efectiva* – Para las probetas usadas en este ensayo, la longitud corregida efectiva, L_e , ha sido determinada como 33.8 mm. Esta es una longitud de calibración efectiva, que representa la parte de la probeta que contribuye en mayor grado a la deformación.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** Este ensayo describe el procedimiento usado para medir la tensión y la deformación de falla de una probeta de ligante asfáltico sometida a un ensayo de tracción a velocidad de deformación constante. Las probetas se preparan vaciando ligante asfáltico caliente en un molde adecuado. Se usan dos terminales plásticos para mantener adherida la probeta durante el ensayo y transferirle el esfuerzo de tracción desde la máquina de ensayo.
- 3.2** Este ensayo fue desarrollado para ligantes asfálticos a temperaturas en las que exhiben falla frágil o frágil-dúctil. Una falla frágil o frágil-dúctil se produce con una fractura en la probeta, en oposición a una falla dúctil en la cual la probeta

simplemente se alarga sin fracturarse. Este ensayo no es aplicable a temperaturas donde la falla sea por fluencia dúctil.

- 3.3** Un transductor de desplazamiento mide el alargamiento de la probeta al ser tirada en tracción a una tasa constante de 1 mm/min. Se monitorea la carga desarrollada durante el ensayo y cuando ella alcanza un máximo, la deformación y el esfuerzo de tensión en la probeta se reportan como la deformación de falla y la tensión de falla, respectivamente.

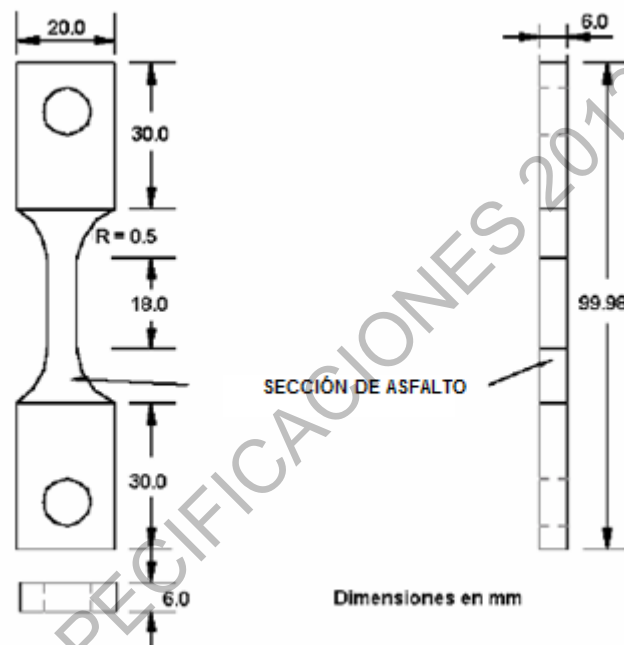


Figura 722 - 1. Geometría del espécimen para el ensayo de tracción directa

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** La tensión en la falla se usa en un modelo mecánico de agrietamiento de un pavimento, para computar el agrietamiento crítico a causa de una baja temperatura. El procedimiento para calcular la temperatura crítica de agrietamiento se describe en la norma ASTM D 6521. La temperatura crítica de agrietamiento se usa, entonces, para especificar la calidad a baja temperatura del ligante asfáltico de acuerdo con la especificación ASTM D 6373.
- 4.2** El ensayo está diseñado para medir la resistencia del ligante asfáltico a la temperatura crítica de agrietamiento. El ligante asfáltico tiene una habilidad limitada para resistir la tensión sin agrietarse a bajas temperaturas.

- 4.3** Para la evaluación de un ligante asfáltico de acuerdo con la especificación ASTM D 6373, se usa una tasa de elongación de 1 mm/min y la temperatura de ensayo se escoge en la Tabla 1 de la misma especificación, de acuerdo con el grado asfáltico que corresponda. Es posible usar otras tasas de elongación y temperaturas para ensayar los ligantes asfálticos.

5 EQUIPO

- 5.1** *Sistema de ensayo de tracción directa (Figura 722 - 2)* – El sistema de ensayo de tracción directa consiste en: 1) una máquina de tracción de carga de desplazamiento controlado de circuito cerrado de regeneración; 2) un sistema de sujeción de la probeta; 3) un baño líquido o cámara aislada, que permita un control uniforme, preciso y exacto de la temperatura durante el acondicionamiento y ensayo de la probeta; 4) dispositivos de medición y registro de carga en tiempo real; 5) dispositivos de medición y registro de elongación en tiempo real; 6) dispositivos de medición y registro de temperatura en tiempo real; y 7) dispositivos de registro y despliegue de datos en tiempo real. El sistema tendrá una unidad electromecánica o servohidráulica capaz de aplicar y medir fuerzas de tracción y compresión de al menos 500 N y un recorrido de 20 mm (0.78"). La rigidez del sistema será de al menos 3 MN/m, incluyendo la celda de carga y las mordazas. La unidad contará con un transductor para medir y controlar la separación de las sujeciones y proveer información para el control de la deformación, con una resolución de desplazamiento de 1.0 μm . El sistema será capaz de controlar la velocidad de elongación con una precisión de, al menos, 1% con respecto a la velocidad de elongación especificada de la probeta, usando la información proveniente de un transductor de desplazamiento montado entre los terminales de carga o de un extensómetro sin contacto que mida la elongación de la probeta.

5.1.1 *Máquina de carga de tracción equipada con control de temperatura* –

Una máquina de carga de tracción con un marco de carga de desplazamiento controlado, capaz de producir al menos 500 N. El marco de carga debe estar montado sobre una mesa. El sistema de sujeción (mordazas y placas) estará sumergido completamente bajo el líquido del baño (si se usa un sistema de baño líquido), a una profundidad mínima 25 mm bajo la superficie del fluido enfriador. La carga se producirá tirando directamente en tracción en el mismo plano de la probeta. La distancia entre los puntos de carga del marco de carga (entre las mordazas de carga) debe permitir acomodar las probetas con un largo total (incluyendo los terminales) de al menos

100 mm, (ver Figura 722 - 1). Si se utiliza un sistema enfriado por aire, el marco de carga debe estar equipado con 2 columnas con una luz suficiente entre ellas como para que pueda ser ubicada en dicho espacio una cámara aislada de control térmico.



Figura 722 - 2. Sistema para el ensayo de tracción directa: (a) molde y espécimen; (b) equipo de ensayo

5.1.2 Sistema de sujeción de la probeta – El sistema de sujeción debe producir un auto-alineamiento de la carga de ensayo uniaxial y permitir la inserción de los terminales de la probeta descritos en el numeral 5.1.2.1, y estar diseñado de manera que las probetas puedan ser montadas fácilmente en la máquina. El sistema debe incluir 2 mordazas. Cada mordaza debe incluir una chaveta especial que irá montada rígidamente a las platinas de carga de la máquina de ensayo. La Figura 722 - 3 muestra una configuración típica de una mordaza y una chaveta de carga. Una mordaza debe estar fija y permanecer inmóvil durante el ensayo, mientras que la otra se desplaza a la tasa de deformación especificada.

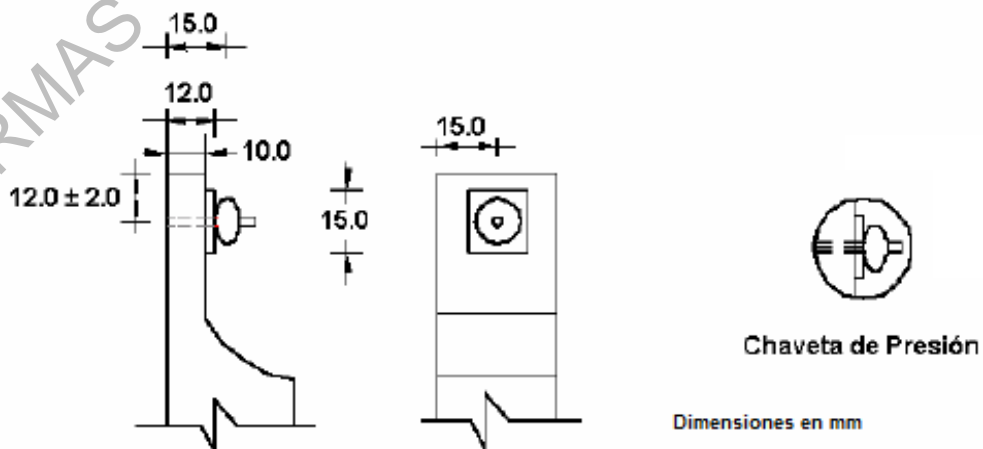
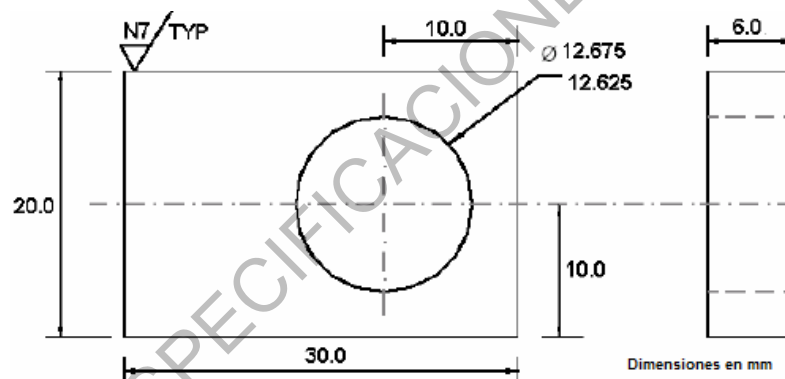


Figura 722 - 3. Ensamblaje típico de mordazas y chaveta de presión para la prueba de tracción directa

5.1.2.1 *Terminales para la aplicación de carga a las probetas* – Los terminales de la probeta deben ser fabricados en material G-10 fenólico, con un coeficiente de expansión térmica lineal similar al asfalto ($0,00006 \text{ mm/mm/ } ^\circ \text{C}$) y de dimensiones como las que se indican en las Figuras 722 - 4, 722 - 5 y 722 - 6. Deben estar adheridos a ambos extremos de la probeta para transferir la carga de tracción al ligante asfáltico. Cada uno de estos terminales contendrá un agujero preciso trabajado a máquina, revestido con un anillo de acero inoxidable 304. El diámetro del agujero revestido será de $10 \pm 0.05 \text{ mm}$. La sujeción de la muestra se efectúa a través de la adhesión entre el ligante asfáltico y el terminal. Cada terminal se montará sobre una chaveta especialmente torneada, la que es parte del sistema de sujeción. El espécimen se monta sobre las mordazas, ubicando los terminales en la máquina de ensayo de forma que se ajusten sobre las chavetas y queden separados contra la cara de las mordazas. La igualdad entre los coeficientes de expansión del ligante y de los terminales es necesaria para reducir los esfuerzos de contracción térmica en la interfaz, los cuales pueden causar fallas de adhesión.

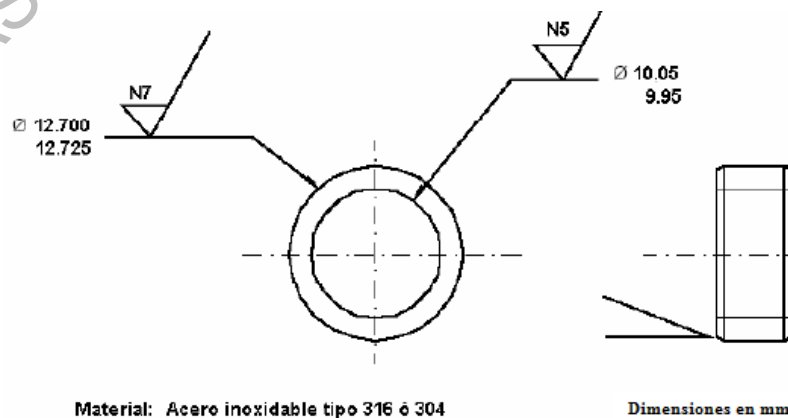
5.1.3 *Cámara de ensayo para control de temperatura y ensayo* – La cámara de control de temperatura tendrá suficiente espacio para almacenar al menos 8 probetas. El rango de control de temperatura para la cámara de enfriamiento, sin muestras asfálticas, en todos sus puntos interiores debe ser de $+ 6$ a $- 36^\circ \text{C}$, con una estabilidad de temperatura de $\pm 0.1^\circ \text{C}$, como mínimo. Al colocar una probeta a temperatura ambiente dentro de la cámara de enfriamiento se produce una fluctuación de la temperatura. Esta fluctuación, medida como la diferencia de temperatura entre las mordazas con respecto a la temperatura especificada de ensayo, debe ser menor que $\pm 0.2^\circ \text{C}$. Sin embargo, durante el ensayo, el gradiente de temperatura entre las mordazas no excederá $\pm 0.1^\circ \text{C}$. La temperatura se medirá mediante un sensor de resistencia térmica (PRTD) de platino (calibrado a 8 temperaturas en un rango de $+ 6$ a $- 36^\circ \text{C}$), ubicado dentro de la cámara en la proximidad del área de ensayo. Si se utiliza un sistema de enfriamiento por aire, se puede usar un enfriador mecánico o nitrógeno líquido para enfriar la cámara. Debe tener un sistema deshumidificador con una capacidad tal, que se elimine la formación de escarcha en el interior de la cámara, en la probeta y en cualquier componente del ensayo. La cámara tendrá la capacidad suficiente para almacenar al menos 8 probetas sobre una repisa, la cual debe estar térmicamente aislada de

las paredes y del piso de la cámara, de manera que el calor conducido desde las paredes y el piso no afecte la temperatura de las probetas. Si se usa un sistema de enfriamiento por aire, la cámara estará equipada con una puerta frontal para el mantenimiento y propósitos de normalización, además de una puerta de acceso que permita al operador insertar su antebrazo y su mano con el fin de ubicar las probetas sobre la repisa para acondicionamiento o sobre las mordazas para el ensayo. La puerta de acceso debe estar diseñada para que los cambios de temperatura en la cámara sean de $\pm 0.2^{\circ}$ C cuando el operador introduzca y saque sus manos de la cámara. Debe haber acceso visual al interior de la cámara para permitir el montaje apropiado de las muestras y el monitoreo del ensayo. La deformación de la probeta se mide con un láser óptico. El uso del láser requiere que haya ventanas de vidrio óptico en los dos lados de la cámara de temperatura, de manera que el rayo de láser pueda pasar a través de la cámara sin distorsión del haz.



- Notas: 1. Material: G10 Fenolico
2. Ver esquema de anillo metálico y del ensamble entre ambos (figura 4)

Figura 722 - 4. Terminal para el ensayo de tracción directa



Material: Acero inoxidable tipo 316 ó 304

Figura 722 - 5. Anillo para terminal

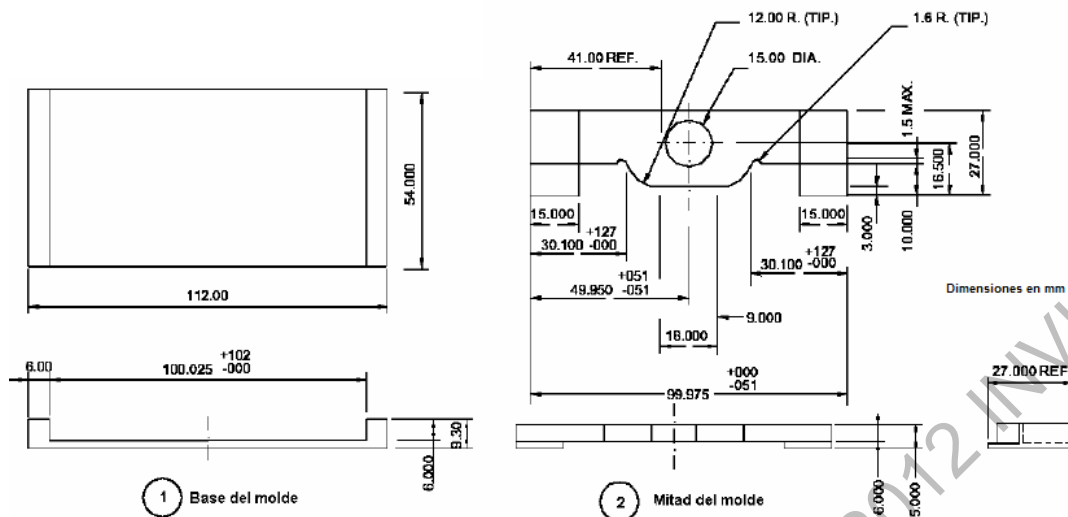


Figura 722 - 6. Molde para especímenes del ensayo de tracción directa

- 5.1.4** Si se usa un líquido como medio de enfriamiento, se recomienda el uso de una mezcla de 42 % de polvo de acetato de potasio y 58 % de agua desionizada (porcentajes en masa). No se deben usar alcoholes, ya que se ha encontrado que fragilizan los ligantes asfálticos, es decir, afectan sus propiedades de falla en presencia de tensión.

Nota 1: El acetato de potasio se encuentra comercialmente en forma de una mezcla fluida anticongelante, compuesta aproximadamente de un 50 % de acetato de potasio y 50 % de agua desionizada. Si se adquiere esta mezcla comercial, la combinación de 42 % y 58 % mencionada se puede lograr añadiendo a la mezcla agua desionizada o destilada hasta que la densidad obtenida a 25° C sea de $1.2375 \pm 0.0025 \text{ g/cm}^3$. La densidad se puede medir usando un hidrómetro adecuado.

- 5.1.5** *Dispositivos de medición y registro de carga* – La carga se medirá con una celda de carga, de 500 N de capacidad mínima y sensibilidad de 0.1 N. La celda de carga se debe calibrar al menos una vez al año, de acuerdo con la norma ASTM E 4. La carga y la deformación deben ser monitoreadas con el sistema de adquisición de datos (SAD), de manera que se puedan registrar con una precisión del 1 % respecto de la carga y el alargamiento de falla, respectivamente. Una vez que se inicia el ensayo, el SAD debe ser capaz de detectar el momento en el cual la carga comienza a cambiar como resultado del alargamiento de la probeta. Esto se logra monitoreando la señal de la celda de carga durante el tiempo. El instante en que se produce un cambio en la señal de carga equivalente a $2 \pm 0,3 \text{ N}$ (umbral de carga), indica el tiempo en el que la lectura en el transductor de desplazamiento se hace cero. El SAD registra el instante en que se obtiene la máxima carga, y la elongación de falla se calcula como la elongación acumulada desde la

lectura cero hasta la correspondiente a dicha carga máxima. Una vez que el ensayo ha finalizado, el dispositivo mostrará la deformación en la falla. Usualmente, la carga máxima varía entre 10 y 250 N, dependiendo de la temperatura de ensayo, grado, envejecimiento y origen del ligante asfáltico. La tensión y la deformación unitaria se deben registrar con aproximación a 0.1.

5.1.6 *Dispositivos de medición y registro de la elongación* – La elongación de la probeta se medirá mediante la separación de las mordazas, con un transductor de desplazamiento. El transductor debe medir y controlar la separación de las mordazas y, además, suministrar la retroalimentación para el control de la velocidad de elongación, con una resolución de desplazamiento de 1.0 μm .

5.1.6.1 Si el componente de adquisición de datos consiste en un computador compatible con el dispositivo, tendrá tres canales A/D; uno para la carga, uno para la elongación y otro para la temperatura. Los datos se almacenan en formato ASCII.

5.1.6.2 *Pantalla o despliegue de la curva tensión-deformación* – El sistema de registro y despliegue de datos será capaz de mostrar una curva tensión–deformación, en unidades de tensión MPa vs. porcentaje de deformación. Esto se puede llevar a cabo usando la pantalla de video de la computadora o un registrador de x–y. Si se utiliza un registrador, las unidades pueden estar en voltios pero, en este caso, el archivo de ensayo contendrá el factor de calibración en MPa/voltios y % de deformación/voltios, para ambos ejes x–y.

5.2 *Moldes para probetas* – Fabricados en aluminio, con las dimensiones especificadas en la Figura 722 - 6. Para prevenir que el asfalto se adhiera a las paredes del molde y a la placa posterior se requieren un agente desmoldante y un papel revestido de silicona, (descritos en los numerales 6.2 y 6.3).

5.3 *Placas para almacenamiento de las probetas* – Cuando se usa un sistema enfriado por aire, se requieren placas de plástico acrílico, teflón, u otro plástico, para transferir y almacenar las probetas de ensayo en la cámara enfriada por aire.

5.4 *Termómetro calibrado* – Un termómetro de mercurio, de rango adecuado y con subdivisiones de 0.1° C, para verificar el transductor de temperatura. Un

termómetro adecuado es el ASTM 133C, cuyas características básicas son las siguientes: rango -38 a $+2^{\circ}$ C; divisiones 0.1° C; longitud 379 mm; inmersión 76 mm. Alternativamente, se puede emplear para verificar la temperatura del baño un sensor de resistencia térmica (RTD) con una exactitud mayor o igual a $\pm 0.03^{\circ}$ C.

- 5.5 *Congelador* – Capaz de mantener una temperatura de $-15 \pm 5^{\circ}$ C. El congelador sólo se requiere cuando se usa un sistema de enfriamiento por aire.
- 5.6 *Horno* – De convección y ventilación forzada, capaz de alcanzar y mantener una temperatura de $160 \pm 5^{\circ}$ C para el calentamiento de la muestra de asfalto.

6 REACTIVOS Y MATERIALES

- 6.1 *Fluido para el baño líquido* – Requerido para el control de temperatura en sistemas equipados con baño líquido de enfriamiento. Se requiere una mezcla acuosa de 42 % en peso de acetato de potasio en polvo y 58 % de agua desionizada. Los alcoholes no están permitidos, pues afectan las propiedades de falla de todos los asfaltos.
- 6.2 *Agente desmoldante* – Mezcla de 20 g de glicerina y 20 g de talco, para lubricar las paredes de los moldes de aluminio y facilitar el desmolde de la probeta. Las proporciones se deben ajustar hasta que se logre una consistencia de mantequilla de maní.
- 6.3 *Papel de desmolde* – Un papel revestido con teflón por ambos lados, con un espesor mínimo de revestimiento de $0.3 \mu\text{m}$. También se pueden emplear papeles cubiertos con silicona, aunque se ha establecido que ellos reducen las propiedades de falla de algunos ligantes asfálticos.
- 6.4 *Solvente* – Solvente mineral o desengrasante en un rociador, formulado para limpieza de asfalto, para limpiar los moldes, terminales y placas. Es necesaria una limpieza final con un trapo saturado con acetona o un papel absorbente, para asegurar una adhesión adecuada entre el ligante asfáltico y los terminales.
- 6.5 *Paños* – Paños de algodón para limpiar los moldes, terminales y planchas.

7 PELIGROS

- 7.1** Se deben observar procedimientos de seguridad normales de laboratorio al manejar ligantes asfálticos calientes y preparar las muestras para ensayos; mientras que se requieren procedimientos de seguridad especiales cuando se limpie con solventes o desengrasantes.

8 MUESTREO Y PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES DE ENSAYO

- 8.1** *Preparación de las muestras de ensayo* – Si se va a ensayar asfalto original, las muestras se obtienen de acuerdo con la norma INV E-701. Se ajusta el baño de enfriamiento a la temperatura deseada y se espera hasta que se estabilice a dicha temperatura $\pm 0.1^\circ \text{C}$.

- 8.1.1** Se calienta el ligante asfáltico para elaborar la probeta hasta que esté suficientemente fluido. Este calentamiento remueve las asociaciones moleculares reversibles (endurecimiento estérico) que ocurren durante el almacenamiento normal a temperatura ambiente.

Nota 2: Se recomiendan temperaturas mínimas de vertido que produzcan una consistencia equivalente al aceite de motor SAE 10W30 a temperatura ambiente (de fácil vertido, pero no excesivamente fluido). Se debe evitar el calentamiento de ligantes asfálticos a temperaturas superiores a 165°C ; sin embargo, con algunos asfaltos modificados o ligantes envejecidos, pueden requerirse temperaturas de vertido por encima de 165°C . No se deben usar temperaturas por encima de 180°C a menos que sea absolutamente necesario para que el asfalto alcance la fluidez suficiente. En todos los casos, el tiempo de calentamiento deberá ser minimizado. Durante el calentamiento, la muestra se debe cubrir y agitar ocasionalmente para asegurar la homogeneidad. Se debe proceder con cuidado durante la agitación, para evitar que queden burbujas de aire atrapadas dentro del asfalto.

- 8.2** Se cubren las superficies de las dos paredes laterales del molde con el agente desmoldante. El desmoldante se aplica de forma que produzca una capa delgada y uniforme sobre la superficie del metal, de modo que ninguna parte del metal quede expuesta. Se coloca una lámina precortada de papel de desmolde sobre la placa base del molde. Se desliza una plancha lateral sobre la placa base (sobre el papel de desmolde). Se coloca los terminales dentro de ambos extremos del molde. Se desliza la otra placa lateral sobre la placa base para completar el ensamblaje del molde. Se introducen los moldes y los terminales ensamblados en un baño de arena colocado en un horno mantenido a la misma temperatura a la cual se calentó el asfalto, por un período de 7 ± 2 min, al término del cual se retiran del horno el baño de arena y los moldes para verter el asfalto dentro de éstos, como se indica en el numeral siguiente. Si los moldes se dejan en el horno por más de 9 minutos, se

afectarán las propiedades desmoldantes de la glicerina y el talco. El baño de arena requiere ser precalentado a la temperatura requerida, antes de colocar los moldes dentro de él.

- 8.3** Se retiran el molde y el baño de arena del horno y se colocan sobre una superficie plana. Se vierte el ligante asfáltico caliente dentro del molde, partiendo desde un extremo de la cavidad y terminando en el otro extremo, en una sola pasada. El asfalto se debe verter en forma de un chorro continuo para evitar la entrada de burbujas de aire o vacíos. La operación de vertido se completa tan rápidamente como sea posible para evitar cualquier caída excesiva de temperatura en el ligante. Se debe detener el vertido cuando el asfalto esté ligeramente sobre el borde superior de las paredes del molde. Este exceso de asfalto tiene por finalidad permitir la contracción del producto a medida que el espécimen se enfría a temperatura ambiente.

Nota 3: Las investigaciones sugieren que los resultados más consistentes sobre tensiones de falla (coeficientes de variación menores de 10 %) se obtienen calentando los moldes en el horno dentro de un baño de arena. Se puede colocar una hoja de papel aluminio o una pieza de tela sobre el baño, para evitar que la arena ingrese en el molde y en el espécimen. Solamente se deben calentar y llenar dos moldes al mismo tiempo. Se ha encontrado que si se llenan más moldes simultáneamente, el asfalto se enfría excesivamente dando lugar a especímenes de geometría inconsistente.

- 8.4** Una vez vertido el asfalto, se permite su endurecimiento dentro del baño de arena por 5 ± 1 min. En seguida, se remueven los moldes del baño de arena y se permite su enfriamiento durante un lapso de 30 a 60 min. No se debe enfriar rápidamente la probeta forzándola a alcanzar la temperatura ambiente (25° C o menor).
- 8.5** Tan pronto como la muestra se haya enfriado a temperatura ambiente, se enrasa la probeta y se retira el exceso de ligante con una espátula o cuchillo caliente a unos 165° C, de modo que el ligante quede a ras con el borde superior del molde. Se debe tener cuidado durante esta operación, para que el ligante no sea forzado fuera del molde y evitar así que se dañe la unión entre el ligante y los terminales. La probeta se debe enrasar de una manera consistente, pasando la espátula o cuchillo caliente a lo largo del eje de la muestra en forma pareja, a ras con la superficie del molde. Después del enrase, se remueven todos los restos de ligante de los orificios o ranuras de los terminales y se deja enfriar la probeta a temperatura ambiente por 10 a 15 min.

- 8.6** *Procedimiento de desmolde del espécimen:*

8.6.1 Previo al desmolde, se colocan 2 placas laterales de un molde de aluminio sin uso (ver Figura 722 - 6) dentro del baño enfriador o

cámara de aire y se las deja enfriar hasta la temperatura de ensayo. Se deben usar estas placas laterales como portadoras para transferir la probeta de ensayo hasta el baño o cámara.

- 8.6.2** Además, se prepara una placa base para transferir las probetas, de la siguiente manera: se pone una placa base sin usar (Figura 722 - 6) invertida sobre la plataforma de trabajo, con el fin de formar una placa de transferencia. Se colocan dos papeles de desmolde de modo que se traslapen a lo largo y que cubran la superficie de la placa de transferencia.
- 8.6.3** Se desmolda la probeta, deslizándola suavemente con las dos placas laterales del molde, hacia un borde de la placa base, hasta que la mitad de la placa lateral más próxima al borde lo haya cruzado. Se gira la placa lateral sobresaliente hacia abajo, usando una presión suave y se desmolda ese lado.
- 8.6.4** Se coloca nuevamente en su lugar la placa recién liberada y ahora se deslizan la probeta y las dos placas laterales (una aún adherida y la otra desmoldada pero re-ensamblada) hacia el borde opuesto y se repite el procedimiento de desmolde indicado en el numeral 8.6.3.
- 8.6.5** A continuación, se repite el procedimiento de desmolde descrito en el numeral 8.6.3, con la diferencia que ahora se remueve completamente una placa lateral, y se monta suavemente en ese lado de la probeta una de las placas laterales enfriadas en la cámara o en el baño.
- 8.6.6** Posteriormente, se desmolda la otra placa lateral, reemplazándola por aquella enfriada en la cámara de aire o baño líquido.
- 8.6.7** En este punto, el ensamble de la muestra y el molde se deben ver exactamente como la muestra enrasada antes de desmoldar, excepto que las dos placas laterales han sido reemplazadas por placas frías (ambientadas en la cámara o baño de ensayo antes de iniciar el proceso de desmolde).
- 8.6.8** En seguida, se invierte el ensamble de la probeta fría y el molde, tomando el molde por el centro entre el pulgar y el dedo índice de cada mano. Se coloca el molde ensamblado invertido sobre la placa de transferencia, de modo que se forme una cruz, es decir, el molde ensamblado debe quedar perpendicular a la placa base de transferencia cubierta con papeles de desmolde.

- 8.6.9** Se remueve suavemente la placa base del espécimen invertido, deslizándola y descansando sobre la placa de transferencia. El papel de desmolde del fondo del espécimen queda ahora expuesto. Se sostienen las dos placas laterales, con el fin de asegurar el espécimen mientras se remueve suavemente el papel desmoldante.
- 8.6.10** Se transporta la placa base de transferencia con la probeta invertida pero expuesta, hasta la cámara de ensayo o baño. Inmediatamente, se pone el espécimen (a lo largo, con las dos placas laterales frías) dentro del baño enfriador o la cámara, sobre una de las bandejas.
- 8.6.11** Se remueven las dos placas laterales después de un período de 2 min de enfriamiento. Algunos asfaltos más blandos pueden requerir más de 2 min de enfriamiento antes de remover las placas laterales.
- 8.6.12** A continuación, se suelta la probeta recién liberada en el baño de ensayo o en la cámara, de modo que la cara enrasada quede hacia arriba. Siempre se deben ensayar las probetas con la cara de enrasado hacia arriba. La placa base de transferencia, cubierta con los papeles de teflón, nunca debe ser puesta en el baño. No es necesario medir las dimensiones del espécimen después de desmoldar, ya que las tolerancias dimensionales son controladas con exactitud en el proceso de moldeo.

Nota 4: Se debe minimizar la distorsión de la probeta durante el desmolde. La variabilidad en las propiedades de falla se incrementa si se ensayan probetas distorsionadas (ya sea dobladas a lo largo del eje de carga o en forma perpendicular al mismo). Una probeta distorsionada produce valores de falla menores.

9 CALIBRACIÓN Y NORMALIZACIÓN

- 9.1** Se debe verificar la calibración del transductor de desplazamiento, de la celda de carga y del transductor de temperatura.

Nota 5: La calibración, en general, es realizada por un servicio de calibración externo. La verificación de la calibración, la normalización del sistema, y los controles de calidad, pueden ser realizados por el fabricante, otros servicios externos o por personal del laboratorio, empleando los procedimientos descritos a continuación.

- 9.1.1** *Verificación de la celda de carga y del transductor de desplazamiento* – Para verificar la operación de la celda de carga y del transductor de desplazamiento se usará una columna especialmente diseñada. La columna de verificación debe tener un índice de elasticidad de aproximadamente 135 N/mm y soportar una carga de 500 N sin

dañarse. La columna de verificación debe ser suministrada por el fabricante del sistema de tracción directa, con sus características de tensión-deformación. El fabricante entregará un certificado con cada columna de verificación, lo cual garantiza el seguimiento del equipo usado para determinar las características tensión-deformación de la columna. Se debe verificar la calibración de la celda de carga y el transductor de desplazamiento al menos cada seis meses, y cuando las mediciones sean dudosas.

- 9.1.2** *Verificación de la tasa de elongación* – La tasa de elongación se verifica usando la columna de verificación descrita en el numeral 9.1.1. Para realizar la verificación, se grafica la tasa de elongación en función del tiempo transcurrido. El gráfico resultante deberá ser una línea recta con una pendiente de 1.00 mm/min.

Nota 6: Las medidas se deben hacer a $-18 \pm 0.1^\circ \text{C}$. Se debe esperar 10 min para que la columna de verificación alcance el equilibrio térmico.

- 9.1.3** *Detector de temperatura* – El detector de temperatura se debe calibrar al menos semestralmente, comparando la salida del sensor de resistencia térmica (RTD) con el registro de un termómetro de mercurio en vidrio calibrado. Alternamente, para verificar la temperatura del baño resulta también aceptable un termómetro digital con trazabilidad de alta precisión NIST, con una exactitud igual o superior a $\pm 0.03^\circ \text{C}$. El termómetro o el RTD se colocan en la cámara de ambiente controlado y el RTD se sostiene en contacto íntimo con el bulbo del termómetro. Cuando el termómetro y el RTD hayan alcanzado el equilibrio, se comparan las lecturas. Si la temperatura indicada por el detector térmico no concuerda con la del termómetro de mercurio dentro de $\pm 0.1^\circ \text{C}$, se aplica una corrección apropiada a la temperatura indicada por el RTD o, de lo contrario, se adelanta otra calibración o una operación de mantenimiento.

10 ACONDICIONAMIENTO DEL ESPÉCIMEN

- 10.1** Se ajusta el baño enfriador a la temperatura de ensayo deseada y se espera hasta que se establezca dentro de $\pm 0,1^\circ \text{C}$ de dicha temperatura.
- 10.2** Se acondicionan los especímenes en el baño enfriador o cámara a la temperatura de ensayo por 60 ± 5 min. Se deben planificar los tiempos de cada actividad, para evitar variabilidad en el ensayo debido al endurecimiento físico.

11 PROCEDIMIENTO

- 11.1** Se preparan seis especímenes de ensayo de acuerdo con la Sección 8.
- 11.2** Usando unas pinzas, Se monta el espécimen sobre el marco de carga haciendo calzar los orificios de los terminales en las chavetas de carga del marco de carga. Si los orificios no encajan con las chavetas, se monta una de las chavetas con un extremo de la muestra y se ajusta el marco de carga manualmente hasta que el otro extremo de la probeta calce dentro de su lugar como es debido. Se verifica el ajuste de la probeta moviendo las pinzas suavemente sobre los terminales en cada uno de los extremos de la muestra.
- 11.3** Una vez que el espécimen se encuentre sobre las chavetas de carga, se elimina la holgura entre él y las chavetas de carga.
- 11.3.1** Para instrumentos con remoción automática de la holgura, el software comienza el ensayo automáticamente luego del ajuste a ceros de la deformación. En este caso, no es necesario ningún accionamiento manual. El software del ensayo monitorea automáticamente la carga, el cero de deformación, y comienza el ensayo cuando la carga alcanza un valor de 2 ± 0.3 N.
- 11.3.2** Para instrumentos con remoción manual de la holgura o si se usa la puesta a punto del ensayo vertical de una cámara de ensayo de enfriamiento por aire, entonces la holgura se debe eliminar manualmente, manipulando el control de ajuste fino. Se ajusta en la dirección que produzca tensión (estiramiento del espécimen) hasta producir una carga de 2 ± 0.3 N.
- 11.3.2.1** Una vez llevado a cabo lo anterior, se verifican nuevamente los ajustes del espécimen con las pinzas para evitar cualquier lectura errónea de carga.
- 11.3.2.2** Se repite el procedimiento de carga manual descrito arriba hasta obtener de nuevo una carga de 2 ± 0.3 N.
- 11.4** Se ajusta la tasa de deformación a 3 %/min (para permitir una tasa de elongación de 1 mm/min), si es que el software no la tiene pre-ajustada.
- 11.5** Luego de que se fracture el espécimen o de que la elongación alcance 10 %, lo que ocurra primero, se detiene el ensayo y se remueve el espécimen o las partes de él.

- 11.6** La deformación de falla es fácilmente identificable como la deformación para la máxima carga cuando la falla es por fractura (quiebre de la pieza en dos partes, Figura 722 - 7). Sin embargo, cuando la probeta no se fractura pero alcanza una tensión máxima y fluye sin fracturarse, la deformación de falla se considera como aquella correspondiente a la tensión máxima. No se debe continuar el ensayo más allá del 10 % de deformación y, simplemente, se registra la deformación de falla como “mayor que 10 %”.

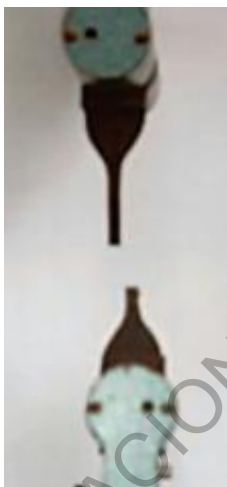


Figura 722 - 7. Espécimen fallado por fractura

Nota 7: Si el ligante se puede alargar 10 % sin sufrir fractura, cumple los requerimientos de la especificación

- 11.7** Se anotan la carga de falla y la deformación en el instante de la falla. Si la probeta falla en la sección del cuello, se registra la falla pero, además, se anota que falló en esa sección. Si la probeta no falla por fractura al 10 % de elongación, se anota la carga al 10 % de elongación y el hecho de que la probeta no se fracturó.

Nota 8: Aunque la falla es aceptable en toda la sección de ensayo (los 18 mm donde la sección transversal es constante), idealmente ella debiera ocurrir en el centro de cada probeta. La localización de la falla y la consistencia o repetibilidad de los datos de falla están directamente relacionadas con la rectitud, el cuidado con que se preparan las probetas y la manera como se montan antes de ensayo.

- 11.8** Se repiten los pasos 11.2 a 11.7 con los otros 5 especímenes.

- 11.9** Luego de terminado el ensayo, se descartan las porciones del asfalto ensayado y se limpian los terminales con solvente y frotándolos con un paño suave. Después de frotar los terminales, se debe usar una solución de jabón detergente para remover cualquier partícula de aceite o residuo dejado por el limpiador. Alternativamente, se puede usar un desgrasante en atomizador. Se

limpian los terminales completamente. Cualquier película de grasa que permanezca sobre el área de unión puede crear una debilidad que cause fallas de adherencia.

12 CÁLCULOS

12.1 Para cada resultado de ensayo, se calcula la tensión de falla dividiendo la carga de falla por el área original de la sección transversal de la probeta de ensayo (6 × 6 mm) como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\sigma_f = \frac{P_f}{A} \quad [722.1]$$

Donde: σ_f : Tensión de falla, MPa;

P_f : Carga de falla, N;

A : Área original de la sección transversal, m^2 .

Nota 9: Para las probetas usadas en este ensayo, $A = 36 \times 10^{-6} m^2$.

12.2 Para cada resultado de ensayo, se calcula la deformación unitaria de falla dividiendo la elongación por la longitud original, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\epsilon_f = \frac{\delta_f}{L_e} \quad [722.2]$$

Donde: ϵ_f : Deformación de falla, mm/mm;

δ_f : Elongación de falla, mm;

L_e : Longitud efectiva, mm.

Nota 10: Para las probetas usadas en este ensayo, la longitud efectiva calibrada, L_e , ha sido determinada en 33.8 mm.

12.3 Se descartan los dos resultados de ensayo con las menores tensiones de falla. Si hay más de dos resultados con la misma tensión de falla pero con diferentes deformaciones a la falla, se descarta el resultado con la menor deformación.

12.4 Se calculan el promedio y la desviación estándar de la tensión y la deformación de falla con los cuatro resultados restantes.

13 INFORME

13.1 Se reporta la siguiente información:

13.1.1 Identificación de la muestra.

13.1.2 Fecha y hora del ensayo.

13.1.3 Temperatura de ensayo, redondeada a 0.1° C.

13.1.4 Tasa de deformación, redondeada a 0.01 mm/min.

13.1.5 Deformación unitaria promedio de falla y desviación estándar, redondeadas a 0.01 %.

13.1.6 Tensión promedio de falla y desviación estándar, redondeadas a 0.01 MPa.

13.1.7 Carga máxima aproximada a 1.0 N.

13.1.8 Tipo de fractura observada (fractura o no fractura, cuello o u otro lugar de la muestra).

14 PRECISIÓN Y SESGO

14.1 *Precisión* – La precisión de este método se está determinando en un estudio entre laboratorios y aún no hay datos conclusivos. Sin embargo, con fines únicamente informativos, se mencionan los datos preliminares obtenidos por 70 operadores para determinar la repetibilidad del ensayo, utilizando un asfalto convencional de grado PG 67–22, según la clasificación SHRP:

PROPIEDAD	COEFICIENTE DE VARIACIÓN, %	RANGO ACEPTABLE ENTRE DOS RESULTADOS, %
Tensión de falla, MPa	8.5	24.1
Deformación a la falla, %	22.8	63.84

- 14.2 Sesgo** – No hay valores de referencia aceptables para las propiedades determinadas en este ensayo, razón por la cual no se puede establecer el sesgo.

15 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 6723–12

ANEXO A (Informativo)

PROCEDIMIENTO PARA SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO POR AIRE FORZADO

- A.1** Después de 60 ± 10 min, se monta la probeta sobre las chavetas usando la puerta de acceso manual de la cámara, de tal manera que la cara posterior del terminal esté centrada sobre la chaveta de montaje. No se debe abrir la puerta de la cámara para manipular o montar la probeta, ya que esto produce excesivas fluctuaciones de temperatura, lo cual retrasa la estabilización y conduce a historias térmicas variables. Se manipulan las probetas con guantes quirúrgicos de caucho para proteger los dedos del operador y minimizar el calentamiento de la probeta. La probeta se debe manipular tocando sólo los terminales, sin tocar el ligante asfáltico.

Nota A.1: Las corrientes de aire del ventilador de circulación pueden causar que los terminales se muevan después de haber sido colocados sobre las chavetas de montaje. Una goma de silicona o una arandela de espuma, que se mantenga flexible a la temperatura de ensayo, ayudará a fijar el terminal contra la cara de la mordaza. Es importante que el terminal esté centrado en la chaveta (parejo contra la cara de la mordaza) con el fin de que la carga sea aplicada axialmente en el centro de la probeta. Se puede cortar una arandela de goma de silicona o de espuma, utilizando un perforador de corcho. La arandela debe tener entre 5 y 10 mm de espesor, con un diámetro exterior de, aproximadamente, 10 mm. Su diámetro interior debe ser suficiente para proveer un contacto sobre una porción de 5 mm de la chaveta. La arandela debe deslizar fácilmente sobre la chaveta, entregando sólo la fuerza necesaria para sujetar el terminal en su lugar durante el ensayo.

- A.2** Se selecciona la velocidad de deformación deseada y se carga la probeta hasta la falla. Se selecciona una tasa de deformación que entregue una velocidad de elongación de la sección efectiva, de 1.00 ± 0.01 mm/min, cuando se ensaya de acuerdo a la especificación Superpave (ASTM D 6373). Si una probeta falla fuera del área efectiva de la muestra (de cuello a cuello), se descarta el ensayo.

- A.3** *Procedimiento alternativo de carga* – Se aplica una precarga a la probeta de ensayo, montándola como se describió previamente y aplicando una elongación suficiente para desarrollar una carga de 1 a 2 N; esto puede reducir la variabilidad del ensayo. Tan pronto se alcance la carga de 1 a 2 N, se detiene el movimiento de la platina y se permite la relajación de la carga hasta que deje de ser detectable. El tiempo requerido para relajar la carga dependerá de la rigidez de la probeta. Una vez que la carga se ha relajado, se continúa el ensayo como se describe en el numeral 11.4.

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

DESTILACIÓN DE ASFALTOS LÍQUIDOS

INV E – 723 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe un procedimiento para efectuar el ensayo de destilación de los asfaltos líquidos.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E–723–07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 El ensayo consiste en destilar a una velocidad determinada una muestra de 200 ml del asfalto líquido en un matraz de 500 ml, hasta 360° C (680° F), recogiendo y midiendo los volúmenes del destilado que se van obteniendo a unas temperaturas especificadas. El residuo final de la destilación, así como los destilados, se pueden caracterizar empleando normas de ensayo apropiadas.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 Este método de ensayo permite determinar la cantidad de componentes volátiles que contiene un asfalto líquido. Las propiedades del residuo después de la destilación no coinciden necesariamente con las del cemento asfáltico básico empleado para fabricar el producto, ni con las del residuo que queda en el campo después de un tiempo de aplicado el asfalto líquido en la obra. La presencia de silicona en el asfalto líquido puede afectar el residuo de destilación, a causa de la lenta pérdida de volátiles que sufre este residuo después del ensayo.

4 EQUIPO

- 4.1 *Matraz de destilación* – Un matraz de destilación de 500 ml con tubo de desprendimiento lateral, de la forma y dimensiones que se indican en la Figura 723 - 1.

- 4.2** *Condensador* – Un dispositivo de condensación estándar con camisa de vidrio de 200 a 300 mm de largo y con un tubo de condensación de 450 ± 10 mm de longitud total. (Ver Figura 723 - 3).
- 4.3** *Adaptador de vidrio de pared gruesa (1 mm)* – Una alargadera acondicionada, de paredes gruesas y borde reforzado, que tenga un ángulo de unos 105° , con un diámetro de unos 18 mm en su boca superior, y no menor de 5 mm en su boca de salida. La superficie inferior del adaptador debe tener una curvatura suave descendente en todo su recorrido. La línea inferior de la boca de salida será vertical, terminando con un orificio cortado en bisel formando un ángulo de $45 \pm 5^\circ$ con la vertical.
- 4.4** *Protector* – Un protector circular de acero, forrado con un material aislante incombustible de 3 mm de espesor y provisto de ventanas rectangulares de mica transparente, con la forma y dimensiones que se muestran en la Figura 723 - 2. Este dispositivo sirve para proteger el matraz de las corrientes de aire y reducir la radiación. La tapa, dividida en dos partes, va cubierta interiormente con una lámina de material aislante incombustible de 6.4 mm de espesor.

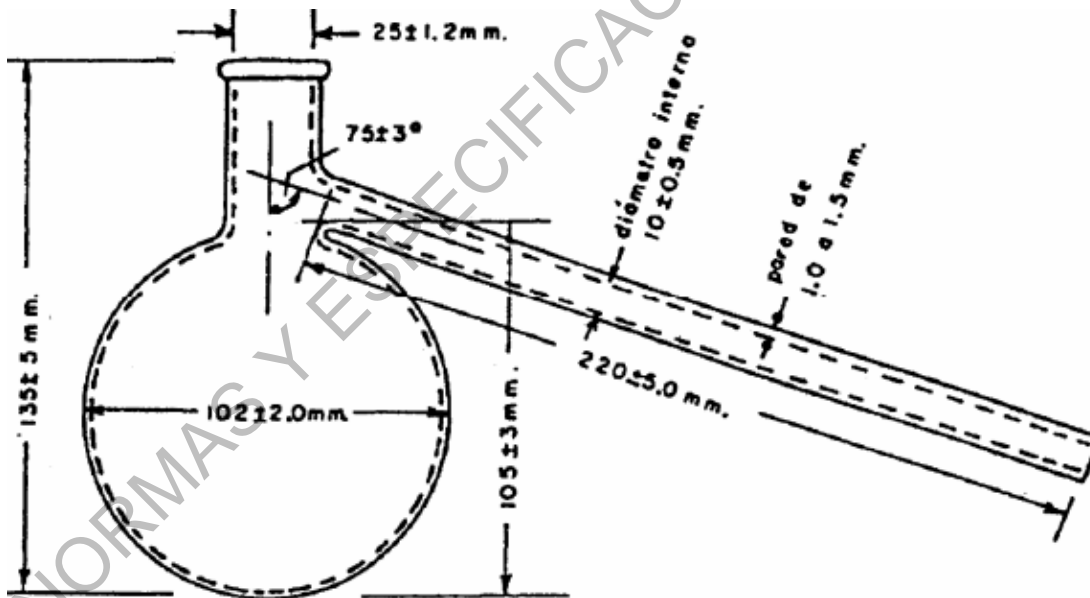


Figura 723 - 1. Matraz de destilación

- 4.5** *Protector y soporte para el matraz* – Dos hojas de malla de alambre cromel (aleación de cromo y níquel) 16, de 15 cm de lado, sobre un aro o trípode.
- 4.6** *Fuente de calor:*

- 4.6.1** Mechero de gas ajustable tipo Tirrill o equivalente.
- 4.6.2** Una fuente eléctrica de calor con transformador capaz de controlar de 0 a 750 W. El escudo y soporte de la fuente de calor debe ser de material refractario con una abertura de 79 mm y con su superficie superior biselada a 86 mm para acomodar el matraz especificado de 500 ml. Cuando el matraz se coloca sobre el refractario, debe quedar una distancia aproximada de 3 mm entre el fondo del matraz y el elemento de calentamiento.
- 4.7** *Colector* – Probeta de vidrio de 100 ml, graduada en ml, de diámetro uniforme, con una altura total comprendida entre 250 y 260 mm. Se pueden utilizar, también, probetas cónico-cilíndricas con capacidades de 25, 50, y 100 ml, con la forma y dimensiones indicadas en la Figura 723 - 4.
- Nota 1: Cuando los volúmenes de destilado total esperados sean bajos, se pueden utilizar probetas de menor capacidad que tengan divisiones de 0.1 ml, si se requiere una exactitud elevada.*
- 4.8** *Recipiente para el residuo* – Una caja metálica sin costuras, con tapa de presión, de 75 ± 5 mm de diámetro y 55 ± 5 mm de altura.
- 4.9** *Balanza* – Con una sensibilidad de 0.1 g y de capacidad adecuada.
- 4.10** *Termómetro* – Un termómetro para destilación a altas temperaturas, de las siguientes características:

REFERENCIA ASTM	ESCALA °C	GRADUACIONES °C	LONGITUD TOTAL mm	ERROR MÁXIMO °C
80	-2 a 400	1	386	1

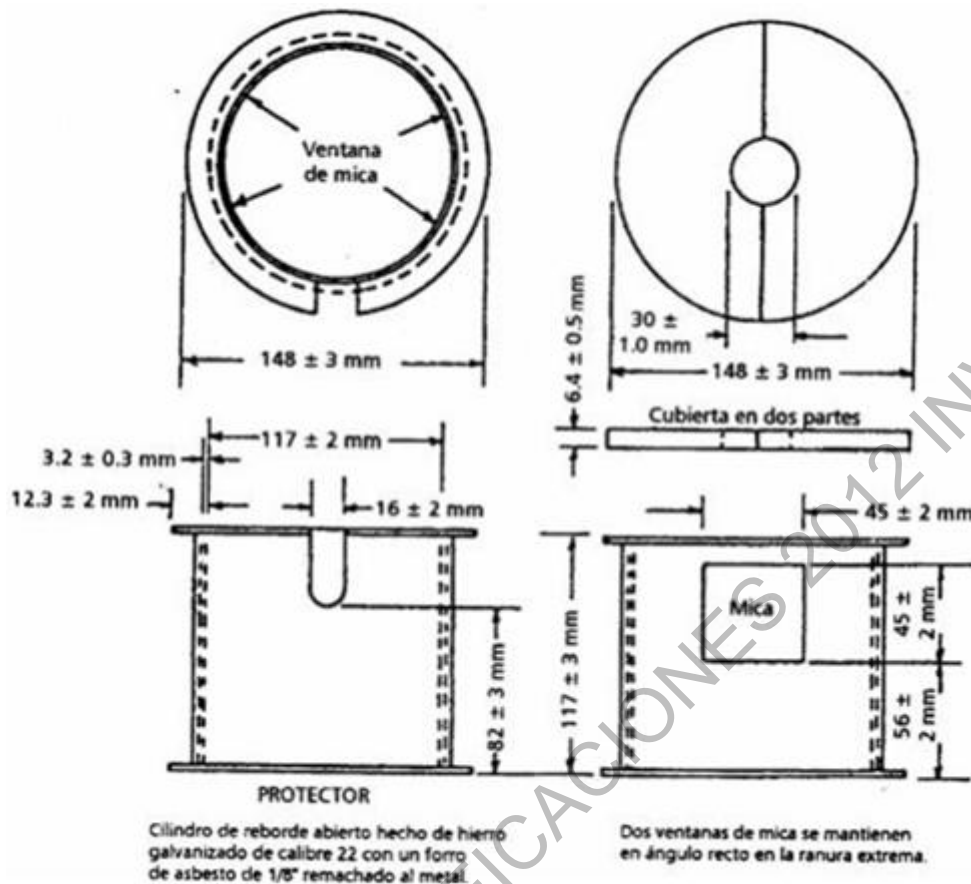


Figura 723 - 2. Protector

5 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 5.1 La muestra del asfalto líquido se agita completamente para conseguir su homogeneidad, calentándola si fuere necesario, antes de separar de ella la porción para el ensayo.
- 5.2 Si la muestra contiene una cantidad de agua suficiente como para producir espuma o una ebullición violenta durante el calentamiento, se deben deshidratar por lo menos 250 ml del material antes proceder a tomar la porción para la destilación, calentándolos hasta que haya cesado la formación de espuma, en un matraz de destilación con la capacidad suficiente para evitar que la espuma pueda alcanzar la salida del tubo lateral. Si se ha destilado algún aceite ligero, se separa y se devuelve al matraz donde la muestra se habrá enfriado lo suficiente para prevenir la pérdida de volátiles. Se mezcla completamente el contenido del matraz y se toma de allí la porción de

material para el ensayo. Un procedimiento alternativo para deshidratar la muestra se describe en la norma ASTM D 370.

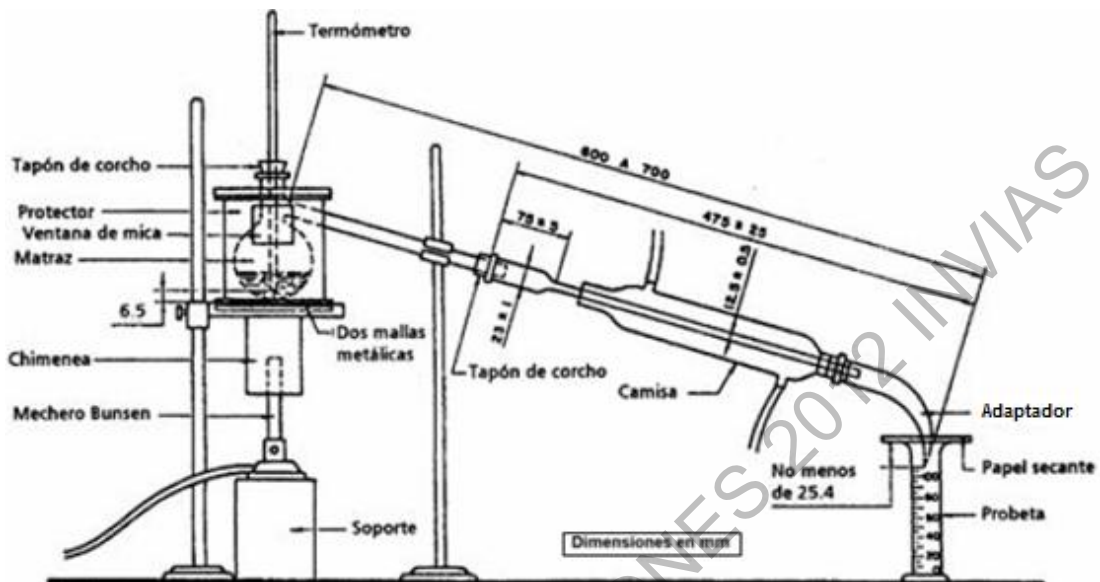


Figura 723 - 3. Montaje del aparato de destilación

6 MONTAJE DEL APARATO

- 6.1 Se calcula la masa de 200 ml de muestra, a partir de su gravedad específica a 15.6/15.6° C. Se pesa esta cantidad ± 0.5 g dentro del matraz de 500 ml.
- 6.2 El matraz, rodeado por el protector, se coloca sobre el trípode o soporte intercalando dos hojas metálicas de malla de alambre cromel como se muestra en la Figura 723 - 3. Se conecta el refrigerante al tubo lateral por medio de un corcho que cierre herméticamente y, entonces, se sujeta firmemente al refrigerante, debiendo quedar vertical el eje del cuello. Finalmente, se ajusta herméticamente el adaptador de vidrio al otro extremo del refrigerante con otro corcho hermético, debiendo quedar una distancia de 650 ± 50 mm entre el cuello del matraz y el extremo del adaptador (ver Figura 723 - 3).
- 6.3 Se inserta el termómetro a través de un tapón de corcho, de manera que la parte inferior del bulbo quede a 6 mm del fondo del matraz. Para ajustar esta distancia, se introduce el termómetro hasta que su bulbo toque el fondo del matraz, estimando entonces sobre su vástago la distancia que se debe subir.
- 6.4 Se coloca el mechero, protegiéndolo de las corrientes de aire con un protector o una chimenea metálica, y se coloca el colector de solventes apropiado. Se

introduce el extremo del adaptador de vidrio en el colector no menos de 25 mm, pero sin llegar a alcanzar el nivel de la máxima graduación (100 ml). El colector se deberá tapar durante la destilación con un papel secante convenientemente lastrado y cortado de manera que el adaptador quede perfectamente ajustado en él (Figura 723 - 3).

- 6.5 El matraz, el condensador, el adaptador y el recipiente colector deben estar limpios y secos antes de proceder a la destilación. El recipiente que va a recibir el residuo (ver numeral 4.8) se coloca sobre su tapa, en un área libre de corrientes de aire.
- 6.6 Se hace pasar agua fría a través de la camisa del condensador. Si fuese necesario, se empleará agua tibia para evitar la formación de un condensado sólido en el condensador.

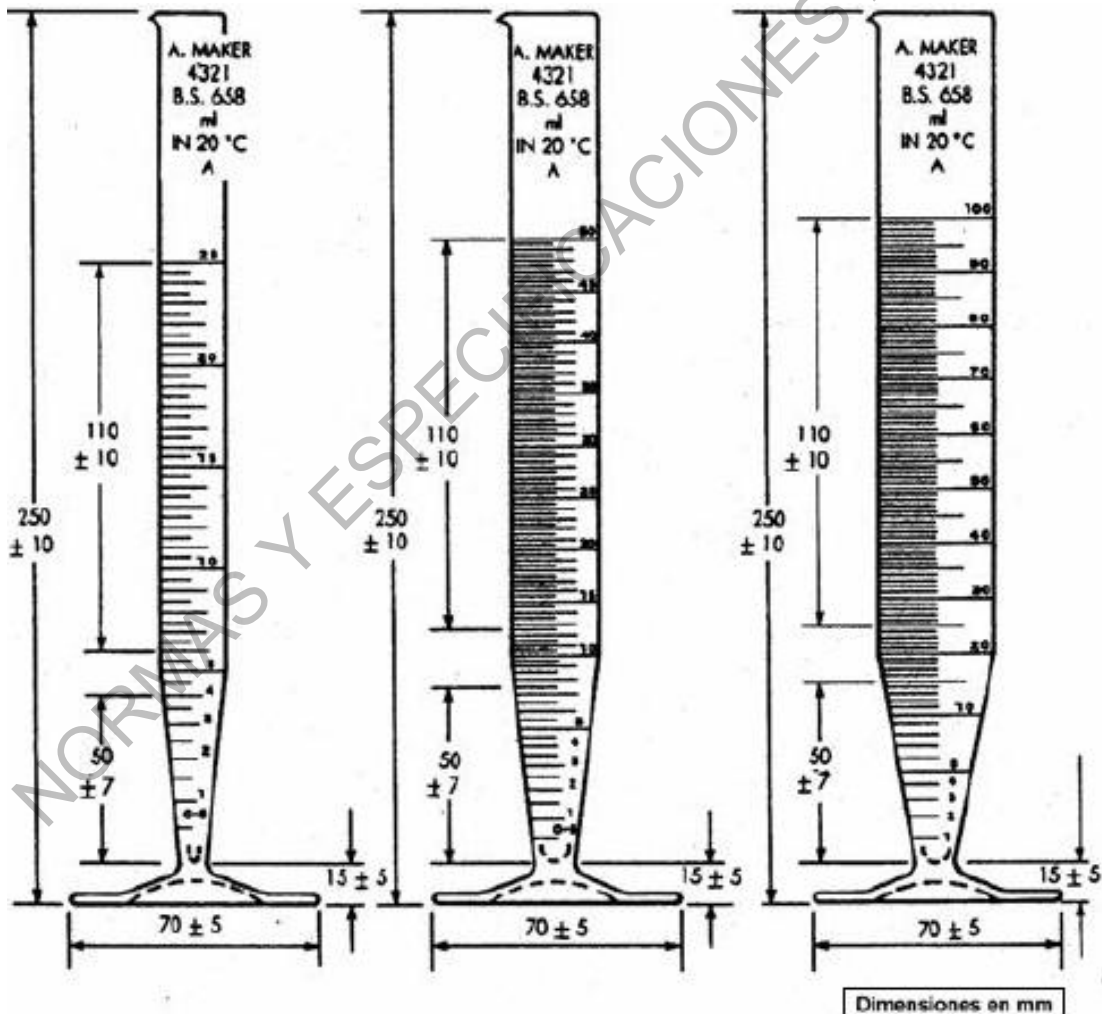


Figura 723 - 4. Probetas cónico-cilíndricas

7 PROCEDIMIENTO

7.1 Se deben corregir las temperaturas que vayan a ser controladas durante la destilación, si la altura del lugar donde está ubicado el laboratorio en el cual se va a efectuar el ensayo es igual o mayor de 150 m sobre el nivel del mar (Tabla 723 - 1). Si se conoce la presión barométrica prevaleciente, en mm de mercurio, es preferible corregir la temperatura con los factores presentados en la Tabla 723 - 2. No se deben realizar correcciones a causa de la parte no sumergida del vástago del termómetro.

7.2 Se aplica el calor, regulándolo de forma que la primera gota de destilado tarde en caer desde el extremo del tubo lateral del matraz, entre 5 y 15 minutos después del inicio del calentamiento. La velocidad de destilación, medida en gotas caídas desde la punta del adaptador, deberá ser la siguiente:

- Hasta 260° C, de 50 a 70 gotas por minuto;
- Entre 260° C y 316° C, de 20 a 70 gotas por minuto;
- No se deberá tardar más de 10 minutos en terminar la destilación desde 316 hasta 360° C.

7.2.1 El destilado se recoge en la probeta y se va tomando nota de los volúmenes destilados, con aproximación a 0.5 ml, a las temperaturas corregidas que se especifican más adelante. Si el volumen de destilado fuera escaso o crítico, se deben usar probetas colectoras con divisiones cada 0.1 ml sumergiéndolas, si fuera preciso, en un baño transparente con agua a $15.6 \pm 3^\circ \text{C}$.

Nota 2: Algunos asfaltos líquidos no producen destilados, o éstos aparecen sólo a la temperatura de 316 ° C. Como en estos casos es evidente que no se puede cumplir con las velocidades de destilación indicadas en el numeral 7.2, bastará con que la velocidad de elevación de la temperatura no exceda de 5° C/minuto.

7.3 Cuando se alcance la temperatura corregida de 360° C, se apaga la fuente de calor y se desmonta el matraz junto con el termómetro. Se inclina el matraz en posición de verter, se retira el termómetro e inmediatamente se vierte el residuo en el recipiente metálico. El tiempo total empleado desde cuando se apaga la llama hasta cuando se comienza a verter el residuo, deberá ser menor de 60 segundos. Cuando está vertiendo, el tubo de desprendimiento del matraz se deberá mantener en posición prácticamente horizontal, para evitar que el condensado contenido en él se pueda incorporar al residuo.

Nota 3: La formación de una costra en la superficie del residuo durante el enfriamiento puede originar la captura de vapores que se condensarán, produciendo un aumento en la penetración. Esta película se puede remover cuidadosamente mediante una espátula, con un mínimo de perturbación en la muestra.

- 7.4** Después de esperar que escurran todos los destilados que queden en el tubo del condensador, se tomará nota del volumen total destilado a 360° C.

Tabla 723 - 1. Temperaturas corregidas por altura sobre el nivel del mar

ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR (m)	TEMPERATURAS PARA MEDIR LA DESTILACIÓN A DIFERENTES ALTITUDES (° C)				
-300	192	227	262	318	362
-150	191	226	261	317	361
0	190	225	260	316	360
150	189	224	259	315	359
300	189	224	258	314	358
450	188	223	257	313	357
600	187	222	257	312	356
750	186	221	256	311	355
900	186	220	255	311	354
1050	185	220	254	310	353
1200	184	219	254	309	352
1350	184	218	253	308	351
1500	183	218	252	307	351
1650	182	217	251	306	350
1800	182	216	250	306	349
1950	181	215	250	305	348
2100	180	215	249	304	347
2250	180	214	248	303	346
2400	179	214	248	303	346

- 7.5** El residuo se deja enfriar en su recipiente hasta que cese el desprendimiento de vapores. Entonces, se agita completamente para homogeneizarlo y, luego, cuando alcance $135 \pm 5^\circ \text{C}$, se vierte dentro de los recipientes y moldes adecuados para realizar las pruebas prescritas al residuo, como penetración, viscosidad o punto de ablandamiento y se procede a la ejecución de ellas.

- 7.6** Si se desea, el destilado o la combinación de destilados para varias pruebas, se puede someter a otra destilación de acuerdo con la norma ASTM D 86 o el método C.O.3, si el destilado proviene de alquitrán.

Tabla 723 - 2. Factores para calcular correcciones de temperatura

TEMPERATURAS NOMINALES (° C)	CORRECCIÓN POR 10 mm DE Hg DE DIFERENCIA DE PRESIÓN ^A (° C)
160	0.514
175	0.531
190	0.549
225	0.591
250	0.620
260	0.632
275	0.650
300	0.680
315.6	0.698
325	0.709
360	0.751

^A Se deberá restar en caso de que la presión barométrica esté por debajo de 760 mm Hg; y se deberá sumar cuando la presión barométrica se halle por encima de 760 mm Hg

8 RESULTADOS E INFORME

- 8.1** *Residuo asfáltico* – Se calcula el porcentaje de residuo, redondeado a 0.1, en la siguiente forma:

$$R = \left[\frac{(200 - DT)}{200} \right] \times 100 \quad [723.1]$$

Donde: R: Residuo, % en volumen;

DT: Destilado total recobrado a 360° C, ml;

- 8.1.1** Se reporta este resultado como el residuo de destilación a 360° C, expresado en porcentaje de volumen por diferencia.

- 8.2** *Destilado total* – Se calcula el porcentaje total destilado, redondeado a 0.1, así:

$$DT (\%) = \left[\frac{DT}{200} \right] \times 100 \quad [723.2]$$

8.2.1 Se reporta este resultado como el total destilado a 360° C (680° F), en porcentaje del volumen total de la muestra.

8.3 *Fracciones de destilado sobre la muestra original:*

8.3.1 Se determinan los porcentajes de destilados en volumen respecto del volumen de la muestra original, dividiendo entre 2 el volumen observado (en ml) de cada fracción. Se reportan estos resultados, redondeados al 0.1 más cercano, como porcentajes en volumen, a las siguientes temperaturas:

Hasta 190° C

Hasta 225° C

Hasta 260° C

Hasta 316° C

8.4 *Fracciones de destilado sobre el destilado total:*

8.4.1 Se determinan los porcentajes en volumen respecto del volumen del destilado total, dividiendo el volumen observado (en ml) de cada fracción, entre los ml recuperados hasta 360° C y multiplicando por 100. Se reportan estos resultados, redondeados al 0.1 más próximo, como porcentajes en volumen de las fracciones del destilado total hasta 360° C, así:

Hasta 190° C

Hasta 225° C

Hasta 260° C

Hasta 316° C

8.5 Cuando se lleven a cabo ensayos de penetración, viscosidad u otros sobre el residuo obtenido de este ensayo, se deberá hacer la referencia correspondiente; Por ejemplo, "penetración sobre el residuo de destilación".

9 PRECISIÓN Y SESGO

9.1 *Precisión* – Para juzgar la aceptación de los resultados (95 % de probabilidad), se deberá aplicar el siguiente criterio:

9.1.1 *Repetibilidad* – Los resultados de ensayos realizados por duplicado por un mismo operador y con el mismo equipo sobre una misma muestra, se considerarán sospechosos si difieren en más del 1 % en volumen de la muestra original.

9.1.2 *Reproducibilidad* – Los resultados de dos ensayos efectuados en laboratorios distintos, sobre una muestra de la misma procedencia, se consideran sospechosos si difieren entre ellos más de lo siguiente:

- Fracciones destiladas, en porcentaje del volumen total de la muestra original: (1) hasta 175° C, 3.5 %; (2) por encima de 175° C, 2.0 %
- Residuo de destilación a 360° C (680° F), en porcentaje del volumen total de la muestra: 2.0 %

9.2 *Sesgo* – Aún no han sido determinados los criterios para juzgar la variabilidad de resultados de porcentajes de destilados a las diferentes temperaturas, con respecto al volumen total destilado en la prueba.

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 402 – 08

ANEXO A (Informativo)

EJEMPLO DE UTILIZACIÓN DE LA Tabla 723 - 2

A.1 *Ejemplo* – Hallar la corrección que se debe hacer a una temperatura nominal de observación de 260 °C, en un ensayo de destilación realizado en un laboratorio donde la presión barométrica es 748 mm Hg.

A.1.1 Según la Tabla 723 - 2, para una temperatura nominal de 260° C, se debe aplicar una corrección de 0.632, por cada 10 mm de diferencia de presión en relación con 760 mm Hg.

A.1.2 Como la diferencia entre 748 y 760 es 12° C, la corrección por aplicar será $0.632 \times (12/10) = 0.758$.

A.1.3 Como 748 es menor que 760, el valor de la corrección se deberá restar y, por lo tanto, la temperatura corregida será $260 - 0.758 = 259.242^{\circ} \text{C}$.

A.1.4 El valor calculado se redondea al entero más cercano (259°C).

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

ÍNDICE DE PENETRACIÓN DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS

INV E – 724 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar el índice de penetración, IP, de los cementos asfálticos.
- 1.2 Este índice, concebido por Pfeiffer y Van Doormaal, se calcula a partir de los valores de la penetración a 25° C (norma INV E-706) y del punto de ablandamiento con anillo y bola (norma INV E-712) y proporciona un criterio de medida de la susceptibilidad térmica de estos materiales y de su comportamiento reológico.
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E-724-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 El fundamento del método de obtención del IP se basa en aceptar, por un lado, que a la temperatura del punto de ablandamiento (anillo y bola) la penetración de un cemento asfáltico es 800 (0.1 mm), y, por otro, que los valores de la penetración en función de la temperatura se representan por una línea recta, si se elige en ordenadas una escala logarítmica para la penetración.

Nota 1: Según Saal, la viscosidad de los asfaltos en el punto de ablandamiento es, aproximadamente, de 12 000 Poises.

3 CÁLCULOS

- 3.1 El valor del IP se obtiene mediante la expresión:

$$IP = \frac{20 - 10f}{1 + f} \quad [724.1]$$

Siendo:

$$f = \frac{50 \times \log \left[\frac{800}{P} \right]}{T_{AB} - 25} \quad [724.2]$$

Donde: T_{AB} : Punto de ablandamiento, ° C;

P: Penetración en 0.1 mm a 25° C.

3.2 El valor obtenido al calcular IP, se redondea a la primera cifra decimal.

4 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 En función del índice de penetración, IP, los cementos asfálticos se pueden clasificar en tres grupos:

4.1.1 $IP > +1$: Son cementos asfálticos con poca susceptibilidad a la temperatura, presentando cierta elasticidad y tixotropía. Se les denomina tipo gel o soplado, ya que la mayoría de los asfaltos oxidados pertenecen a este grupo.

4.1.2 $IP < -1$: Cementos asfálticos con mayor susceptibilidad a la temperatura; ricos en resinas y con comportamiento algo viscoso.

4.1.3 IP entre $+1$ y -1 : Características intermedias entre los dos anteriores; pertenecen a este grupo la mayoría de los cementos asfálticos que se utilizan en la construcción de carreteras.

5 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

PFEIFFER J. PH., VAN DOORMAL P.M., "The Rheological Properties of Asphaltic Bitumens", Journal of Institute of Petroleum Technologists – Vol. 22– pp. 414 – 440, 1936

EBERTO PETRONI, "Materiales Asfálticos para Caminos", Departamento de Vías de Comunicación, Escuela de Graduados Rama Ingeniería de Caminos, Universidad de Buenos Aires, s/f

NLT 181/99

EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL AGUA DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO ASFÁLTICO UTILIZANDO LA PRUEBA DE TRACCIÓN INDIRECTA

INV E – 725 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma de ensayo establece un procedimiento para preparar y probar especímenes de concreto asfáltico, con el fin de medir el efecto del agua sobre su resistencia a la tracción indirecta. El método es aplicable a las mezclas densas y permite evaluar el efecto de la humedad sobre mezclas elaboradas con o sin aditivos mejoradores de adherencia, sean líquidos o sólidos pulverulentos, como la cal hidratada y el cemento Portland.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-725-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** *Daño potencial por humedad* – La susceptibilidad al daño por humedad se determina preparando un grupo de especímenes compactados en el laboratorio de acuerdo con la fórmula de trabajo de la mezcla y sin aditivos. Los especímenes se compactan de manera de obtener un contenido de vacíos con aire entre 6 y 8 %. El grupo se divide en dos subgrupos con contenidos de vacíos aproximadamente iguales; cada espécimen debe tener su par en el otro subgrupo. Un subgrupo se mantiene en condición seca, mientras que el otro se satura parcialmente con agua y se acondiciona en un baño de agua. La resistencia a la tensión de cada uno de los subgrupos se determina por la prueba de tracción indirecta. El potencial de daño por humedad queda indicado por la relación entre las resistencias a la tensión del subgrupo húmedo y las del subgrupo seco.
- 2.2** *Efecto de aditivos* – El efecto de un aditivo para mejorar la adhesividad se determina en un grupo de especímenes que contienen un aditivo preparado y que se ensayan como se describe en el numeral 2.1. El efecto del aditivo se determina repitiendo las pruebas en grupos con diferentes dosis del producto.
- 2.3** *Mezclas producidas en planta* – El daño potencial por humedad o la efectividad de un aditivo en una mezcla producida en planta se determina

empleando especímenes compactados en el laboratorio con el contenido de vacíos esperado en la mezcla compactada en el terreno, los cuales se dividen en dos subgrupos, húmedo y seco, y se evalúan como se describe en el numeral 2.1.

3 IMPORTANCIA Y USO

3.1 Este método de ensayo se puede emplear para probar mezclas de concreto asfáltico, junto con los ensayos requeridos para el diseño de la mezcla, para establecer el potencial de daño por humedad, así como para determinar si un aditivo mejorador de adherencia es efectivo o no y, en caso de que lo sea, para encontrar la cantidad óptima de éste para maximizar su efectividad. Este método de ensayo se puede usar, también, para evaluar mezclas producidas en planta, con el propósito de calificar la efectividad de los aditivos bajo las condiciones impuestas en servicio.

4 EQUIPO

- 4.1** *Elementos para preparación y compactación* – Para preparar y compactar los especímenes, se usan los equipos de cualquiera de las normas INV E-747 e INV E-748. También se puede utilizar el compactador giratorio, SGC.
- 4.2** *Bomba de vacío o aspirador de agua* – De acuerdo con la norma INV E-735.
- 4.3** *Manómetro o indicador de vacío* – De acuerdo con la norma INV E-735.
- 4.4** *Recipiente* – Preferiblemente del tipo F de la norma INV E-735.
- 4.5** *Balanza* – Con capacidad mínima de 2 kg y con sensibilidad de 0.1 g. Deberá estar provista de un dispositivo de suspensión adecuado que permita determinar la masa de un espécimen en el agua.
- 4.6** *Tres baños de agua:*
- 4.6.1** Un baño de acuerdo con la norma INV E-733.
 - 4.6.2** Un baño que permita mantener una temperatura de $60 \pm 1^\circ \text{C}$ ($140 \pm 1.8^\circ \text{F}$) durante 24 horas.

- 4.6.3** Un baño que permita mantener la temperatura a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$).
- 4.7** *Prensa Marshall* – De las características descritas en la norma INV E–748, o una máquina de ensayo, mecánica o hidráulica, capaz de mantener la misma tasa de deformación y medir la carga con la misma o mayor precisión.
- 4.8** *Franjas de carga* – Se necesitan franjas de carga de metal con una superficie cóncava, que tengan un radio de curvatura igual al radio nominal del espécimen de ensayo, para transmitirle la carga a éste. Para especímenes de 102 mm (4") de diámetro, la franja deberá tener 12.7 mm (0.5") de ancho, mientras que para especímenes de 150 mm (6") de diámetro, la franja de carga deberá tener 19.05mm (0.75") de ancho. La longitud de la franja de carga debe exceder el espesor de los especímenes. Los bordes de la franja deberán ser redondeados, con el radio de curvatura adecuado.

5 PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES PARA ENSAYO EN EL LABORATORIO

- 5.1** Se elaboran, por lo menos, seis especímenes para cada prueba, tres para ser probados en seco y tres para ser probados después de saturación parcial y acondicionamiento en un baño con agua.
- 5.2** En general, se deben usar especímenes de 102 mm (4") de diámetro y 63.5 mm (2.5") de altura, aunque también se pueden utilizar especímenes de otras dimensiones. Para ensayar mezclas con agregados de tamaño mayor de 25 mm (1"), se deben usar especímenes de 150 mm (6") de diámetro.

Nota 1: Se ha determinado que el diámetro de la probeta tiene influencia tanto sobre la resistencia a la tracción indirecta, como sobre la relación de resistencias. Por lo tanto, al ensayar probetas de 102 mm (4") y de 150 mm (6") de diámetro manteniendo todos los demás factores constantes, se pueden obtener resultados diferentes.

- 5.3** Se preparan bachadas de mezcla lo suficientemente grandes para elaborar, por lo menos, 3 especímenes o, como alternativa, se prepara una bachada del tamaño justo para 1 espécimen. Si también se va a determinar la gravedad específica máxima medida, la bachada deberá ser de mayor tamaño, o se preparará una porción adicional con la cantidad de mezcla exigida por la norma INV E–735.
- 5.4** Cuando se va a usar un aditivo adhesivo líquido, se calienta en el horno a $150 \pm 6^\circ \text{C}$ ($300 \pm 10^\circ \text{F}$) la cantidad suficiente de cemento asfáltico para una

bachada, en un recipiente tapado de ± 1 litro de capacidad. Se agrega la cantidad requerida de aditivo y se mezcla inmediatamente, durante unos 2 minutos, con una mezcladora mecánica a 25 mm (1") del fondo del recipiente. Se mantiene el cemento asfáltico tratado a $150 \pm 6^\circ \text{C}$ ($300 \pm 10^\circ \text{F}$) en el recipiente cerrado hasta el momento de uso. Se descarta el cemento asfáltico tratado si no se utiliza el mismo día de su preparación o si se dejó enfriar hasta el punto de requerir recalentamiento.

5.5 Si se usa aditivo mejorador de adherencia en estado sólido pulverulento, se debe simular el procedimiento de adición que se va a utilizar en el campo. Se deberá seguir el procedimiento indicado en los numerales 5.5.1, 5.5.2 o 5.5.3.

5.5.1 Cuando se añade polvo seco a un agregado seco, el lote de agregado mineral se seca y calienta a $150 \pm 6^\circ \text{C}$ ($300 \pm 10^\circ \text{F}$). Se le añade la cantidad requerida de aditivo y se mezcla completamente hasta obtener una distribución uniforme del aditivo. Se debe tener cuidado de minimizar la pérdida de aditivo en la atmósfera en forma de polvo. Efectuada la mezcla, se mantiene el agregado tratado a la temperatura requerida para su mezcla con el asfalto, hasta el instante en que ésta se realice.

5.5.2 Cuando se agregue el polvo seco a un agregado húmedo, la humedad de la bachada de agregado húmedo se ajusta a la esperada en el campo. Se añade la cantidad requerida de aditivo al agregado húmedo, y se mezcla completamente hasta obtener una distribución uniforme del aditivo. Se debe tener cuidado de minimizar la pérdida de aditivo en la atmósfera en forma de polvo. Después del mezclado, el agregado tratado se seca y se calienta a la temperatura requerida para la mezcla, manteniéndose a esa temperatura hasta el momento de su uso.

5.5.3 Cuando el polvo se va a aplicar en forma de lechada, se añade la cantidad requerida de aditivo al agua usando la proporción polvo/agua que se espera tener en el campo. Se debe tener cuidado de minimizar la pérdida de aditivo en la atmósfera en forma de polvo. Para evitar la sedimentación, la lechada resultante se debe mezclar continuamente hasta el momento de su uso. Se toma la muestra de agregado húmedo, se ajusta su humedad como se indica en el numeral 5.5.2, se agrega la cantidad de lechada requerida y se mezcla completamente hasta conseguir una distribución uniforme de la lechada. Después del mezclado, se seca el agregado tratado, se calienta a la temperatura requerida para la mezcla y se mantiene a esa temperatura hasta el momento de su uso.

- 5.6** La dosificación, la mezcla y la compactación de los especímenes se debe realizar de acuerdo con alguno de los métodos descritos en las normas INV E-747 o INV E-748. También, se puede utilizar el método Superpave con el compactador giratorio SGC. Si se utiliza el método Marshall, se puede usar tanto el martillo manual como el mecánico.
- 5.6.1** Después de la mezcla, se estabiliza la temperatura de cada espécimen a la temperatura requerida para su compactación, en un recipiente cerrado dentro de un horno, por un período de 1 a 2 horas. Si se va a preparar una bachada para elaborar varios especímenes, se deberá subdividir en las cantidades requeridas para un solo espécimen, antes de su colocación en el horno.
- 5.6.2** Se compactan los especímenes de manera de alcanzar un volumen de vacíos con aire de $7 \pm 1 \%$, o el nivel de vacíos esperado en el campo en el momento de la construcción. Este nivel de vacíos se puede obtener ajustando lo siguiente: la carga estática en la compactación con doble émbolo, el número de golpes de la compactación Marshall o el número de giros en la compactación giratoria. Se debe determinar el procedimiento exacto para cada mezcla por medio de ensayos, variando la energía de compactación según el método utilizado, y determinando los vacíos con aire alcanzados en cada oportunidad.
- 5.6.3** Se enfrían los especímenes en los moldes a temperatura ambiente, tan rápido como sea posible en una corriente de aire; se extraen de los moldes y, dentro de las 24 horas siguientes, se sigue el procedimiento indicado en la Sección 7.

6 PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES DE CAMPO

- 6.1** Se selecciona para el muestreo uno de los camiones que transportan la mezcla a la obra.
- 6.2** Se obtiene una muestra del camión en la planta, de acuerdo con la norma INV E-731.
- 6.3** Se estabiliza la temperatura de la muestra a, aproximadamente, la temperatura a la cual se inicia la compactación en el campo. Se mantiene la mezcla a esta temperatura en un recipiente cerrado, y si es necesario en un horno, por un tiempo aproximadamente igual al que transcurre entre la elaboración de la mezcla en la planta y el inicio de su compactación en el terreno.

- 6.4** Se compactan los especímenes de la manera indicada en el numeral 5.6.2, se dejan enfriar y se sacan de los moldes como se indica en el numeral 5.6.3.
- 6.5** Si los especímenes no se van compactar en el laboratorio de campo, las muestras se colocan en recipientes sellados, se transportan al laboratorio y se recalientan a la temperatura requerida en el numeral 6.3. A continuación, se procede con los pasos indicados en el numeral 6.4.

Nota 2: Los especímenes hechos con mezclas producidas en la planta de acuerdo con la Sección 6, pueden dar resultados diferentes a los de los especímenes elaborados con mezclas producidas en el laboratorio de acuerdo con la Sección 5, así tengan la misma fórmula de trabajo.

7 PROCEDIMIENTO

Nota 3: Se recomienda la hoja de los datos que aparece como Tabla 725 - 1 en esta norma, para recopilar ordenadamente los resultados obtenidos con este procedimiento.

- 7.1** Se determina la gravedad específica máxima medida de la mezcla, de acuerdo con la norma INV E-735.
- 7.2** Se determina la altura de cada espécimen, como se indica en la norma INV E-744.
- 7.3** Se determina la gravedad específica bulk de los especímenes compactados de acuerdo con la norma INV E-733, y se expresa el volumen de cada espécimen en centímetros cúbicos. El término (B - C) de la norma INV E-733, es el volumen del espécimen, en centímetros cúbicos (cm³).
- 7.4** Se calcula el porcentaje de vacíos con aire respecto del volumen total (% V_A) de cada espécimen, de acuerdo con la norma INV E-736, y se expresa el volumen de aire en centímetros cúbicos (cm³). El volumen de vacíos con aire se calcula multiplicando el volumen total encontrado en el numeral 7.3 por el porcentaje de vacíos con aire y dividiendo por 100.
- 7.5** Se dividen los especímenes en dos subgrupos, de tal forma que el promedio de los vacíos con aire en los dos sea aproximadamente igual. Se guarda a temperatura ambiente el subgrupo que va ser probado en seco.
- 7.6** Utilizando una cámara de vacío, se satura parcialmente con agua destilada a temperatura ambiente el subgrupo que va ser probado húmedo. Si es difícil alcanzar el grado mínimo de saturación indicado en el numeral 7.6.3, el agua para saturación se puede calentar a 60° C (140° F).

- 7.6.1** Se satura parcialmente el subgrupo, al grado especificado en el numeral 7.6.3, aplicando un vacío parcial de 525 mm Hg (20" Hg) o 70 kPa, durante un tiempo corto, por ejemplo 5 min.

Nota 4: Experimentos con vacío parcial a la temperatura ambiente indican que el grado de saturación es muy sensible a la magnitud del vacío y prácticamente independiente de la duración. El nivel de vacío necesario para distintas mezclas parece ser diferente.

- 7.6.2** Se determina el volumen del espécimen parcialmente saturado, de acuerdo con la norma INV E-733. Se determina el volumen de agua absorbida, restando la masa seca en el aire del espécimen, determinada en el numeral 7.3, de la masa del espécimen parcialmente saturado y superficialmente seco.

- 7.6.3** Se calcula el grado de saturación, dividiendo el volumen del agua absorbida determinada en el numeral 7.6.2, por el volumen de vacíos con aire del espécimen encontrado en el numeral 7.4. El resultado se expresa en porcentaje. Si el volumen de agua está entre 55 y 80 % del volumen de aire, se continúa con el numeral 7.7. Si es menor de 55 %, se repite el procedimiento, comenzando en el numeral 7.6.1 pero usando un vacío parcial ligeramente superior. Si el volumen de agua es mayor de 80 %, el espécimen se ha dañado y se debe descartar.

Nota 5: Si el porcentaje promedio de vacíos con aire del subconjunto húmedo es menor de 6.5 %, se recomienda un grado de saturación de, al menos, 70 %.

- 7.6.4** En resumen, para calcular el grado de saturación se procede así:

- 7.6.4.1** Se determina el volumen de agua absorbida (V_{wa}). Es el valor J' en la Tabla 725 - 1:

$$V_{wa} = \text{Masa SSS (numeral 7.6.2)} - \text{Masa seca al aire (numeral 7.3)} \quad [725.1]$$

- 7.6.4.2** Se determina el volumen de vacíos con aire en el espécimen (V_A). Es el valor H en la Tabla 725 - 1:

$$V_A = \frac{\% \text{ vacíos con aire (numeral 7.4)} \times \text{Volumen del espécimen (numeral 7.3)}}{100} \quad [725.2]$$

- 7.6.4.3** Se calcula el grado de saturación:

$$\% \text{ saturación} = \frac{V_{wa}}{V_A} \times 100 \quad [725.3]$$

- 7.7** Después de verificar la saturación, se acondicionan los especímenes parcialmente saturados, sumergiéndolos en un baño de agua destilada a $60 \pm 1.0^\circ \text{C}$ ($140 \pm 1.8^\circ \text{F}$) durante 24 horas (Figura 725 - 1).



Figura 725 - 1. Acondicionamiento de los especímenes saturados

Nota 6: Si se desea un ciclo de acondicionamiento de congelamiento y deshielo, se sugiere el siguiente procedimiento en lugar del indicado en el numeral 7.7. Se envuelve herméticamente cada uno de los especímenes parcialmente saturados con dos capas apretadas de película de plástico, usando cinta de enmascarar para sujetar la envoltura de ser necesario. Cada espécimen envuelto se coloca en una bolsa de plástico sin fugas, que contiene unos de 3 ml agua destilada, y se sella con un lazo o cinta. Se colocan los especímenes envueltos y embolsados en un congelador con baño de aire a $-18 \pm 2^\circ \text{C}$ ($-0.4 \pm 3.6^\circ \text{F}$). Después de, por lo menos, 15 horas en el congelador, se retiran los especímenes y se sumergen en un baño de agua a $60 \pm 1.0^\circ \text{C}$ ($140 \pm 1.8^\circ \text{F}$) por 24 horas. Después de 3 minutos de inmersión, luego de que ocurra el deshielo de la superficie del espécimen, se retiran la bolsa y la envoltura de los especímenes.

- 7.8** Se ajusta la temperatura de los especímenes acondicionados en condición húmeda, colocándolos en un baño de agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) durante 1 hora.
- 7.9** Se mide la altura de los especímenes acondicionados en condición húmeda, de acuerdo con la norma INV E-744, y se determina su volumen por el método de la norma INV E-733.
- 7.9.1** Se determinan la absorción de agua y el grado de saturación, de acuerdo con lo indicado en los numerales 7.6.2 y 7.6.3. Un grado de saturación que exceda de 80 % es aceptable.
- 7.9.2** Se determina la expansión de los especímenes parcialmente saturados, dividiendo el cambio de los volúmenes determinados en los numerales 7.6.2 y 7.3, por el volumen del espécimen hallado en el numeral 7.3. También, se determina la expansión después del acondicionamiento

húmedo, dividiendo el cambio de los volúmenes determinados en los numerales 7.9 y 7.3, por el volumen del espécimen hallado en el numeral 7.3. En ambos casos, la expansión se expresará en porcentaje.

7.10 Se ajusta la temperatura del subgrupo conservado en seco, colocando los especímenes en un baño de agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) durante 20 minutos.

7.11 Se determina la resistencia a la tensión de ambos subgrupos a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), de acuerdo con el siguiente procedimiento:

7.11.1 Se coloca un espécimen en el aparato de carga, con las franjas de carga centradas y paralelas sobre el plano diametral vertical (Figura 725 - 2). Se aplica una carga diametral a una tasa de deformación 50 mm/min ($2''/\text{min}$) hasta que se alcance la carga máxima y se registra dicha carga.



Figura 725 - 2. Probeta asfáltica sometida al ensayo de tracción indirecta

7.11.2 Se continúa cargando hasta fracturar el espécimen. Una vez desmontado del aparato de ensayo, se abre el espécimen y se estima visualmente el daño que le causó la humedad (Figura 725 - 3).



Figura 725 - 3. Probeta abierta luego del ensayo de tracción indirecta

7.11.3 Se inspeccionan todas las superficies, inclusive las caras falladas, para buscar evidencia de agregado resquebrajado o roto que pueda haber influido en el resultado de la prueba y se registran las observaciones.

8 CÁLCULOS

8.1 Se calcula la resistencia a la tensión (R_T) como sigue:

$$R_T = \frac{2000 \times P}{\pi \times t \times D} \quad [725.4]$$

Donde: R_T : Resistencia a la tensión, kPa;

P: Carga máxima, N;

t: Altura del espécimen inmediatamente antes de la prueba, mm;

D: Diámetro del espécimen, mm.

8.1.1 Si la carga máxima se expresa en lbf y la altura y el diámetro del espécimen en pulgadas, la resistencia a tensión, en lb/pg², se determina con la fórmula:

$$R_T = \frac{2 \times P}{\pi \times t \times D} \quad [725.5]$$

8.2 Se calcula la relación de resistencias a tensión, como sigue:

$$RRT = \left[\frac{R_{TH}}{R_{TS}} \right] \times 100 \quad [725.6]$$

Donde: RRT: Relación de resistencias a la tensión, %;

R_{TH} : Resistencia promedio a la tensión, del subgrupo acondicionado al agua;

R_{TS} : Resistencia promedio a la tensión del subgrupo mantenido en seco.

9 INFORME

9.1 Se debe reportar la siguiente información:

9.1.1 Número de especímenes en cada subgrupo.

9.1.2 Promedio de vacíos con aire de cada subgrupo.

9.1.3 Grado promedio de saturación después de la saturación parcial y del acondicionamiento de humedad.

9.1.4 Expansión promedio después de la saturación parcial y del acondicionamiento de humedad.

9.1.5 Resistencia a la tensión de cada espécimen de cada subgrupo.

9.1.6 Relación de resistencias a la tensión.

9.1.7 Daños por humedad, estimados visualmente luego de la fractura del espécimen.

9.1.8 Resultados de la observación sobre fracturas de las partículas.

Nota 7: Si se usa el procedimiento de acondicionamiento descrito en la nota 6, esa información se debe incluir en el informe.

Tabla 725 - 1. Formato de datos de laboratorio

Proyecto									
Aditivo					Dosificación				
Método de compactación					Esfuerzo				
Fecha de ensayo									
Identificación de la muestra									
Especímenes		GRUPO HÚMEDO				GRUPO SECO			
Diámetro, mm (pg)	D								
Altura, mm (pg)	T								
Masa seca al aire	A								
Masa SSS	B								
Masa en el agua	C								
Volumen (B - C)	E				Prom.				Prom.
Gravedad específica bulk (A/E)	F								
Gravedad específica máxima	G								
% vacíos con aire (100(G - F)/G)	H								
Volumen de vacíos con aire (HE/100)	I								
Carga, N (lbf)	P								
Saturación durante ___ min por vacío a ___ kPa, ___ mm Hg (pg)									
Masa SSS	B'								
Masa en el agua	C'								
Volumen (B' - C')	E'								
Volumen absoluto de agua (B' - A)	J'				Prom.				
% Saturación (100J'/I)									
% Expansión (100(E' - E)/E)									
Acondicionamiento durante 24 h en agua a 60° C									
Altura, mm (pg)	t''								
Masa SSS	B''								
Masa en el agua	C''								
Volumen (B'' - C'')	E''								
Volumen absoluto de agua (B - A)	J''				Prom.				
% Saturación (100J''/I)									
% Expansión (100(E'' - E)/E)									
Carga, N (lbf)	P''								
Resistencia seca 2000P/πtD (2P/πtD)	R _{TS}								
Resistencia húmeda 2000P''/πt''D (2P''/πt''D)	R _{TH}								
RRT, 100(R _{TH} / R _{TS})									
Daño por humedad (visual)									
Agregados fracturados									

10 PRECISIÓN Y SESGO

10.1 Precisión – Las desviaciones estándar para uso con este método de prueba se han determinado usando especímenes mezclados en laboratorio, acondicionados de acuerdo con el numeral 7.7. No han sido objeto de estudio ni el material mezclado en la planta ni el acondicionamiento mencionado en la nota 6. Diecinueve laboratorios participaron en el estudio de precisión, probando 5 mezclas de concreto asfáltico, dos de las cuales contenían un aditivo líquido mejorador de adherencia.

10.1.1 *Precisión en un laboratorio* – Se encontró que la desviación estándar de un solo operador, en la determinación de la resistencia a tensión para especímenes acondicionados, ya sean secos o húmedos, fue de 55 kPa (8 lb/pg²). El límite d2s, para la diferencia máxima permitida en resistencia a tensión al ensayar dos especímenes de la misma mezcla, probados por el mismo operador, es de 159 kPa (23 lb/pg²).

10.1.2 *Precisión entre laboratorios* – Se encontró que la desviación estándar de varios laboratorios, en la determinación de la relación de resistencias a la tensión fue 8 %. El límite d2s para la diferencia máxima permitida en la relación de resistencias a la tensión, entre resultados de pruebas realizadas con muestras de la misma mezcla en dos diferentes laboratorios, fue 23 %.

10.2 *Sesgo* – Este método de ensayo no tiene un sesgo determinado, por cuanto el valor de la relación de resistencias a la tensión sólo se puede ser definir en términos del método de ensayo.

11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D4867/D4867M – 09

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO DE ASFALTOS MODIFICADOS

INV E – 726 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la estabilidad que presentan en el almacenamiento los asfaltos modificados, en particular con polímeros, de aplicación en construcción de carreteras.
- 1.2** En circunstancias especiales climáticas, orográficas o de tránsito se pueden utilizar productos, generalmente polímeros, que adicionados al ligante asfáltico modifican una o varias de sus características, con el objeto de mejorar su comportamiento.
- 1.3** Durante el almacenamiento a temperaturas elevadas, se pueden producir en los ligantes modificados fenómenos de cremado o de sedimentación, enriqueciendo el ligante en polímeros en la parte inferior o superior del tanque en función de sus densidades respectivas. Este fenómeno puede ser propiciado por dispersión incorrecta del polímero en el ligante o por incompatibilidad entre ambos.
- 1.4** Esta norma reemplaza la norma INV E-726-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Una muestra del ligante modificado, contenido en un recipiente apropiado, se somete a la acción de temperatura elevada durante 5 días, determinándose al final de este tiempo, el punto de ablandamiento (norma INV E-712) y la penetración (norma INV E-706), u otras características especificadas, sobre muestras tomadas en la zona superior e inferior del recipiente.

3 EQUIPO

- 3.1** *Recipiente metálico* – De la forma y dimensiones que se indican en la Figura 726 - 1.
- 3.2** *Balanza* – Adecuada para masas de 200 g, con precisión de ± 0.1 g.

- 3.3** *Horno* – Que pueda mantener una temperatura de $165 \pm 2^\circ \text{C}$.
- 3.4** *Cápsulas* – De porcelana, de 8 cm de diámetro, con fondo plano.
- 3.5** *Elementos misceláneos* – Varilla de vidrio, guantes, disolventes, cápsulas, etc.

4 PROCEDIMIENTO

- 4.1** Se adoptan todas las medidas y precauciones necesarias para que la porción de muestra para ensayo sea representativa, que presentará aspecto homogéneo y no estará contaminada.
- 4.2** Se calienta con cuidado una cantidad suficiente de muestra de laboratorio y se le aplica una agitación continua hasta una temperatura de 165°C ; si es necesario, se calienta más para conseguir una consistencia que permita su vertido.
- 4.3** Se transfieren $180 \pm 1 \text{ g}$ de la muestra al recipiente de ensayo, al cual previamente se le han cerrado herméticamente los dos tubos de salida insertos en su superficie lateral (nota 1).

Nota1: Aunque en esta norma y en la Figura 726 - 1 se especifica el sistema de cierre de los tubos laterales de salida con llaves de paso del tipo de los empleados en el servicio de suministro de gas, esta característica no es privativa del ensayo, pudiéndose adoptar cualquier otro dispositivo (tapones, etc.) que garantice la hermeticidad y facilite la toma de muestras de las partes superior e inferior después del periodo de calentamiento en el horno.

- 4.4** A continuación, se tapa el recipiente con su tapa bien ajustada y se lleva el conjunto al horno regulado a $165 \pm 2^\circ \text{C}$ durante 120 horas (5 días).
- 4.5** Transcurrido el tiempo de calentamiento, se saca del horno el recipiente con su contenido, evitando movimientos de éste que puedan ocasionar desplazamiento del ligante fluido dentro del recipiente, y se coloca en posición vertical sobre un soporte adecuado que permita el vaciado del contenido como se indica a continuación.
- 4.6** Se remueve la tapa del recipiente, se abre el dispositivo de cierre superior y se dejan fluir $60 \pm 1 \text{ ml}$ del contenido, los cuales se recogen en una cápsula de porcelana previamente identificada. Inmediatamente después se abre el dispositivo de cierre inferior y se dejan fluir otros $60 \pm 1 \text{ ml}$ del contenido, que se recogen en otra cápsula de porcelana, también previamente identificada (nota 2).

Nota 2: Puede ser necesario calentar ligeramente el dispositivo de salida inferior con un mechero si, por enfriamiento, el ligante modificado no fluyese por aumento de su viscosidad.

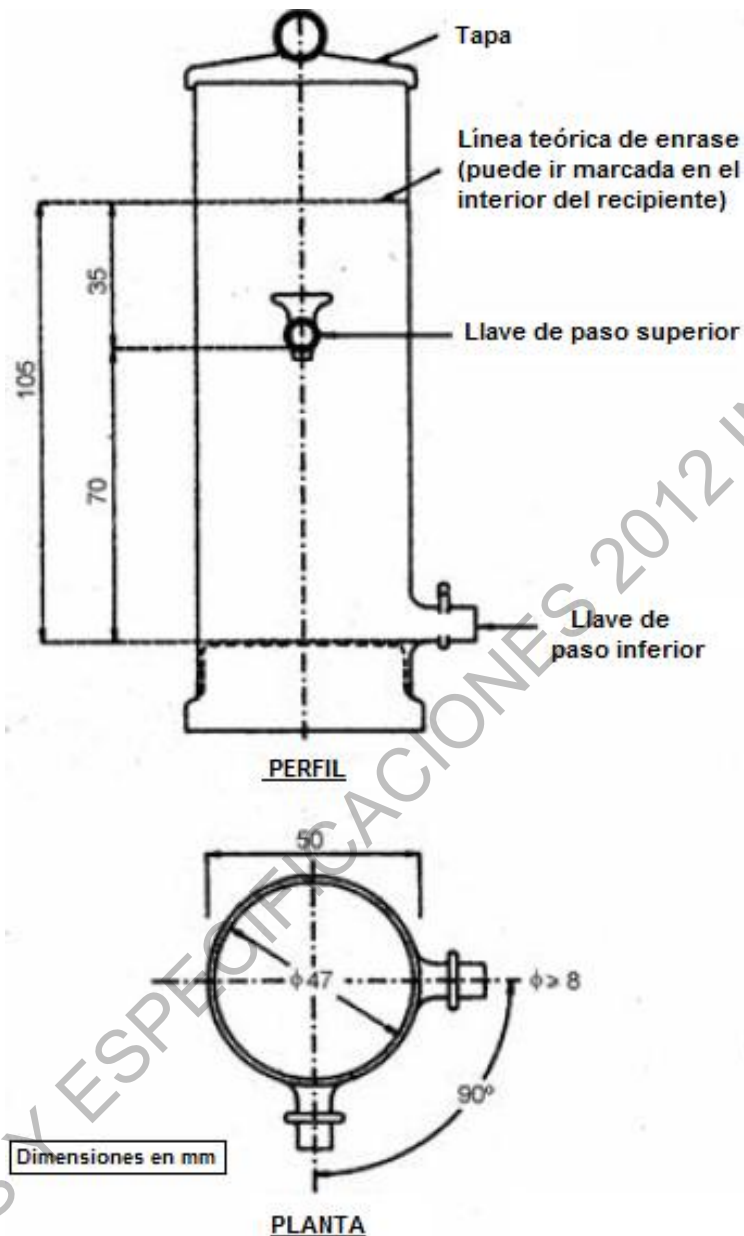


Figura 726 - 1. Esquema del recipiente para el ensayo de estabilidad al almacenamiento

- 4.7** Los contenidos de cada cápsula se trasvasan por separado a los moldes de ensayo para la posterior determinación de los puntos de ablandamiento, penetraciones, etc. Estas manipulaciones se efectuarán respetando estrictamente lo indicado en las normas de ensayo correspondientes (nota 3).

Nota 3: Aunque en esta norma se especifican los ensayos de penetración y del punto de ablandamiento por el método de anillo y bola, para definir y cuantificar la estabilidad al almacenamiento de la muestra en cuestión, ello no impide la realización de otro u otros tipos de ensayo que permitan poner de relieve la posible alteración de la homogeneidad de la muestra por causa del almacenamiento. Estos ensayos podrían incluir, por ejemplo, desde el examen visual o microscópico, hasta la viscosidad absoluta.

- 4.8 Se efectúan sobre las dos sub-muestras, superior e inferior, los ensayos de penetración y de punto de ablandamiento por el método de anillo y bola, de acuerdo con las normas INV E-706 e INV E-712, respectivamente.

5 CÁLCULOS

- 5.1 El resultado del ensayo de estabilidad al almacenamiento se expresará como la diferencia entre las penetraciones y entre los puntos de ablandamiento, determinados según el numeral 4.8, obtenidos en las sub-muestras superior e inferior ensayadas.

5.1.1 *Estabilidad al almacenamiento:*

5.1.1.1 Variación de penetración (ΔP):

$$\Delta P = P_{\text{superior}} - P_{\text{inferior}} \text{ (1/10 mm)} \quad [726.1]$$

5.1.1.2 Variación del punto ablandamiento (ΔPA):

$$\Delta PA = PA_{\text{superior}} - PA_{\text{inferior}} \text{ (}^\circ \text{C)} \quad [726.2]$$

6 PRECISIÓN Y SESGO

- 6.1 Aún no se han determinado los límites de precisión ni el sesgo de este método.

7 NORMAS DE REFERENCIA

NLT - 328/91

RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN DE ASFALTOS MODIFICADOS

INV E – 727 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento a seguir para determinar el grado de elasticidad que presentan los asfaltos modificados, en particular con polímeros, de aplicación en la construcción de carreteras.
- 1.2 En circunstancias especiales climáticas, orográficas o de tráfico, se pueden utilizar productos, generalmente polímeros, que adicionados al ligante asfáltico modifican alguna o varias de sus características, con el objeto de mejorar su comportamiento.
- 1.3 La incorporación de algunos tipos de polímeros al ligante le proporcionan una elasticidad mayor que la que presenta sin el polímero.
- 1.4 Esta norma reemplaza la norma INV E-727-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Un cilindro de dimensiones especificadas se sumerge en la muestra del ligante bituminoso modificado y mediante un dispositivo de torsión se gira 180° determinándose, después de 30 minutos, el ángulo recuperado por el cilindro.

3 EQUIPO

- 3.1 *Aparato de torsión* – Un aparato para imponer un esfuerzo de torsión a la muestra, constituido fundamentalmente por los siguientes elementos: cilindro metálico, semi-corona con escala graduada de 0 a 180°, baño de agua y recipiente para la muestra (Figuras 727 - 1, 727 - 2 y 727 - 3).



Figura 727 - 1. Elementos para el ensayo de torsión

- 3.2** *Termómetro* – Para controlar la temperatura del baño de agua, graduado en 0.1°C y escala de 19 a 27°C (por ejemplo, el mismo termómetro ASTM 17C utilizado en el ensayo descrito en la norma INV E-706).
- 3.3** *Cronómetro* – Para medir tiempos de $30\text{ min} \pm 1\text{ s}$.
- 3.4** *Elementos misceláneos* – Horno, cápsula, varillas de vidrio, espátulas, disolventes, etc.

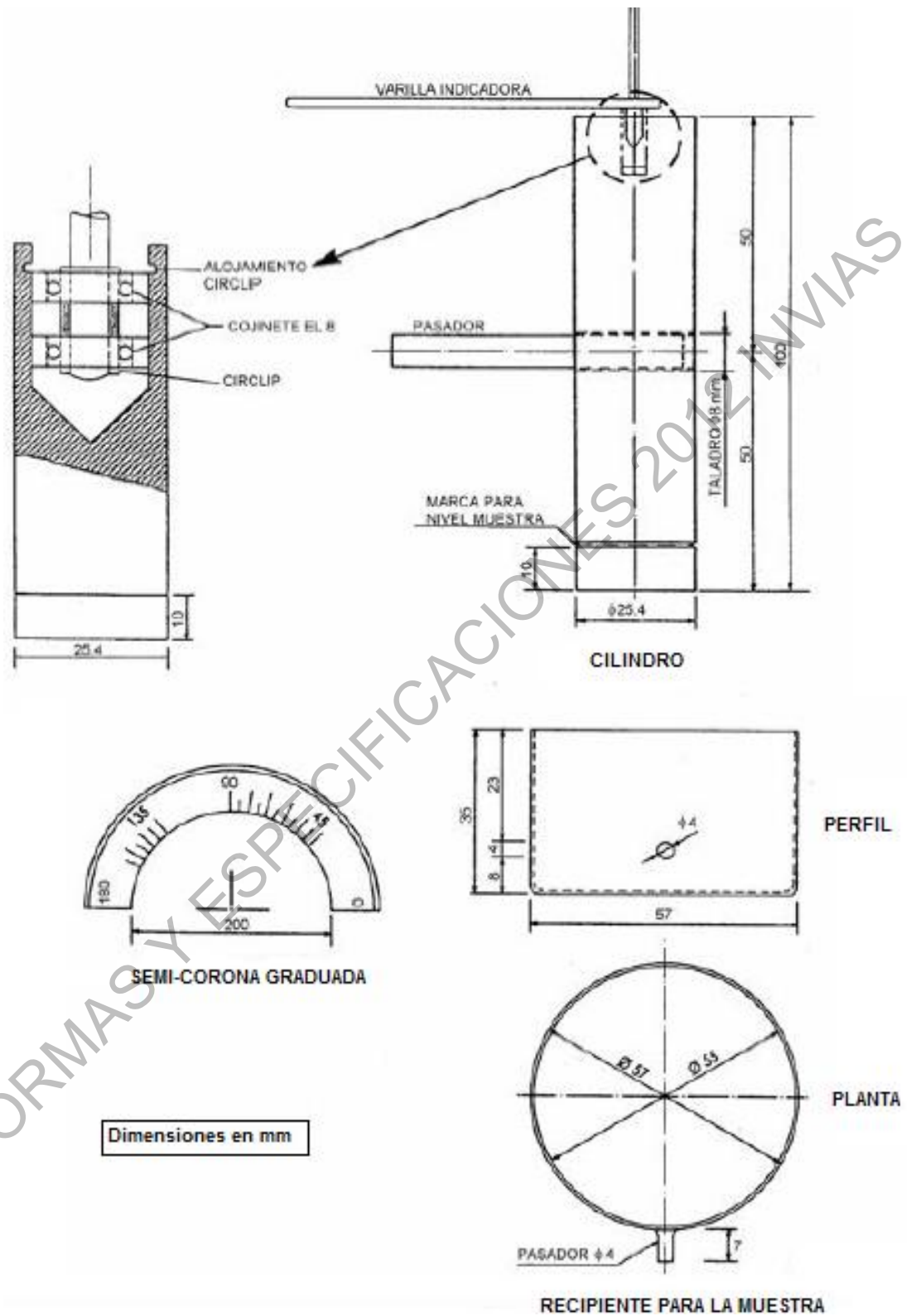


Figura 727 - 2. Dimensiones del cilindro, la semi-corona graduada y el recipiente para la muestra

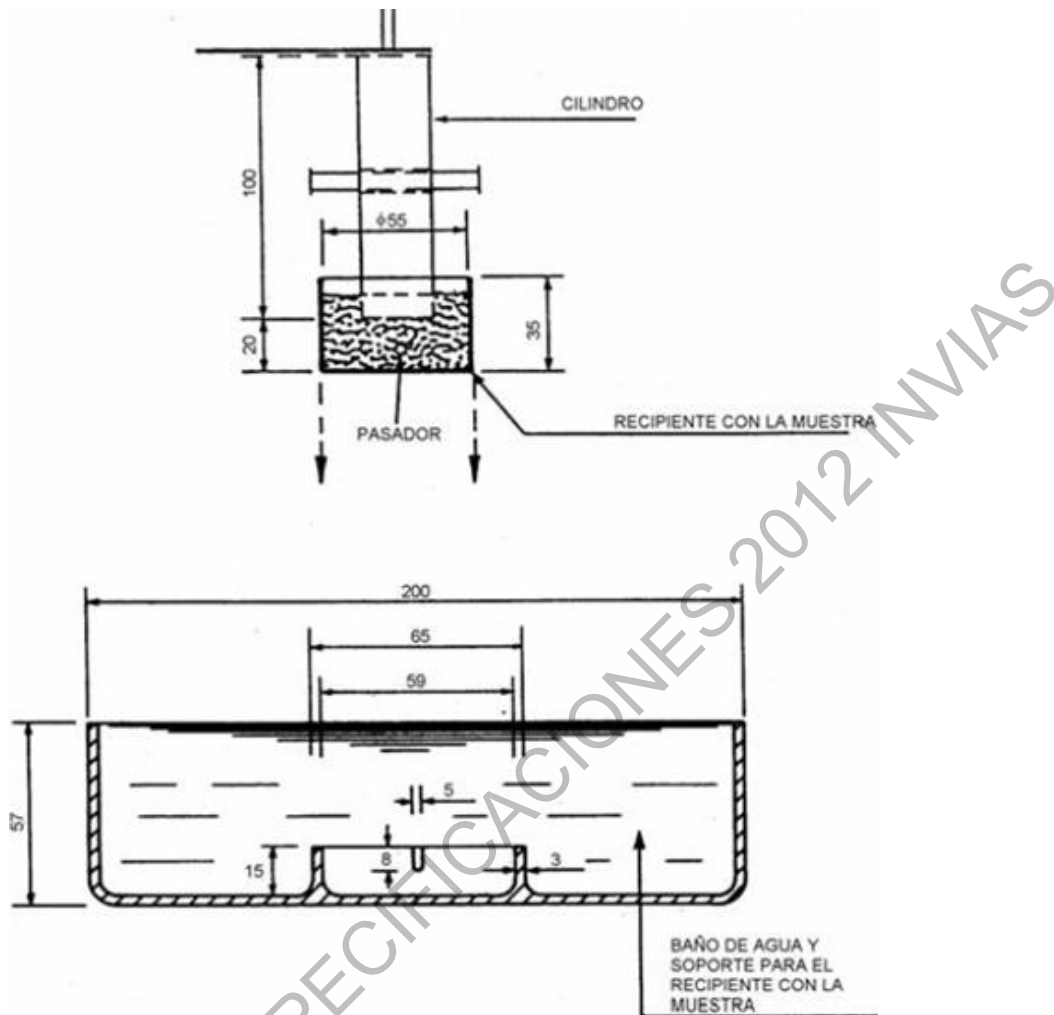


Figura 727 - 3. Esquema del dispositivo para el ensayo de recuperación elástica

4 PROCEDIMIENTO

- 4.1 Se adoptan todas las medidas y precauciones necesarias para que la muestra para ensayo sea representativa, que presente aspecto homogéneo y que no esté contaminada. La muestra se deberá tomar de acuerdo con la norma INV E-701.
- 4.2 Se calienta con cuidado una cantidad suficiente de la muestra para ensayo y se agita continuamente hasta conseguir una consistencia que permita su vertido.
- 4.3 Se ajusta el cilindro del aparato de torsión de forma que su base inferior quede a una distancia de 20 mm del fondo del recipiente para ensayo situado en posición centrada, ajustado en el resalte que, para tal fin, se dispone en el fondo del baño.

- 4.4** Se transfiere por vertido la muestra al recipiente de ensayo, en cantidad suficiente para enrasarla con la marca grabada de que dispone el cilindro a 10 mm de su base inferior.
- 4.5** Se deja enfriar el conjunto recipiente – muestra a temperatura ambiente durante un lapso mínimo de 1 hora. A continuación, se hace circular agua por el baño termostático a $25 \pm 0.1^\circ \text{C}$, durante no menos de 90 min, para equilibrar las temperaturas del agua del baño y de la muestra. El nivel del agua en el baño se deberá encontrar suficientemente por encima del recipiente con la muestra.
- 4.6** Transcurridos los 90 min, se introduce el pasador en el alojamiento que al efecto tiene el cilindro y, con su ayuda, se hace girar éste 180° en el sentido de las agujas del reloj desde 180° a 0° , en un tiempo comprendido entre 3 y 5 s. Inmediatamente, se retira el pasador de su alojamiento y después de $30 \text{ min} \pm 15 \text{ s}$, se procede a la lectura indicada por la varilla sobre la semi-corona graduada. La lectura al final del ensayo es el valor del ángulo recuperado.

5 CÁLCULOS

- 5.1** El resultado del ensayo se expresa como recuperación elástica por torsión (RE_t), en porcentaje del ángulo recuperado con respecto al inicial de 180° :

$$RE_t = \left[\frac{L}{180} \right] \times 100 \quad [727.1]$$

Donde: L: Ángulo recuperado.

6 PRECISIÓN Y SESGO

- 6.1** A la fecha, no se han determinado ni la precisión ni el sesgo de este método de ensayo.

7 NORMAS DE REFERENCIA

NLT 329/91

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

RESISTENCIA Y TENACIDAD DE MATERIALES BITUMINOSOS

INV E – 728 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Este método de ensayo describe el procedimiento para medir la resistencia y la tenacidad de materiales bituminosos. El método se emplea, en particular, en la caracterización de asfaltos modificados con elastómeros, aunque es posible determinar la resistencia y tenacidad de cualquier tipo de asfalto, modificado o no.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-728-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Una cabeza tensora de forma y dimensiones especificadas es halada de una muestra de asfalto, a una velocidad de 50 cm/min (20 pg./min). Se lleva un registro continuo de la curva fuerza contra elongación, el cual se usa para calcular la resistencia y la tenacidad de la muestra. El ensayo se realiza a una temperatura ambiente de $25 \pm 3^\circ \text{C}$ ($77 \pm 5^\circ \text{F}$), luego de haber sometido la muestra a un tratamiento térmico normalizado.
- 2.2** En este procedimiento, la resistencia se define como el trabajo total requerido para separar completamente la cabeza tensora de la muestra bajo las condiciones de ensayo especificadas. La tenacidad es una medida del incremento de fuerza cuando la muestra es estirada más allá del pico inicial, y puede indicar el tipo y la cantidad de polímero usado para modificar el asfalto. La tenacidad se define como el trabajo requerido para estirar el material luego de haber superado la resistencia inicial.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** El ensayo es útil para comprobar que un cemento asfáltico ha sido modificado con un material que le proporciona una componente elastomérica significativa. Los asfaltos modificados con elastómeros se pueden caracterizar por su capacidad de estirar considerablemente. La resistencia y la tenacidad son dos parámetros que permiten medir esta capacidad.

4 EQUIPO

- 4.1 Recipiente para la muestra** – El recipiente que contendrá la muestra deberá ser metálico, cilíndrico, de fondo plano, con un diámetro interno nominal de 55 mm (2 1/8") y una profundidad de 35 mm (1 3/8"). Pueden ser utilizados recipientes conocidos como cajas de estaño o cajas de ungüentos sin costuras, de 3 onzas de capacidad.
- 4.2 Cabeza tensora** – Consiste en una cabeza semiesférica, de metal pulido, con un radio de 11 mm (7/16"), unida integralmente a un vástago de 6.4 mm (¼") de diámetro y de, aproximadamente, 33 mm (1 5/16") de longitud. El vástago, a su vez, deberá estar roscado y ajustado con un tornillo que permita el ajuste exacto de la altura de la cabeza tensora en el recipiente de la muestra. El vástago de la cabeza tensora deberá ser ajustado con un pequeño pasador, para evitar el giro de ella mientras se ajusta la altura. Las dimensiones de la cabeza tensora se muestran en la Figura 728 - 1.

Nota 1: El latón y el acero inoxidable son metales aceptables para la construcción de las cabezas tensoras. El aluminio se raya y el acero corriente se oxida y, por lo tanto, no se recomienda su empleo.

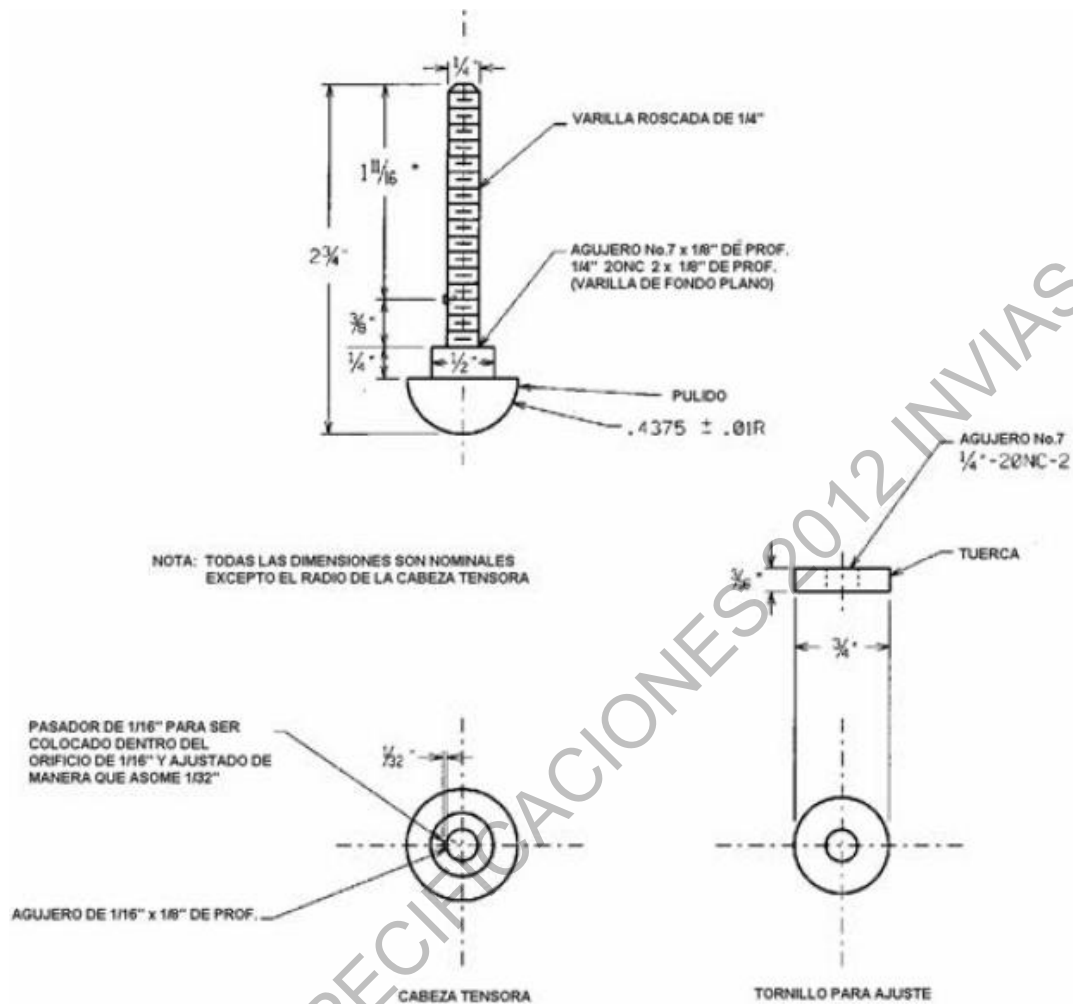


Figura 728 - 1. Cabeza tensora y tornillo para ajuste de altura

- 4.3** *Pieza de sujeción con brazos radiales* – El soporte de la cabeza tensora consiste en una sección central cilíndrica a través de la cual se puede mover libremente el vástago de la cabeza tensora, paralelamente al eje del cilindro. La pared interior del cilindro deberá estar ranurada para alojar el pasador montado en el vástago de la cabeza tensora. El cilindro de sujeción deberá tener adaptados tres (3) brazos igualmente espaciados a 120°, los cuales se extienden desde el centro, y deberán tener muescas que encajen con el borde del recipiente para centrar la pieza de sujeción y la cabeza tensora. La Figura 728 - 2 muestra detalles constructivos de la pieza de sujeción.

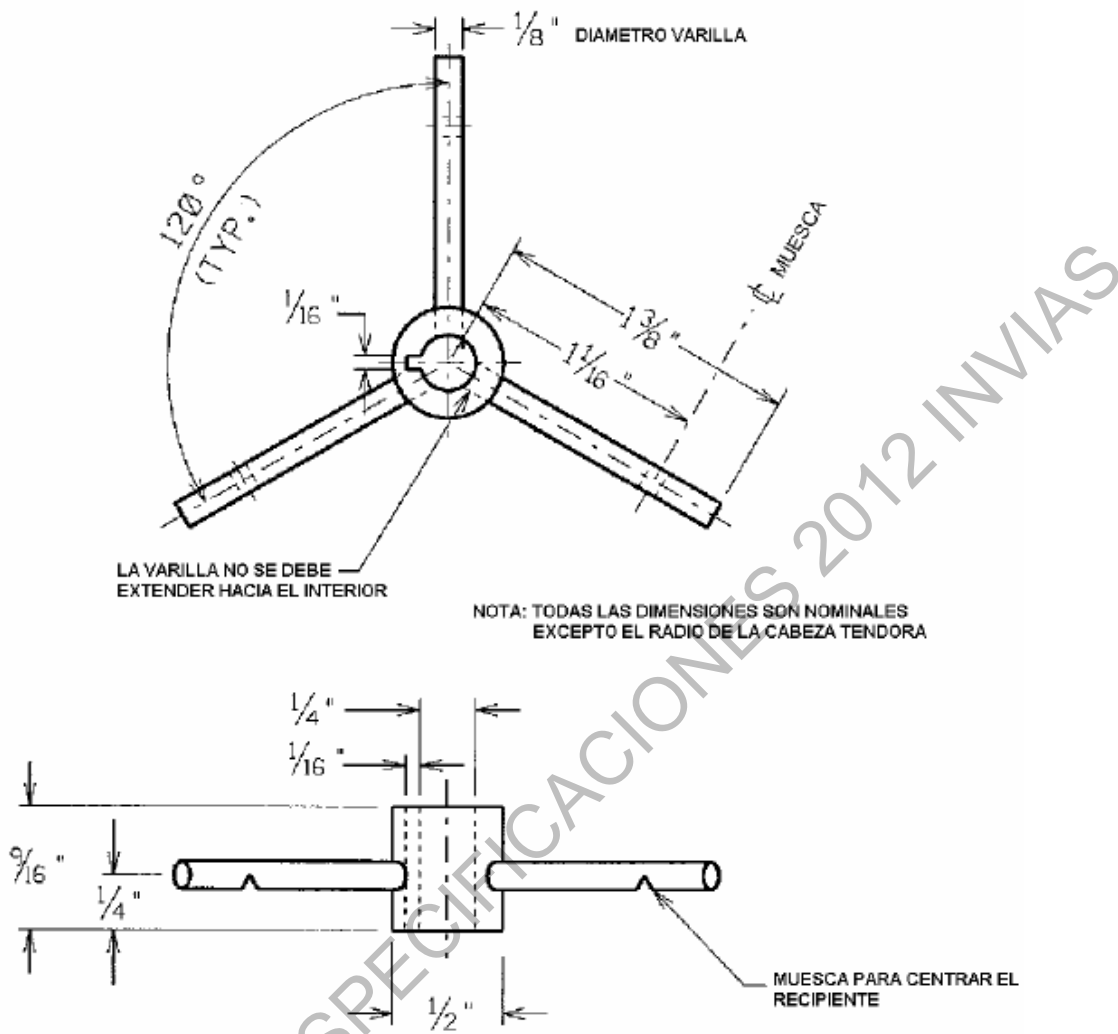


Figura 728 - 2. Ensamble de la pieza de sujeción

4.4 Máquina de ensayo – Se puede usar cualquier máquina de tensión que sea capaz de halar la cabeza tensora a una velocidad uniforme de 50 cm/min (20 pg./min) y de registrar la curva fuerza contra elongación. La precisión de la velocidad de estiramiento debe ser, cuando menos, $\pm 2\%$. La máxima capacidad de carga será, como mínimo, de 45 kgf (100 lbf). Si se van a ensayar asfaltos modificados con polímeros luego de ser sometidos a envejecimiento en el horno en lámina delgada o en el horno en película fina rotativa, se requieren mayores capacidades de carga. Se sugiere una capacidad máxima de 90 kgf (200 lbf).

4.4.1 La máquina deberá estar equipada con un dispositivo que permita sujetar firmemente el recipiente en su lugar, con la muestra, mientras la cabeza tensora es halada. Los detalles de este dispositivo varían

según la máquina de ensayo utilizada (Figura 728 - 3). La máquina deberá tener una longitud efectiva de estiramiento no menor de 61 cm (24"), luego de que se haya instalado el dispositivo sujetador.



Figura 728 - 3. Equipo de ensayo

- 4.5** *Baño de agua* – Se requiere un baño que se pueda mantener a una temperatura de $25 \pm 0.1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 0.18^\circ \text{F}$). El baño deberá tener un estante perforado que esté sostenido a no menos de 50 mm (2") del fondo y a no menos de 100 mm (4") bajo el nivel del líquido.
- 4.6** *Horno* – Para calentar las muestras se deberá emplear un horno de convección por gravedad, que permita mantener una temperatura de $163 \pm 5.5^\circ \text{C}$ ($325 \pm 10^\circ \text{F}$).
- 4.7** *Termómetro* – Se necesita un termómetro calibrado con el rango que se indica a continuación, el cual deberá cumplir la especificación ASTM E-1:

RANGO DE TEMPERATURA	TERMÓMETRO ASTM No.
-8 a 32° C	63C
18 a 89 °F	63F

Nota 2: En aquellos casos en que las muestras se acondicionan en el baño del ensayo de penetración, el termómetro prescrito en la norma de ensayo INV E-706 deberá ser reemplazado por el recién mencionado.

5 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

5.1 Se lleva el asfalto a una temperatura a la cual presente suficiente fluidez para verterlo, tal como se indica en los párrafos siguientes.

5.1.1 Si la muestra está a temperatura ambiente, se coloca en un recipiente cubierto sin apretar, dentro del horno a 163° C (325° F) hasta que adquiera una temperatura uniforme y presente suficiente fluidez para permitir su vertimiento. Se deberán tomar las precauciones necesarias para evitar sobrecalentamientos localizados de la muestra.

5.1.2 Si la muestra es el residuo de un ensayo de destilación de una emulsión asfáltica y aún está caliente, se agita el contenido del matraz e inmediatamente se vierte en recipientes, como se describe en los siguientes párrafos.

5.2 Se agita cuidadosamente la muestra hasta alcanzar la homogeneidad, teniendo la precaución de impedir la formación de burbujas de aire.

5.3 Se colocan 36 ± 0.5 g de asfalto en cada uno de tres recipientes para las muestras.

Nota 3: Si aparecen burbujas de aire en la superficie de la muestra, ellas se pueden remover rozándolas durante unos segundos con la llama suave de un encendedor de butano

5.4 En seguida, se coloca en cada recipiente una cabeza tensora montada en su pieza de sujeción. Se baja por medio del tornillo, hasta un punto en que el nivel del asfalto quede aproximadamente 1 mm por debajo de la superficie plana de la semiesfera.

Nota 4: Es importante limpiar las cabezas tensoras antes de reutilizarlas, para asegurar la correcta adhesión de las muestras a ellas. Después de cada ensayo se recomienda un enjuague con un solvente apropiado.

5.5 Se colocan los recipientes con las muestras, las cabezas tensoras y las piezas de sujeción en su lugar, en el horno a 163° C (325° F) durante 15 minutos.

5.6 Se sacan los recipientes del horno, se hunden las cabezas tensoras hasta que el nivel del asfalto quede a ras con la superficie plana de la semiesfera y se

permite el enfriamiento de las muestras a temperatura ambiente por 75 ± 5 minutos.

- 5.7** Se colocan los recipientes con las muestras en un baño de agua a 25°C (77°F) por 75 ± 5 minutos. Durante este lapso, se deberá preparar la máquina de ensayo.

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** Se prepara la máquina de ensayo para operar con una rata de tracción de 50 cm/min (20 pg./min). Se pone en cero la pluma graficadora y se efectúa todo alistamiento adicional que se requiera.
- 6.2** Se retira el recipiente del baño de agua y se lo coloca de inmediato en la máquina de ensayo. Puede ser necesario remover la pieza de sujeción antes de colocar la muestra en la máquina. La temperatura ambiente en el momento de la prueba deberá ser $25 \pm 3^\circ \text{C}$ ($77 \pm 5^\circ \text{F}$).
- 6.3** Se somete a tracción la cabeza tensora de la muestra a una velocidad de 50 cm/min (20 pg./min) y se dibuja la curva que relacione fuerza con elongación. Se continúa la tracción hasta que la columna de asfalto se rompa, la fuerza retorne a cero, o se alcance el límite de estiramiento de la máquina.

Nota 5: El tiempo transcurrido entre la remoción de las muestras del baño de agua y el comienzo de la tracción en la máquina, no debe exceder de 3 minutos. Conviene dejar llena de agua la parte superior del recipiente con la muestra cuando ésta se retire del baño. Ello ayuda a mantener la temperatura apropiada, previniendo el enfriamiento de la superficie.

7 CÁLCULOS

- 7.1** *Resistencia* – Se define como el trabajo requerido para separar la cabeza tensora de la muestra bajo las condiciones del ensayo. Corresponde al área total (en N–m o lb–pg.) bajo la curva fuerza–elongación.
- 7.2** *Tenacidad* – Es el trabajo requerido para estirar la muestra luego de superar la resistencia inicial. Se determina trazando una tangente a la curva fuerza–elongación a medida que la fuerza decrece de su máximo valor, hasta que la tangente corte el eje de las abscisas. El área bajo la curva a la derecha de la tangente es la tenacidad de la muestra.

- 7.3 En la Figura 728 - 4 se muestra una curva típica fuerza–elongación para un asfalto modificado con elástomeros. También son comunes otras formas de curva. La figura se incluye, básicamente, para ilustrar la manera como se traza la tangente para el cálculo de la tenacidad.
- 7.4 Existen muchos procedimientos para hallar el área bajo la curva. Muchas máquinas tensoras efectúan el cálculo automáticamente, otras se pueden conectar a un sistema de toma de datos que incluya un computador capaz de calcular el área bajo la curva. Entre los métodos manuales está el uso del planímetro, el conteo de cuadros en papel milimetrado, y el recorte y pesaje de las áreas apropiadas de la gráfica de papel.

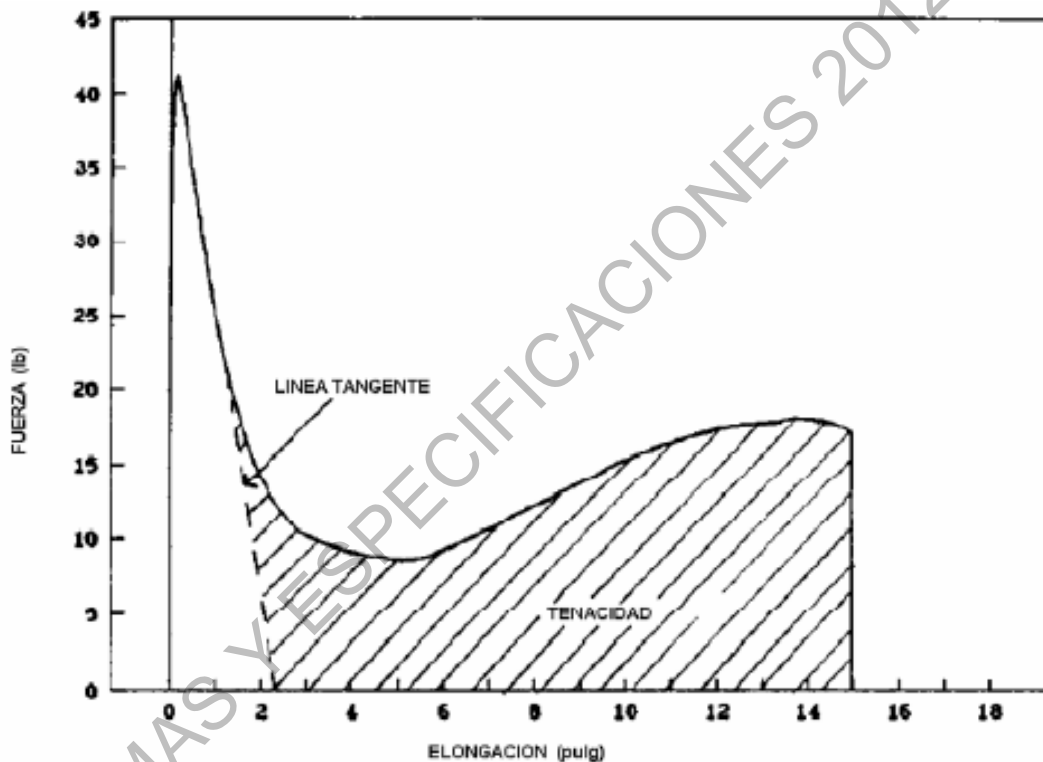


Figura 728 - 4. Curva típica de resistencia y tenacidad para un asfalto modificado con elástomero

8 INFORME

- 8.1 Cada muestra debe ser ensayada por triplicado. Los valores de tenacidad y resistencia (en N–m o lb–pg.) corresponderán al promedio de los resultados de los tres (3) ensayos. Si una de las muestras se rompe prematuramente respecto de las otras dos, o si una falla por falta de adhesión entre el asfalto y la cabeza tensora mientras las otras dos fallan por rotura de la columna de

asfalto, el resultado inusual se invalidará y el promedio de los otros dos (2) se reportará como resultado de la prueba.

9 PRECISIÓN Y SESGO

9.1 *Precisión* – Las siguientes declaraciones se basan en un estudio de medición de la resistencia y la tenacidad de asfaltos modificados con polímeros. Los límites dados no aplican para asfaltos convencionales.

9.1.1 El coeficiente de variación para un solo operador fue 6.8 % para medidas de resistencia y 7.3 % para medidas de tenacidad. Por lo tanto, los resultados de dos pruebas conducidas correctamente por el mismo operador sobre la misma muestra y utilizando el mismo equipo, no deben diferir el uno del otro en más del 20 % de su promedio.

9.1.2 Se encontró que el coeficiente de variación multilaboratorio fue 11.3 % para medidas de resistencia y 11.5 % para medidas de tenacidad. Por lo tanto, los resultados de dos pruebas conducidas correctamente en dos laboratorios diferentes, sobre muestras del mismo material, no deben diferir el uno del otro en más del 32 % de su promedio.

9.2 *Sesgo* – El procedimiento descrito en esta norma de ensayo para la determinación de la resistencia y la tenacidad en materiales bituminosos no tiene sesgo, puesto que los valores de estos parámetros están definidos únicamente en términos de este método de ensayo.

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 5801 – 95 (Reaprobada 2006)

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE ASFALTO DE MEZCLAS EN CALIENTE POR IGNICIÓN

INV E – 729 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Este método de ensayo se refiere a la determinación del contenido de ligante asfáltico de mezclas asfálticas en caliente, mediante su remoción en un horno de ignición. La muestra se puede calentar por convección o por radiación directa.

Nota 1: Los agregados obtenidos al realizar este ensayo se pueden emplear para el análisis granulométrico (norma INV E-782). Se debe tener en cuenta, sin embargo, que las partículas de algunos agregados se pueden fragmentar a causa de la elevada temperatura a la cual son sometidas.

- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-729-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** El ligante de la mezcla asfáltica se quema usando un horno de ignición aplicable a este método particular. El contenido de ligante asfáltico se calcula como la diferencia entre la masa inicial de la mezcla asfáltica y la masa residual del agregado, con ajustes por un factor de calibración. El contenido de asfalto se expresa como un porcentaje de la masa de la mezcla asfáltica libre de humedad. El método A se aplica cuando se empleen hornos con un sistema interno de pesaje automático, mientras que el método B se deberá emplear cuando el horno no disponga de dicho sistema.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Este método se puede usar para determinaciones cuantitativas del contenido de ligante asfáltico de mezclas asfálticas en caliente y de muestras de pavimentos para control de calidad, verificación del cumplimiento de una especificación y estudios de evaluación de mezclas. Este método no requiere el uso de solventes. Sobre los agregados obtenidos por este método de ensayo se pueden realizar análisis granulométricos de acuerdo con la norma INV E-782.

4 EQUIPO

- 4.1** *Balanza* – Con capacidad para pesar masas mayores de 200 g, con una tolerancia básica de $\pm 0.1\%$ y legible a 0.1 g.
- 4.2** *Canasta(s) portamuestras* – De tamaño adecuado para distribuir las muestras sobre ellas en una capa delgada, con el fin de permitir que el aire fluya a través y alrededor de las partículas. La muestra debe quedar completamente encerrada en una malla metálica, en una placa perforada de acero inoxidable o en otro material que resulte apropiado.
- Nota 2: Se ha determinado que resulta apropiada una malla metálica u otro material adecuado con aberturas máxima y mínima de 3.35 mm y 600 μm , respectivamente.*
- 4.3** *Recipiente de contención* – De tamaño suficiente para contener las canastas portamuestras, de manera que se puedan retener las partículas de agregado y el ligante asfáltico fundido que caen a través de la malla metálica.
- 4.4** *Aparato para el manejo del recipiente de contención y las canastas portamuestras* – Apropiado para insertar y remover del horno el recipiente de contención y las canastas portamuestras.
- 4.5** *Equipo misceláneo* – Espátulas, recipientes y cepillos de alambre, para preparar las mezclas y remover el agregado de las canastas y del recipiente de contención.
- 4.6** *Equipo de seguridad* – Guantes con cobertura aislante, resistentes hasta 580° C; anteojos de seguridad, chaqueta de manga larga de material no inflamable; superficie resistente al calor para colocar las canastas al extraerlas del horno; cámara protectora que rodee las canastas portamuestras durante los períodos de enfriamiento; etc.
- 4.7** *Hornos convencionales* – De convección o tiro forzado, para el secado de los agregados y las mezclas y para pre-calentar las mezclas antes del ensayo de ignición.
- 4.8** *Horno de ignición* – Como se describe en los numerales 7.1.1 y 10.1.1.

5 RIESGOS

- 5.1** Las temperaturas del horno de ignición, de la muestra, de las canastas y del recipiente de retención tras la remoción de la muestra, son muy altas. Por lo tanto, es imprescindible proceder con el más extremo cuidado al manejar estos elementos, por cuanto cualquier descuido se puede traducir en lesiones o quemaduras graves o en un incendio. La muestra, las canastas y el recipiente de contención se deben colocar dentro de una jaula de seguridad y no se debe permitir su enfriamiento cerca de materiales propensos a ignición a las temperaturas usadas en este ensayo. Para seguir todas las precauciones, se deberán atender al pie de la letra las instrucciones contenidas en el manual del fabricante del horno.

6 MUESTREO

- 6.1** Se obtienen muestras del agregado de acuerdo con la norma INV E-201.
- 6.2** Se obtienen muestras de la mezcla asfáltica en caliente recién elaborada, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-731.
- 6.3** *Preparación de los especímenes de ensayo:*
- 6.3.1** Si la mezcla no es suficientemente blanda para ser aflojada con una espátula o un palustre, se coloca sobre una bandeja grande plana en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) hasta que sea manejable. La muestra se debe cuartear de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma INV E-776
- 6.3.2** El tamaño de la muestra de ensayo depende del tamaño máximo nominal del agregado y su masa deberá estar de acuerdo con los requerimientos de la Tabla 729 - 1 (nota 3).

Nota 3: Cuando la masa de la muestra de ensayo excede la capacidad del equipo usado, se puede dividir y ensayar en porciones apropiadas. Los resultados se deberán combinar adecuadamente para calcular el contenido de ligante a partir del promedio ponderado de las masas de las diferentes porciones

Tabla 729 - 1. Tamaño de la muestra

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO, mm (pg.)	MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA, kg
4.75 (No. 4)	0.5
9.5 (3/8)	1.0
12.5 (1/2)	1.5
19.0 (3/4)	2.0
25.0 (1)	3.0
37.5 (1 ½)	4.0

- 6.4 Se obtienen muestras del cemento asfáltico, de acuerdo con la norma INV E-701.

MÉTODO DE ENSAYO A

7 EQUIPO

- 7.1 En adición a los elementos mencionados en la Sección 4, se requieren los siguientes:

- 7.1.1 *Horno de ignición* – Un horno de ignición de circulación forzada de aire, que caliente las muestras por convección o radiación directa. El horno de convección debe ser capaz de mantener la temperatura a 580° C o más y debe poseer un sistema interno de pesaje que pueda medir masas iguales o mayores a 2500 g. La cámara del horno debe tener capacidad suficiente para alojar muestras de 2500 g o más. El horno debe tener incorporado un sistema de registro de datos, de manera que la pérdida de masa de la muestra se registre automáticamente con una exactitud de 0.1 g, y que los valores se desplieguen en una pantalla durante el ensayo. Se considera que el ensayo se ha terminado cuando la diferencia entre lecturas consecutivas de pérdida de masa no es mayor de 0.01 % respecto de la masa de ensayo, durante tres intervalos consecutivos de 1 minuto. El equipo debe suministrar los resultados del ensayo en una etiqueta impresa. El horno deberá disponer de un sistema para reducir las emisiones a un nivel aceptable. Así mismo, debe estar ventilado hacia una campana o hacia el exterior y, cuando está correctamente instalado, no se deben percibir olores que escapen hacia el laboratorio. El horno debe tener un ventilador

capaz de empujar el aire a través del horno para acelerar el ensayo y reducir el escape de humos al laboratorio. Su puerta debe estar equipada con un dispositivo que impida abrirla durante la ejecución del ensayo de ignición.

7.1.2 Filtros – Cuando se requieran, se emplearán filtros del tipo especificado por el fabricante del horno.

8 CALIBRACIÓN

- 8.1** Los resultados del ensayo pueden ser afectados por el tipo de agregado en la mezcla, debido a que diferentes agregados pierden masa en grados variables durante la prueba de ignición. Los resultados también se pueden ver afectados por la presencia de aditivos o modificadores en la mezcla. Por lo tanto, para optimizar la exactitud de los resultados, se debe establecer un factor de calibración mediante el ensayo de tres muestras de calibración para cada tipo de mezcla. La calibración de debe llevar a cabo sobre una muestra preparada de mezcla asfáltica, la cual también deberá llevar aditivos o modificadores, si las mezclas de ensayo los contienen.
- 8.2** Se obtienen muestras del agregado gradado que se va a emplear en la mezcla en caliente, de acuerdo con lo indicado en el numeral 6.1. La muestra debe tener, aproximadamente, la misma masa y granulometría que las que se van a usar para el ensayo de la mezcla en caliente (numeral 9.1).
- 8.3** Se obtienen muestras del cemento asfáltico que se va a emplear en la mezcla en caliente, de acuerdo con lo indicado en el numeral 6.4.
- 8.4** Se secan las muestras de agregado en el horno convencional a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) hasta masa constante.
- 8.4.1** Si el horno es de convección, se ajusta la temperatura a $540 \pm 5^\circ \text{C}$ para calibración usando mezclas.
- 8.4.2** Si el horno es de radiación directa, se ajusta el perfil de quemado en el modo DEFAULT (por defecto).
- 8.5** Se calientan los agregados, el asfalto y los recipientes y elementos para mezclar, a una temperatura aproximada de 150°C .

- 8.6** Antes de mezclar las muestras de calibración, se requiere una mezcla inicial de “embadurnamiento” (mezcla “butter”), para acondicionar el equipo de mezclado. Se remueve y descarta esta mezcla del recipiente de mezclado mediante raspado, dejando una capa uniforme de residuo de mezcla asfáltica.

Nota 4: Esta mezcla “butter” previene que las mezclas de calibración sean sesgadas por mezcla asfáltica residual retenida en el recipiente de mezclado.

- 8.7** Se preparan tres muestras de calibración con el contenido de cemento asfáltico de diseño (P). Si se van a usar, se incorporarán también los aditivos y/o los modificadores.
- 8.8** Se determina y registra la masa de la(s) canasta(s) portamuestras y del recipiente de contención, con aproximación a 0.1 g.
- 8.9** Se distribuye uniformemente la muestra sobre la canasta (Figura 729 - 1).



Figura 729 - 1. Muestra en la canasta

- 8.10** Se determina y registra la masa de la muestra más la canasta portamuestras (o canastas) y del recipiente de contención, con aproximación a 0.1 g. A partir de este valor se puede determinar la masa inicial de la muestra (M_i).
- 8.11** Se coloca el conjunto en el horno de convección (Figura 729 - 2) y se calienta la muestra de calibración a $540 \pm 5^\circ \text{C}$, o en el horno de radiación directa en el modo DEFAULT, hasta que el cambio de masa durante tres intervalos consecutivos de 1 minuto no exceda de 0.01 % respecto de la masa de inicial de la muestra.
- 8.12** Se determina y registra la masa de la muestra luego de la ignición, ajustada a 0.1 g (M_L). Esta masa se obtiene inmediatamente en registro impreso o en pantalla.

8.13 Se calcula el factor de calibración (F_C), con la ecuación:

$$F_C = \left[\frac{M_I - M_L}{M_I} \times 100 \right] - P \quad [729.1]$$

- Donde: M_I : Masa total de la mezcla de calibración antes de la ignición;
 M_L : Masa total de la mezcla de calibración después de la ignición;
 P : Porcentaje real de cemento asfáltico respecto de la masa total de la muestra.

8.14 Se repiten los pasos 8.8 a 8.13 con otras dos muestras de calibración. El factor de calibración por aplicar será el promedio de los tres factores de calibración obtenidos.

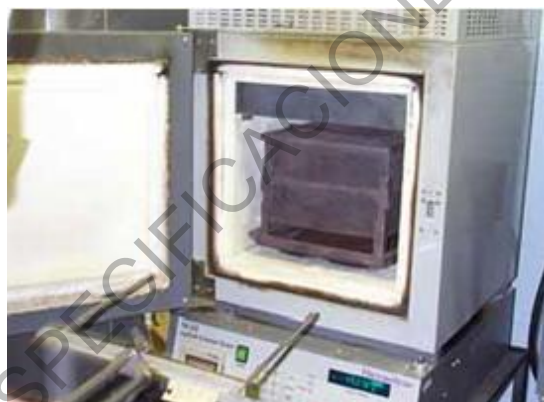


Figura 729 - 2. Canastas y recipiente de contención en el horno

8.15 *Ajustes de la temperatura de calibración:*

8.15.1 Si el factor promedio de calibración excede de 1.0 % para un horno de convección, la temperatura de ensayo se debe reducir a $482 \pm 5^\circ \text{C}$ y se repiten los pasos 8.2 a 8.14. Se deberá usar luego el factor de calibración obtenido a $482 \pm 5^\circ \text{C}$, aún si éste excede de 1.0 %.

8.15.2 En el caso de los hornos de radiación directa, el perfil de quemado DEFAULT se debe usar para la mayor parte de las mezclas. El operador puede seleccionar los perfiles OPTION 1 u OPTION 2 para optimizar el ciclo de quemado. OPTION 1 está diseñado para agregados con factor de corrección mayor de 1.0 %, mientras OPTION 2 está previsto para mezclas que no se queman completamente en el modo DEFAULT.

- 8.16** La temperatura o el perfil de quemado para ensayar mezclas asfálticas en caliente al cual se hace referencia en el numeral 9.3, deben corresponder a la misma temperatura o al mismo perfil de quemado elegidos para ensayar las muestras de calibración.

9 PROCEDIMIENTO

- 9.1** Se obtiene una mezcla asfáltica de acuerdo con la Sección 6. Su masa debe ser, aproximadamente, la misma empleada durante la calibración (numeral 8.2).
- 9.2** Se seca en el horno la muestra de mezcla asfáltica en caliente hasta masa constante a una temperatura de $105 \pm 5^\circ \text{C}$ ($221 \pm 9^\circ \text{F}$) o se determina el contenido de humedad de acuerdo con la norma INV E-755 u otro método aceptable.
- 9.3** Se ajustan la temperatura del horno o el perfil de quemado de acuerdo con la Sección 8. Las muestras se pueden colocar en el horno de ignición a temperaturas significativamente menores, ya que el horno calentará muy rápidamente hasta la temperatura deseada, una vez que la muestra se comience a quemar. Es probable que la temperatura del horno aumente durante la fase de ignición del ensayo.
- 9.4** Se pesa y registra la masa de la canasta portamuestras y del recipiente de contención, con aproximación a 0.1 g.
- 9.5** Se distribuye uniformemente la muestra en la canasta portamuestras (Figura 729 - 1).
- 9.6** Se pesa y se registra la masa total de la muestra, más la(s) canasta(s) y el recipiente de contención, con aproximación a 0.1 g. Se calcula y se registra la masa inicial de la muestra (M_B).
- 9.7** Se coloca el conjunto en el horno (Figura 729 - 2) y se calienta la muestra de ensayo a la temperatura especificada hasta que la diferencia entre medidas consecutivas de pérdidas de masa no exceda de 0.01 % de M_B . El punto debe ser determinado automáticamente por el sistema de almacenamiento de datos del horno.
- 9.8** El sistema de almacenamiento de datos del horno debe medir y registrar automáticamente la masa del agregado de la muestra luego de la ignición (M_A), con aproximación a 0.1 g. La masa se debe obtener inmediatamente

después de terminados los ensayos, sustrayendo de la masa inicial de la muestra (M_B) la pérdida de masa medida por el horno.

- 9.9** El contenido de cemento asfáltico corregido será calculado automáticamente por el sistema de registro de datos del horno, con la expresión:

$$\% \text{ CA} = \left[\frac{M_B - M_A}{M_B} \times 100 \right] - F_C \quad [729.2]$$

Donde: CA: Contenido de cemento asfáltico, medido como porcentaje respecto de la masa de la muestra de mezcla asfáltica en caliente, seca al horno;

M_A : Masa total del agregado remanente luego de la ignición;

M_B : Masa de la muestra de mezcla asfáltica en caliente antes de la ignición;

F_C : Factor de calibración obtenido en la Sección 8 e ingresado en el sistema de almacenamiento de datos del horno.

MÉTODO DE ENSAYO B

10 EQUIPO

- 10.1** En adición a los elementos mencionados en la Sección 4, se requieren los siguientes para el método de ensayo B:

10.1.1 *Horno de ignición* – Un horno de ignición capaz de mantener la temperatura a 580° C y equipado con un ventilador que arrastre aire a través del horno para acelerar el ensayo y reducir el escape de humo hacia el laboratorio. La cámara del horno debe tener capacidad suficiente para alojar muestras de 2500 g o más. El horno deberá disponer de un sistema para reducir las emisiones a un nivel aceptable. Así mismo, debe estar ventilado hacia una campana o hacia el exterior y, cuando está correctamente instalado, no se deben percibir olores que escapen hacia el laboratorio. Su puerta debe estar equipada con un dispositivo que impida abrirla durante la ejecución del ensayo de ignición.

10.1.2 Filtros – Cuando se requieran, se emplearán filtros del tipo especificado por el fabricante del horno.

11 CALIBRACIÓN

- 11.1** Los resultados del ensayo puede ser afectados por el tipo de agregado en la mezcla, debido a que diferentes agregados pierden masa en grados variables durante la prueba de ignición. Los resultados también se pueden ver afectados por la presencia de aditivos o modificadores en la mezcla. Por lo tanto, para optimizar la exactitud de los resultados, se debe establecer un factor de corrección mediante el ensayo de tres muestras de calibración para cada tipo de mezcla. La calibración de debe llevar a cabo sobre una muestra preparada de mezcla asfáltica, la cual también deberá llevar aditivos o modificadores, si las mezclas de ensayo los contienen.
- 11.2** Se obtienen muestras del agregado mezclado que se va a emplear en la mezcla en caliente, de acuerdo con lo indicado en el numeral 6.1. La muestra debe tener, aproximadamente, la misma masa y granulometría que las que se van a usar para ensayar la mezcla en caliente (numeral 12.1)
- 11.3** Se obtienen muestras del cemento asfáltico que se va a emplear en la mezcla en caliente, de acuerdo con lo indicado en el numeral 6.4.
- 11.4** Se secan las muestras de agregado en el horno convencional a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) hasta masa constante.
- 11.5** Se ajusta la temperatura del horno a $540 \pm 5^\circ \text{C}$ para calibración usando mezclas.
- 11.6** Se calientan los agregados, el asfalto y los recipientes y elementos para mezclar, a una temperatura aproximada de 150°C .
- 11.7** Antes de mezclar las muestras de calibración, se requiere una mezcla inicial (mezcla "butter") para acondicionar el equipo de mezclado. Se remueve y descarta esta mezcla del recipiente de mezclado mediante raspado, dejando una capa uniforme de residuo de mezcla asfáltica.

Nota 5: Esta mezcla "butter" previene que las mezclas de calibración sean sesgadas por mezcla asfáltica residual retenida en el recipiente de mezclado.

- 11.8** Se preparan tres muestras de calibración con el contenido de cemento asfáltico de diseño (P). Si se van a usar, se incorporarán también los aditivos y/o los modificadores.
- 11.9** Se determina y registra la masa de la canasta portamuestras (o canastas) y del recipiente de contención, con aproximación a 0.1 g.
- 11.10** Se distribuye uniformemente la muestra sobre la bandeja (Figura 729 - 1).
- 11.11** Se determina y registra la masa de la muestra más la canasta portamuestras (o canastas) y el recipiente de contención, con aproximación a 0.1 g. A partir de este valor se determina la masa inicial de la muestra (M_i).
- 11.12** Se coloca el conjunto en el horno (Figura 729 - 2) y se calienta la muestra de calibración a $540 \pm 5^\circ \text{C}$, durante un período mínimo de 45 minutos.
- 11.13** Se remueve la muestra del horno y se permite su enfriamiento durante 10 minutos o más.
- 11.14** Se determina y registra la masa de la muestra luego de la ignición, ajustada a 0.1 g (M_L).
- 11.15** Se vuelve a colocar la muestra en el horno.
- 11.16** Luego de que el horno alcance la temperatura de referencia, se calienta la muestra de calibración durante 15 minutos.
- 11.17** Se remueve la muestra del horno y se permite su enfriamiento durante 10 minutos o más.
- 11.18** Se determina y registra la masa de la muestra luego de la ignición, ajustada a 0.1 g (M_L).
- 11.19** Se repiten los pasos 11.15 a 11.18 hasta que el cambio en la masa medida no exceda de 0.01 % respecto de la masa de inicial de la muestra (M_i).
- 11.20** Se determina y registra la masa de la muestra luego de la ignición, ajustada a 0.1 g (M_L).
- 11.21** Se calcula el factor de calibración (F_C), con la ecuación:

$$F_C = \left[\frac{M_I - M_L}{M_I} \times 100 \right] - P \quad [729.3]$$

- Donde: M_I : Masa total de la mezcla de calibración antes de la ignición;
- M_L : Masa total de la mezcla de calibración después de la ignición;
- P: Porcentaje real de cemento asfáltico respecto de la masa total de la muestra.

11.22 Se repiten estos pasos con otras dos muestras de calibración. El factor de calibración por aplicar será el promedio de los tres factores de calibración obtenidos.

11.23 La temperatura para ensayar mezclas asfálticas en caliente al cual se hace referencia en el numeral 12.3, debe ser la misma temperatura elegida para ensayar las muestras de calibración.

12 PROCEDIMIENTO

- 12.1** Se obtiene una mezcla asfáltica de acuerdo con la Sección 6. Su masa debe ser, aproximadamente, la misma emplada durante la calibración (numeral 11.2).
- 12.2** Se seca en el horno la muestra de mezcla asfáltica en caliente hasta masa constante a una temperatura de $105 \pm 5^\circ \text{C}$ ($221 \pm 9^\circ \text{F}$) o se determina el contenido de humedad de acuerdo con la norma INV E-755 u otro método aceptable.
- 12.3** Se ajusta la temperatura del horno a $540 \pm 5^\circ \text{C}$. Las muestras se pueden colocar en el horno de ignición a temperaturas significativamente menores, ya que el horno calentará muy rápidamente hasta la temperatura deseada una vez que la muestra comience a quemarse. Es probable que la temperatura del horno aumente durante la fase de ignición del ensayo.
- 12.4** Se pesa y registra la masa de la canasta portamuestras y del recipiente de contención, con aproximación a 0.1 g.
- 12.5** Se distribuye uniformemente la muestra en la canasta portamuestras (Figura 729 - 1).

- 12.6** Se pesa y se registra la masa total de la muestra, canasta(s), bandeja de retención, y protecciones de las canastas, con aproximación a 0.1 g. Se calcula y se registra la masa inicial de la muestra (M_B).
- 12.7** Se coloca el conjunto en el horno (Figura 729 - 2) y se calienta la muestra de ensayo a $540 \pm 5^\circ \text{C}$ (Figura 729 - 2), durante un período mínimo de 45 minutos.
- 12.8** Se remueve la muestra del horno y se permite su enfriamiento durante 10 minutos o más.
- 12.9** Se determina y registra la masa de la muestra luego de la ignición, ajustada a 0.1 g (M_A).
- 12.10** Se vuelve a colocar la muestra en el horno.
- 12.11** Luego de que el horno alcance la temperatura de referencia, se calienta la muestra de calibración durante 15 minutos.
- 12.12** Se remueve la muestra del horno y se permite su enfriamiento durante 10 minutos o más.
- 12.13** Se determina y registra la masa de la muestra luego de la ignición, ajustada a 0.1 g (M_A).
- 12.14** Se repiten los pasos 12.10 a 12.13 hasta que el cambio en la masa medida no exceda de 0.01 % respecto de la masa de inicial de la muestra (M_B).
- 12.15** Se determina y registra la masa de la muestra luego de la ignición, ajustada a 0.1 g (M_A).

Nota 6: Los pasos 12.10 a 12.15 pueden resultar innecesarios si durante la calibración de la mezcla se demuestra que la masa constante se alcanza calentando la muestra en el horno una sola vez. El tipo y la masa de la muestra de ensayo deben ser razonablemente parecidos a los de la muestra de calibración.

- 12.16** El contenido de cemento asfáltico corregido se calcula con la expresión:

$$\% \text{ CA} = \left[\frac{M_B - M_A}{M_B} \times 100 \right] - F_C \quad [729.4]$$

Donde: CA: Contenido de cemento asfáltico, medido como porcentaje respecto de la masa de la muestra de mezcla asfáltica en caliente seca al horno;

- M_A : Masa total del agregado remanente luego de la ignición;
- M_B : Masa de la muestra de mezcla asfáltica en caliente antes de la ignición;
- F_c : Factor de calibración obtenido en la Sección 11.

13 INFORME

13.1 Se debe presentar la siguiente información:

- 13.1.1** Método de ensayo utilizado (A o B).
- 13.1.2** Identificación del agregado y del tipo de mezcla.
- 13.1.3** Datos de calibración.
- 13.1.4** Masa de la muestra asfáltica antes y después de la ignición.
- 13.1.5** Contenido corregido de ligante asfáltico (redondeado a 0.01 %).
- 13.1.6** Granulometría del agregado (si se determinó).

14 PRECISIÓN Y SESGO

14.1 *Precisión:*

- 14.1.1** *Repetibilidad* – La desviación estándar de un solo operador determinando el contenido de asfalto por este método es 0.04 %; por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente realizados por el mismo operador sobre porciones de una misma muestra no deben diferir en más de 0.11 %.
- 14.1.2** *Reproducibilidad* – La desviación estándar entre varios laboratorios determinando el contenido de asfalto sobre porciones iguales de una misma muestra fue 0.06 %; por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente realizados en diferentes laboratorios sobre porciones de una misma muestra no deben diferir en más de 0.17 %.

Nota 7: Las declaraciones de precisión que se presentan en el numeral 14.1 se basan en ensayos realizados por cuadruplicado con cuatro tipos agregados, con la participación de 12 laboratorios. Los cuatros agregados presentaban bajos valores de absorción (su absorción de agua osciló entre 0.5 y 0.8 %).

Nota 8: Las declaraciones de precisión son aplicables al método A, con mezclas elaboradas en el laboratorio (no se emplearon mezclas elaboradas en planta). La precisión del método B no se ha determinado.

14.2 Sesgo – El sesgo para este método de ensayo no ha sido determinado.

15 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 6307 – 10

ANEXO A (Informativo)

EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE CALIBRACIÓN

A.1 Datos:

A.1.1 Porcentaje de asfalto con el cual se elaboró la muestra de calibración (P) = 5.00 %.

A.1.2 Masa original de la muestra de calibración (M_i) = 2506.9 g.

A.1.3 Masa de la muestra de calibración luego de ser quemada en el horno de ignición (M_L) = 2372.0 g.

A.2 Cálculos:

A.2.1 Factor de calibración:

$$F_C = \left[\frac{M_i - M_L}{M_i} \times 100 \right] - P = \left[\frac{2506.9 - 2372.0}{2506.9} \times 100 \right] - 5.00 = 0.38$$

A.2.2 Este factor se promedia con los obtenidos con las otras dos muestras de calibración.

ANEXO B (Informativo)

EJEMPLO DE DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ASFALTO DE UNA MUESTRA DE ENSAYO

B.1 Datos:

- B.1.1** Factor de calibración promedio = 0.33
- B.1.2** Masa inicial de la muestra, la canasta y el recipiente de contención = 5290.7 g
- B.1.3** Masa de la canasta y el recipiente de contención = 2930.1 g
- B.1.4** Masa de la muestra, la canasta y el recipiente de contención luego de la primera ignición = 5150.7 g
- B.1.5** Masa de la muestra, la canasta y el recipiente de contención luego de una ignición adicional de 15 minutos = 5150.5 g

B.2 Cálculos:

- B.2.1** Masa inicial de la muestra (M_B) = 5290.7 – 2930.1 = 2360.6 g
- B.2.2** Masa de la muestra después de la primera ignición = 5150.7 – 2930.1 = 2220.6 g
- B.2.3** Masa de la muestra después de la ignición adicional = 5150.5 – 2930.1 = 2220.4 g
- B.2.4** Cambio de masa de la muestra entre la primera ignición y la ignición adicional:

$$\frac{2220.6 - 2220.4}{2220.6} \times 100 = 0.009 \%$$

- B.2.5** Como la diferencia es menor de 0.01 %, la masa final de la muestra (M_A) será 2220.4 g

- B.2.6** Determinación del contenido de asfalto de la muestra:

$$\% \text{ CA} = \left[\frac{M_B - M_A}{M_B} \times 100 \right] - F_C = \left[\frac{2360.6 - 2220.4}{2360.6} \times 100 \right] - 0.33 = 5.61 \%$$

MUESTREO ALEATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

INV E – 730 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma presenta un procedimiento para seleccionar los sitios (o instantes) de muestreo y de ensayo, de acuerdo con técnicas aceptadas de muestreo aleatorio. Se busca que todos los sitios de ensayo y de muestreo se seleccionen de una manera imparcial, basada únicamente en el azar.
- 1.2** La elección de los sitios de muestreo y ensayo es tan importante como el ensayo mismo. Para que los resultados de los ensayos sean significativos, es necesario que los sitios de muestreo sean seleccionados aleatoriamente, generalmente con el uso de una tabla de números aleatorios, como la incluida en esta norma. Otras técnicas que lleven a seleccionar los sitios de forma aleatoria también son aceptables.
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E-730-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Muestra representativa* – (1) una muestra aleatoria, o (2) una muestra sin sesgo.
- 2.2** *Muestra sin sesgo* – Muestra obtenida de un lote de material, de manera que todas las partes del lote tengan la misma oportunidad de quedar incluidas dentro de la muestra.
- 2.3** *Muestra aleatoria* – Muestra obtenida de un lote de material, de manera que todas las partes del lote tengan una oportunidad conocida de quedar incluidas dentro de la muestra.

Nota 1: Un ejemplo de muestra aleatoria es el caso en que la especificación de construcción exige que la muestra se tome a no menos de 0.3 m (1 pie) del borde de la calzada. En este caso, la probabilidad de incluir una muestra dentro de los primeros 0.3 m (1 pie) es cero.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Esta norma es útil para determinar la ubicación y/o instante de la toma de una muestra con el fin de minimizar cualquier sesgo involuntario por parte de la persona que la toma.
- 3.2** Los procesos de selección y los ejemplos que se presentan en esta norma brindan una aproximación para garantizar que las muestras se toman de manera aleatoria.
- 3.3** El mejor y más práctico método para asegurar que las muestras de los materiales de construcción incluyen todo el rango del proceso constructivo, es incluyendo un procedimiento de muestreo estratificado dentro del proceso de muestreo. Para implementarlo, se debe dividir el lote a muestrear en un número deseado de sub-lotes, muestreando aleatoriamente en cada sub-lote de acuerdo con las indicaciones de esta norma.

Nota 2: Si los sub-lotes son de tamaño desigual, posiblemente sea necesario ponderar las muestras, con el fin de mantener un proceso de muestreo aceptable y justificable.

4 INSTRUCCIONES PARA EL EMPLEO DE LA TABLA DE NÚMEROS ALEATORIOS DE CUATRO DÍGITOS

- 4.1** La Tabla 730 - 1 contiene 10 000 números, desde 0.0001 hasta 1.0000. Cada número aparece solamente una vez en la tabla, la cual está compuesta por 500 filas y 20 columnas.
- 4.2** El uso de la tabla es más efectivo cuando la fila y la columna también se eligen al azar, y el valor obtenido a partir de ellas se usa para la selección de la muestra.
- 4.3** Existen muchos métodos para la selección aleatoria de la fila y de la columna como, por ejemplo, la función RANDOM de las calculadoras de bolsillo.
- 4.3.1** Por ejemplo, supóngase que para elegir la fila, la función RANDOM generó el número 0.2202. Como la tabla tiene 500 filas, la que se debe elegir es la $500 \times 0.2202 = 110.1$ o sea la 110. De la misma manera si, por ejemplo, la función RANDOM generó el número 0.7883 para la columna, la que se deberá elegir es la $20 \times 0.7883 = 15.8$ o sea la 16.

4.3.2 También se pueden obtener números aleatorios empleando el programa Microsoft Excel, ubicándose en una celda abierta y marcando y aceptando la función ALEATORIO.

5 PROCEDIMIENTOS DE SELECCIÓN

5.1 *Muestreo de una banda transportadora o de un flujo de material:*

5.1.1 Se determina el intervalo de tiempo, t , en minutos, del lote que se desea muestrear y se elige el número de muestras, n , que se deberán tomar de dicho lote. Siguiendo las instrucciones para el manejo de la Tabla 730 - 1, se escogen “ n ” números para determinar los instantes “ t ” para la toma de las muestras.

5.1.2 *Ejemplo:*

5.1.2.1 Se ha definido que el lote a ser muestreado de un flujo de agregados en un punto de transferencia, es la producción correspondiente a un período de 480 minutos y que el número de muestras por tomar es 5. Entonces, se buscan 5 números aleatorios en la Tabla 730 - 1, siguiendo las instrucciones de la Sección 4. Sean ellos 0.0918, 0.4205, 0.2171, 0.3702 y 0.0061. Se usan los primeros 3 dígitos de la parte fraccionaria de cada número para determinar los instantes de la toma de las muestras. Si alguno de ellos es superior a 480, se descarta y se busca un nuevo número en la tabla.

5.1.2.2 De acuerdo con lo anterior, las muestras se deberán tomar a los siguientes tiempos de iniciada la producción (en orden cronológico): 6, 91, 217, 370 y 420 minutos.

Nota 3: Si el usuario lo desea, puede escoger un tiempo muerto inicial para permitir que la planta logre su funcionamiento continuo. En este caso, si el número escogido al azar es menor que dicho período, se descarta y se busca uno nuevo.

Nota 4: Aunque en el numeral 5.1.2.2 se dan los minutos precisos para la toma de las muestras, en la práctica el usuario puede, si lo desea, redondear los tiempos, por ejemplo a los 5 minutos más cercanos.

5.2 *Muestreo de un cordón de material:*

5.2.1 Se determina la longitud total del cordón que representa el lote, en metros, y se elige el número de muestras, n , por tomar de él. Siguiendo las instrucciones para el manejo de la Tabla 730 - 1, se escogen “ n ” números para determinar la distancia, medida desde el inicio del cordón, a la cual se deberán tomar las muestras.

5.2.2 *Ejemplo:*

5.2.2.1 En un cordón de 900 m de agregado se desea tomar 3 muestras. Entonces, se buscan 3 números aleatorios en la Tabla 730 - 1, siguiendo las instrucciones de la Sección 4. Sean ellos 0.2758, 0.0961 y 0.8183.

5.2.2.2 Se multiplican estos números por la longitud total del cordón (900 m) y se obtiene la distancia contada a partir de su inicio, en la cual se deberán tomar las muestras, redondeando al metro. Los valores obtenidos son los siguientes (ordenados en secuencia): $0.0961 \times 900 = 86$ m, $0.2758 \times 900 = 248$ m, y $0.8183 \times 900 = 736$ m.

5.3 *Muestreo de una capa de pavimento in-situ:*

5.3.1 Se determina la longitud total de la capa de pavimento que representa el lote, en metros, así como el ancho de ella, también en metros, y se elige el número (n) de muestras requeridas. Siguiendo las instrucciones para el manejo de la Tabla 730 - 1, se escogen “ m ” números correspondientes a las distancias a lo largo del lote y “ w ” números para la determinación del punto de muestreo a lo ancho.

5.3.2 *Ejemplo:*

5.3.2.1 Se ha definido que un lote corresponde a 1.6 km de capa asfáltica, colocada en un ancho de 3.60 m, y se desea tomar dos muestras por lote. Entonces, se buscan 2 números aleatorios en la Tabla 730 - 1, siguiendo las instrucciones de la Sección 4 y se multiplican por 1600 m. Si, por ejemplo, los números obtenidos en la tabla son 0.1970 y 0.6614, las muestras se deberán tomar a las siguientes distancias, medidas a partir de la abscisa de inicio del lote: $0.1970 \times 1600 = 315$ m, y $0.6614 \times 1600 = 1058$ m (redondeadas a 1 m).

5.3.2.2 Se determina la distancia desde el borde derecho del pavimento (mirado en el sentido de las abscisas) a la cual se deben tomar la 2 muestras, obteniendo dos números aleatorios adicionales en la Tabla 730 - 1, los cuales se deben multiplicar por el ancho de la capa. Si, por ejemplo, estos números fueron 0.8437 y 0.3018, esas distancias serán $0.8437 \times 3.60 = 3.0$ m y $0.3018 \times 3.60 = 1.1$ m (valores redondeados al decímetro).

5.3.2.3 En consecuencia, la primera muestra se deberá tomar a 315 m del inicio y a 3.0 m del borde derecho, y la segunda a 1058 m del inicio y a 1.1 m del mismo borde.

5.4 Muestreo de camiones cargados:

5.4.1 Se determina el número de camiones cargados que representan un lote de material y se establece el número de muestras (n) necesarias de cada lote. Para determinar cuántos camiones se deben muestrear, se hallan “n” números aleatorios en la Tabla 730 - 1 y se multiplican por el número de camiones del lote. Para determinar en qué cuadrante del platón del camión se toma la muestra, se escogen otros “n” números de la Tabla 730 - 1 y se multiplica cada uno de ellos por 4. El cuadrante se deberá elegir de acuerdo con el siguiente criterio:

NÚMERO ALEATORIO CALCULADO, N	CUADRANTE (VER Figura 730 - 1)
$N \leq 1.0$	1
$1.0 < N \leq 2.0$	2
$2.0 < N \leq 3.0$	3
$3.0 < N \leq 4.0$	4

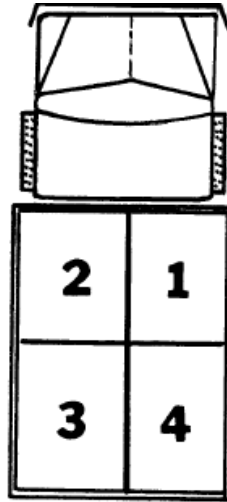


Figura 730 - 1. Cuadrantes para la toma aleatoria de muestras en un camión cargado

5.4.2 Ejemplo:

5.4.2.1 Se considera que 20 camiones constituyen un lote y se requiere un total de tres muestras. Aplicando las instrucciones de la Sección 4, se hallaron los siguientes números en la Tabla 730 - 1: 0.1564, 0.6730 y 0.8179.

5.4.2.2 De acuerdo con lo anterior, los camiones que deberán ser muestreados serán los identificados como 3 (0.1564×20), 13 (0.6730×20) y 16 (0.8179×20).

5.4.2.3 Para determinar el cuadrante en el cual se debe realizar el muestreo en cada camión, se buscan otros 3 números en la Tabla 730 - 1. Sean ellos 0.0660, 0.9003 y 0.3864. Multiplicando estos valores por 4, se obtienen los siguientes resultados:

Para el camión 3	$N = 0.0660 \times 4 = 0.264$	Cuadrante 1
Para el camión 13	$N = 0.9003 \times 4 = 3.601$	Cuadrante 4
Para el camión 16	$N = 0.3864 \times 4 = 1.546$	Cuadrante 2

6 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 3665 – 07

Tabla 730 – 1 (continuación). Tabla de números aleatorios

Fila	Columna																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
201	0.9119	0.4293	0.6792	0.2999	0.3584	0.7300	0.5458	0.0271	0.5643	0.1170	0.6342	0.8512	0.9305	0.5738	0.2850	0.2802	0.8916	0.0807	0.5119	0.3183
202	0.2886	0.7696	0.5313	0.2331	0.3708	0.4760	0.5041	0.8566	0.4182	0.9270	0.6988	0.1638	0.0307	0.6336	0.5722	0.7492	0.6437	0.4891	0.8453	0.5554
203	0.7437	0.6631	0.7216	0.7706	0.4732	0.0914	0.4113	0.3539	0.7764	0.2242	0.9991	0.9499	0.1112	0.8568	0.9593	0.2135	0.8654	0.9850	0.6573	0.8358
204	0.0032	0.0018	0.4187	0.5930	0.1304	0.4653	0.8710	0.5745	0.9989	0.2140	0.3529	0.3510	0.2104	0.8386	0.4386	0.6145	0.6073	0.1434	0.0900	0.2295
205	0.5283	0.2365	0.6672	0.8411	0.6681	0.5656	0.1303	0.8724	0.0311	0.2060	0.4301	0.7961	0.6952	0.2733	0.3997	0.8122	0.2359	0.2097	0.5414	0.1607
206	0.8930	0.4504	0.8226	0.3714	0.0894	0.2915	0.5226	0.8040	0.4948	0.6242	0.4142	0.9346	0.7198	0.1589	0.2660	0.3335	0.8978	0.7984	0.0887	0.1723
207	0.5594	0.6935	0.1674	0.5683	0.4355	0.8670	0.1758	0.1223	0.6049	0.2426	0.6579	0.7318	0.5344	0.3064	0.6115	0.2842	0.2766	0.8528	0.7808	0.3587
208	0.2248	0.1139	0.7172	0.6314	0.4525	0.4535	0.6747	0.2498	0.3259	0.8015	0.7436	0.3190	0.9100	0.6376	0.8454	0.0936	0.8507	0.8677	0.0429	0.1980
209	0.9949	0.2098	0.4738	0.2294	0.9879	0.1823	0.5198	0.0129	0.4565	0.4282	0.3797	0.6141	0.0379	0.6257	0.7627	0.5814	0.0249	0.0317	0.6138	0.4134
210	0.5682	0.3115	0.9316	0.7762	0.6105	0.3470	0.7159	0.7301	0.6788	0.1729	0.1365	0.1768	0.6316	0.0092	0.9479	0.3134	0.8251	0.2547	0.7127	0.0523
211	0.5887	0.3992	0.6635	0.0415	0.1641	0.0985	0.0933	0.0286	0.4209	0.8657	0.3284	0.0536	0.3567	0.0990	0.1804	0.9246	0.3343	0.7988	0.6029	0.9768
212	0.4445	0.2958	0.0974	0.0404	0.8182	0.6838	0.3251	0.0977	0.6637	0.9146	0.8125	0.8149	0.8106	0.9717	0.1696	0.7907	0.1534	0.6497	0.4082	0.6651
213	0.5642	0.3352	0.2595	0.2898	0.7572	0.8682	0.4753	0.4156	0.0408	0.6807	0.5273	0.4217	0.0437	0.4111	0.5035	0.0786	0.9264	0.5591	0.9230	0.6574
214	0.3075	0.8731	0.7732	0.8500	0.4421	0.1333	0.0201	0.2810	0.9335	0.0284	0.4392	0.3619	0.1531	0.5219	0.3291	0.5126	0.6967	0.7640	0.1746	0.4306
215	0.0028	0.6090	0.4556	0.3772	0.2379	0.6326	0.2376	0.9590	0.9691	0.9518	0.7622	0.6784	0.0817	0.3537	0.1347	0.5984	0.9437	0.8923	0.5331	0.2101
216	0.5924	0.2175	0.5214	0.7160	0.7360	0.1713	0.3626	0.8297	0.9136	0.8154	0.8963	0.9353	0.5183	0.9111	0.8192	0.6246	0.2291	0.1218	0.1419	0.4957
217	0.2790	0.6268	0.0393	0.4783	0.9964	0.6276	0.5195	0.4877	0.3549	0.3585	0.0901	0.1457	0.0534	0.9092	0.2662	0.3896	0.4574	0.1775	0.1258	0.9897
218	0.5917	0.4511	0.9900	0.7482	0.9022	0.8914	0.4021	0.7704	0.3703	0.7249	0.8809	0.9072	0.9626	0.7291	0.0893	0.1692	0.4643	0.6265	0.8576	0.2421
219	0.3429	0.0889	0.5088	0.6207	0.4056	0.9405	0.4324	0.5765	0.2508	0.5497	0.3147	0.9456	0.5543	0.8539	0.3845	0.9333	0.4685	0.0002	0.9909	0.3639
220	0.2424	0.5420	0.1448	0.8705	0.4834	0.9115	0.4157	0.5352	0.5655	0.7898	0.7521	0.3345	0.0617	0.4328	0.4776	0.3604	0.8785	0.0859	0.2461	0.4452
221	0.5297	0.3650	0.4777	0.8553	0.2073	0.4883	0.0512	0.5047	0.0683	0.4121	0.2161	0.8482	0.1939	0.0951	0.7441	0.0703	0.1305	0.2414	0.8669	0.0461
222	0.4013	0.7179	0.8521	0.0228	0.7755	0.2714	0.4344	0.1070	0.4170	0.5490	0.0660	0.9595	0.0342	0.4429	0.1861	0.2936	0.7708	0.2068	0.1198	0.4745
223	0.1553	0.1159	0.4986	0.2677	0.0678	0.2301	0.5495	0.9596	0.6553	0.3199	0.1163	0.4222	0.8524	0.9205	0.8822	0.5441	0.8502	0.1117	0.0293	0.0315
224	0.3078	0.9910	0.2030	0.5335	0.4924	0.7833	0.0969	0.7997	0.6435	0.4640	0.2775	0.0035	0.6530	0.0157	0.0765	0.0040	0.5954	0.1407	0.5270	0.8242
225	0.9996	0.2959	0.0631	0.8892	0.5064	0.6841	0.4989	0.9349	0.7133	0.3340	0.1863	0.7930	0.7765	0.0484	0.3526	0.3285	0.8031	0.1505	0.8667	0.9414
226	0.1836	0.7493	0.5966	0.1287	0.3033	0.8337	0.9998	0.3548	0.3833	0.3920	0.0199	0.5243	0.9709	0.5613	0.5844	0.7513	0.0161	0.3740	0.3038	0.1345
227	0.2837	0.4502	0.1958	0.9684	0.8585	0.3583	0.4769	0.3690	0.5593	0.0544	0.3148	0.7479	0.7035	0.9394	0.2232	0.2695	0.6892	0.0746	0.6243	0.1630
228	0.2273	0.5209	0.0375	0.8623	0.2711	0.0906	0.7005	0.7594	0.6443	0.9427	0.1983	0.2350	0.1088	0.9432	0.4184	0.7689	0.9796	0.7329	0.9224	0.3178
229	0.1916	0.8788	0.1773	0.9574	0.0664	0.4523	0.2712	0.6687	0.7652	0.1549	0.8581	0.6618	0.1437	0.3421	0.1879	0.7683	0.5819	0.8282	0.2224	0.9339
230	0.0401	0.2169	0.6131	0.1757	0.8051	0.6218	0.2646	0.7483	0.7595	0.9764	0.4337	0.1833	0.5550	0.0770	0.8605	0.5075	0.6900	0.5354	0.3663	0.4360
231	0.5369	0.9410	0.3330	0.5077	0.8700	0.5616	0.9354	0.2258	0.5854	0.1841	0.5640	0.0926	0.5002	0.6462	0.3436	0.9665	0.3235	0.9597	0.8054	0.5481
232	0.0443	0.6510	0.6571	0.7562	0.4710	0.5247	0.2035	0.5085	0.9604	0.8799	0.2674	0.3334	0.7263	0.5557	0.5617	0.8438	0.8696	0.3129	0.8878	0.5666
233	0.6335	0.8197	0.9865	0.8968	0.1315	0.8092	0.4978	0.0956	0.1576	0.0732	0.0170	0.7283	0.8214	0.0594	0.1273	0.6628	0.5831	0.4172	0.0061	0.9636
234	0.4470	0.4590	0.8709	0.0857	0.3297	0.2904	0.8074	0.1908	0.0554	0.6282	0.0816	0.0151	0.8613	0.7481	0.9323	0.8334	0.4206	0.8879	0.5186	0.1743
235	0.3071	0.0126	0.3778	0.6706	0.7792	0.4572	0.0232	0.9369	0.2563	0.0947	0.7046	0.1656	0.2553	0.8678	0.3793	0.5824	0.1525	0.7399	0.9197	0.8850
236	0.0070	0.6099	0.7599	0.9325	0.6238	0.3884	0.1055	0.8733	0.5949	0.3858	0.7206	0.1541	0.3413	0.7507	0.2702	0.9653	0.3252	0.5595	0.9367	0.5783
237	0.5104	0.7074	0.9202	0.0110	0.0783	0.6684	0.8994	0.8793	0.6693	0.9431	0.6036	0.5052	0.0396	0.2198	0.2077	0.2126	0.1763	0.7621	0.8264	0.8543
238	0.4297	0.8364	0.1359	0.3737	0.7635	0.8376	0.1643	0.0949	0.8861	0.6861	0.0426	0.2398	0.0609	0.5953	0.4850	0.1241	0.0168	0.6390	0.0566	0.5411
239	0.3479	0.0828	0.0158	0.8719	0.8286	0.7078	0.2651	0.6863	0.4076	0.5730	0.4823	0.9642	0.1194	0.4721	0.8316	0.7893	0.7240	0.9398	0.3748	0.5956
240	0.4189	0.2032	0.5538	0.1710	0.2268	0.1360	0.5830	0.9950	0.3937	0.5069	0.0879	0.5855	0.6522	0.7353	0.1090	0.9733	0.8049	0.2435	0.1636	0.5357
241	0.7693	0.3388	0.3505	0.1741	0.8634	0.1381	0.0656	0.9125	0.0123	0.2597	0.4435	0.8279	0.5539	0.6389	0.8912	0.5006	0.4901	0.2137	0.1965	0.8513
242	0.8045	0.8919	0.5834	0.7698	0.2997	0.5165	0.2394	0.0399	0.1925	0.2118	0.4179	0.7215	0.3100	0.6611	0.1214	0.9155	0.0611	0.0128	0.4681	0.1969
243	0.9528	0.5365	0.6480	0.3770	0.3263	0.7164	0.4542	0.0569	0.2050	0.4115	0.7670	0.1250	0.6151	0.7920	0.0221	0.2614	0.9861	0.2495	0.6886	0.4200
244	0.3641	0.7376	0.1132	0.6771	0.7339	0.3034	0.5548	0.5491	0.1805	0.5978	0.5025	0.1820	0.0127	0.5063	0.0882	0.4830	0.0545	0.5867	0.3254	0.9725
245	0.8464	0.5361	0.7995	0.7289	0.9953	0.8008	0.7952	0.7226	0.7522	0.5419	0.4674	0.0819	0.0139	0.2679	0.9728	0.8671	0.8929	0.0189	0.0642	0.2605
246	0.9199	0.3831	0.2183	0.9516	0.0670	0.1599	0.9592	0.0469	0.3146	0.8932	0.0220	0.4067	0.7916	0.2932	0.5456	0.4325	0.7260	0.5347	0.4296	0.1162
247	0.5674	0.5596	0.8530	0.3524	0.5422	0.3861	0.1404	0.0813	0.8034	0.7269	0.3399	0.6659	0.5450	0.9841	0.2531	0.3634	0.9734	0.5360	0.5026	0.5913
248	0.8042	0.7182	0.2061	0.2372	0.3095	0.2283	0.8300	0.8918	0.8875	0.0004	0.6588	0.0280	0.8312	0.2749	0.1054	0.0230	0.8332	0.1479	0.4848	0.9847
249	0.9419	0.8340	0.9622	0.4750	0.1538	0.2902	0.0309	0.1855	0.4868	0.9242	0.9770	0.0181	0.3962	0.0835	0.0742	0.4741	0.5535	0.3885	0.7566	0.4499
250	0.4164	0.0970	0.6810	0.7758	0.9581	0.6533	0.0923	0.4731	0.9805	0.0939	0.3475	0.4600	0.2084	0.5906	0.9112	0.3956	0.9165	0.4077	0.5785	0.9687

Tabla 730 – 1 (continuación). Tabla de números aleatorios

Fila	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
251	0.2841	0.3120	0.0854	0.1506	0.4784	0.3699	0.4638	0.1353	0.7299	0.4555	0.6286	0.5464	0.2719	0.9772	0.4992	0.8695	0.2644	0.0633	0.2503	0.1489
252	0.0981	0.8742	0.5969	0.2216	0.1530	0.9150	0.8144	0.8680	0.8413	0.6928	0.0350	0.8006	0.9608	0.4663	0.0155	0.7750	0.9036	0.6426	0.0463	0.4712
253	0.4844	0.8794	0.3493	0.1537	0.2884	0.5267	0.6329	0.1497	0.4626	0.2814	0.9746	0.7323	0.3985	0.3817	0.8984	0.5628	0.8469	0.6448	0.5806	0.3635
254	0.4974	0.7582	0.6010	0.3418	0.6516	0.9020	0.4318	0.6354	0.7840	0.7825	0.5868	0.3082	0.9610	0.8802	0.1784	0.1927	0.8529	0.5699	0.7577	0.0188
255	0.6013	0.5687	0.7223	0.3812	0.5242	0.9840	0.7722	0.6365	0.3266	0.0892	0.6245	0.6956	0.1358	0.6898	0.5927	0.4991	0.5767	0.9859	0.4813	0.6868
256	0.3504	0.2464	0.0474	0.7328	0.2113	0.2284	0.9306	0.1897	0.2441	0.7543	0.5645	0.3673	0.2883	0.6540	0.4825	0.6327	0.7150	0.8516	0.3818	0.6661
257	0.9255	0.2686	0.6605	0.4538	0.9611	0.0450	0.8801	0.6827	0.2729	0.7228	0.9674	0.3765	0.4512	0.8620	0.6933	0.3657	0.9294	0.4049	0.8967	0.5608
258	0.1329	0.2652	0.2509	0.0735	0.1243	0.4359	0.0347	0.3862	0.5467	0.8345	0.2051	0.7368	0.6018	0.3742	0.7875	0.4761	0.9009	0.7176	0.3308	0.8875
259	0.8915	0.3757	0.7605	0.9699	0.7929	0.5124	0.5511	0.2818	0.0657	0.3888	0.3954	0.7931	0.6438	0.1507	0.3996	0.1587	0.7624	0.8434	0.1443	0.7034
260	0.2869	0.2829	0.4240	0.3080	0.3860	0.4987	0.0591	0.1045	0.3599	0.2888	0.4835	0.8786	0.2189	0.1668	0.6987	0.0471	0.4810	0.8826	0.2587	0.3466
261	0.2278	0.2868	0.9106	0.7752	0.5712	0.5504	0.8186	0.5244	0.3117	0.3226	0.9634	0.6922	0.9586	0.5028	0.2942	0.4802	0.1120	0.3159	0.0775	0.6742
262	0.6347	0.6278	0.7965	0.8542	0.6612	0.4399	0.6163	0.0156	0.2979	0.2989	0.8860	0.2789	0.0778	0.6489	0.7671	0.9537	0.8135	0.3152	0.9627	0.3469
263	0.4596	0.7099	0.3603	0.0868	0.0413	0.1141	0.3417	0.1426	0.5031	0.2982	0.7001	0.0036	0.0001	0.4251	0.9759	0.7978	0.4886	0.7803	0.4261	0.5534
264	0.2218	0.1111	0.8011	0.3113	0.0690	0.2909	0.3220	0.3554	0.1942	0.3288	0.8009	0.5274	0.8258	0.7637	0.3694	0.8268	0.8676	0.2225	0.6004	0.7585
265	0.8995	0.3112	0.4516	0.7854	0.7827	0.2066	0.0737	0.5468	0.7559	0.7602	0.6896	0.0913	0.4366	0.9498	0.3682	0.9917	0.1997	0.5835	0.9875	0.1239
266	0.8444	0.4995	0.5170	0.1324	0.6529	0.3813	0.6366	0.7237	0.2892	0.5345	0.5974	0.5287	0.6356	0.8496	0.7744	0.0490	0.1442	0.0439	0.2063	0.7586
267	0.9778	0.2380	0.4440	0.5312	0.2006	0.9188	0.8950	0.5168	0.8157	0.9831	0.9132	0.5492	0.5208	0.1015	0.0332	0.6350	0.6942	0.6015	0.0191	0.5567
268	0.1772	0.2991	0.2233	0.4305	0.0935	0.4740	0.9162	0.1524	0.5074	0.6185	0.2420	0.7221	0.0784	0.3275	0.2753	0.3721	0.8684	0.1500	0.8441	0.5477
269	0.0177	0.7321	0.5181	0.2723	0.2838	0.0917	0.1017	0.8269	0.0412	0.5719	0.6645	0.9934	0.6569	0.6829	0.9345	0.3847	0.4645	0.7343	0.2120	0.1188
270	0.6362	0.1496	0.4002	0.4630	0.2318	0.8291	0.8849	0.7729	0.0308	0.2499	0.5684	0.7537	0.7089	0.8023	0.9584	0.7430	0.2647	0.3406	0.9504	0.5173
271	0.6348	0.9698	0.2521	0.4378	0.2552	0.2573	0.7170	0.3804	0.1244	0.6760	0.9963	0.7530	0.2090	0.0160	0.3953	0.2370	0.6759	0.9945	0.0942	0.2740
272	0.0888	0.3010	0.0695	0.4567	0.8452	0.4580	0.0662	0.2196	0.9638	0.1242	0.1152	0.4563	0.6676	0.5515	0.6095	0.0442	0.7087	0.6648	0.1857	0.5524
273	0.8812	0.2882	0.4083	0.4432	0.3968	0.4071	0.0672	0.5573	0.6225	0.4005	0.1512	0.6789	0.8244	0.5582	0.6968	0.1484	0.7355	0.4341	0.2383	0.4941
274	0.6358	0.9175	0.5307	0.5239	0.1414	0.5871	0.4817	0.3277	0.2824	0.7884	0.6505	0.2204	0.1869	0.7098	0.4039	0.6977	0.2973	0.2699	0.9402	0.3638
275	0.4983	0.4207	0.6302	0.3729	0.4505	0.4149	0.3191	0.7308	0.4300	0.2147	0.7078	0.3318	0.2853	0.1431	0.4036	0.3535	0.6201	0.2309	0.8883	0.7468
276	0.1290	0.8779	0.8964	0.4143	0.5453	0.9726	0.0364	0.7336	0.3236	0.7218	0.0077	0.0979	0.0331	0.3946	0.9145	0.9580	0.9864	0.6609	0.8448	0.6842
277	0.5301	0.0337	0.7398	0.3700	0.3948	0.6539	0.6367	0.0626	0.3131	0.8172	0.7357	0.7855	0.5212	0.3573	0.4332	0.3098	0.3003	0.2109	0.4314	0.9435
278	0.0707	0.8732	0.1905	0.6860	0.1871	0.2539	0.3256	0.2807	0.3812	0.4442	0.1975	0.0093	0.6959	0.6085	0.2182	0.4620	0.6856	0.4711	0.6748	0.9923
279	0.8662	0.0940	0.7282	0.7125	0.7506	0.7331	0.5318	0.3815	0.3311	0.8397	0.6317	0.3182	0.9114	0.0003	0.7821	0.5197	0.8746	0.6493	0.3911	0.3530
280	0.8846	0.4427	0.3580	0.2963	0.8774	0.8907	0.4899	0.9108	0.3596	0.4955	0.7730	0.4704	0.0419	0.8389	0.0600	0.9029	0.1707	0.8768	0.5423	0.1774
281	0.8761	0.4897	0.8326	0.0551	0.8578	0.0402	0.8800	0.5054	0.1898	0.8508	0.8839	0.6782	0.2967	0.1881	0.2008	0.7032	0.3488	0.0532	0.9514	0.2392
282	0.3547	0.0636	0.4571	0.8642	0.2202	0.7485	0.5278	0.1255	0.5092	0.1129	0.9842	0.4126	0.0957	0.2670	0.2206	0.4253	0.4920	0.4285	0.2274	0.7282
283	0.3955	0.3197	0.5981	0.1864	0.6854	0.5584	0.9386	0.6970	0.2489	0.4453	0.2558	0.7402	0.1646	0.0144	0.1406	0.9512	0.1459	0.1297	0.8155	0.2645
284	0.8446	0.4594	0.0424	0.9789	0.7276	0.1385	0.4672	0.9191	0.4583	0.8751	0.1819	0.9244	0.4299	0.2950	0.5056	0.0938	0.2830	0.6272	0.7460	0.1260
285	0.9794	0.5688	0.9547	0.4788	0.6055	0.3044	0.1205	0.3222	0.1209	0.0897	0.9301	0.8483	0.1678	0.6824	0.1919	0.3274	0.6855	0.5985	0.7992	0.6285
286	0.6396	0.1143	0.4699	0.4678	0.1376	0.0643	0.6194	0.8688	0.9149	0.0650	0.1230	0.2969	0.8817	0.6504	0.8511	0.1552	0.1179	0.5405	0.4363	0.3300
287	0.4881	0.4012	0.3046	0.2307	0.8783	0.1629	0.7461	0.6221	0.4178	0.6714	0.6960	0.3878	0.3374	0.4450	0.6843	0.9059	0.6197	0.1915	0.3347	0.4824
288	0.4658	0.4833	0.0713	0.1047	0.6313	0.8047	0.8348	0.8120	0.9815	0.8957	0.7653	0.2013	0.3091	0.7724	0.1878	0.6498	0.0728	0.0603	0.6447	0.1018
289	0.8022	0.7344	0.2598	0.6380	0.6399	0.8123	0.5700	0.0345	0.0929	0.6541	0.4622	0.1569	0.1393	0.9710	0.1043	0.7273	0.9030	0.2412	0.9283	0.9416
290	0.2918	0.4381	0.2771	0.9533	0.6888	0.7472	0.2765	0.7826	0.6995	0.2839	0.6836	0.4348	0.7973	0.2988	0.1075	0.5283	0.1738	0.2804	0.1270	0.8394
291	0.6210	0.1486	0.4789	0.5578	0.1447	0.5661	0.1309	0.9207	0.4486	0.9093	0.9383	0.4484	0.7849	0.3189	0.0592	0.7439	0.2852	0.4009	0.1712	0.9606
292	0.7030	0.5175	0.2838	0.3030	0.7155	0.0762	0.8989	0.4605	0.8463	0.3445	0.2413	0.5172	0.8699	0.0580	0.6116	0.3489	0.7478	0.7777	0.4420	0.2428
293	0.6546	0.1201	0.7442	0.0995	0.3494	0.4988	0.3514	0.5957	0.3393	0.1722	0.3490	0.3467	0.2345	0.5241	0.4491	0.6222	0.4338	0.7985	0.2607	0.4742
294	0.0509	0.2804	0.4376	0.9363	0.1640	0.0449	0.7233	0.4286	0.5277	0.0363	0.0529	0.7475	0.4212	0.9485	0.0382	0.2406	0.7463	0.8479	0.6046	0.5803
295	0.3387	0.9178	0.1106	0.8080	0.1902	0.2993	0.3706	0.0054	0.4384	0.2792	0.5611	0.8309	0.6069	0.2142	0.6584	0.4060	0.0298	0.6891	0.6786	0.8692
296	0.7225	0.3566	0.9802	0.1844	0.1439	0.8158	0.7445	0.3964	0.2018	0.4818	0.0329	0.6744	0.2817	0.3136	0.8420	0.1605	0.3050	0.1779	0.7968	0.1785
297	0.4139	0.6461	0.6391	0.4547	0.1469	0.3652	0.2468	0.3973	0.9418	0.1383	0.4985	0.6866	0.9438	0.7576	0.6828	0.4619	0.3081	0.7341	0.7852	0.3483
298	0.1248	0.8632	0.2742	0.9978	0.7790	0.3783	0.7812	0.9527	0.2332	0.6363	0.5901	0.2834	0.8475	0.7175	0.5500	0.0037	0.5579	0.0975	0.6161	0.1185
299	0.0635	0.8137	0.3821	0.8890	0.6715	0.4714	0.0781	0.1196	0.4632	0.3331	0.1616	0.5888	0.7946	0.9550	0.8449	0.3066	0.7045	0.9061	0.8490	0.6805
300	0.9116	0.4829	0.0672	0.4371	0.4467	0.7401	0.6377	0.9027	0.0874	0.2033	0.8487	0.3774	0.0932	0.5093	0.5190	0.6614	0.8873	0.7954	0.9750	0.1007

Tabla 730 – 1 (continuación). Tabla de números aleatorios

Fila	Columna																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
301	0.8887	0.1755	0.9619	0.3450	0.8189	0.9080	0.1954	0.9332	0.1377	0.5893	0.1913	0.1815	0.2219	0.0257	0.9708	0.8075	0.4272	0.8739	0.8036	0.1813
302	0.4460	0.8622	0.1634	0.8035	0.5151	0.6781	0.6012	0.0961	0.8949	0.4278	0.5137	0.5262	0.9738	0.5560	0.6019	0.5097	0.0095	0.8833	0.1184	0.7938
303	0.5805	0.0253	0.0115	0.8447	0.4358	0.0734	0.7503	0.4259	0.5813	0.1240	0.1224	0.1430	0.1715	0.9213	0.8110	0.7174	0.6740	0.8833	0.2186	0.3625
304	0.7606	0.7674	0.5908	0.4648	0.0430	0.4890	0.7578	0.3282	0.7974	0.6195	0.7630	0.3763	0.6503	0.1370	0.9792	0.4291	0.5193	0.0344	0.5740	0.9476
305	0.5285	0.8725	0.1406	0.4507	0.6118	0.7678	0.2069	0.6899	0.9539	0.3525	0.1302	0.6886	0.7588	0.5484	0.2593	0.2176	0.9258	0.9823	0.8079	0.2316
306	0.3849	0.1663	0.9471	0.6471	0.0394	0.4782	0.2480	0.8499	0.6636	0.3304	0.7036	0.7134	0.0752	0.4666	0.2038	0.1551	0.8791	0.7458	0.8579	0.5426
307	0.0822	0.9157	0.6233	0.7126	0.3443	0.7177	0.7039	0.1472	0.2230	0.1251	0.8082	0.2417	0.8764	0.6270	0.5729	0.0159	0.8193	0.9566	0.8720	0.6974
308	0.2569	0.1734	0.1969	0.7222	0.6388	0.5386	0.7042	0.1709	0.4197	0.7760	0.9389	0.8683	0.4133	0.2132	0.7677	0.7924	0.8953	0.0148	0.8011	0.1264
309	0.8037	0.6600	0.7495	0.2764	0.0211	0.1424	0.4894	0.9006	0.5376	0.1068	0.3591	0.7100	0.9429	0.5599	0.1487	0.2624	0.6260	0.4575	0.2023	0.5718
310	0.1697	0.0122	0.2799	0.6834	0.1637	0.8865	0.5132	0.5841	0.5514	0.6704	0.2996	0.8460	0.6993	0.8038	0.1300	0.0290	0.9678	0.7421	0.3513	0.5929
311	0.9846	0.6177	0.9408	0.3322	0.7400	0.8700	0.6891	0.1659	0.0983	0.6370	0.3754	0.6002	0.8830	0.5099	0.1601	0.3981	0.9857	0.2469	0.0925	0.9377
312	0.9170	0.6708	0.6511	0.8944	0.5842	0.3642	0.6152	0.8740	0.0811	0.2964	0.9838	0.5564	0.0475	0.1700	0.7934	0.3424	0.5081	0.5160	0.4788	0.3255
313	0.3990	0.9914	0.7313	0.7052	0.7419	0.4334	0.5920	0.5390	0.0418	0.5233	0.0024	0.5359	0.8472	0.9990	0.0759	0.6888	0.9019	0.4461	0.4677	0.6217
314	0.4963	0.3728	0.4342	0.8343	0.2897	0.6832	0.4706	0.7501	0.2171	0.1504	0.0954	0.8209	0.0758	0.8535	0.6283	0.5412	0.3592	0.9822	0.0773	0.3196
315	0.1368	0.0348	0.0380	0.6754	0.3991	0.3967	0.3321	0.5895	0.4106	0.2663	0.8756	0.5095	0.5037	0.2992	0.3814	0.2255	0.8349	0.8889	0.2091	0.6774
316	0.2528	0.6966	0.1145	0.1037	0.5258	0.6430	0.4905	0.2625	0.7385	0.4390	0.1631	0.0595	0.9203	0.8238	0.4938	0.2805	0.3501	0.5657	0.9845	0.4999
317	0.8627	0.6874	0.3735	0.4193	0.8602	0.8523	0.0372	0.8885	0.5432	0.3808	0.1684	0.2840	0.0578	0.1829	0.1963	0.1718	0.5618	0.2666	0.8866	0.2170
318	0.2212	0.7274	0.4221	0.1416	0.5967	0.9754	0.9448	0.4581	0.4053	0.8604	0.5005	0.5502	0.7727	0.5265	0.7255	0.8536	0.0661	0.4839	0.5690	0.0850
319	0.8510	0.7782	0.2040	0.1520	0.4057	0.5723	0.6679	0.8200	0.6477	0.5954	0.3145	0.0089	0.6353	0.5928	0.0710	0.9820	0.3762	0.5230	0.5225	0.4202
320	0.6380	0.4807	0.2791	0.0768	0.7590	0.0385	0.3465	0.5057	0.7897	0.6586	0.6749	0.8314	0.9941	0.6448	0.4684	0.1197	0.1294	0.5597	0.4122	0.5304
321	0.5879	0.1053	0.9615	0.4879	0.3784	0.7277	0.5278	0.7913	0.4419	0.7868	0.7757	0.6158	0.2473	0.5804	0.1123	0.4020	0.1565	0.9292	0.6308	0.2635
322	0.6103	0.0048	0.3891	0.0104	0.8606	0.7246	0.1292	0.5724	0.7295	0.3203	0.7634	0.4896	0.5671	0.3906	0.9804	0.9062	0.7570	0.4865	0.6857	0.9176
323	0.4493	0.0764	0.0006	0.7370	0.8824	0.8243	0.4713	0.2292	0.6578	0.3391	0.3972	0.1059	0.3087	0.4303	0.9731	0.4907	0.4398	0.9866	0.1349	0.7774
324	0.8505	0.7878	0.1970	0.2542	0.7949	0.7499	0.1391	0.5918	0.7205	0.5100	0.9897	0.2611	0.7093	0.0962	0.6568	0.0047	0.3140	0.5818	0.8194	0.2801
325	0.9649	0.0519	0.0250	0.0478	0.5947	0.9031	0.0815	0.6908	0.1536	0.4821	0.5003	0.1279	0.7759	0.3646	0.2949	0.5900	0.6216	0.7950	0.1885	0.4828
326	0.4518	0.7188	0.0346	0.0833	0.6433	0.7200	0.4211	0.2545	0.9984	0.6787	0.1429	0.0648	0.1602	0.3949	0.7287	0.6005	0.7359	0.4874	0.2613	0.3750
327	0.1036	0.6234	0.8407	0.9126	0.7019	0.8656	0.4034	0.1840	0.8971	0.5857	0.2650	0.6904	0.7515	0.0264	0.8117	0.9743	0.7024	0.3760	0.6263	0.4380
328	0.0616	0.4191	0.2251	0.3201	0.9337	0.4914	0.7933	0.8590	0.8287	0.6439	0.7754	0.5822	0.7298	0.8771	0.7470	0.7031	0.6178	0.0079	0.1211	0.2591
329	0.6572	0.9184	0.2241	0.8236	0.3606	0.9511	0.2158	0.1444	0.5793	0.9651	0.5621	0.1454	0.3661	0.5520	0.7384	0.8313	0.0597	0.8810	0.1587	0.7623
330	0.6470	0.7686	0.4857	0.9096	0.5018	0.8633	0.3202	0.2102	0.1308	0.1582	0.1044	0.3698	0.9920	0.0776	0.1080	0.6006	0.2510	0.9211	0.9200	0.0252
331	0.9620	0.7540	0.3969	0.1922	0.8456	0.6437	0.8706	0.8068	0.5127	0.0844	0.9655	0.9000	0.3745	0.9147	0.9374	0.2446	0.8253	0.5764	0.7128	0.3676
332	0.2158	0.8832	0.6156	0.8341	0.1528	0.2899	0.4489	0.7201	0.6355	0.0086	0.5715	0.3109	0.0172	0.9906	0.4717	0.9328	0.3734	0.8789	0.2977	0.9277
333	0.5087	0.0341	0.6485	0.2726	0.4940	0.8881	0.7487	0.7380	0.8415	0.2012	0.1058	0.7691	0.2561	0.4729	0.3106	0.8159	0.3316	0.6877	0.7959	0.4118
334	0.0681	0.1480	0.3929	0.1034	0.8836	0.0528	0.5615	0.9528	0.7117	0.3474	0.4214	0.0083	0.9142	0.9475	0.8311	0.1115	0.1387	0.2554	0.4849	0.5704
335	0.2617	0.4037	0.5107	0.3998	0.0567	0.6414	0.6741	0.5275	0.3486	0.4749	0.6946	0.9069	0.2951	0.5415	0.4028	0.9257	0.9490	0.5296	0.0614	0.9671
336	0.1307	0.1319	0.7912	0.2694	0.5970	0.0543	0.6294	0.1985	0.5637	0.3743	0.2082	0.9852	0.2881	0.0276	0.2961	0.0195	0.4199	0.4539	0.6726	0.9609
337	0.0386	0.0227	0.1213	0.2618	0.8151	0.7884	0.7587	0.5048	0.2138	0.1490	0.2027	0.1799	0.5533	0.6556	0.7941	0.2684	0.4096	0.4926	0.5988	0.8428
338	0.3060	0.9795	0.4161	0.5334	0.1953	0.3279	0.1487	0.5750	0.0869	0.6351	0.0997	0.4489	0.8641	0.7017	0.8327	0.7185	0.4103	0.5743	0.8643	0.3963
339	0.0198	0.6024	0.7387	0.1187	0.8486	0.0243	0.3449	0.8002	0.2387	0.8945	0.5379	0.0087	0.0716	0.3894	0.0758	0.8398	0.4062	0.8689	0.7110	0.1987
340	0.5620	0.4746	0.1335	0.2594	0.4086	0.7476	0.7092	0.3260	0.5118	0.6794	0.2039	0.7199	0.0176	0.1042	0.3718	0.6104	0.1337	0.0140	0.5418	0.8143
341	0.8615	0.1182	0.3333	0.1390	0.8941	0.8207	0.8616	0.4806	0.0291	0.3315	0.4195	0.8567	0.7838	0.1440	0.5648	0.7113	0.5677	0.3711	0.4233	0.3383
342	0.0944	0.6417	0.6321	0.9997	0.1077	0.9795	0.6208	0.2017	0.4889	0.5206	0.3042	0.5678	0.5925	0.4660	0.8842	0.1744	0.5512	0.3210	0.9084	0.9524
343	0.5717	0.5892	0.2840	0.7090	0.4185	0.7356	0.6719	0.0075	0.9670	0.7369	0.7041	0.7358	0.2622	0.6925	0.6098	0.4911	0.7541	0.8998	0.4656	0.8004
344	0.6971	0.0579	0.1811	0.9412	0.9254	0.0996	0.9689	0.3550	0.2878	0.4599	0.2146	0.7158	0.9208	0.1137	0.6315	0.8797	0.9830	0.0051	0.7422	0.4140
345	0.0395	0.0421	0.6751	0.8449	0.5721	0.9311	0.0507	0.4078	0.7519	0.8498	0.7064	0.5235	0.4311	0.7749	0.4477	0.0937	0.0697	0.2609	0.5375	0.9777
346	0.0440	0.6041	0.5537	0.3104	0.6640	0.4862	0.7561	0.6293	0.1028	0.6633	0.0966	0.7791	0.7044	0.6591	0.7214	0.5577	0.6994	0.1091	0.4586	0.4858
347	0.7793	0.4151	0.5489	0.0571	0.1884	0.5836	0.1917	0.2639	0.1024	0.0312	0.7069	0.7097	0.2166	0.6312	0.2851	0.4692	0.8674	0.0624	0.8925	0.7187
348	0.0196	0.9603	0.9338	0.6087	0.4031	0.0031	0.5982	0.1789	0.4979	0.6320	0.2386	0.1361	0.2397	0.2844	0.3169	0.4709	0.8467	0.9423	0.4289	0.7417
349	0.1564	0.8921	0.5210	0.0055	0.3223	0.1705	0.6411	0.5399	0.5288	0.9739	0.5866	0.5252	0.0096	0.6961	0.8254	0.9196	0.4497	0.7728	0.7386	0.4204
350	0.2072	0.9243	0.3312	0.2661	0.0260	0.9762	0.2244	0.7142	0.2556	0.8714	0.9079	0.1121	0.5797	0.9010	0.0593	0.9742	0.4107	0.5916	0.7672	0.2543

Tabla 730 – 1 (continuación). Tabla de números aleatorios

Fila	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
351	0.0246	0.4772	0.8164	0.8653	0.2405	0.8461	0.4736	0.3746	0.2041	0.0282	0.6230	0.6567	0.9749	0.9195	0.7105	0.6007	0.5899	0.3022	0.7532	0.0780
352	0.2665	0.5337	0.5140	0.2626	0.4853	0.5434	0.1890	0.7320	0.8655	0.3204	0.6716	0.2106	0.4637	0.4969	0.4329	0.1157	0.2483	0.7549	0.0608	0.2648
353	0.5598	0.9317	0.9880	0.5499	0.4652	0.2360	0.2688	0.4930	0.9947	0.0745	0.5033	0.5859	0.0094	0.8903	0.2226	0.4284	0.2078	0.7583	0.9364	0.4841
354	0.6937	0.0459	0.4058	0.1511	0.8115	0.7617	0.6941	0.6924	0.8402	0.8577	0.9087	0.4412	0.5191	0.3984	0.0141	0.9578	0.6768	0.0174	0.9215	0.6999
355	0.6068	0.9342	0.6537	0.6187	0.9987	0.1767	0.4402	0.8497	0.1888	0.5038	0.5622	0.3553	0.7868	0.6589	0.2347	0.3987	0.9965	0.0462	0.8574	0.8633
356	0.4546	0.9190	0.1153	0.2649	0.8232	0.7364	0.4307	0.7529	0.2357	0.4557	0.9569	0.6521	0.7906	0.2410	0.0619	0.4451	0.7842	0.4723	0.9589	0.9365
357	0.5402	0.3299	0.2871	0.6468	0.4564	0.8884	0.9237	0.0169	0.3744	0.6460	0.6733	0.6249	0.4051	0.7324	0.7725	0.5158	0.4996	0.7975	0.9955	0.2337
358	0.6982	0.9355	0.7239	0.6287	0.6626	0.0987	0.4975	0.9068	0.3397	0.8837	0.7659	0.8911	0.7254	0.1662	0.3068	0.3827	0.3143	0.9868	0.1988	0.8295
359	0.0920	0.0709	0.3451	0.0477	0.7679	0.0361	0.7095	0.1522	0.3379	0.7925	0.5961	0.2710	0.9140	0.9366	0.4488	0.9967	0.6148	0.6311	0.5995	0.2783
360	0.9013	0.0649	0.8896	0.5330	0.8947	0.4322	0.6524	0.9293	0.1761	0.8355	0.7552	0.0362	0.7121	0.1056	0.3200	0.8090	0.9732	0.0587	0.2107	0.3434
361	0.0846	0.8477	0.9599	0.6780	0.1660	0.8906	0.9028	0.2894	0.5447	0.6562	0.8185	0.8575	0.9535	0.6394	0.8718	0.1882	0.2623	0.9848	0.7416	0.6767
362	0.4725	0.0960	0.1031	0.5948	0.7542	0.4263	0.7443	0.8294	0.1532	0.3515	0.4236	0.4922	0.0041	0.4495	0.8603	0.0704	0.9676	0.6062	0.2164	0.5374
363	0.2585	0.9262	0.0277	0.4224	0.7718	0.4964	0.9336	0.6763	0.4437	0.7304	0.2619	0.2836	0.5762	0.5042	0.5228	0.6634	0.5065	0.5751	0.9446	0.0416
364	0.3338	0.3278	0.3859	0.7383	0.3234	0.7409	0.3179	0.6402	0.3679	0.0902	0.8583	0.3390	0.3795	0.0748	0.7695	0.0792	0.5138	0.0365	0.5788	0.2945
365	0.0222	0.6901	0.3879	0.8981	0.5295	0.0556	0.4800	0.7625	0.0644	0.6083	0.8996	0.0423	0.2629	0.2099	0.2474	0.9290	0.0851	0.8951	0.8156	0.5923
366	0.0310	0.3468	0.2610	0.3940	0.7207	0.1175	0.8693	0.3017	0.8769	0.3213	0.1491	0.4661	0.9278	0.3367	0.8745	0.1384	0.2636	0.6251	0.4831	0.6171
367	0.7010	0.7548	0.4843	0.3870	0.2566	0.5147	0.8840	0.1825	0.5116	0.2065	0.3016	0.3839	0.0727	0.5039	0.2352	0.0870	0.9375	0.5066	0.5017	0.3047
368	0.9004	0.6378	0.4409	0.4468	0.1900	0.7450	0.0491	0.7624	0.9268	0.5073	0.0589	0.2010	0.7154	0.9329	0.6419	0.0219	0.4902	0.1837	0.0409	0.6823
369	0.5254	0.1098	0.6761	0.8730	0.8178	0.7311	0.6135	0.3950	0.6028	0.9951	0.1557	0.4558	0.7365	0.7736	0.9911	0.2341	0.9378	0.8240	0.1086	0.4135
370	0.3728	0.4997	0.0511	0.1949	0.2640	0.8339	0.2995	0.2320	0.9690	0.7297	0.0383	0.2877	0.5153	0.0270	0.1367	0.8142	0.0558	0.1726	0.5406	0.2482
371	0.2055	0.7677	0.0046	0.0497	0.7131	0.1372	0.7232	0.5269	0.0883	0.8426	0.2094	0.5736	0.2917	0.8138	0.7596	0.6883	0.0646	0.1687	0.5840	0.4509
372	0.6264	0.1619	0.0060	0.7413	0.5757	0.3314	0.6527	0.9936	0.4463	0.2748	0.5496	0.0747	0.6458	0.2744	0.6785	0.7728	0.4667	0.3632	0.5694	0.9612
373	0.1846	0.8933	0.3901	0.9465	0.1432	0.1234	0.6252	0.3951	0.1753	0.5489	0.4279	0.8148	0.3701	0.7573	0.5849	0.2111	0.9856	0.5654	0.2076	0.9189
374	0.2627	0.3063	0.7843	0.3799	0.8274	0.9818	0.8105	0.8020	0.5589	0.5455	0.1717	0.5157	0.1754	0.8127	0.9740	0.4068	0.9771	0.2845	0.2946	0.8255
375	0.5051	0.5030	0.2382	0.4601	0.2739	0.8973	0.8109	0.5220	0.2145	0.3452	0.7327	0.9780	0.1001	0.4631	0.7054	0.4177	0.8480	0.1977	0.7135	0.1302
376	0.6639	0.7115	0.5760	0.0153	0.5946	0.5633	0.2925	0.8570	0.3871	0.0886	0.1930	0.3216	0.4703	0.0245	0.2808	0.9156	0.1314	0.3310	0.0464	0.6490
377	0.4650	0.9977	0.2787	0.5380	0.0510	0.5542	0.3281	0.7551	0.9048	0.1509	0.0420	0.2926	0.5396	0.2327	0.2001	0.6255	0.8770	0.6601	0.1667	0.9600
378	0.6722	0.2656	0.4618	0.6368	0.3111	0.4203	0.7496	0.6169	0.3478	0.9265	0.6745	0.4159	0.3569	0.4933	0.7694	0.3079	0.6764	0.8961	0.9051	0.6067
379	0.0623	0.7579	0.4787	0.8637	0.3186	0.0823	0.9896	0.7192	0.5850	0.7151	0.2157	0.4950	0.2523	0.1204	0.7600	0.6631	0.9443	0.0535	0.5294	0.5676
380	0.9168	0.1456	0.0871	0.0651	0.8507	0.8187	0.3090	0.6663	0.8017	0.1089	0.1366	0.8183	0.5180	0.7864	0.4767	0.9839	0.5571	0.5166	0.7486	0.5253
381	0.2856	0.4069	0.1689	0.6604	0.7181	0.2825	0.9884	0.1272	0.7737	0.2201	0.6550	0.4235	0.4085	0.5098	0.0557	0.8478	0.5651	0.4521	0.0679	0.7244
382	0.3913	0.2785	0.8160	0.7189	0.2693	0.8455	0.5705	0.4074	0.7195	0.4372	0.7813	0.3440	0.6068	0.3231	0.2876	0.7497	0.1013	0.0114	0.4820	0.1950
383	0.9267	0.3227	0.2447	0.5706	0.2599	0.1046	0.0946	0.1999	0.2100	0.1113	0.7558	0.0005	0.1271	0.4183	0.4700	0.7799	0.2443	0.5144	0.4537	0.8712
384	0.5281	0.4612	0.8076	0.0877	0.4508	0.6845	0.8560	0.0319	0.9503	0.0192	0.1154	0.5541	0.9640	0.9962	0.6206	0.1515	0.1566	0.1666	0.9774	0.7612
385	0.2128	0.4414	0.6357	0.7371	0.9417	0.0688	0.2401	0.8534	0.0171	0.7477	0.5823	0.0751	0.6344	0.6790	0.9273	0.8958	0.1074	0.7405	0.6538	0.5469
386	0.0039	0.6048	0.8350	0.4785	0.7050	0.4092	0.4589	0.8723	0.8691	0.5368	0.0106	0.8404	0.5027	0.9583	0.1606	0.6456	0.4100	0.4702	0.5955	0.3029
387	0.8480	0.1554	0.7831	0.7894	0.8735	0.0891	0.4321	0.0492	0.3868	0.0517	0.2338	0.3419	0.8970	0.0953	0.2207	0.6558	0.1269	0.8215	0.2683	0.3670
388	0.5019	0.5130	0.4856	0.6582	0.9296	0.3758	0.6867	0.4649	0.1702	0.1831	0.2119	0.1615	0.2095	0.6129	0.1991	0.1278	0.8702	0.6818	0.1023	0.9083
389	0.4827	0.2427	0.9898	0.8338	0.7690	0.7714	0.0021	0.3045	0.5443	0.6307	0.5958	0.5108	0.0088	0.6006	0.6237	0.7211	0.8202	0.0244	0.7235	0.8459
390	0.4335	0.2009	0.5463	0.7846	0.7711	0.4223	0.0387	0.7926	0.4680	0.4229	0.5308	0.3518	0.9452	0.7979	0.7784	0.3441	0.6725	0.4515	0.0295	0.0861
391	0.2453	0.3865	0.5188	0.3562	0.3137	0.7969	0.9980	0.6990	0.2493	0.3836	0.4123	0.0948	0.8289	0.7599	0.6395	0.3826	0.3396	0.6963	0.8400	0.1161
392	0.3368	0.3004	0.3267	0.7257	0.6703	0.2395	0.7607	0.2056	0.1099	0.5911	0.2000	0.8821	0.6597	0.8558	0.8765	0.5630	0.1788	0.0479	0.8707	0.9163
393	0.3175	0.7849	0.0209	0.6880	0.6423	0.5409	0.7980	0.3995	0.4573	0.1642	0.9791	0.7500	0.7658	0.2505	0.5828	0.4593	0.8654	0.8396	0.8481	0.7859
394	0.8847	0.3437	0.1012	0.7733	0.5587	0.6518	0.9876	0.9943	0.3250	0.1029	0.4430	0.6580	0.8619	0.0124	0.1756	0.3684	0.3139	0.4397	0.7070	0.1645
395	0.5404	0.1225	0.3240	0.9483	0.7597	0.1134	0.9086	0.0814	0.9399	0.9994	0.0684	0.1822	0.5999	0.2448	0.5526	0.9313	0.6840	0.2377	0.7065	0.3764
396	0.1435	0.1131	0.9082	0.0499	0.7751	0.0165	0.4916	0.2571	0.7972	0.7641	0.7735	0.6547	0.3666	0.1284	0.7910	0.1735	0.8599	0.6772	0.5686	0.1708
397	0.5007	0.8128	0.4682	0.4788	0.2612	0.1968	0.7021	0.0485	0.2052	0.5624	0.3353	0.2163	0.6998	0.7258	0.8904	0.0194	0.8476	0.3174	0.4011	0.6675
398	0.9517	0.9816	0.9826	0.5914	0.2501	0.9247	0.4018	0.1411	0.8228	0.0853	0.0982	0.5341	0.7743	0.9421	0.2299	0.5086	0.4131	0.0178	0.7326	0.7414
399	0.5992	0.9401	0.7420	0.2548	0.1288	0.8899	0.3900	0.8931	0.9714	0.0254	0.6757	0.6643	0.7217	0.0299	0.5605	0.0621	0.2559	0.2313	0.2578	0.7118
400	0.4876	0.3576	0.2348	0.8518	0.4705	0.5383	0.6602	0.3533	0.9713	0.3283	0.3892	0.2960	0.4961	0.0674	0.0958	0.2245	0.5008	0.6566	0.3691	0.8129

Tabla 730 – 1 (continuación). Tabla de números aleatorios

Fila	Columna																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
401	0.7999	0.6269	0.4582	0.9372	0.2456	0.8504	0.5351	0.0718	0.8417	0.3153	0.5553	0.3738	0.1560	0.6551	0.1875	0.0494	0.2901	0.1835	0.0296	0.2582
402	0.5133	0.4084	0.5996	0.7085	0.0754	0.8843	0.9287	0.5429	0.8140	0.6209	0.7731	0.2843	0.7702	0.4136	0.4695	0.9041	0.6814	0.9348	0.6323	0.3454
403	0.4691	0.7644	0.3688	0.7101	0.1887	0.1749	0.9343	0.2588	0.2237	0.1289	0.3857	0.6750	0.0210	0.7609	0.4822	0.3727	0.4040	0.6711	0.6180	0.8969
404	0.7526	0.8213	0.6092	0.9529	0.3024	0.9350	0.8651	0.8704	0.9487	0.1612	0.7491	0.6032	0.6319	0.5058	0.6779	0.7608	0.3376	0.0525	0.5043	0.8664
405	0.9433	0.6065	0.9601	0.0757	0.2697	0.4458	0.7368	0.8870	0.9314	0.4918	0.5014	0.6033	0.9407	0.9853	0.4268	0.5773	0.5342	0.4984	0.7132	0.6205
406	0.8891	0.7033	0.5755	0.0466	0.7480	0.7919	0.5528	0.3837	0.0796	0.1874	0.6031	0.1092	0.7238	0.2486	0.6229	0.2329	0.1865	0.9101	0.0301	0.7459
407	0.7363	0.6188	0.7738	0.3563	0.9097	0.2184	0.9169	0.9872	0.5802	0.1476	0.5635	0.3077	0.5134	0.1306	0.3957	0.6063	0.6772	0.3257	0.7847	0.3359
408	0.0744	0.1793	0.9545	0.3724	0.2188	0.4621	0.4925	0.8982	0.5327	0.0618	0.9284	0.3306	0.0701	0.6629	0.8112	0.8416	0.5772	0.1657	0.7147	0.5425
409	0.4909	0.8598	0.3407	0.5634	0.9309	0.6495	0.3559	0.7394	0.0590	0.7927	0.1320	0.7062	0.6191	0.4120	0.8894	0.0739	0.2419	0.4543	0.6808	0.1341
410	0.1845	0.6816	0.7191	0.8876	0.1498	0.7444	0.7007	0.5302	0.7303	0.7309	0.2254	0.7889	0.0818	0.2643	0.0968	0.7915	0.8862	0.9002	0.4070	0.0514
411	0.5291	0.1792	0.0208	0.5799	0.9439	0.8639	0.0300	0.8573	0.3720	0.1593	0.0441	0.9089	0.0837	0.6849	0.4819	0.5626	0.3394	0.8383	0.1594	0.2155
412	0.3162	0.0268	0.6717	0.3980	0.9275	0.8248	0.6782	0.8484	0.6549	0.2436	0.4945	0.9391	0.6059	0.8489	0.0712	0.8940	0.4676	0.6905	0.9463	0.0537
413	0.7278	0.7666	0.0671	0.4962	0.4498	0.9883	0.8635	0.6427	0.5461	0.1501	0.4958	0.3049	0.1206	0.9557	0.6292	0.6213	0.4439	0.3372	0.9501	0.8762
414	0.7375	0.6254	0.1533	0.5746	0.7977	0.4687	0.3615	0.5177	0.1207	0.1067	0.3565	0.3568	0.3184	0.9285	0.1510	0.3961	0.3792	0.7429	0.0381	0.9919
415	0.2703	0.2403	0.6113	0.4167	0.9025	0.7527	0.8747	0.3238	0.5549	0.5494	0.4719	0.0667	0.9157	0.2861	0.9226	0.9406	0.1382	0.9067	0.9210	0.7236
416	0.6902	0.4686	0.9186	0.9220	0.5448	0.2234	0.1941	0.2956	0.0014	0.7705	0.2020	0.4264	0.4168	0.9788	0.8044	0.8057	0.7081	0.2905	0.6386	0.9026
417	0.0804	0.6685	0.4647	0.0955	0.8952	0.4041	0.5322	0.3810	0.3922	0.7766	0.3103	0.0184	0.8442	0.3704	0.3930	0.8752	0.2228	0.6587	0.0689	0.1203
418	0.2317	0.8141	0.5614	0.9298	0.5001	0.8064	0.5572	0.4317	0.8401	0.6420	0.9065	0.1783	0.4125	0.1363	0.2777	0.2938	0.0700	0.4878	0.7004	0.8190
419	0.1249	0.1473	0.5113	0.8354	0.2975	0.9669	0.1275	0.4345	0.5623	0.6127	0.9803	0.6743	0.4734	0.2303	0.8813	0.1585	0.0433	0.6451	0.2390	0.6646
420	0.2432	0.9344	0.9844	0.5517	0.2442	0.4465	0.9877	0.5904	0.0008	0.4680	0.6198	0.1291	0.9938	0.8608	0.4047	0.5878	0.2444	0.6488	0.6878	0.0052
421	0.1911	0.5045	0.8597	0.5356	0.3124	0.3722	0.5370	0.6170	0.0990	0.0613	0.2086	0.0340	0.7520	0.0787	0.7903	0.9735	0.4065	0.0546	0.9576	0.5663
422	0.6241	0.7066	0.4436	0.4095	0.6137	0.8171	0.2031	0.2985	0.8406	0.8168	0.6089	0.9160	0.2214	0.4213	0.4733	0.6297	0.7058	0.9624	0.1328	0.1914
423	0.5189	0.4744	0.5795	0.5741	0.9543	0.6894	0.0918	0.4055	0.8976	0.0274	0.1590	0.5737	0.9113	0.3116	0.7146	0.8647	0.1474	0.2718	0.4423	0.8621
424	0.8629	0.1283	0.0182	0.0204	0.3193	0.0131	0.0074	0.2438	0.7983	0.3173	0.6017	0.8897	0.9373	0.8716	0.9551	0.6907	0.9648	0.3902	0.2796	0.1561
425	0.9745	0.8545	0.0530	0.6945	0.8199	0.2462	0.1790	0.1946	0.4751	0.0207	0.1838	0.0137	0.6670	0.4683	0.5336	0.6619	0.8113	0.5768	0.5480	0.9532
426	0.9261	0.5872	0.8166	0.7701	0.2846	0.2724	0.6979	0.1626	0.8936	0.2141	0.7895	0.8632	0.0934	0.5072	0.2947	0.1932	0.1621	0.3842	0.5224	0.9409
427	0.7936	0.0202	0.9661	0.3411	0.2908	0.4688	0.8711	0.5024	0.9613	0.8252	0.9295	0.0680	0.0069	0.0261	0.8379	0.2129	0.4019	0.1655	0.5363	0.9340
428	0.1460	0.3228	0.1146	0.3492	0.1094	0.2687	0.9884	0.3212	0.4607	0.3556	0.7939	0.0943	0.7581	0.6590	0.1896	0.1803	0.7428	0.2939	0.4093	0.9015
429	0.6301	0.3805	0.0119	0.8628	0.8561	0.8835	0.4609	0.2330	0.7557	0.2270	0.0147	0.7451	0.1720	0.2494	0.7268	0.5377	0.6962	0.5036	0.7013	0.3246
430	0.3229	0.0034	0.8665	0.3712	0.1943	0.6886	0.1650	0.0116	0.1891	0.2754	0.3487	0.7829	0.0132	0.0377	0.1748	0.6030	0.6939	0.5667	0.6453	0.7756
431	0.2053	0.8028	0.6057	0.9890	0.6076	0.2895	0.7280	0.4162	0.3523	0.4826	0.5936	0.8382	0.4326	0.8059	0.3597	0.9091	0.3574	0.3662	0.0848	0.4513
432	0.9095	0.5905	0.5937	0.5506	0.1208	0.5364	0.7902	0.1681	0.2368	0.9139	0.2668	0.1545	0.9657	0.1728	0.8630	0.3392	0.8391	0.2277	0.2180	0.0950
433	0.6167	0.7874	0.9379	0.2626	0.0620	0.7512	0.3102	0.2974	0.2634	0.9322	0.7815	0.1057	0.5668	0.1766	0.8782	0.6132	0.8465	0.6101	0.1428	0.3907
434	0.4075	0.9727	0.5892	0.8433	0.4595	0.4718	0.5647	0.6699	0.9807	0.1101	0.7647	0.7619	0.0068	0.8081	0.1864	0.2675	0.7544	0.8430	0.9060	0.5820
435	0.0692	0.6452	0.4646	0.7753	0.2529	0.2385	0.9881	0.7697	0.1995	0.9272	0.7960	0.2298	0.1578	0.7183	0.8003	0.3001	0.0753	0.3660	0.4801	0.0658
436	0.5787	0.7883	0.4812	0.6775	0.8586	0.8555	0.5803	0.1049	0.9492	0.7149	0.7865	0.4730	0.2641	0.3640	0.7942	0.1680	0.8167	0.3123	0.6598	0.7137
437	0.5832	0.8638	0.9854	0.9279	0.6322	0.9206	0.8900	0.1156	0.3908	0.6157	0.8170	0.4112	0.0741	0.8965	0.0320	0.8698	0.9447	0.5766	0.2312	0.2415
438	0.3176	0.3797	0.5240	0.0266	0.2148	0.8027	0.4000	0.3463	0.2854	0.6923	0.4137	0.4910	0.3481	0.0011	0.2075	0.3617	0.4668	0.8748	0.2827	0.1274
439	0.8563	0.1765	0.8946	0.5094	0.8419	0.7525	0.1228	0.1751	0.9444	0.6517	0.5238	0.7734	0.6649	0.3398	0.2263	0.2981	0.4367	0.3680	0.7713	0.1095
440	0.6228	0.8735	0.2782	0.1934	0.6712	0.2800	0.4654	0.6822	0.8772	0.3519	0.4980	0.7556	0.1215	0.0355	0.5856	0.6669	0.5348	0.0422	0.3296	0.9384
441	0.4144	0.7484	0.1301	0.1998	0.9572	0.9130	0.2002	0.9761	0.6043	0.3350	0.0795	0.7932	0.2062	0.0899	0.2570	0.3863	0.6408	0.7075	0.4967	0.8645
442	0.0527	0.0239	0.6338	0.8515	0.9458	0.7885	0.1624	0.2321	0.9240	0.6671	0.3428	0.5472	0.4884	0.4552	0.5810	0.0685	0.6385	0.6267	0.9370	0.3751
443	0.9474	0.9302	0.5942	0.9758	0.8247	0.5201	0.3736	0.8256	0.7990	0.2541	0.2439	0.3705	0.7899	0.9135	0.9307	0.9715	0.3620	0.4072	0.1354	0.4256
444	0.4716	0.5215	0.4791	0.1346	0.5568	0.2044	0.5825	0.2047	0.9825	0.3794	0.1885	0.9993	0.5734	0.2064	0.9813	0.9829	0.7242	0.9891	0.9054	0.1967
445	0.6410	0.8743	0.9371	0.7340	0.5381	0.9885	0.7533	0.3110	0.2470	0.8421	0.2088	0.0289	0.8299	0.4220	0.2240	0.3780	0.8180	0.7628	0.6950	0.3816
446	0.7285	0.6475	0.8486	0.4446	0.7545	0.3221	0.3361	0.9704	0.8014	0.7202	0.2369	0.8488	0.0667	0.2373	0.2986	0.6730	0.8520	0.7047	0.9133	0.2194
447	0.8985	0.7668	0.8543	0.1135	0.0316	0.6917	0.0233	0.5781	0.5071	0.9035	0.5234	0.3589	0.5346	0.2772	0.6236	0.0190	0.2621	0.3349	0.9591	0.4735
448	0.3607	0.0723	0.4517	0.8473	0.6203	0.3011	0.1901	0.9873	0.1868	0.1714	0.7716	0.5851	0.8853	0.8331	0.2308	0.9494	0.1591	0.4715	0.8886	0.6826
449	0.0503	0.0065	0.6850	0.3669	0.2081	0.2615	0.8859	0.4671	0.1268	0.0030	0.3502	0.8030	0.2472	0.4794	0.9457	0.6951	0.5817	0.3723	0.1389	0.2976
450	0.2266	0.4283	0.9719	0.4252	0.4697	0.7564	0.2944	0.9940	0.2533	0.8882	0.7795	0.8259	0.2701	0.6047	0.4407	0.7575	0.3558	0.9024	0.0842	0.3629

Tabla 730 – 1 (continuación). Tabla de números aleatorios

Fila	Columna																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
451	0.3693	0.4061	0.3853	0.0676	0.8388	0.6895	0.9563	0.2290	0.7981	0.9614	0.7335	0.3326	0.1572	0.1348	0.8328	0.3925	0.6882	0.3776	0.2281	0.6295
452	0.1362	0.9983	0.5989	0.3014	0.2252	0.8245	0.5952	0.1665	0.6753	0.0729	0.4851	0.3959	0.4444	0.3039	0.4298	0.8974	0.3782	0.4042	0.4952	0.7473
453	0.4351	0.0425	0.7396	0.2300	0.1696	0.8851	0.4608	0.9481	0.1880	0.9969	0.3521	0.9219	0.6881	0.3846	0.0749	0.9925	0.1918	0.1888	0.5910	0.2551
454	0.0641	0.4231	0.9023	0.1002	0.1921	0.2691	0.9751	0.1926	0.3341	0.9167	0.0588	0.7040	0.3611	0.1423	0.3912	0.4108	0.7962	0.5714	0.5109	0.0327
455	0.6425	0.1948	0.8387	0.9656	0.5915	0.3435	0.4814	0.1465	0.3214	0.2159	0.0288	0.9573	0.1371	0.6192	0.7780	0.1598	0.2326	0.8368	0.0272	0.0782
456	0.6876	0.0058	0.4277	0.1325	0.8738	0.1165	0.0800	0.8320	0.3073	0.8237	0.4492	0.7449	0.3681	0.5021	0.4292	0.7362	0.2152	0.2868	0.3019	0.2752
457	0.4428	0.3036	0.0794	0.9908	0.7809	0.7106	0.0629	0.4809	0.5758	0.9122	0.0108	0.0550	0.3170	0.0223	0.6482	0.8625	0.6610	0.7109	0.6642	0.2745
458	0.0552	0.0103	0.8001	0.2238	0.8803	0.1614	0.9747	0.9472	0.3731	0.7769	0.2720	0.2378	0.1810	0.7763	0.2080	0.9233	0.1862	0.3674	0.2815	0.1962
459	0.1084	0.2770	0.7699	0.9639	0.6807	0.6121	0.7415	0.4625	0.4759	0.0224	0.3209	0.8058	0.1006	0.1463	0.8694	0.6309	0.4484	0.6610	0.2288	0.4790
460	0.0930	0.9318	0.1610	0.3276	0.6837	0.3181	0.7204	0.0516	0.9652	0.4635	0.5465	0.9981	0.5778	0.4466	0.2209	0.7153	0.1972	0.2092	0.5632	0.7788
461	0.6487	0.3557	0.6406	0.4550	0.0212	0.7247	0.6528	0.4014	0.2279	0.8734	0.9565	0.1877	0.4960	0.0864	0.1771	0.1104	0.8737	0.0715	0.7498	0.6082
462	0.7787	0.2690	0.4962	0.8216	0.6873	0.9641	0.8139	0.9040	0.7860	0.6429	0.9388	0.6185	0.0045	0.3546	0.9624	0.7352	0.8296	0.2154	0.8649	0.8869
463	0.4227	0.4067	0.6796	0.8864	0.6059	0.7448	0.0314	0.8660	0.1130	0.3843	0.5136	0.0026	0.6248	0.4206	0.8888	0.6279	0.2590	0.2831	0.6893	0.2437
464	0.4942	0.0217	0.8492	0.6544	0.3880	0.8098	0.7251	0.1956	0.7820	0.8569	0.6542	0.7651	0.3224	0.3089	0.7618	0.3262	0.8857	0.6664	0.1653	0.1832
465	0.4054	0.9334	0.9466	0.3605	0.4471	0.7881	0.1848	0.6381	0.0009	0.6432	0.4228	0.6418	0.9468	0.1671	0.5388	0.3337	0.4129	0.8153	0.1415	0.1378
466	0.3126	0.6870	0.2557	0.8898	0.6554	0.2632	0.8370	0.1282	0.9180	0.1128	0.2203	0.8352	0.2269	0.7610	0.3241	0.7393	0.0827	0.2664	0.2741	0.3385
467	0.3800	0.1394	0.3657	0.6384	0.1451	0.3825	0.5438	0.1169	0.9171	0.5266	0.9158	0.5084	0.3167	0.3595	0.8033	0.7322	0.8010	0.2893	0.3371	0.3099
468	0.8470	0.3301	0.1352	0.7773	0.6109	0.4780	0.5184	0.2580	0.1847	0.4698	0.5664	0.9560	0.1186	0.0841	0.2520	0.0326	0.4758	0.7891	0.7161	0.5103
469	0.3294	0.4696	0.9151	0.1546	0.6204	0.5681	0.6650	0.0612	0.5034	0.9637	0.3715	0.5182	0.5565	0.9214	0.8043	0.2755	0.7715	0.9835	0.6821	0.8231
470	0.9797	0.1221	0.9073	0.7707	0.0107	0.5355	0.9420	0.5843	0.7006	0.4192	0.1618	0.9204	0.0993	0.1313	0.2522	0.9182	0.1867	0.6897	0.5449	0.8778
471	0.6061	0.1592	0.1966	0.2344	0.4529	0.9400	0.0366	0.0294	0.8322	0.5881	0.9368	0.5362	0.6508	0.0789	0.5117	0.7438	0.5782	0.5470	0.1570	0.0645
472	0.3903	0.9828	0.5652	0.0135	0.9177	0.7584	0.8800	0.1172	0.1817	0.2530	0.9664	0.2043	0.7509	0.4610	0.4015	0.4591	0.9659	0.8208	0.0596	0.2929
473	0.7658	0.5286	0.0866	0.6965	0.5940	0.1920	0.2762	0.6734	0.5367	0.6799	0.2859	0.5701	0.2579	0.2005	0.3945	0.1171	0.8958	0.7250	0.8285	0.1102
474	0.3999	0.8548	0.9058	0.5658	0.2849	0.8179	0.5055	0.6680	0.9513	0.6333	0.2994	0.0972	0.8758	0.6620	0.7209	0.9362	0.0203	0.3570	0.3788	0.0927
475	0.5742	0.8230	0.5102	0.8781	0.2460	0.9077	0.8431	0.7009	0.6690	0.6240	0.6548	0.5437	0.2256	0.7788	0.8414	0.9970	0.5644	0.0099	0.0017	0.2193
476	0.0634	0.3157	0.5558	0.7489	0.6973	0.2885	0.9556	0.1332	0.8808	0.0885	0.4748	0.8928	0.3458	0.4374	0.3360	0.0446	0.2229	0.9239	0.2779	0.6014
477	0.6250	0.8525	0.7094	0.6172	0.0328	0.2231	0.2491	0.8506	0.7312	0.3543	0.3649	0.6918	0.0255	0.2984	0.7056	0.1338	0.2608	0.1686	0.7178	0.1350
478	0.3916	0.7650	0.1600	0.7517	0.4052	0.9088	0.0721	0.8462	0.8223	0.0640	0.5602	0.4577	0.7823	0.9912	0.1777	0.9904	0.0522	0.9120	0.7028	0.3009
479	0.0884	0.0082	0.6269	0.3647	0.1688	0.0428	0.1122	0.7986	0.1262	0.8588	0.4990	0.3302	0.5194	0.1676	0.5303	0.2162	0.6721	0.6506	0.8099	0.1181
480	0.6644	0.1733	0.3741	0.4549	0.6442	0.0542	0.8443	0.1008	0.6359	0.4331	0.6176	0.7315	0.6983	0.1060	0.4270	0.7922	0.6505	0.7440	0.5759	0.8152
481	0.0038	0.6535	0.3293	0.1807	0.7011	0.6879	0.1040	0.7661	0.4900	0.1458	0.1114	0.9517	0.3357	0.1138	0.7378	0.8659	0.1704	0.3512	0.7008	0.4927
482	0.0989	0.6060	0.8126	0.9775	0.6986	0.0562	0.8644	0.9271	0.5555	0.1116	0.2544	0.1356	0.1041	0.7535	0.7834	0.7776	0.2637	0.9425	0.1078	0.0398
483	0.3882	0.8410	0.7502	0.1245	0.4755	0.9330	0.3141	0.9724	0.5483	0.1556	0.2811	0.9107	0.2654	0.4189	0.1936	0.0928	0.0022	0.6984	0.8491	0.3307
484	0.5325	0.3457	0.5959	0.5493	0.8636	0.0483	0.4811	0.9480	0.1409	0.8954	0.3426	0.4099	0.1851	0.0831	0.1690	0.9971	0.5068	0.7259	0.4333	0.5890
485	0.5733	0.4934	0.4357	0.7432	0.4724	0.9003	0.9720	0.8722	0.6934	0.8692	0.6737	0.3054	0.8303	0.1935	0.8962	0.0186	0.5403	0.6718	0.6143	0.5720
486	0.2275	0.9753	0.9976	0.8522	0.0810	0.2409	0.2968	0.2935	0.6291	0.3403	0.6130	0.7293	0.1827	0.4365	0.9966	0.7055	0.1903	0.6817	0.1257	0.1334
487	0.6080	0.4778	0.7560	0.0098	0.4388	0.5863	0.8330	0.0213	0.3401	0.3253	0.9549	0.6144	0.9185	0.4533	0.9288	0.2026	0.5222	0.8323	0.3508	0.0349
488	0.2535	0.1675	0.3206	0.7406	0.9352	0.5994	0.2471	0.5078	0.6150	0.5111	0.9449	0.7051	0.5150	0.6023	0.9259	0.2368	0.3366	0.8538	0.3627	0.1951
489	0.2150	0.8032	0.2408	0.0173	0.4598	0.5540	0.4875	0.7832	0.5149	0.6074	0.4027	0.2354	0.8072	0.2156	0.1085	0.3610	0.4257	0.8591	0.4872	0.9008
490	0.6400	0.7943	0.4394	0.8091	0.7454	0.2029	0.8390	0.9016	0.0374	0.9376	0.0630	0.3756	0.2659	0.3844	0.5163	0.4215	0.5708	0.2912	0.8739	0.4530
491	0.8114	0.0334	0.5317	0.9385	0.8845	0.4606	0.0013	0.3041	0.9291	0.4247	0.0247	0.2709	0.9992	0.0717	0.0898	0.9924	0.2778	0.9692	0.2396	0.9683
492	0.2911	0.3822	0.6387	0.1073	0.0292	0.1824	0.1322	0.1579	0.3058	0.5665	0.7116	0.6797	0.7296	0.8273	0.3433	0.3456	0.4173	0.0476	0.8061	0.1254
493	0.3205	0.9094	0.1343	0.7806	0.3578	0.9631	0.7162	0.5980	0.9105	0.3453	0.5748	0.8024	0.3021	0.5519	0.9228	0.3834	0.3864	0.8217	0.2698	0.3777
494	0.2948	0.6123	0.1944	0.9070	0.6677	0.5798	0.6299	0.7184	0.7555	0.1604	0.0352	0.3958	0.7435	0.3431	0.4775	0.6545	0.3899	0.0750	0.9660	0.6895
495	0.1402	0.5631	0.6199	0.3717	0.5532	0.9181	0.2716	0.8823	0.3477	0.9099	0.9960	0.7682	0.7603	0.6890	0.3532	0.8224	0.9260	0.2087	0.2346	0.6068
496	0.8148	0.2713	0.9765	0.8955	0.7723	0.0397	0.8375	0.6134	0.2519	0.0812	0.4587	0.5050	0.9952	0.9944	0.3571	0.3149	0.5860	0.4267	0.2261	0.5926
497	0.4160	0.0502	0.1685	0.3522	0.9787	0.0154	0.4816	0.7633	0.1781	0.7088	0.0164	0.5196	0.1151	0.7921	0.6318	0.5174	0.3761	0.9192	0.1427	0.5650
498	0.0234	0.2865	0.1466	0.3840	0.0455	0.3161	0.6943	0.5727	0.8381	0.1485	0.3503	0.3979	0.2305	0.3040	0.0607	0.0113	0.6683	0.2705	0.5627	0.7455
499	0.4613	0.0448	0.2813	0.0457	0.4336	0.2200	0.8767	0.8445	0.8039	0.1548	0.7955	0.9541	0.6097	0.4726	0.8150	0.4531	0.2574	0.5894	0.3613	0.4382
500	0.7887	0.3069	0.7538	0.1133	0.2149	0.7900	0.9931	0.6919	0.4553	0.0263	0.2430	0.4832	0.3464	0.0686	0.3156	0.5053	0.1109	0.1529	0.1931	0.8749

TOMA DE MUESTRAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS

INV E – 731 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma se refiere la toma de muestras de mezclas asfálticas para pavimentación, tanto en las plantas de producción como en los puntos de almacenamiento, entrega o colocación.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-731-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Muestra de campo* – Cantidad de material para ensayo, de tamaño suficiente para brindar una estimación aceptable de la calidad media de una unidad.
- 2.2** *Sub-muestra* – Parte de una muestra.
- 2.3** *Lote* – Cantidad aislada y medible del material total de una fuente de provisión, que se asume elaborada mediante un proceso homogéneo (por ejemplo, la producción de un día, o una cantidad determinada en masa o volumen).
- 2.4** *Porción para ensayo* – Cantidad de material, de tamaño suficiente, tomada de una muestra de campo de mayor tamaño mediante un procedimiento diseñado para asegurar una representación exacta de la muestra de campo y, por lo tanto, de la unidad muestreada.
- 2.5** *Unidad* – Una bachada o subdivisión finita de un lote o de la totalidad de un material (por ejemplo, un camión cargado o un área específica cubierta).

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** El muestreo es tan importante como el ensayo mismo y se debe realizar con todas las precauciones, con el fin de que las muestras obtenidas produzcan un estimativo aceptable de la naturaleza y de las condiciones de los materiales que ellas representan.

- 3.2** Las muestras obtenidas para la ejecución de diseños preliminares, deben ser tomadas por los directos responsables de su elaboración. Las muestras para el control del producto en fuentes de producción, en los lugares de almacenamiento o en el sitio de la obra, deben ser tomadas por el proveedor, constructor o cualquier otra parte responsable de la ejecución de los trabajos. Las muestras para ensayos destinados a la aceptación o el rechazo del producto y para la toma de decisiones sobre la compra o pago, deben ser obtenidas por el comprador o el representante autorizado por éste, según la función desempeñada dentro del proyecto.
- 3.3** Esta norma no se puede emplear para el muestreo de muestras asfálticas compactadas, el cual está cubierto por la norma INV E-758.

4 PROCEDIMIENTO

- 4.1** *Inspección* – El material se debe inspeccionar para determinar sus variaciones. El vendedor deberá proporcionar los medios necesarios para que la inspección y el muestreo se realicen en condiciones apropiadas y seguras.
- 4.2** *Muestreo* – Los procedimientos para elegir las ubicaciones o instantes del muestreo se describen en la norma INV E-730.
- 4.2.1** *Muestras tomadas en bandas transportadoras* – Se detiene la banda. Se escogen al azar al menos tres áreas de igual tamaño en la banda y en cada una de ellas se inserta un implemento para tomar muestras (plantilla) cuya forma se adapte a la forma de la banda (Figura 731 - 1). Se toman sub-muestras aproximadamente iguales de material en las tres áreas seleccionadas, para luego mezclarlas y obtener una muestra compuesta en una cantidad que exceda la mínima recomendada en la Tabla 731 - 1. Todo el material de cada área seleccionada debe ser colocado en un recipiente adecuado, evitando cualquier pérdida.



Figura 731 - 1. Ejemplos de plantillas para el muestreo

4.2.2 *Muestras tomadas en vehículos de transporte* – Las unidades a ser muestreadas (camiones) se eligen al azar. En cada una se toman al menos tres sub-muestras iguales empleando un cucharón o una pala, y evitando tomarlas de la superficie. Las sub-muestras se mezclan para obtener una muestra compuesta en una cantidad que iguale o exceda la mínima recomendada en la Tabla 731 - 1. Se obtienen mejores resultados, si se hace el muestreo en los instantes de carga o descarga del camión (Figura 731 - 2).



Figura 731 - 2. Muestreo en un vehículo de transporte

4.2.3 *Muestras tomadas en la vía antes de la compactación* – Si solo se va a tomar una muestra, se toman tres sub-muestras aproximadamente iguales y se combinan para formar una muestra que iguale o exceda el tamaño mínimo recomendado en la Tabla 731 - 1 (Figura 731 - 3).



Figura 731 - 3. Muestreo en la vía

4.2.3.1 Si se van a tomar tres o más muestras para evaluar un lote de material, se deberá utilizar un método de selección al azar para establecer las ubicaciones de muestreo. Cada muestra deberá estar compuesta por tres sub-muestras de cada ubicación, asegurando que la cantidad de cada muestra iguale o excede el mínimo indicado en la Tabla 731 - 1.

- 4.2.4** *Muestras tomadas del elevador que conduce a un silo de almacenamiento* – Las unidades a ser muestreadas se eligen al azar en función de la capacidad del silo de almacenamiento. El elevador se debe detener inmediatamente después de una descarga, y se excava un surco de 150 mm (6") que se extienda desde la cúspide hasta la parte inferior de la pila formada en el silo. Se obtienen tres sub-muestras aproximadamente iguales de las partes superior, media e inferior del surco, y se deposita cada sub-muestra en un recipiente. La combinación de las sub-muestras debe formar una muestra cuyo tamaño debe igualar o exceder el mínimo indicado en la Tabla 731 - 1.
- 4.2.5** *Muestras tomadas del dispositivo que alimenta elevador que lleva la mezcla al silo* –Las unidades a ser muestreadas se eligen al azar en función de la capacidad del silo de almacenamiento. Se obtienen al menos tres sub-muestras aproximadamente iguales, pasando un cubo o una bandeja a través del flujo de material a medida que éste va cayendo en el elevador. Las porciones se combinan para formar una muestra de ensayo, cuyo tamaño debe igualar o exceder el mínimo indicado en la Tabla 731 - 1.
- 4.2.6** *Muestras tomadas de una pila de almacenamiento de mezcla en frío* – Las mezclas en frío que llevan algún tiempo apiladas pueden desarrollar una costra en su superficie, la cual se debe remover en una profundidad de 100 mm sobre un área de 1 m², para exponer la mezcla no afectada. Se obtienen al azar tres porciones aproximadamente iguales de la mezcla no afectada y se combinan para formar una muestra de ensayo, cuyo tamaño debe igualar o exceder el mínimo indicado en la Tabla 731 - 1.
- 4.2.6.1** Si se van a tomar tres muestras o más, se deberá proceder como se indica en el numeral 4.2.3.1.

4.3 *Número y cantidad de las muestras de campo:*

- 4.3.1** El número requerido de muestras de campo (obtenidas por alguno de los métodos descritos en el numeral 4.2) depende de la importancia y la variabilidad de las propiedades que se desean medir con ellas. Antes de proceder al muestreo, se deberá hacer un diseño de cada unidad de la cual se va a tomar la muestra. El número de muestras que se tomen deberá ser suficiente para que los resultados de los ensayos que se realicen con ellas brinden la confiabilidad requerida.

Nota 1: La unidad que va a representar una muestra de campo no debe ser tan grande que enmascare los efectos de una variabilidad significativa del material contenido en ella. Sin embargo, tampoco debe ser tan pequeña que pueda ser afectada por la variabilidad inherente entre porciones pequeñas del material.

Nota 2: El contenido de un camión debe constituir una unidad de material compuesto por un agregado gradado o una mezcla asfáltica. Una muestra de campo deberá estar constituida por 3 sub-muestras o más del material, escogidas al azar, a medida que éste es cargado o descargado del camión. La experiencia ha demostrado que este procedimiento permite un estimativo aceptable de la gradación promedio del material.

Nota 3: Si se presenta una variabilidad significativa dentro de un lote de material, ella debería quedar puesta de manifiesto mediante mediciones de tipo estadístico, como la desviación estándar entre unidades del lote seleccionadas al azar.

4.3.2 La cantidad de material que debe constituir cada muestra debe ser suficiente para realizar correctamente todos los ensayos requeridos. La Tabla 731 - 1 muestra la cantidad mínima que permite la ejecución de los siguientes ensayos rutinarios de laboratorio: INV E-729, INV E-733, INV E-735, INV E-748 e INV E-742. Si se requieren pruebas adicionales, se deberá muestrear una masa mayor. Así mismo, si el número requerido de ensayos es inferior al recién citado, el tamaño de la muestra se podrá reducir proporcionalmente. Las porciones de ensayo se obtendrán por cuarteo de la muestra de campo, de la manera descrita en la norma INV E-776.

Tabla 731 - 1. Guía para estimar la cantidad necesaria de muestra

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DE LOS AGREGADOS ^A	MEZCLA SUELTA	
	MASA MÍNIMA APROXIMADA kg (lb)	VOLUMEN APROXIMADO LITROS (GALONES)
2.36 mm (No.8)	10 (22)	8 (2)
4.75 mm (No.4)	10 (22)	8 (2)
9.5 mm (3/8")	16 (35)	12 (3)
12.5 mm (1/2")	20 (45)	15 (4)
19.0 mm (3/4")	20 (45)	15 (4)
25.0 mm (1")	24 (52)	18 (5)
37.5 mm (1½")	30 (66)	22 (6)
50.0 mm (2")	35 (75)	22 (6)

^A El tamaño máximo nominal del agregado es la mayor abertura de tamiz de la especificación aplicable sobre el cual se permite la retención de alguna cantidad de material

5 ENVÍO DE LAS MUESTRAS

- 5.1** Las muestras se deben transportar en recipientes contruidos de manera que se eviten pérdidas o contaminación de cualquier parte de ellas, así como cualquier daño debido a un manejo inadecuado de los recipientes.
- 5.2** Cada muestra deberá ir identificada con toda la información requerida por su destinatario, incluyendo lo siguiente:
- 5.2.1** Trabajo en el cual se va a usar el material, indicando el nombre de la vía, el nombre del proyecto y otras identificaciones pertinentes.
 - 5.2.2** Para muestras tomadas en planta, se debe indicar: nombre de la empresa, tipo, capacidad y ubicación de la planta; tipo de ligante asfáltico y agregados usados en la mezcla.
 - 5.2.3** Para muestras tomadas en la vía, se deben indicar la abscisa y la localización transversal en el pavimento; también, si la muestra es de una capa colocada, de un cordón, etc.
 - 5.2.4** Cantidad representada.
 - 5.2.5** Nombres y cargos de quienes toman y envían la muestra.
 - 5.2.6** Fecha del muestreo.
 - 5.2.7** Ensayos requeridos.
 - 5.2.8** Nombre, cargo y dirección de la persona a quien se le envía la muestra.
 - 5.2.9** Si se trata de una mezcla en frío, indicar fecha del mezclado más reciente.

6 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D979/D979M – 12

EXTRACCIÓN CUANTITATIVA DEL ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS

INV E – 732 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe métodos para la determinación cuantitativa del asfalto en mezclas asfálticas en caliente y en muestras tomadas de pavimentos. A los agregados obtenidos mediante estos métodos se les puede realizar el análisis granulométrico, empleando la norma de ensayo INV E–782.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E–732–07.

Nota 1: Los resultados obtenidos con estos métodos se pueden ver afectados por la edad de los materiales ensayados; es así como las muestras más viejas tienden a producir contenidos ligeramente menores de asfalto. Se obtienen mejores resultados cuantitativos cuando el ensayo se efectúa sobre mezclas y pavimentos inmediatamente después de su preparación y colocación.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** El ligante de la mezcla se extrae con tricloroetileno, bromuro de n-propilo (nPB) o cloruro de metileno, empleando el equipo de extracción aplicable al método particular. El contenido de asfalto se calcula por diferencia a partir de la masa del agregado extraído, del contenido de humedad, y del material mineral en el extracto. El contenido de asfalto se expresa como porcentaje en masa de la mezcla asfáltica libre de humedad.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Se pueden emplear todos los métodos para hacer determinaciones cuantitativas de asfalto en mezclas en caliente para pavimentos y en muestras tomadas de pavimentos para su aceptación, para su evaluación en servicio, para control de calidad y para investigaciones. Cada método prescribe el solvente o los solventes y cualquier otro reactivo que se pueda utilizar. Si se desea recuperar el asfalto para ensayos posteriores mediante el método Abson (norma ASTM D 1856), se deberá emplear el Método de ensayo A.

4 EQUIPO

- 4.1 *Horno* – Que pueda mantener la temperatura a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).
- 4.2 *Recipiente plano* – Para calentar los especímenes. Sus dimensiones mínimas deberán ser: 300 mm (12") de longitud, 200 mm (8") de ancho y 25 mm (1") de profundidad.
- 4.3 *Balanza* – De capacidad suficiente y con precisión mínima de 0.1 % de la masa de la muestra.
- 4.4 *Placa de calentamiento* – Eléctrica, de 700 W mínimo, con velocidad de calentamiento ajustable.
- 4.5 *Cilindros graduados de boca angosta* – De 1000 o 2000 ml de capacidad. Opcionalmente, un cilindro de 100 ml de capacidad.
- 4.6 *Cápsula de porcelana* – De 125 ml de capacidad.
- 4.7 *Desecador*.
- 4.8 *Balanza analítica*.

5 REACTIVOS

- 5.1 Se deberán utilizar productos químicos de grado reactivo en todos los ensayos. Se podrán usar otros grados, solamente si se demuestra que el reactivo tiene la pureza suficiente para permitir su uso sin que se pierda exactitud en las determinaciones del contenido de asfalto.
- 5.2 *Solución saturada de carbonato de amonio* $[(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3]$.
- 5.3 *Cloruro de Metileno* – De grado técnico (Ver la Sección 6 para precauciones).
- 5.4 *Bromuro de n-propilo* – Conforme con la especificación ASTM D6368 (Ver la Sección 6 para precauciones).
- 5.5 *Tricloroetileno* – De grado técnico tipo 1, conforme con la especificación federal norteamericana O-T-634 (Ver la Sección 6 para precauciones).

6 PRECAUCIONES

- 6.1** Los solventes indicados en la Sección 5 se deberán emplear tan sólo bajo una campana con un sistema de desfogue superficial efectivo en un área bien ventilada, ya que todos son tóxicos en algún grado. El tricloroetileno, el bromuro de n-propilo y el cloruro de metileno pueden formar ácidos en presencia de calor y humedad, los cuales son extremadamente corrosivos para ciertos metales, particularmente cuando se mantienen en contacto durante períodos prolongados. Se deberá evitar que estos solventes permanezcan en pequeñas cantidades en los tanques afluentes de los extractores de aluminio al vacío.

7 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 7.1** Se obtienen las muestras de acuerdo con la norma INV E-731.
- 7.2** Preparación de especímenes de ensayo:
- 7.2.1** Si la mezcla no es suficientemente blanda para separarla con una espátula o palustre, se la coloca en una bandeja grande y plana y se calienta en el horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) hasta que se pueda manejar o disgregar. El material se parte o cuartea (norma INV E-776) hasta que se obtenga la masa de material requerida para el ensayo.
- 7.2.2** La cantidad de la muestra para el ensayo se determinará según el tamaño máximo nominal del agregado en la mezcla, de acuerdo con la Tabla 732 - 1 (nota 2).

Nota 2: Cuando la masa del espécimen de ensayo exceda la capacidad del equipo empleado (para un método particular), se puede dividir y ensayar en porciones apropiadas, combinando luego adecuadamente los resultados para el cálculo del contenido de asfalto.

Tabla 732 - 1. Tamaño de la muestra

TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO DEL AGREGADO		MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA
mm	pg.	
4.75	No.4	0.5
9.5	3/8"	1.0
12.5	½"	1.5
19.0	¾"	2.0
25.0	1"	3.0
37.5	1-½"	4.0

- 7.2.3** A menos que la muestra se encuentre libre de agua, se necesita una muestra adicional para la determinación de la humedad en las mezclas (Sección 8). Esta muestra se toma de la mezcla remanente, inmediatamente después de obtener el espécimen para el ensayo de extracción.

Nota 3: Si no se requiere recuperar el asfalto de la solución obtenida del ensayo de extracción, la totalidad de la muestra se puede secar en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) antes de la extracción, en lugar de determinar su humedad.

8 HUMEDAD

- 8.1** Cuando se requiera, la humedad de la mezcla se debe determinar de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma INV E-755.
- 8.2** La masa de agua (W_2) en la porción del ensayo de extracción, se calcula multiplicando el porcentaje de la masa del agua (numeral 8.1), por la masa de la porción del ensayo de extracción (W_1 de la Sección 11).

MÉTODO DE ENSAYO A

9 EQUIPO

- 9.1** Además los aparatos enumerados en la Sección 4, para el Método A se requieren los siguientes:
- 9.1.1** *Aparato de extracción* – Consiste en una taza como la mostrada en la Figura 732 - 1 y un aparato en el cual se pueda rotar la taza a una velocidad variable y controlada hasta de 3600 rpm. La velocidad se puede controlar manualmente o con un dispositivo adaptado al equipo. El aparato debe estar provisto de un recipiente para recoger el solvente que escapa de la taza y un desagüe para remover dicho solvente. Es deseable que el aparato disponga de accesorios protectores contra explosiones y que esté instalado bajo una campana o con un sistema de desfogue superficial efectivo para asegurar la ventilación.

Nota 4: Se pueden emplear dispositivos similares de mayor tamaño.



Figura 732 - 1. Aparato de extracción (método A)

9.1.2 *Anillos filtrantes* – De fieltro o de papel, para colocar sobre el borde de la taza.

9.1.2.1 Se pueden emplear anillos filtrantes de papel de poca ceniza, en lugar de anillos filtrantes de fieltro. Dichos anillos de papel de poca ceniza se deberán conformar a partir de papel de poca ceniza, de 1.27 ± 0.03 mm (0.05 ± 0.005 ") de espesor. El contenido de ceniza del papel no deberá exceder de 0.2 % (aproximadamente 0.034 g/anillo).

10 PROCEDIMIENTO

10.1 Se determina la humedad del material de acuerdo con la Sección 8.

10.2 Se coloca en la taza una porción de ensayo de 650 a 2500 g (Figura 732 - 2). En el Anexo A se presentan procedimientos alternativos a los descritos aquí y en el numeral 10.5.



Figura 732 - 2. Muestra dentro de la taza

- 10.3** Se cubre la porción de ensayo con tricloroetileno, cloruro de metileno o bromuro n-propilo y se deja el tiempo suficiente para que el disolvente desintegre la porción de ensayo (no más de 1 hora). Se coloca la taza con la porción de ensayo y el solvente en el aparato de extracción. Se seca un anillo filtrante a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$), se determina su masa y se ajusta alrededor del borde de la taza. Se sujeta la tapa a la taza con las abrazaderas y se ubica un recipiente apropiado bajo el desagüe, para recoger el extracto.
- 10.4** Se inicia la centrifugación girando lentamente y aumentando de manera gradual la velocidad hasta un máximo de 3600 rpm o hasta que deje de fluir el solvente por el desagüe. Se detiene la máquina, se agregan 200 ml del solvente empleado y se repite el procedimiento. Se deben emplear suficientes adiciones de 200 ml solvente (no menos de tres), hasta que el extracto no sea más oscuro que un color ligero de paja. Se recogen el extracto y el material mineral obtenido tras el lavado.
- 10.5** Se retira de la taza el anillo de filtro y se seca al aire. Si se ha usado un anillo de fieltro, se cepilla el material mineral adherido a él y se añade al agregado extraído. Se seca el anillo hasta masa constante en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$). Se transfiere cuidadosamente todo el agregado de la taza de la centrífuga a una bandeja metálica, se seca inicialmente en un baño de vapor y después hasta masa constante en un horno o una placa de calentamiento a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$). El secado en el baño de vapor se puede omitir si el solvente usado fue tricloroetileno o bromuro n-propilo. La masa del agregado extraído (W_3) es igual a la masa del agregado en la bandeja más el aumento de masa del anillo filtrante.

10.5.1 El siguiente procedimiento alternativo se debe aplicar cuando se usen anillos filtrantes de poca ceniza: Se colocan el agregado y los anillos de filtro en un recipiente metálico limpio y se secan como se especifica arriba. Se dobla cuidadosamente el anillo filtrante seco y se deja sobre el agregado. Se quema el anillo de filtro mediante ignición con un fósforo o un mechero Bunsen. Se determina la masa del agregado extraído en el recipiente (W_3).

Nota 5: Puesto que los agregados secos absorben agua cuando están en una atmósfera húmeda, la masa del agregado extraído se debe determinar inmediatamente éste se enfríe a una temperatura adecuada.

10.6 Se determina la cantidad de material mineral en el extracto, empleando alguno de los siguientes métodos:

10.6.1 Método de la ceniza:

10.6.1.1 Se determina el volumen del extracto total (numeral 10.4). Se determina la masa de una cápsula de porcelana con aproximación a 0.001g. Se agita completamente el extracto e inmediatamente se vierten unos 100 ml de él dentro de la cápsula. Se evapora hasta secar en un baño de vapor o una placa de calentamiento. Se convierte en ceniza el residuo a un calor al rojo oscuro (500 a 600° C) y luego se deja enfriar. Se agregan 5 ml de solución de carbonato de amonio saturado por gramo de ceniza. Se permite la digestión a temperatura ambiente por 1 hora. Se seca en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) hasta masa constante, se enfría en un desecador y se determina la masa con aproximación de 0.001 g.

10.6.1.2 Se calcula la masa del material mineral en el volumen total del extracto, (W_4) así:

$$W_4 = G \left[\frac{V_1}{(V_1 - V_2)} \right] \quad [732.1]$$

Donde: G: Ceniza en alícuota, g;

V_1 : Volumen total, ml;

V_2 : Volumen luego de remover la alícuota, ml.

10.6.2 Método de centrifugación:

10.6.2.1 Para este método se emplea cualquier centrifugadora adecuada de alta velocidad (de 3000 rpm o mayor) del tipo de flujo continuo.

10.6.2.2 Se determina la masa de una taza de centrifugadora limpia y vacía con aproximación a 0.01 g y se coloca en la máquina. Se coloca un recipiente en el desagüe para recoger el efluente de la operación de centrifugado. Se transfiere todo el extracto (de los Métodos A, B, D ó E, el que sea apropiado) a un recipiente debidamente equipado con un control de alimentación (válvula, abrazadera, etc.). Para garantizar la transferencia cuantitativa del extracto al recipiente alimentador, el recipiente que contiene el extracto se deberá lavar varias veces con pequeñas cantidades de un solvente limpio y agregar las lavaduras al recipiente alimentador. Se da inicio al centrifugado y se deja que alcance una velocidad constante (por ejemplo 9000 revoluciones por minuto para las del tipo SMM y más de 20 000 revoluciones por minuto para las del tipo Sharples). Se abre la línea de alimentación y se alimenta el extracto dentro de la centrifugadora a una rata de 100 a 150 ml/min. Después de que haya pasado todo el extracto a través de la centrifugadora, se lava el mecanismo de alimentación (con la centrifugadora todavía funcionando) con varias adiciones de solvente limpio, permitiendo que cada incremento corra a través de la centrifugadora hasta que el efluente sea esencialmente incoloro.

10.6.2.3 Se permite que la centrifugadora se detenga, se remueve la taza y se limpia su parte exterior con solvente nuevo. Se deja evaporar el solvente residual en un embudo o en una campana para vapor y luego se seca el recipiente en un horno controlado a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$). Se deja enfriar el recipiente y se vuelve a determinar la masa inmediatamente. El incremento en masa es la masa de material mineral (W_4) en el extracto (numeral 11.1).

10.6.3 Método volumétrico:

10.6.3.1 Se coloca el extracto en un frasco previamente tarado y calibrado, el cual se deja en un baño de temperatura

controlada dentro de una variación de $\pm 0.1^\circ \text{C}$ ($\pm 0.2^\circ \text{F}$) y se permite que alcance la temperatura a la cual fue calibrado el frasco. Cuando se haya alcanzado la temperatura deseada, se llena el frasco con el solvente, el cual se ha mantenido a la misma temperatura. Se lleva el nivel del líquido en el frasco hasta el cuello; se inserta el tapón, verificando que el líquido rebose el capilar, y se remueve el frasco del baño. Se limpia el frasco seco, se determina la masa con aproximación a 0.1 g y se registra esta masa como la masa del frasco más el extracto. Ver el Anexo B para un método volumétrico alternativo si no se usa un baño de temperatura controlada como se prescribe en este numeral.

10.6.3.2 Se calcula el volumen del asfalto y de los finos en el extracto en la siguiente forma:

$$V_1 = V_2 - \frac{(M_1 - M_2)}{G_1} \quad [732.2]$$

Donde:

- V_1 : Volumen de asfalto y de los finos en el extracto;
- V_2 : Volumen del frasco;
- M_1 : Masa de los contenidos del frasco;
- M_2 : Masa del asfalto y finos en el extracto (es la masa de la muestra total, menos la masa del agregado extraído);
- G_1 : Gravedad específica del solvente, determinada redondeada a 0.001 (norma ASTM D 2111).

10.6.3.3 Se calcula la masa de los finos en el extracto, con la ecuación:

$$M_3 = K (M_2 - G_3 V_1) \quad [732.3]$$

Donde:

- M_3 : Masa de los finos en el extracto;
- M_2 : Masa del asfalto y de los finos en el extracto (numeral 10.6.3.2);

$$K = G_2 / (G_2 - G_3) \quad [732.4]$$

V_1 : Volumen del asfalto y de los finos en el extracto (numeral 10.6.3.2);

G_2 : Gravedad específica de los finos (norma INV E-128);

G_3 : Gravedad específica del asfalto (norma INV E-707).

11 CÁLCULO DEL CONTENIDO DE ASFALTO

11.1 El porcentaje de asfalto en relación con la masa total de la porción de ensayo se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Contenido de asfalto (\%)} = \left[\frac{(W_1 - W_2) - (W_3 + W_4)}{(W_1 - W_2)} \right] \times 100 \quad [732.5]$$

Donde: W_1 : Masa de la porción de ensayo;

W_2 : Masa del agua en la porción de ensayo;

W_3 : Masa del agregado mineral extraído;

W_4 : Masa del material mineral en el extracto.

Nota 6: Cuando no se usen anillos filtrantes sin ceniza, se debe agregar a W_4 el aumento en masa del anillo de fieltro.

MÉTODO DE ENSAYO B

12 EQUIPO

12.1 Además de los aparatos listados en la Sección 4, para el Método B se necesitan los siguientes:

12.1.1 *Aparato de extracción* – Similar al que se muestra en la Figura 732 - 3, con los elementos que se describen a continuación.

12.1.1.1 *Recipiente cilíndrico de vidrio* – Liso, hecho de vidrio resistente al calor. Deberá estar libre de grietas, rayones u otra evidencia de imperfecciones, que puedan causar su rotura durante el calentamiento.

12.1.1.2 *Marcos cilíndricos de metal* – Uno o dos; el marco inferior deberá tener patas de suficiente longitud para soportar el conjunto, incluyendo el vértice del cono metálico y el revestimiento cónico de papel por encima del nivel del solvente. Cuando se emplean dos marcos, el superior deberá tener patas de suficiente longitud para sostener el cono metálico y el revestimiento de papel, en o por encima del borde superior del marco inferior. Las patas del marco superior deberán ajustar firmemente en el borde superior del marco inferior. Se deberá proveer un asidero semicircular en el interior del borde superior de cada marco, para un manipuleo conveniente. El metal empleado en la fabricación de los marcos deberá ser esencialmente no reactivo con los solventes empleados en el ensayo.



Figura 732 - 3. Aparato de extracción (método B)

12.1.1.3 *Condensador* – Fabricado con una superficie de condensación con forma de semiesfera troncada y una parte superior en forma de tronco de cono. Se pueden usar otras formas geométricas adecuadas, con tal de que cumplan con las funciones propuestas para la condensación y el flujo. El material empleado para fabricar el condensador deberá ser

esencialmente no reactivo con el agua y el solvente utilizado, y deberá disponer de una entrada y de un desagüe adecuados para el agua.

12.1.1.4 *Papel de filtro* – De grado mediano y de filtrado rápido; el diámetro del papel deberá ser tal, que cuando se doble de acuerdo con las instrucciones dadas más adelante, revista completamente los conos de metal en los marcos.

12.1.1.5 *Almohadilla protectora* – De aproximadamente 3 milímetros de espesor, para emplear como aislamiento entre el recipiente cilíndrico de vidrio y la placa de calentamiento.

12.1.1.6 *Placa eléctrica de calentamiento* – Controlada termostáticamente, de dimensiones y capacidad calorífica suficientes para permitir el reflujo del solvente como se describe en el numeral 14.2.5.

13 PREPARACIÓN DE LA PORCIÓN DE ENSAYO

13.1 Se prepara una porción de ensayo para la determinación de humedad y para la extracción, de acuerdo con el procedimiento descrito en la Sección 7.

14 PROCEDIMIENTO

14.1 *Humedad* – La humedad de la mezcla se determina de acuerdo con el método descrito en la Sección 8.

14.2 *Extracción:*

14.2.1 Se seca a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) y se determina la masa de una hoja de papel de filtro para cada marco que se vaya a emplear. Se dobla cada papel por su diámetro, sobre los extremos y se extiende abierto para que forme un tamaño apropiado que encaje dentro de los conos metálicos.

14.2.2 Se determina la masa de cada marco con su filtro de revestimiento, con aproximación de 0.5 g. Se registra la masa, identificando cada marco mediante un número.

14.2.3 Se coloca la porción de ensayo en el marco o los marcos. Si se van a usar los dos marcos, se distribuye la porción de ensayo

aproximadamente por igual entre los dos. La parte superior de la porción de ensayo debe estar por debajo del borde superior del revestimiento de papel. Se determina la masa de cada marco cargado, separadamente, y con aproximación de 0.5 g. Se anotan dichas masas.

- 14.2.4** Se debe emplear uno de los tres solventes especificados. Se vierte el solvente dentro del cilindro de vidrio y se coloca el marco inferior dentro del cilindro. El nivel del solvente debe estar por debajo del vértice del cono en el marco inferior. Si se emplean dos marcos, se coloca el superior sobre el inferior, ajustando sus patas dentro de los huecos en el borde superior del marco inferior.

Nota 7: Se puede verter suficiente alcohol etílico desnaturalizado sobre la porción o porciones de ensayo para humedecer el filtro de papel.

- 14.2.5** Se coloca la almohadilla térmica aislante sobre la placa de calentamiento, y luego el cilindro sobre la almohadilla. Se cubre el condensador. Se hace circular una corriente suave y uniforme de agua fría a través del condensador. Se ajusta la temperatura de la placa de calentamiento de manera que el solvente hierva poco a poco y fluya dentro del cono una corriente constante de solvente condensado. Si es necesario, se ajusta la temperatura de la placa de calentamiento para mantener la corriente del solvente a la velocidad necesaria para mantener las porciones de ensayo en el cono o en los conos completamente cubiertas con el solvente condensado. Se debe tener cuidado de no permitir que el solvente condensado rebose el (los) cono(s) filtrante(s). Se continúa el reflujo hasta que el flujo de solvente del cono inferior sea de color ligeramente pajizo (cuando se mire contra un fondo blanco). En ese momento, se desconecta la placa de calentamiento y se deja enfriar el aparato manteniendo agua en circulación dentro del condensador. Cuando haya cesado la ebullición y el cilindro haya enfriado lo suficiente para poderlo coger con la mano, se cierra el condensador y se remueve del cilindro.

- 14.2.6** Se remueve del cilindro el conjunto del marco. Se deja secar en el aire (cubierto) y luego hasta masa constante en el horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) (nota 7).

- 14.2.7** Se transfiere cuantitativamente el extracto al cilindro graduado (numeral 4.5) y se determina el material mineral en el extracto, de acuerdo con lo indicado en el numeral 10.6.1. Alternativamente se puede determinar según se indica en los numerales 10.6.2 o 10.6.3, caso en el cual no es necesario transferir el extracto al cilindro graduado.

15 CÁLCULO DEL CONTENIDO DE ASFALTO

15.1 El porcentaje de asfalto en la porción de mezcla ensayada, se determina de acuerdo en el procedimiento descrito en la Sección 11.

MÉTODO DE ENSAYO C

16 EQUIPO

16.1 Además de los aparatos mencionados en la Sección 4, para el Método C se necesitan los siguientes:

16.1.1 *Aparato de extracción* – Compuesto por un recipiente, una tapa de condensación y un soporte. Las Figuras 732 - 4 y 732 - 5 muestran unos tipos apropiados de extractores para este método; sin embargo, es posible usar otros modelos con eficiencia. Se ha encontrado que una olla de cocina de aluminio, de 25 litros, es apropiada para el ensayo. Independientemente de la forma, lo relevante del aparato es que tenga el tamaño suficiente para acomodar la muestra de ensayo, que su tapa ajuste bien y que incluya aletas de enfriamiento dispuestas de manera que proporcionen un reflujo eficiente.

16.1.2 *Canasta* – Para la porción de ensayo, como la mostrada en la Figura 732 - 4 u otra diseñada para usar con un extractor que tenga otra forma.

16.1.3 *Tela filtrante* – De malla 185 aproximadamente, colocada sobre otra malla de 4.75 mm (No. 4), moldeadas para cubrir totalmente la parte interior de la canasta, de manera de asegurar la retención de todas las partículas de agregado de tamaño superior a la malla 185, durante el proceso de extracción.

17 PREPARACIÓN DE LA PORCIÓN DE ENSAYO

17.1 Se prepara una porción de ensayo para la determinación de humedad y para la extracción, de acuerdo con el procedimiento descrito en la Sección 7.

18 PROCEDIMIENTO

18.1 Humedad – La humedad de la mezcla se determina de acuerdo con el método descrito en la Sección 8.

18.2 Extracción:

18.2.1 Se determina la masa de la muestra (3500 a 10 000 g) en el conjunto de la canasta tarada, con aproximación a 1 g y se coloca en el extractor. Se vierten sobre la porción de ensayo entre 1150 y 1250 ml de cualquiera de los tres solventes mencionados en la Sección 5. Se ajusta la tapa en su lugar y se permite que circule agua libremente por encima. Se aplica calor con una placa eléctrica o un mechero de gas.

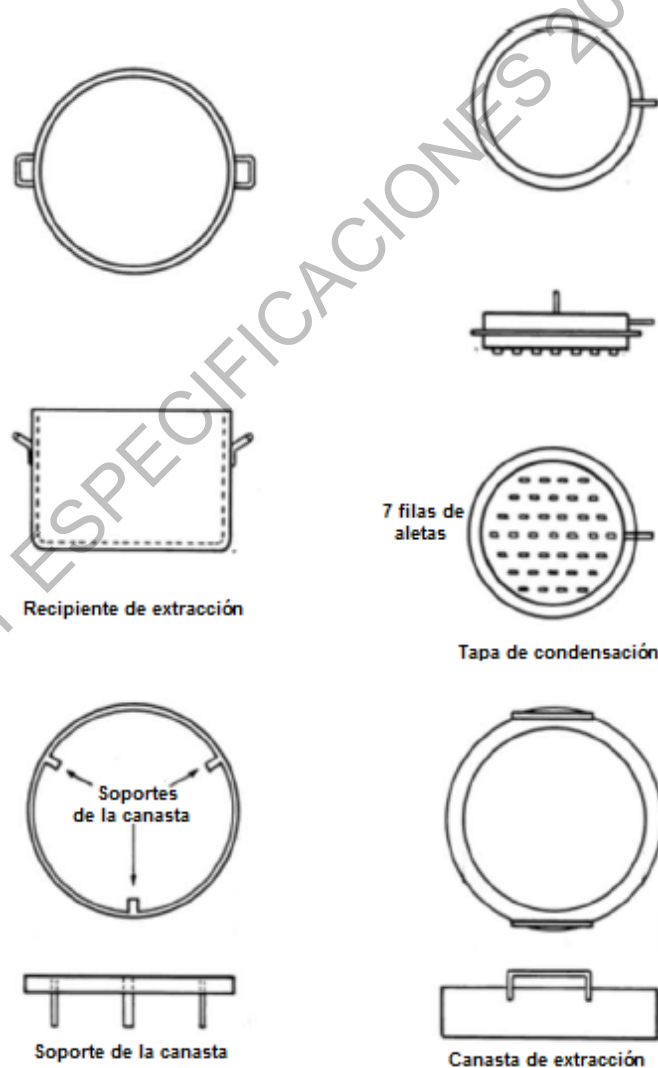


Figura 732 - 4. Aparato de extracción (Método C)

- 18.2.2** Se somete la muestra a reflujos por un período de 1.5 a 3 h, hasta extraer todo el asfalto del agregado. Al cabo de 1.5 h se apaga el extractor y se inspecciona la muestra. Se mezcla la porción de ensayo con un palustre y se continúa la extracción hasta completarla.
- 18.2.3** Se remueve la canasta con la porción de ensayo, se seca en el aire y luego en el horno hasta masa constante a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).
- 18.2.4** Se drena el extracto y se lava hasta su limpieza total con solvente fresco. Se combinan el extracto y los lavados en un cilindro graduado.
- 18.2.5** Se determina la masa del material mineral en el extracto, de acuerdo con el procedimiento descrito en los numerales 10.6.1, 10.6.2 y 10.6.3.

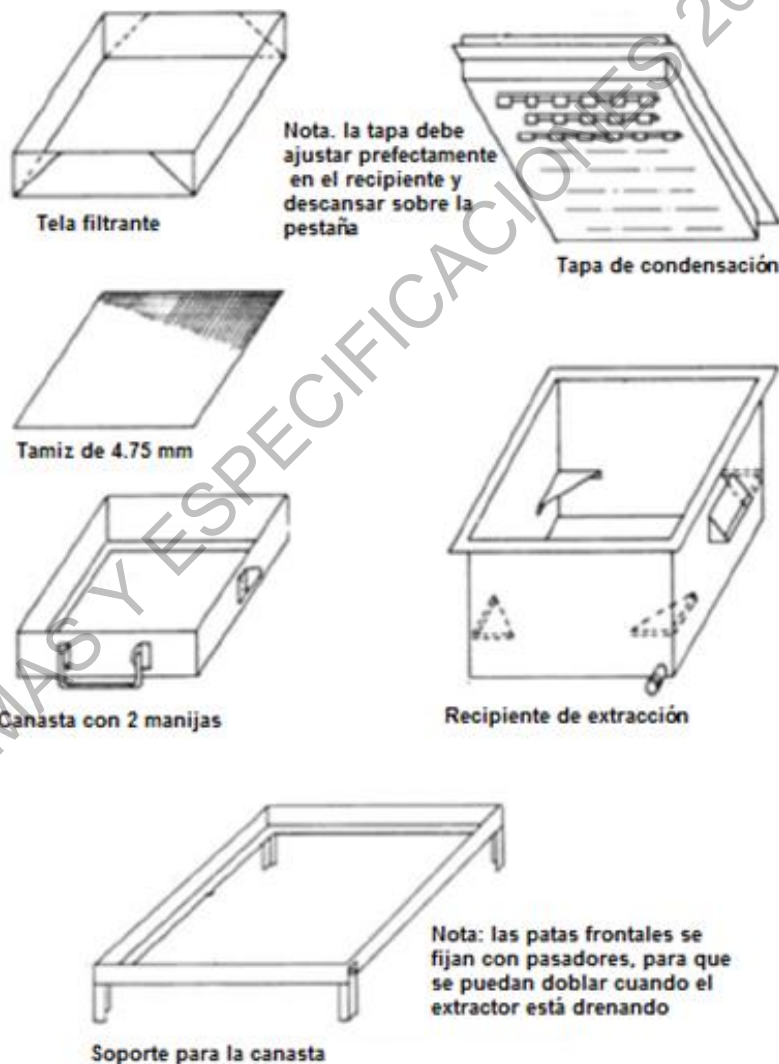


Figura 732 - 5. Unidad de extracción (Método C)

19 CÁLCULO DEL CONTENIDO DE ASFALTO

19.1 El porcentaje de asfalto en la porción de mezcla ensayada, se determina de acuerdo en el procedimiento descrito en la Sección 11.

MÉTODO DE ENSAYO D

20 EQUIPO

20.1 En adición a los incluidos en la lista de la Sección 4, se requieren los siguientes elementos para el método de ensayo D:

20.1.1 *Aparato de extracción* – Como el mostrado en la Figura 732 - 6, el cual consiste de un recipiente para extracción, metálico o de vidrio de borosilicato, ajustado con una canasta metálica y una tapa de condensación. La parte inferior del condensador tiene numerosas protuberancias redondeadas para distribuir uniformemente el solvente condensado sobre la superficie de la muestra. La suspensión de la canasta está dispuesta de manera que ésta quede 13 mm ($\frac{1}{2}$ ") sobre el fondo del recipiente de extracción, para la inmersión de la porción de ensayo en el solvente y, al menos, 75 mm (3") por encima del fondo para el reflujo (nota 4).

20.1.2 *Bolsas filtrantes de tela* – Con un dobladillo elástico para revestir la canasta.

21 PREPARACIÓN DE LA PORCIÓN DE ENSAYO

21.1 Las porciones de mezcla para la determinación de la humedad y para la extracción se deben preparar como se describe en la Sección 7.

22 PROCEDIMIENTO

22.1 *Humedad* – Se determina de acuerdo con el procedimiento indicado en la Sección 8.

22.2 *Extracción:*

22.2.1 Se inserta una bolsa filtrante en la canasta metálica de extracción y se determina la masa sobre un recipiente tarado, para determinar la masa total de la tara. A continuación, se coloca la porción de mezcla por ensayar dentro de la bolsa (nota 2) y se determina la masa total. Por diferencia, se determina la masa de la porción de ensayo.

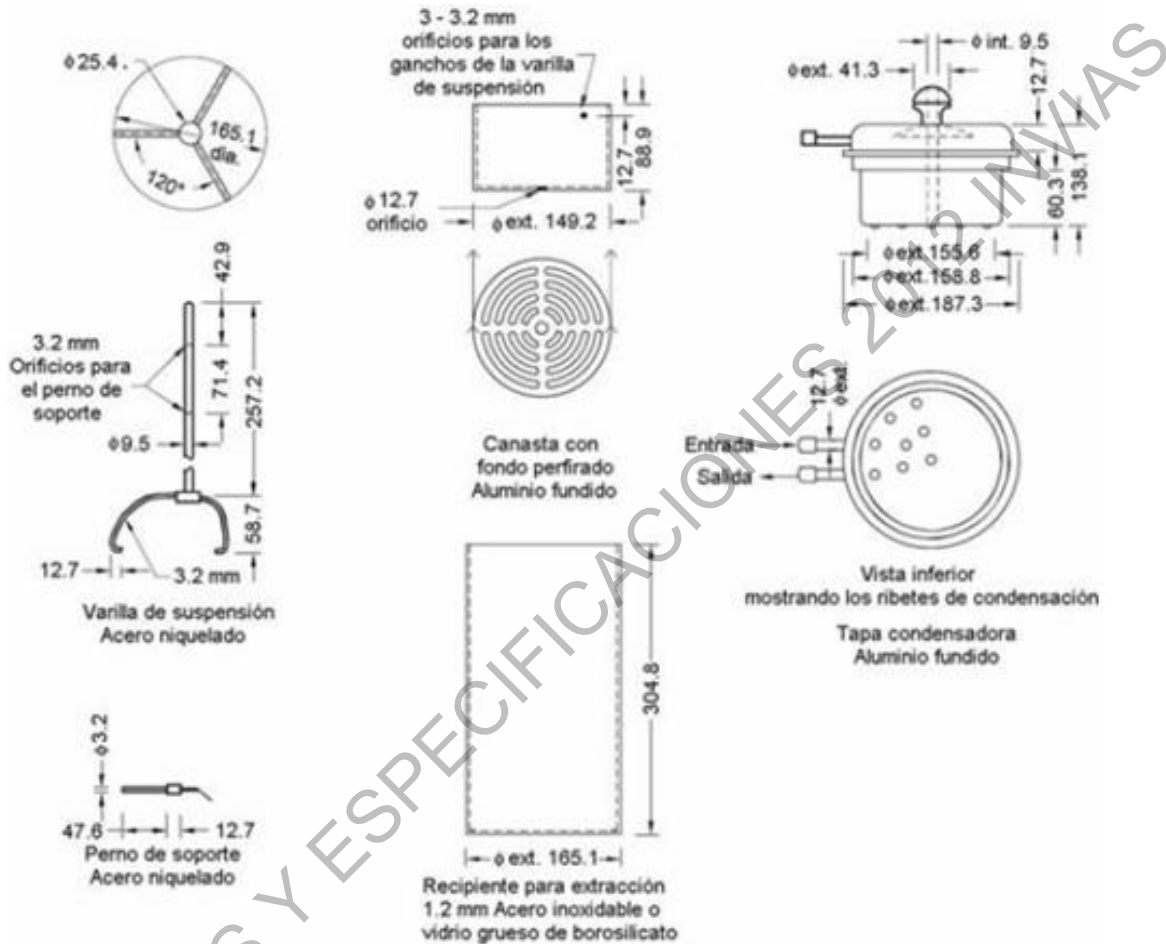


Figura 732 - 6.Unidad de extracción (Método D)

22.2.2 Se engancha la varilla de suspensión a la canasta cargada y se coloca el conjunto dentro del recipiente de extracción. Se vierten unos 600 ml de solvente sobre la porción de mezcla para ensayo y se ajusta la tapa de condensación sobre el recipiente. Se suministra un flujo continuo de agua fría a través de la tapa del condensador. Se eleva la canasta al nivel de inmersión, por ejemplo, 13 mm ($\frac{1}{2}$ ") sobre el fondo del recipiente, insertando el perno de soporte a través del orificio superior de la varilla de suspensión. Se coloca el aparato de extracción sobre la placa de calentamiento y se ajusta la velocidad de aplicación de calor de manera que el solvente hierva poco a poco y evitando que lo haga

de manera vigorosa, ya que podrían salir finos despedidos sobre los lados de la canasta.

22.2.3 Se continúa el calentamiento con la porción de ensayo en posición de inmersión durante un período de 15 a 30 minutos y luego se eleva la canasta hasta el nivel de reflujo. Se aumenta la intensidad del calentamiento y se mantiene una ebullición activa hasta que el goteo del solvente desde la canasta tenga un ligero color pajizo al observarlo contra un fondo blanco. Si se está empleando un recipiente extractor de acero inoxidable, se debe sacar la canasta con la tapa de condensación, para poder examinar el solvente.

22.2.4 Se retira el aparato de extracción de la placa de calentamiento y se le permite enfriar libremente durante varios minutos. Enseguida se sacan de él la canasta y el conjunto de condensación. Se tapa el recipiente extractor, se remueve la bolsa filtrante y se distribuye su contenido sobre el mismo recipiente tarado en el que se determinó la masa de la porción de ensayo al inicio de la prueba. Se coloca la bolsa filtrante encima del agregado recuperado. Se seca el conjunto, primero en un baño de vapor y luego en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$), hasta masa constante. La solución con el extracto se transfiere a un cilindro graduado de 1000 ml. Se limpia el extractor con solventes, añadiendo los lavados a la solución del extracto.

22.2.5 Por último, se determina el material mineral en el extracto, de acuerdo con alguno de los procedimientos descritos en el numeral 10.6.

23 CÁLCULO DEL CONTENIDO DE ASFALTO EN LA MEZCLA

23.1 El porcentaje de asfalto en la porción de mezcla ensayada se debe determinar aplicando el procedimiento descrito en la Sección 11.

MÉTODO DE ENSAYO E

24 EQUIPO

24.1 En adición a los incluidos en la lista de la Sección 4, se requieren los siguientes elementos para el método de ensayo E:

- 24.1.1** *Extractor de vacío* – Completo, con bomba de vacío, empaque, tubería de caucho, papel filtro, placa de soporte y anillo tubular, con un diseño similar al mostrado en la Figura 732 - 7.
- 24.1.2** *Papel filtro* – De grado mediano y filtrado rápido, de 330 mm (13") de diámetro.
- 24.1.3** *Recipiente metálico para la muestra* – Con una capacidad aproximada de 8 litros.
- 24.1.4** *Dos frascos Erlenmeyer* – De vidrio y con capacidad de 4000 ml cada uno.
- 24.1.5** *Probeta graduada* – De 500 ml de capacidad.
- 24.1.6** *Botella para lavado* – Plástica, con capacidad de 500 ml.
- 24.1.7** *Termómetro de carátula* – Con un rango de lectura entre 10 y 80° C (50 a 180° F).
- 24.1.8** *Cuchara para mezclado* – De unos 300 mm (12") de largo.
- 24.1.9** *Cepillo de cerdas rígidas* – De unos 25 mm (1") de ancho.
- 24.1.10** *Espátula* – de 230 mm (9") de largo.
- Nota 8: Los aparatos que se citan a continuación y el reactivo citado en el numeral 25.2 sólo se emplearán cuando la mezcla asfáltica sea muy difícil de filtrar, como en el método E-II.*
- 24.1.11** *Frasco Erlenmeyer* – De vidrio y capacidad de 1000 ml.
- 24.1.12** *Vidrio de reloj* – De unos 100 mm (4") de diámetro.
- 24.1.13** *Pinzas metálicas* – De 150 a 200 mm (6 a 8") de largo.

25 REACTIVOS Y MATERIALES

- 25.1** *Sílice diatomácea* – Para filtrado, del tipo B de la especificación ASTM D 604.
- 25.2** *Alcohol etílico desnaturalizado.*
- 25.3** *Cloruro de metileno.*



Figura 732 - 7. Aparato de extracción por vacío (método E)

26 PREPARACIÓN DE LAS PORCIONES DE ENSAYO

26.1 Las porciones de mezcla para determinar la humedad y realizar la extracción se preparan de acuerdo con el procedimiento descrito en la Sección 7.

27 PROCEDIMIENTO

27.1 *Humedad* – Se determina el contenido de humedad de la mezcla asfáltica en caliente, de acuerdo al procedimiento descrito en la Sección 8.

27.2 *Extracción:*

27.2.1 Se coloca la porción destinada a la prueba de extracción en un vaso de precipitados metálico tarado, y se determina la masa.

27.2.2 Si la porción de ensayo se encuentra a más de 54° C (130° F), se permite que se enfríe por debajo de esta temperatura. Cuando se encuentre suficientemente fresca, se vierten 200 ml de alcohol desnaturalizado sobre ella. Se añaden unos 700 ml de cloruro de metileno y se agita hasta que se aprecie que el ligante asfáltico está en solución (nota 9).

Nota 9: Si se dispone de un tanque de limpieza por ultrasonido, éste puede reemplazar el vaso de precipitados para llevar el ligante asfáltico a solución.

ENSAYO POR EL MÉTODO E-I

- 27.2.3** Se coloca un papel filtro tarado sobre el extractor, teniendo el cuidado de centrarlo y de apretar con firmeza las tuercas de mariposa.
- 27.2.4** Se inicia el vacío y se decanta lentamente la solución con el extracto desde el recipiente que contiene la muestra hacia el filtro, teniendo cuidado de no transferir parte del agregado. Se detiene el vacío cuando se ha removido todo el solvente.
- 27.2.5** La muestra que permanece en el recipiente se cubre con más reactivo (700 ml) y se agita.
- 27.2.6** Se repiten los pasos 27.2.4 y 27.2.5, hasta que la solución adquiere un color pajizo ligero y el agregado se ve limpio. Luego de la última lavada se vierte suavemente la totalidad de la muestra en el extractor y se enjuagan todas las partículas de agregado. Se distribuye cuidadosamente el agregado sobre el filtro.
- 27.2.7** Se opera la bomba de vacío por unos pocos minutos luego del último lavado, para ayudar a secar la porción de ensayo. Se raspa el agregado del lado del anillo del embudo, dirigiéndolo hacia el centro del filtro para evitar pérdidas cuando se remueva el anillo. Se remueve el anillo y se cepilla el agregado pegado a él, dentro del recipiente de secado tarado. A continuación, se recoge el papel filtro con el agregado que contiene, doblando el papel desde extremos opuestos y levantándolo derecho hacia arriba. Se coloca la porción de ensayo en el recipiente tarado y se cepilla el filtro sobre el recipiente con el fin de remover las partículas adheridas a él.
- 27.2.8** Se secan el agregado extractado y el filtro hasta masa constante, en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).
- 27.2.9** Se determinan las masas del filtro y del agregado en el recipiente y se anotan. Se restan las masas del filtro y del recipiente para obtener la masa del agregado extraído.
- 27.2.10** Se transfiere el extracto al cilindro graduado (numeral 4.5) y se determina el material mineral en la solución que contiene el extracto, siguiendo el procedimiento descrito en el numeral 10.6.1. Como alternativa, el material mineral en el extracto se puede determinar según se indica en los numerales 10.6.2 o 10.6.3, caso en el cual no es

necesario transferir el extracto al cilindro graduado. El extracto se transferirá directamente del extractor al recipiente de alimentación de la centrifugadora.

Nota 10: Los pasos 27.2.9 y 27.2.10 se pueden omitir cuando el método se usa solamente para controlar el contenido de ligante durante la elaboración de la mezcla en una planta asfáltica (control de planta).

ENSAYO POR EL MÉTODO E-II

27.2.11 Para hacerle extracción a una mezcla de pavimentación de baja filtración, se prepara la porción de ensayo como se indica en los numerales 27.2.1 y 27.2.2.

27.2.12 Se coloca un papel filtro seco y tarado en el extractor, teniendo cuidado de centrarlo y de apretar con firmeza las tuercas de mariposa.

27.2.13 Se colocan 50 gramos de sílice diatomácea para filtrado, secada al horno, dentro de un frasco Erlenmeyer de 1000 ml y se añaden 500 ml de cloruro de metileno. Se agita formando remolinos hasta que la sílice se encuentre completamente en suspensión.

27.2.14 Se vierte inmediatamente el conjunto sobre el filtro. Se inicia el vacío y se continúa hasta que el cojín formado por la sílice se encuentra superficialmente seco y se comience a agrietar ligeramente.

27.2.15 Se coloca el vidrio de reloj en el extractor y se decanta lentamente el solvente de la porción de ensayo sobre aquel. Se remueve con las pinzas y se lava con una botella de lavado. Se añade el resto de la muestra y se procede como en los pasos 27.2.4 a 27.2.9. Se restan de la masa total las masas del recipiente usado para el secado, del papel de filtro y de la sílice, para determinar la masa seca del agregado.

27.2.16 Se determina la cantidad de material mineral en el extracto, empleando el procedimiento descrito en el numeral 27.2.10.

28 CÁLCULO DEL CONTENIDO DE ASFALTO (APLICABLE A LOS MÉTODOS E-I Y E-II)

28.1 El porcentaje de asfalto en la porción de mezcla de ensayo se determina empleando el procedimiento descrito en la Sección 11.

29 PRECISIÓN Y SESGO**29.1 Mezclas con agregados cuya absorción es menor de 1.25 %:**

CONDICIONES Y TIPO DE ENSAYO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE ENTRE 2 RESULTADOS (d2s)
<i>Precisión de un solo operador (nota11)</i>		
Método A (centrífuga)	0.21	0.59
Métodos B, C y D (reflujo)	0.19	0.54
Método E (vacío)	0.21	0.59
<i>Precisión entre varios laboratorios (nota11)</i>		
Método A (centrífuga)	0.22	0.62
Métodos B, C y D (reflujo)	0.23	0.65
Método E (vacío)	0.22	0.59

29.2 Mezclas con agregados cuya absorción se encuentra entre 1.25 % y 2.5 %:

29.2.1 Las declaraciones sobre precisión y sesgo para agregados que presenten estas características se encuentran en desarrollo.

29.3 Mezclas con agregados cuya absorción es mayor de 2.5 %:

CONDICIONES Y TIPO DE ENSAYO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE ENTRE 2 RESULTADOS (d2s)
<i>Precisión de un solo operador (nota11)</i>		
Método A (centrífuga)	0.30	0.85
Métodos B, C y D (reflujo)	0.19	0.54
Método E (vacío)	0.27	0.76
<i>Precisión entre varios laboratorios (nota11)</i>		
Método A (centrífuga)	0.37	1.05
Métodos B, C y D (reflujo)	0.37	1.05
Método E (vacío)	0.29	0.82

Nota 11: Las declaraciones sobre precisión se basan en ensayos por duplicado sobre una sola mezcla, realizados por 112, 42 y 30 laboratorios para el centrifugado, el reflujo y el vacío, respectivamente.

Nota 12: Una evaluación estadística indicó que no había diferencias de precisión al usar diferentes solventes. Por lo tanto, los resultados son válidos para ensayos realizados con benceno, tricloroetano, tricloroetileno y cloruro de metileno

29.4 Sesgo – No hay declaración sobre sesgo, por cuanto no hay un material de referencia aceptable para determinarlo.

30 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D2172/D2172M – 11

ANEXO A (Aplicación obligatoria)

PROCEDIMIENTO ALTERNO AL ENSAYO POR EL MÉTODO A

- A.1** En el numeral 10.2, colocar una porción de ensayo de 650 a 2500 g en una taza secada previamente hasta masa constante con el anillo de filtro.
- A.2** En el numeral 10.5, en lugar de retirar el anillo de filtro de la taza y secarlo en el aire, se seca la taza con el anillo de filtro hasta masa constante bajo una lámpara infrarroja o en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$).

ANEXO B (Aplicación obligatoria)

PROCEDIMIENTO ALTERNO AL ENSAYO POR EL MÉTODO A (VOLUMÉTRICO)

- B.1** En lugar de usar un baño de temperatura controlada como se indica en el numeral 10.6.3.1, se mide la temperatura del extracto y se hacen las correcciones necesarias al volumen del frasco, así como a las densidades del asfalto y del solvente.

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS NO ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECÍMENES SATURADOS Y SUPERFICIALMENTE SECOS

INV E – 733 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Este método se refiere a la determinación de la gravedad específica bulk y la densidad de especímenes de mezclas asfálticas compactadas.
- 1.2 Este método no se deberá utilizar en especímenes de mezclas abiertas o con vacíos intercomunicados y/o que absorban más del 2 % de agua respecto al volumen, según se determina en el numeral 10.3.
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E-733-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Gravedad específica bulk* – Es la relación entre la masa de un volumen dado de material, y la masa de un volumen igual de agua destilada, libre de gas, a la misma temperatura.
- 2.2 *Densidad bulk* – Es la masa del material por metro cúbico (o pie cúbico) del material a una determinada temperatura, generalmente a 25° C (77° F) para mezclas asfálticas.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1 El espécimen se sumerge en un baño de agua a 25° C y se mide y anota su masa bajo el agua. Se saca la probeta del agua, se seca rápidamente con un trapo húmedo y se pesa al aire. La diferencia entre las dos masas se emplea para medir la masa de un volumen igual de agua a 25° C.
- 3.2 El método de ensayo proporciona una guía para la determinación de la masa del espécimen seco. La gravedad específica se calcula a partir de estas masas. La densidad se obtiene multiplicando la gravedad específica bulk del espécimen por la densidad del agua.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** Los resultados obtenidos al aplicar este método de ensayo se pueden usar para calcular el peso unitario de mezclas asfálticas densas compactadas y obtener, junto con los resultados del ensayo descrito en la norma INV E-736, el porcentaje de vacíos con aire. A su turno, estos valores se pueden usar para determinar el grado relativo de compactación.
- 4.2** Como la gravedad específica es adimensional, es necesario convertirla en densidad para los cálculos que requieran unidades. Esta conversión se efectúa multiplicando la gravedad específica a una temperatura dada, por la densidad del agua a la misma temperatura.

5 EQUIPO

- 5.1** *Balanza* – Con capacidad adecuada y sensibilidad suficiente para que las gravedades específicas bulk se puedan calcular al menos con cuatro cifras significativas, esto es, con tres cifras decimales como mínimo. Deberá estar provista de un dispositivo de suspensión adecuado que permita pesar el espécimen, cuando está suspendido bajo el centro del platillo de la balanza. Para evitar lecturas erróneas por el desplazamiento excesivo, se debe usar un alambre o cuerda de pesca del tamaño práctico más pequeño para suspender el espécimen y el dispositivo sostenedor. No se deben utilizar cadenas o cordones. Balanzas con sensibilidad de 0.1 g o mayor resultan adecuadas.

Nota 1: Las gravedades específicas son un cociente, su valor no tiene más cifras significativas que el dividendo y el divisor. Para tener su resultado por lo menos con cuatro cifras significativas, la determinación de las masas que intervienen en su cálculo se debe hacer con cuatro cifras significativas. Por ejemplo, una sensibilidad de 0.1 g proporcionará cuatro cifras significativas en el rango de masa entre 100.1 y 999.9 g.

- 5.2** *Baño con agua* – Para inmersión del espécimen a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) mientras se halle suspendido de la balanza, provisto con un rebosadero para mantener el agua a un nivel constante. El uso del rebosadero es obligatorio.

Nota 2: No es necesario que el baño de agua sea un dispositivo sofisticado. Se puede usar cualquier método que permita mantener la temperatura a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$).

6 NORMALIZACIÓN

- 6.1 La balanza, los termómetros y el horno se deben calibrar al menos una vez al año.

7 MUESTRAS

- 7.1 Los especímenes para ensayo pueden ser mezclas moldeadas en el laboratorio o tomadas de pavimentos asfálticos.
- 7.2 Las muestras se pueden obtener en el campo de acuerdo con la norma INV E-731.
- 7.3 Los especímenes de pavimentos compactados se deberán tomar con barrena saca núcleos, sierra de diamante o de carborundo (carburo de silicio), o por otros medios convenientes.

8 ESPECÍMENES PARA ENSAYO

- 8.1 *Tamaño de los especímenes* – Se recomienda: (1) que el diámetro de los especímenes cilíndricos moldeados o provenientes de núcleos, o la longitud de los lados de especímenes aserrados sean, al menos, iguales a cuatro veces el tamaño máximo del agregado, y (2) que el espesor de los especímenes sea al menos de una y media veces el tamaño máximo del agregado.
- 8.2 Se deberá tener cuidado con el fin de evitar distorsiones, pandeos o agrietamiento de los especímenes durante y después de su remoción de los pavimentos o del molde. Los especímenes se deberán almacenar en un sitio fresco y seguro.
- 8.3 Los especímenes deberán estar libres de materiales extraños tales como capas de sello, riegos de liga, imprimaciones, materiales de fundación, papeles u hojas. Cuando la presencia de estos materiales sea evidente, se pueden quitar mediante aserrado. Se puede usar un cepillo de cerdas metálicas para remover trazas de papel, suelo u hojas.
- 8.4 Si se desea, los especímenes se pueden separar de las restantes capas de pavimento aserrándolos o mediante otros métodos adecuados.

9 PROCEDIMIENTO

9.1 *Para núcleos u otros especímenes que puedan contener humedad o solventes –* Solamente los que se sabe que están completamente secos (especímenes preparados en el laboratorio con agregados secos) se ensayarán de acuerdo con lo indicado en el numeral 9.2. Se asume que todos los demás contienen humedad o solventes y se procederá de acuerdo con este numeral y sus sub-numerales. La secuencia de ensayo de acuerdo con el numeral 9.1 es: en agua, saturado y superficialmente seco (SSS) y seco.

9.1.1 *Masa del espécimen en agua –* Se sumerge el espécimen en un baño con agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) durante 4 ± 1 minutos y luego se determina la masa en el agua (Figura 733 - 1), cuidando que no queden burbujas de aire atrapadas bajo el espécimen. Se registra esta masa como C. Si la temperatura del espécimen difiere de la del baño en más de 2°C (3.6°F), el espécimen se deberá sumergir en el baño entre 10 y 15 minutos en cambio de 4 ± 1 minutos. Cada espécimen se debe sumergir y pesar individualmente.



Figura 733 - 1. Determinación de la masa del espécimen sumergido en agua

9.1.2 *Masa del espécimen saturado y con superficie seca (SSS) en el aire –* Se saca el espécimen del agua, seca rápidamente su superficie con una toalla húmeda (Figura 733 - 2) y luego se determina la masa pesando en el aire. Se registra esta masa como B.



Figura 733 - 2. Secado superficial del espécimen

- 9.1.3** *Masa del espécimen secado al horno* – Después de determinar las masas en el agua y en condición saturada y superficialmente seca (SSS), se seca el espécimen hasta masa constante en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$). Se deja enfriar el espécimen y se determina su masa en el aire. Se registra esta masa como A. Se pueden usar otros métodos para secar el espécimen, siempre y cuando el resultado no difiera en más de 0.1 % en relación con el que se acaba de describir.

Nota 3: El secado del espécimen a la temperatura requerida 110°C (230°F) puede cambiar las características y la forma del espécimen. Esto hará que el espécimen sea inadecuado para pruebas posteriores a la determinación de su masa seca. El secado del espécimen a una temperatura reducida de 52°C (125°F), para que permanezca intacto, no reúne los requisitos exigidos por este método de ensayo.



Figura 733 - 3. Determinación de la masa del espécimen en el aire

- 9.1.3.1** Se puede usar el secado en microondas (norma INV E-810) u otros métodos aprobados para secar la muestra, si ésta no es sobrecalentada y existe documentación que demuestre que los resultados sean equivalentes a los de secado al horno El

intervalo de tiempo para las mediciones de masa hasta masa constante debe ser suficiente para asegurar que todos los solventes y la humedad se han perdido. Este intervalo depende del tamaño del espécimen y puede ser determinado por experimentación y confirmado mediante comparaciones de secado al horno. Debe existir documentación para validar estos intervalos.

9.2 Para especímenes completamente secos preparados en el laboratorio:

9.2.1 *Masa en el aire del espécimen seco* – Se determina la masa pesando el espécimen después de que haya permanecido al menos durante 1 hora en el aire, a la temperatura ambiente. Se registra esta masa como A.

9.2.2 *Masa del espécimen en agua* – Se usa el procedimiento descrito en el numeral 9.1.1.

9.2.3 *Masa en el aire del espécimen saturado y superficialmente seco (SSS)* – Tras pesarlo en el agua, se saca el espécimen del baño y se seca rápidamente su superficie con una toalla húmeda y, a continuación, se pesa en el aire. Se registra esa masa como B.

10 CÁLCULOS

10.1 Se calcula la gravedad específica bulk del espécimen con la siguiente expresión:

$$\text{Gravedad específica bulk} = \frac{A}{B - C} \quad [733.1]$$

Donde: A: Masa del espécimen seco en el aire, g;

B – C: Masa del volumen de agua correspondiente al volumen del espécimen a 25°C;

B: Masa en el aire del espécimen saturado y superficialmente seco (SSS), g;

C: Masa del espécimen sumergido en agua, g.

10.2 Se calcula la densidad del espécimen mediante la expresión:

$$\text{Densidad} = \text{Gravedad específica bulk} \times 997.0 \quad [733.2]$$

Donde: 997.0 = Densidad del agua a 25° C en kg/m³ (0.9970 g/cm³).

Nota 4: Si se quiere expresar la densidad en sistema inglés (lb/pie³), la gravedad específica bulk se deberá multiplicar por 62.24.

10.3 Se calcula el porcentaje de agua absorbida por el espécimen (con respecto al volumen) como sigue:

$$\% \text{ de agua absorbida por volumen} = \frac{B - A}{B - C} \times 100 \quad [733.3]$$

10.4 Si el porcentaje de agua absorbida por el espécimen es mayor de 2 %, se debe determinar la gravedad específica con los métodos de las normas INV-734 o INV E-802.

11 INFORME

11.1 Se deberá incluir en el informe lo siguiente:

11.1.1 Gravedad específica bulk de la mezcla, con tres decimales como: gravedad específica a 25° C.

11.1.2 Densidad de la mezcla con cuatro cifras significativas en kg/m³ o lb/pie³ como: densidad a 25° C.

11.1.3 Tipo de mezcla.

11.1.4 Tamaño del espécimen.

11.1.5 Absorción de agua, %.

12 PRECISIÓN Y SESGO

- 12.1 Precisión** – En la Tabla 733 - 1 se presentan los valores de repetibilidad y reproducibilidad al ensayar especímenes con agregados cuya absorción era 1.5 % o menor. En el estudio participaron 26 laboratorios y se elaboraron, por triplicado, probetas de 150 mm de diámetro y con 4.5 % de vacíos con aire, empleando dos tamaños máximos de agregado: 12.5 mm y 19 mm.
- 12.2 Sesgo** – No se presenta información sobre sesgo, por cuanto no se dispone de un material con un valor de referencia aceptado.

Tabla 733 - 1. Estimativos de precisión

CONDICIONES Y TIPO DE ENSAYO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE ENTRE 2 RESULTADOS (d2s)
<i>Precisión de un solo operador</i>		
Agregado de tamaño máximo nominal = 12.5 mm	0.008	0.023
Agregado de tamaño máximo nominal = 19 mm	0.013	0.037
<i>Precisión entre varios laboratorios</i>		
Agregado de tamaño máximo nominal = 12.5 mm	0.015	0.042
Agregado de tamaño máximo nominal = 19 mm	0.015	0.042

13 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 2726 – 11

GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK Y DENSIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS ABSORBENTES EMPLEANDO ESPECÍMENES RECUBIERTOS CON UNA PELÍCULA DE PARAFINA

INV E – 734 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Este método se refiere a la determinación de la gravedad específica bulk y de la densidad de especímenes de mezclas asfálticas compactadas, cubiertas con una película plástica de parafina.
- 1.2 Este método se deberá emplear con mezclas asfálticas compactadas que contengan vacíos abiertos o intercomunicados o que absorban más del 2 % de agua respecto al volumen de la mezcla compactada, según se determina en la Sección 7.
- 1.3 La gravedad específica bulk de la mezcla asfáltica compactada se puede usar para calcular su densidad y su peso unitario.
- 1.4 Esta norma reemplaza la norma INV E-734-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Gravedad específica bulk* – Es la relación entre la masa de un volumen dado de material, y la masa de un volumen igual de agua destilada, libre de gas, a la misma temperatura.
- 2.2 *Densidad bulk* – Es la masa por metro cúbico (o pie cúbico) del material a una determinada temperatura, generalmente a 25° C (77° F) para mezclas asfálticas.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 Los resultados obtenidos al aplicar este método de ensayo se pueden usar para calcular el peso unitario de mezclas asfálticas densas compactadas y obtener, junto con los resultados del ensayo descrito en la norma INV E-736,

el porcentaje de vacíos con aire. A su turno, estos valores se pueden usar para determinar el grado relativo de compactación.

- 3.2** Como la gravedad específica es adimensional, es necesario convertirla en densidad para los cálculos que requieran unidades. Esta conversión se efectúa multiplicando la gravedad específica a una temperatura dada, por la densidad del agua a la misma temperatura.

4 EQUIPO

- 4.1** *Balanza* – Con capacidad adecuada y sensibilidad suficiente para que la gravedad específica bulk se pueda calcular al menos con cuatro cifras significativas, esto es, con un mínimo de tres cifras decimales. Deberá estar provista de un dispositivo de suspensión adecuado que permita pesar el espécimen, cuando está colgado bajo el platillo de la balanza. Para evitar lecturas erróneas por el desplazamiento excesivo, se debe usar un alambre o cuerda de pesca, del tamaño práctico más pequeño, para suspender el espécimen y el dispositivo sostenedor. No se deben utilizar cadenas o cordones. Balanzas con sensibilidad de 0.1 g o mayor resultan adecuadas.

Nota 1: Las gravedades específicas son un cociente, su valor no tiene más cifras significativas que el dividendo y el divisor. Para tener su resultado por lo menos con cuatro cifras significativas, la determinación de las masas que intervienen en su cálculo se debe hacer con cuatro cifras significativas. Por ejemplo, una sensibilidad de 0.1 g proporcionará cuatro cifras significativas en el rango de masa entre 100.1 y 999.9 g.

- 4.2** *Baño con agua* – Para inmersión del espécimen a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) mientras se halle suspendido de la balanza, provisto con un rebosadero para mantener el agua a un nivel constante. El uso del rebosadero es obligatorio.

Nota 2: No es necesario que el baño de agua sea un dispositivo sofisticado. Se puede usar cualquier método que permita mantener la temperatura a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$).

5 MATERIALES

- 5.1** *Película plástica de parafina* – Película elastomérica, de adquisición en los sitios de abastecimiento de productos científicos.
- 5.2** *Espuma de poliuretano* – De $500 \times 500 \times 12.5 \text{ mm}$ ($20 \times 20 \times 0.5''$), para ser usada como superficie de trabajo. Adicionalmente, al menos otro trozo de la misma espuma, de área y forma aproximadamente iguales a las de la superficie superior de la muestra que se ensaya.

- 5.3** *Cilindro de calibración* – De aluminio, de superficie lisa y, aproximadamente, de 100 mm (4") de diámetro por 60 mm (2 ½") de altura.

6 ESPECÍMENES PARA ENSAYO

- 6.1** Los especímenes para ensayo pueden provenir de mezclas asfálticas compactadas en el laboratorio o de pavimentos asfálticos construidos. Las muestras sueltas de campo que van a ser compactadas en el laboratorio, se deberán tomar de acuerdo con la norma INV E-731, mientras que las muestras compactadas provenientes de capas de pavimentos construidos se deberán tomar según la norma INV E-758.
- 6.2** *Tamaño de los especímenes* – Se recomienda: (1) que el diámetro de los especímenes cilíndricos moldeados o provenientes de núcleos, o la longitud de los lados de especímenes aserrados sean, al menos, iguales a cuatro veces el tamaño máximo del agregado, y (2) que el espesor de los especímenes sea al menos de una y media veces el tamaño máximo del agregado.
- 6.3** La extracción de los especímenes tomados del pavimento construido se deberá hacer con taladro saca-núcleos, sierra de diamante o de carborundo (carburo de silicio) u otros medios adecuados.
- 6.3.1** Se deberá tener cuidado con el fin de evitar distorsiones, pandeos o agrietamiento de los especímenes durante y después de su remoción de los pavimentos o del molde. Los especímenes se deberán almacenar en un sitio fresco y seguro.
- 6.3.2** Los especímenes deberán estar libres de materiales extraños tales como capas de sello, riegos de liga, imprimaciones, materiales de fundación, papeles u hojas. Cuando la presencia de estos materiales sea evidente, se pueden quitar mediante aserrado.
- 6.3.3** Si se desea, los especímenes se pueden separar de las restantes capas de pavimento aserrándolos o mediante otros métodos adecuados.

7 DETERMINACIÓN DE LA NECESIDAD DE RECUBRIR LOS ESPECÍMENES

- 7.1** Se determina la gravedad específica bulk, empleando un espécimen sin recubrir, de acuerdo con la norma INV E-733.
- 7.2** Con los datos obtenidos con el espécimen sin recubrir, se calcula el porcentaje de agua absorbida por él (en volumen).
- 7.3** Si el porcentaje de agua absorbida no excede de 2 % se reporta el resultado de la gravedad específica bulk y no se aplica el procedimiento de esta norma. En caso contrario, se procederá de acuerdo con la Sección 8 que se describe a continuación.

8 PROCEDIMIENTO

- 8.1** *Masa de los especímenes sin recubrimiento* – Se pesa el espécimen, después de que se haya secado hasta masa constante. Se registra esta masa como A. Si los especímenes son preparados en el laboratorio, se dejan enfriar hasta temperatura ambiente a $25 \pm 5^\circ \text{C}$ y se determina la masa seca A.
- 8.2** *Masa al aire de los especímenes recubierto:*
- 8.2.1** Empleando un bisturí o unas tijeras, se cortan del rollo de la película de parafina dos piezas de $100 \times 100 \text{ mm}$ ($4 \times 4''$) y una de $100 \times 200 \text{ mm}$ ($4 \times 8''$). Esta operación se debe efectuar sobre una superficie firme.
- 8.2.2** Se remueve el papel protector de una de las piezas de $100 \times 100 \text{ mm}$ ($4 \times 4''$).
- 8.2.3** Se agarran con firmeza los extremos opuestos de la pieza y se estira. Se repite el procedimiento tomándola de los otros dos lados, hasta que la pieza de película ha alcanzado, aproximadamente, un tamaño de $150 \times 150 \text{ mm}$ ($6 \times 6''$). Durante esta operación se debe tener cuidado para no romper la película.
- 8.2.4** Se coloca la película estirada sobre uno de los extremos del espécimen y se presionan los lados de la pieza alrededor de la muestra (Figura 734 - 1)



Figura 734 - 1. Cobertura del espécimen con la película plástica de parafina

- 8.2.5** Se voltea el espécimen, se apoya sobre la espuma de poliuretano y se repiten los pasos 8.2.2 a 8.2.4 sobre el otro extremo de la muestra.
- 8.2.6** Luego de que los dos extremos han sido cubiertos y manteniendo la muestra sobre la espuma de poliuretano, se coloca sobre el espécimen el trozo de espuma que tiene área y forma similares a la superficie superior de él. Se coloca otro espécimen sobre el trozo de espuma para hacer presión, con lo cual se eliminan las bolsas de aire en ambas superficies.
- 8.2.7** Usando un bisturí, se cortan cuidadosamente los excesos de película de los lados del espécimen. Deberá haber un mínimo de 15 mm (aproximadamente ½") de película sobrante en cada extremo de la muestra.
- 8.2.8** A continuación, se desprende el papel protector de la pieza de película de parafina de mayor tamaño (numeral 8.2.1), se agarra con firmeza por sus dos lados más cortos y se estira hasta que alcance unos 400 mm (16").
- 8.2.9** Se coloca uno de los extremos de esta película sobre el lado de la muestra y se estira sobre todo el contorno, enrollándola de una manera totalmente ceñida.
- 8.2.10** Al terminar de enrollar esta pieza, sus bordes se deberán doblar y presionar contra los bordes del espécimen.
- 8.2.11** Se determina la masa en el aire del espécimen cubierto con la película. Se designa esta masa con la letra D.

8.2.12 Se determina la masa del espécimen cubierto, dentro de un baño de agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$). Se registra esta masa como E. Si la temperatura del baño de agua es diferente de $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), se deberá realizar una corrección a la gravedad específica bulk, conforme se indica en el numeral 10.3. Si la temperatura del espécimen difiere de la del baño en más de 2°C (3.6°F), el espécimen deberá permanecer sumergido en el baño entre 10 y 15 minutos antes de pesarlo.

8.3 Gravedad específica aparente de la película de parafina:

8.3.1 Se calcula la gravedad específica del cilindro de calibración de aluminio (G_{al}) a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), determinando sus masas en el aire y en el agua (en ese orden):

$$G_{al} = \frac{A_{al}}{A_{al} - B_{al}} \quad [734.1]$$

Donde: A_{al} : Masa seca en el aire, g;

B_{al} : Masa bajo agua, g.

8.3.2 Se seca y se cubre el cilindro de aluminio con una película de parafina, como se describió en el numeral 8.2 para el espécimen, y se determinan la masa seca y la masa bajo agua del cilindro envuelto.

8.3.3 Se determina la gravedad específica de la película de parafina (F) a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$):

$$F = \frac{D_{al} - A_{al}}{D_{al} - E_{al} - \frac{A_{al}}{G_{al}}} \quad [734.2]$$

Donde: D_{al} : Masa seca del cilindro envuelto, g;

E_{al} : Masa del cilindro envuelto y sumergido en agua, g.

9 CORRECCIÓN POR HUMEDAD

9.1 Si el espécimen se obtuvo durante la construcción o de un pavimento ya compactado y contiene humedad, es necesario corregir las masas.

9.2 La humedad se puede determinar de una de dos maneras:

9.2.1 Se determina la masa original de la muestra (E_{original}). A continuación, se seca (sin recubrir) hasta masa constante (E_s), en un horno mantenido a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$). Se considera que la masa es constante cuando el cambio que se produce de ella es menor de 0.05 % en dos intervalos consecutivos de secado de 15 minutos. Se designa esta masa como E_s . La masa del agua contenida en la muestra (E_h) será:

$$E_h = E_{\text{original}} - E_s \quad [734.3]$$

9.2.2 El valor E_h se deberá restar en todas las determinaciones de masa subsecuentes.

9.2.3 Alternativamente, la masa de agua en las muestras se puede determinar aplicando la norma INV E-755. Esta norma se deberá usar si el material asfáltico en la mezcla contiene destilados volátiles a 110°C (230°F). La masa del agua se deberá restar en todas las determinaciones de masa subsecuentes.

10 CÁLCULOS

10.1 Se calcula la gravedad específica bulk del espécimen, con la expresión:

$$\text{Gravedad específica bulk} = \frac{A}{D - E - \frac{D - A}{F}} \quad [734.4]$$

Donde: A: Masa del espécimen seco al aire, g;

D: Masa en el aire del espécimen recubierto, g;

E: Masa del espécimen recubierto y sumergido en agua, g

F: Gravedad específica de la película de parafina a 25°C (77°F).

10.2 Se calcula la densidad del espécimen, como sigue:

$$\text{Densidad} = (\text{Gravedad específica bulk}) \times \gamma \quad [734.5]$$

Donde: γ : Densidad del agua a 25° C (77° C) (997.0 kg/m³ o 62.24 lb/pie³).

10.3 Corrección cuando la temperatura del baño de agua es diferente de 25° C (77° F):

10.3.1 Si la diferencia es menor o igual a $\pm 3^\circ \text{C}$ (5.4° F), la gravedad específica se determina así:

$$\text{Gravedad específica bulk a } 25^\circ \text{C} = K (\text{Gravedad específica bulk a otra temperatura}) \quad [734.6]$$

Donde: K: Valor de corrección indicado en la Tabla 734 - 1.

10.3.2 Si la diferencia es mayor de $\pm 3^\circ \text{C}$ (5.4° F), se debe efectuar una corrección a la masa del agua desplazada, usando la siguiente expresión:

$$\text{Corrección} = \Delta T K_s \left[D - E - \frac{D - A}{F} \right] \quad [734.7]$$

Donde: ΔT : 25° C menos la temperatura del baño de agua;

K_s : 6×10^{-5} ml/ml/°C, coeficiente promedio de la expansión térmica cúbica del concreto asfáltico;

Valor entre el paréntesis: Masa del volumen de agua igual al volumen del espécimen a 25° C.

11 INFORME

11.1 Se debe presentar la siguiente información:

11.1.1 Norma de ensayo utilizada para determinar la gravedad específica.

11.1.2 Porcentaje de agua absorbida (en volumen).

11.1.3 Gravedad específica de la lámina de parafina, con tres cifras decimales.

11.1.4 Corrección por humedad con cuatro cifras significativas.

11.1.5 Gravedad específica bulk a $25 \pm 5^\circ \text{C}$ ($77 \pm 9^\circ \text{F}$), con cuatro cifras significativas.

11.1.6 Densidad, con cuatro cifras significativas.

Tabla 734 - 1. Densidad relativa del agua y factor de conversión K para diferentes temperaturas

TEMPERATURA (°C)	DENSIDAD ABSOLUTA DEL AGUA	FACTOR DE CORRECCIÓN K
10	0.999728	1.002661
11	0.999634	1.002567
12	0.999526	1.002458
13	0.999406	1.002338
14	0.999273	1.002204
15	0.999129	1.002060
16	0.998972	1.001903
17	0.998804	1.001734
18	0.998625	1.001555
19	0.998435	1.001364
20	0.998234	1.001162
21	0.998022	1.000950
22	0.997801	1.000728
23	0.997569	1.000495
24	0.997327	1.000253
25	0.997075	1.000000
26	0.996814	0.999738
27	0.996544	0.999467
28	0.996264	0.999187
29	0.995976	0.998898
30	0.995678	0.998599

12 PRECISIÓN Y SESGO

12.1 *Precisión* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados de ensayos de gravedad específica bulk por este método de ensayo se dan en la

Tabla 734 - 2. En el estudio se emplearon dos materiales y participaron 10 laboratorios, que ensayaron un material por triplicado y el otro por duplicado.

Tabla 734 - 2. Estimativos de precisión

CONDICIONES	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE ENTRE 2 RESULTADOS (d2s)
Precisión de un solo operador	0.028	0.079
Precisión entre varios laboratorios	0.034	0.095

12.2 Sesgo – Debido a que no hay un material de referencia adecuado para determinar el sesgo por este método de ensayo, no se hace una declaración sobre el particular.

13 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 1188 – 07

GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTOS

INV E – 735 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma de ensayo se refiere al procedimiento para determinar la gravedad específica máxima a 25° C (77° F) de mezclas asfálticas en caliente para pavimentos. Para determinarla, las mezclas se ensayan en estado suelto.

Nota 1: La precisión del método es mejor cuando el procedimiento se aplica a muestras que contienen agregados completamente cubiertos. Para asegurar cubrimiento total es deseable aplicar el método en muestras que estén cerca del contenido óptimo de asfalto.

- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-735-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Densidad, como se determina en este método de ensayo* – Masa de un metro cúbico de material a 25° C (77° F).
- 2.2** *Presión residual, como se emplea en este método de ensayo* – Presión en un frasco de vacío al aplicar el vacío.
- 2.3** *Gravedad específica, como se determina en este método de ensayo* – Relación entre una masa dada de material a 25° C (77° F) y la masa de un volumen igual de agua a la misma temperatura.

3 RESUMEN DEL MÉTODO DE ENSAYO

- 3.1** Se coloca una muestra de mezcla asfáltica suelta, seca al horno y previamente pesada, en un frasco de vacío tarado. Se agrega suficiente agua a 25° C (77° F) para que la muestra quede sumergida. Se aplica vacío gradualmente para reducir la presión residual en el frasco a 4.0 kPa (30.0 mm Hg) o menos y se sostiene durante 15.0 ± 2 min. Al final del período de aplicación del vacío, éste se retira gradualmente. El volumen de la muestra de mezcla asfáltica se obtiene sumergiendo en un baño de agua el frasco de vacío con la muestra y pesándolo o llenándolo hasta el nivel de enrase con agua y pesando en el aire.

La temperatura y la masa se miden al mismo tiempo. A partir de estas medidas de masa y de volumen se calculan la gravedad específica o la densidad a 25° C (77° F).

4 IMPORTANCIA Y USO

4.1 Los valores máximos de gravedad específica y de densidad de mezclas asfálticas para pavimentación son propiedades fundamentales, cuyos valores están afectados por la composición de la mezcla en términos de los tipos y dosificaciones de agregados y de materiales asfálticos.

4.1.1 El valor de la gravedad específica máxima se usa: (1) para calcular el porcentaje de vacíos con aire en una mezcla asfáltica en caliente compactada; (2) para calcular la cantidad de asfalto absorbido por el agregado, y (3) para suministrar valores de referencia para las mezclas asfálticas que se emplean en la construcción de pavimentos.

5 EQUIPO

5.1 *Recipientes:*

5.1.1 *Picnómetros de vacío (Figura 735 - 1)* – Recipientes de metal o plástico con un diámetro de 180 a 260 mm (7 a 10") y una altura no menor de 160 mm (6"). Deben estar equipados con una tapa transparente asegurada con un empaque de caucho y con una conexión para la aplicación del vacío. El recipiente y la tapa deben ser suficientemente rígidos para soportar el vacío sin deformaciones visibles. La conexión a la manguera debe estar cubierta por un trozo de malla fina, con el fin de minimizar la pérdida de material fino.

Nota 2: La tapa transparente permite observar la liberación de las burbujas de aire.



Figura 735 - 1. Picnómetro de vacío y dispositivo de agitación

- 5.1.2** *Matraz para vacío (Figura 735 - 2)* – Utilizado para hacer pesadas únicamente en el aire. Debe ser de pared gruesa, con una capacidad aproximada de 4000 ml y con un tapón de caucho con conexión para la aplicación de vacío. La conexión a la manguera debe estar cubierta por un trozo de malla fina, con el fin de minimizar la pérdida de material fino.
- 5.2** *Balanza* – Con capacidad amplia y sensibilidad suficiente para que se pueda calcular la gravedad específica de las muestras de mezclas asfálticas sueltas para pavimentos con no menos de cuatro cifras significativas (3 decimales). Si se van a medir masas sumergidas, la balanza deberá estar equipada con un dispositivo para sostener y permitir el pesaje de la muestra mientras se encuentre suspendida bajo del centro de la balanza.
- 5.3** *Bomba de vacío o aspirador de agua* – Que pueda evacuar el aire del recipiente de vacío hasta una presión residual de 4.0 kPa (30 mm Hg) o menos.
- 5.3.1** Cuando se use una bomba de vacío, se debe instalar entre el recipiente de vacío (picnómetro o matraz) y la fuente de vacío una trampa apropiada, para reducir la cantidad de vapor de agua que pueda entrar en la bomba, la cual hace disminuir su eficiencia (Figura 735 - 3).



Figura 735 - 2. Matraz de vacío

- 5.4** *Manómetro de presión residual o celda de presión absoluta calibrada* – Se usa para confirmar que se está aplicando la presión al recipiente y debe ser capaz

de medir una presión residual de 4 kPa (30 mm Hg) o menos (preferiblemente hasta 0). Debe estar conectado al final de la línea de vacío utilizando un tubo apropiado, ya sea un conector en "T" en la parte superior del frasco o usando una abertura separada (de la línea de vacío) en la parte superior del frasco para conectar la manguera. Para evitar daño del manómetro o de la celda, ellos no se deben situar en la parte superior del recipiente, sino a un lado del mismo.

Nota 3: La presión residual en mm Hg en el recipiente de vacío es la diferencia en la altura del mercurio.

- 5.5 Manómetro de vacío** – Apropriado para medir el vacío que se está aplicando en la fuente de vacío. Este aparato debe estar conectado directamente a la fuente de vacío o en la línea de vacío, pero muy cerca de la fuente.

Nota 4: El conector de un manómetro de presión residual a la línea de vacío adquiere ocasionalmente una o más burbujas de aire que causan errores en la lectura de la presión residual. El manómetro de vacío adicional brinda un medio para detectar rápidamente las diferencias entre las dos medidas de vacío.

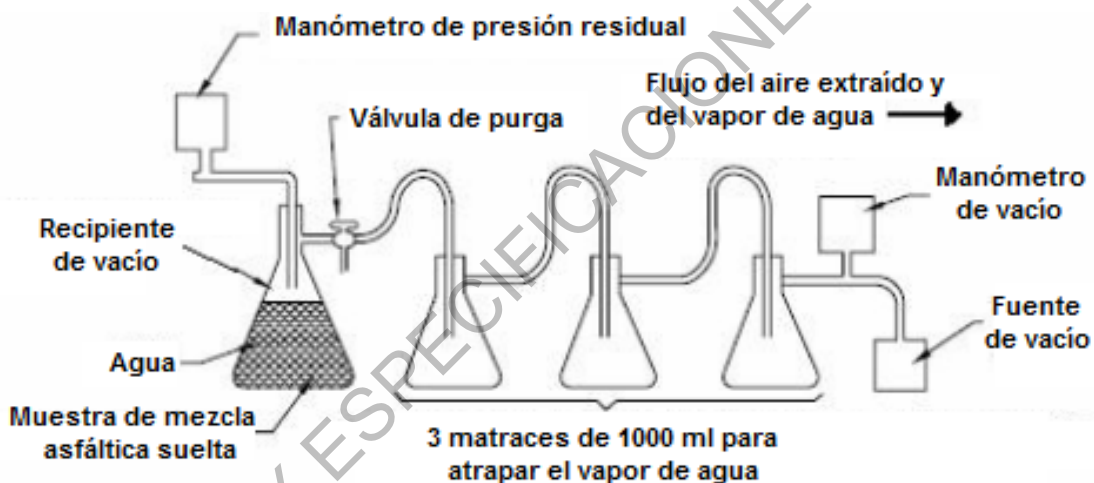


Figura 735 - 3. Ejemplo de un ensamble correcto del equipo de ensayo

- 5.6 Termómetros** – De líquido en vidrio, calibrados, de un rango apropiado para las necesidades del ensayo, con subdivisiones y error máximo de escala de 0.5° C (1° F).
- 5.7 Baño de agua** – Que pueda mantener una temperatura constante de $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$). Sus dimensiones deben ser tales, que permita la inmersión del recipiente suspendido con su muestra desaireada.
- 5.8 Válvula de purga** – Colocada junto a la línea de vacío para facilitar el ajuste del vacío que está siendo aplicado al recipiente y la liberación lenta de la presión de vacío.

- 5.9** *Dispositivo de agitación mecánica (Figura 735 - 1)* – Capaz de aplicar una agitación suave pero consistente a la muestra. Este dispositivo debe estar equipado con un sistema para asegurar firmemente el recipiente, de forma que éste no se mueva sobre la superficie del dispositivo.

Nota 5: Si la adherencia del asfalto con el agregado es un problema, el dispositivo de agitación debe estar equipado con un control de velocidad.

- 5.10** *Horno* – Capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$). Este horno es necesario cuando se ensayan muestras diferentes a las preparadas en el laboratorio usando agregados secos al horno.

6 MUESTREO

- 6.1** La muestra se debe obtener de acuerdo con la norma INV E-731.
- 6.2** El tamaño de la muestra debe cumplir los siguientes requisitos:

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO mm (pg.)	TAMAÑO MÍNIMO DE LA MUESTRA g
37.5 (1 ½) o mayor	5000
19 a 25 (¾ a 1)	2500
12.5 (½) o menor	1500

- 6.3** Las muestras cuyo tamaño sea mayor a los dos tercios del volumen del recipiente se deben ensayar en porciones no menores de 1250 g.

7 CALIBRACIÓN DE LOS RECIPIENTES

- 7.1** *Picnómetro* – Se calibra el recipiente mediante la determinación exacta de su masa cuando está sumergido en agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$). Se registra esta masa como B.

- 7.1.1** Si el picnómetro se usa para pesajes en el aire, se le coloca su tapa mientras está sumergido. Se retira el recipiente lleno de agua con la tapa en su lugar y se seca antes de determinar la masa combinada del picnómetro lleno de agua más la tapa. Se repite tres veces esta

operación y se promedian los resultados. Se designa la masa promedio del conjunto como D.

- 7.2** *Matraces* – Se calibra el frasco volumétrico (matraz) determinando con exactitud su masa lleno con agua a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$). Se designa esta masa como D. Se debe asegurar el llenado exacto del matraz con agua, cubriéndolo con una placa de vidrio o de otro material similar (Figura 735 - 4).



Figura 735 - 4. Placa de vidrio sobre el matraz lleno de agua

8 PROCEDIMIENTO

- 8.1** Si la mezcla asfáltica se ha preparado en el laboratorio empleando agregados secados al horno, se pasa al numeral 8.2. Cualquier otra muestra requiere secado hasta masa constante (masa que se repite dentro de un rango de 0.1 % en determinaciones consecutivas de 15 minutos) a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 10^\circ \text{F}$).
- 8.2** Una vez que la muestra está seca y mientras aun se encuentre tibia, se separan a mano las partículas de la muestra, teniendo cuidado de no fracturarlas, de tal manera que las partículas de la porción del agregado fino no sean mayores de 6 mm ($\frac{1}{4}$ " (Figura 735 - 5). Se permite que la muestra se enfríe a temperatura ambiente. Si las partículas separadas se unen unas con otras después de que la muestra se ha enfriado a temperatura ambiente, las partículas de la porción del agregado fino se separan cuidadosamente de manera que no sean mayores de 6 mm ($\frac{1}{4}$ "). Se vierte la muestra directamente en el picnómetro o en el matraz previamente tarados. Se pesa el recipiente con la muestra y se designa la masa neta (únicamente la masa de la muestra) como A.



Figura 735 - 5. Separación manual de las partículas de la muestra

- 8.3** Se agrega agua suficiente a 25° C (77° F) para cubrir la muestra por completo. Se coloca la tapa del picnómetro o el tapón del matraz, según corresponda.
- 8.4** Se coloca el recipiente (picnómetro o matraz) con la muestra y agua sobre un dispositivo de agitación mecánica y se asegura a la superficie de éste. Se pone en marcha la agitación e inmediatamente se comienza a remover el aire atrapado en la muestra aumentando gradualmente la presión de vacío hasta que el manómetro de presión residual marca 3.7 ± 0.3 kPa (27.5 ± 2.5 mm Hg). El vacío se deberá alcanzar en un término de 2 minutos y una vez alcanzado, se continuarán el vacío y la agitación durante 15 ± 2 minutos (Figura 735 - 6).



Figura 735 - 6. Remoción de burbujas por agitación y vacío

- 8.5** Se libera gradualmente la presión de vacío usando la válvula de purga y se procede de acuerdo con alguna de las siguientes determinaciones:

- 8.5.1** *Pesando en el agua* – Se suspende el picnómetro (sin la tapa) con su contenido dentro del baño de agua y se determina su masa después de una inmersión de 10 ± 1 min. Se mide y registra la temperatura del baño. Se designa la masa sumergida del picnómetro con la muestra como C.
- 8.5.2** *Pesando en el aire (picnómetro)* – Se sumerge lentamente el picnómetro con la muestra en el baño a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) y se mantiene allí durante 10 ± 1 min. La tapa se deberá colocar también dentro del baño de agua al mismo tiempo. Se desliza la tapa sobre el picnómetro sin removerla del agua con el fin de evitar que quede aire atrapado y, entonces, se presiona con firmeza para cerrar el picnómetro. Se remueve el picnómetro del baño y se seca cuidadosamente. Se determina la masa del picnómetro más la muestra más la tapa. Se mide y anota la temperatura del agua en el picnómetro. Se repite el procedimiento una segunda vez, quitándole la tapa al picnómetro y se coloca de nuevo junto con la tapa en el baño de agua. No es necesario esperar los 10 minutos antes de tomar la segunda medida. Si la masa varía en más de 1 g en relación con la determinada la primera vez, se repite el procedimiento hasta obtener dos masas consecutivas dentro del límite de 1 g. Se designa la masa promedio de estas dos lecturas como E (masa del picnómetro con la tapa, el agua y la muestra).
- 8.5.3** *Pesando en el aire (matraz)* – Se llena lentamente el matraz con agua teniendo el cuidado de no introducir aire dentro de la muestra. Se coloca el frasco en el baño de agua por 10 ± 1 min para estabilizar la temperatura, pero sin sumergir la parte superior del frasco. Se mide y anota la temperatura del agua en el frasco. Se retira el termómetro y se llena completamente el frasco utilizando la placa de vidrio, cuidando de que no queden burbujas de aire atrapadas bajo ella. Se deberá utilizar la misma placa empleada durante la calibración del matraz. Se seca cualquier humedad presente en el exterior del matraz y de la placa de vidrio (Figura 735 - 7). Se determina la masa del matraz más la placa, más la muestra, más agua. Se designa esta masa como E.



Figura 735 - 7. Secado de la placa de vidrio y del exterior del matraz

9 CÁLCULOS

9.1 Se calcula la gravedad específica máxima de la muestra como sigue:

9.1.1 *Determinación en el caso de pesadas dentro del agua (muestra en el picnómetro):*

$$G_{mm} = \frac{A}{A - (C - B)} \quad [735.1]$$

Donde: G_{mm} : Gravedad específica máxima de la mezcla;

A: Masa en el aire de la muestra seca, g;

B: Masa del picnómetro sumergido en agua, g;

C: Masa del recipiente con la muestra, sumergido en agua, g.

9.1.2 *Determinación en el caso de pesadas en el aire (muestra en el picnómetro):*

$$G_{mm} = \frac{A}{A + D - E} \quad [735.2]$$

Donde: G_{mm} : Gravedad específica máxima de la mezcla;

- A: Masa en el aire de la muestra seca, g;
- D: Masa de la tapa más el picnómetro lleno con agua a 25° C (77° F), g;
- E: Masa del picnómetro con la tapa, el agua y la muestra a 25° C (77° F), g.

9.1.3 Determinación con el matraz:

$$G_{mm} = \frac{A}{A + D - E} \quad [735.3]$$

Donde: G_{mm} : Gravedad específica máxima de la mezcla;

- A: Masa en el aire de la muestra seca, g;
- D: Masa de la placa de vidrio más el frasco lleno con agua a 25° C (77° F), g;
- E: Masa del frasco con la placa, el agua y la muestra a 25° C (77° F), g.

9.2 Si la muestra se ensayó en varias porciones, se informa la gravedad específica máxima promedio ponderada de todas las porciones ensayadas.

10 PROCEDIMIENTO SUPLEMENTARIO PARA MEZCLAS QUE CONTIENEN UN AGREGADO POROSO

10.1 Si los poros de los agregados no están completamente sellados por una película asfáltica, se pueden llegar a saturar con agua durante el procedimiento de vacío. Para determinar si esto ha ocurrido, se procede como sigue, después de completar el procedimiento indicado en los numerales 8.5.1, 8.5.2 u 8.5.3, según corresponda.

10.1.1 Se drena el agua del recipiente. Para prevenir la pérdida de partículas finas, se decanta el agua a través de un tamiz de 75 μm (No. 200).

10.1.2 Se rompen varias partículas grandes del agregado y se examinan las superficies rotas para ver si contienen humedad. Si se presenta alguna

duda o si el material evidentemente ha absorbido agua, se continúa con el procedimiento descrito en los numerales siguientes, con el fin de determinar si se requiere una corrección.

- 10.2** Si el agregado ha absorbido agua, se extiende la muestra sobre una bandeja plana de superficie no absorbente y se coloca en frente de un ventilador eléctrico para remover la humedad superficial (Figura 735 - 8). Se destruyen manualmente las aglomeraciones de partículas que presente la mezcla. Se agita la muestra intermitentemente, de manera que las partículas de agregado se enrollen en lugar de que solo se desplacen horizontalmente sobre la bandeja. Este proceso toma alrededor de 2 horas. Se debe evitar la pérdida de partículas de la mezcla.
- 10.3** Se pesa la bandeja con la muestra a intervalos de 15 minutos. Cuando la pérdida de la masa sea menor de 0.05 % para este intervalo, se considera que la muestra está superficialmente seca.
- 10.4** Esta masa final de la muestra superficialmente reemplazará el valor de A en el denominador de las ecuaciones de la Sección 9 (solamente en el denominador).



Figura 735 - 8. Muestra extendida en la bandeja sometida a secado frente al ventilador

11 INFORME

11.1 El informe debe incluir lo siguiente:

11.1.1 Gravedad específica máxima, G_{mm} , con tres cifras decimales.

11.1.2 Tipo de mezcla.

11.1.3 Tamaño de la muestra.

11.1.4 Número de muestras.

11.1.5 Tipo de recipiente.

11.1.6 Tipo de procedimiento.

12 PRECISIÓN Y SESGO

12.1 *Precisión* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados de los ensayos de gravedad específica, obtenidos mediante este método de ensayo, son los siguientes:

Tabla 735 - 1. Estimativos de precisión

CONDICIONES DEL ENSAYO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE ENTRE 2 RESULTADOS (d2s)
<i>Resultados de ensayos obtenidos sin usar la Sección 10:</i> Precisión de un solo operador Precisión multi-laboratorio	0.0080 0.0160	0.023 0.044
<i>Resultados de ensayos obtenidos usando la Sección 10 (sólo el método del recipiente):</i> Precisión de un solo operador Precisión multi-laboratorio	0.0064 0.0193	0.018 0.055

12.2 Las cifras de la columna 2 son las desviaciones estándar que se han encontrado apropiadas para las condiciones de ensayo descritas en la columna 1. Las cifras dadas en la columna 3 son los límites que no se deberán exceder por la diferencia entre los resultados de dos ensayos adecuadamente ejecutados.

12.3 Los valores en la columna 3 corresponden al intervalo aceptable para 2 ensayos. Cuando se evalúan más de dos resultados, se debe incrementar el intervalo dado en la columna 3. Se multiplica la desviación estándar de la columna 2 por el multiplicador dado en la Tabla 735 - 2 para el número real de ensayos.

Tabla 735 - 2. Rangos máximos aceptables

NÚMERO DE ENSAYOS	MULTIPLICADOR PARA 1s
2	2.8
3	3.3
4	3.6
5	3.9
6	4.0
7	4.2
8	4.3
9	4.4
10	4.5

12.3.1 Ejemplo para 3 ensayos: $0.0160 \times 3.3 = 0.0528$

12.4 Sesgo – Debido a que no hay un material de referencia adecuado para determinar el sesgo por este método de ensayo, no se hace una declaración sobre el particular.

13 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

ASTM D2041/D2041M-11

<http://www.ctqpfloida.com/books/pdf/Asphalt%20Plant%201/06%20%20Module%206%20-%20Maximum%20Specific%20Gravity%202009%20Student%20Manual.pdf>

<http://www.pavementinteractive.org/article/theoretical-maximum-specific-gravity/>

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

PORCENTAJE DE VACIOS CON AIRE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS DENSAS Y ABIERTAS

INV E – 736 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma se refiere a la determinación del porcentaje de vacíos ocupados por el aire en las mezclas asfálticas densas y abiertas compactadas.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-736-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Vacíos con aire* – Son las bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregados cubiertos con asfalto, en una mezcla asfáltica compactada.
- 2.2 *Mezcla asfáltica densa* – Es una mezcla asfáltica en la cual, una vez compactada, los vacíos con aire son menores de 10 %.
- 2.3 *Mezcla asfáltica abierta* – Es una mezcla asfáltica en la cual los vacíos con aire son iguales o mayores a 10 % después de compactada.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 El valor del porcentaje de vacíos con aire en una mezcla asfáltica es uno de los criterios utilizados tanto en los métodos de diseño, como en la evaluación de la compactación alcanzada en la colocación y compactación de las mezclas asfálticas.

4 TOMA DE MUESTRAS

- 4.1 Las muestras para este ensayo serán especímenes provenientes de mezclas compactadas en el laboratorio o de núcleos tomados de capas asfálticas compactadas en obra.

5 PROCEDIMIENTO

5.1 Para mezclas asfálticas densas:

- 5.1.1 Se determina la gravedad específica bulk de la mezcla compactada, mediante el procedimiento descrito en alguna de las normas INV E-733, INV E-734 o INV E-802.
- 5.1.2 Se determina la gravedad específica máxima, según las normas INV E-735 o INV E-803, sobre una mezcla asfáltica de idénticas características (en cuanto a los agregados y su granulometría, así como en cuanto al tipo y contenido de asfalto).

5.2 Para mezclas asfálticas abiertas:

- 5.2.1 Se determina la densidad bulk de una probeta de mezcla asfáltica compactada de forma regular, a partir de su masa seca (en g) y de su volumen (en cm³).
 - 5.2.1.1 Se determina la masa seca de la probeta (A), pesándola en el aire.
 - 5.2.1.2 Se mide la altura del espécimen con especial cuidado y precisión, de acuerdo con la norma INV E-744.
 - 5.2.1.3 Se mide el diámetro del espécimen en cuatro sitios diferentes y se calcula su promedio.
 - 5.2.1.4 Se calcula el volumen de la muestra (V) con base en los valores promedio de altura y diámetro.
 - 5.2.1.5 Se calcula la densidad bulk de la probeta dividiendo su masa seca (A) por su volumen (V)
 - 5.2.1.6 Se convierte la densidad bulk en gravedad específica bulk, dividiendo por 0.99707 g/cm³ o 997.07 kg/m³, densidad del agua a 25° C (77° F).

- 5.3 Se determina la gravedad específica máxima de la mezcla, de acuerdo con las normas INV E-735 o INV E-803, empleando una mezcla asfáltica de idénticas características (en cuanto a los agregados y su granulometría, así como en cuanto al tipo y contenido de asfalto).

- 5.4** Con fines de referencia o de arbitraje, se determinan tanto la gravedad específica bulk como la gravedad específica máxima sobre porciones aproximadamente iguales de la misma mezcla asfáltica compactada.

6 CÁLCULOS

- 6.1** Se calcula el porcentaje de vacíos con aire en la mezcla asfáltica compactada, respecto al volumen total, como sigue:

$$V_A = \left[1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right] \times 100 \quad [736.1]$$

Donde: V_A : Porcentaje de vacíos con aire en la mezcla compactada respecto del volumen del espécimen;

G_{mm} : Gravedad específica máxima;

G_{mb} : Gravedad específica bulk de espécimen compactado.

- 6.2** Si el porcentaje de vacíos con aire obtenido como resultado del cálculo del numeral 6.1 es igual o mayor de 10 %, el espécimen se deberá reensayar de acuerdo con las instrucciones del numeral 5.2, considerando que se trata de una mezcla abierta.

7 PRECISIÓN Y SESGO

- 7.1** La precisión de este método de prueba depende de la precisión de los diferentes métodos de ensayo empleados. Puesto que el cálculo del porcentaje de vacíos (numeral 6.1) involucra la relación entre la densidad específica bulk y la gravedad específica máxima, se debe usar la fórmula para el cociente:

$$\sigma_{x/y} = \sqrt{\frac{\bar{y}^2 \sigma_x^2 + \bar{x}^2 \sigma_y^2}{\bar{y}^4}} \quad [736.2]$$

Donde: $\sigma_{x/y}$: Desviación estándar para la determinación de los límites de precisión de los resultados de las pruebas basadas en el cociente de los resultados de ensayos;

- \bar{x} : Valor medio (promedio) de x resultados normales de gravedad específica bulk;
- \bar{y} : Valor medio (promedio) de y resultados normales de gravedad específica máxima;
- σ_x : Desviación estándar de las declaraciones de precisión de "x" resultados normales de gravedad específica bulk;
- σ_y : Desviación estándar de las declaraciones de precisión de "y" resultados normales de gravedad específica máxima.

7.2 Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados del porcentaje de vacíos con aire se deben presentar de la siguiente manera:

FACTOR	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	RANGO ACEPTABLE ENTRE DOS RESULTADOS
Precisión del operario	$\sigma_{x/y}$	$2.8 \sigma_{x/y}$

8 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D3203/D3203M – 11

ANEXO A (Informativo)

EJEMPLO DE CÁLCULO DE PRECISIÓN

A.1 Datos de precisión de una mezcla:

Gravedad específica bulk, x :

Promedio	Desviación estándar
2.423	0.007

Gravedad específica máxima, y :

Promedio	Desviación estándar
2.523	0.004

A.2 La desviación estándar para la determinación de los límites de precisión será:

$$\sigma_{x/y} = \sqrt{\frac{(2.523)^2(0.007)^2 + (2.423)^2(0.004)^2}{(2.523)^4}} = 0.00316$$

Este valor se encuentra en términos de vacíos con aire; por lo tanto, se debe multiplicar por 100 para convertirlo en porcentaje.

$$\sigma_{x/y} = 0.00316 (100) = 0.32 \%$$

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

ENSAYO DE LA MANCHA SOBRE MATERIALES ASFÁLTICOS

INV E – 737 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Este método de ensayo es aplicable únicamente a productos asfálticos derivados del petróleo y no se debe aplicar a asfaltos naturales que contengan materias no bituminosas insolubles en xileno.
- 1.2** A los materiales que mediante el uso del solvente normal clasifican como positivos, se les puede determinar su grado de positividad por medio del “equivalente de xileno”. El equivalente de xileno será el menor porcentaje por volumen de xileno en un solvente compuesto por xileno y nafta normal o por xileno y heptano normal, como se especifique, el cual produce una “mancha negativa” para el material en cuestión. Estos se conocen como “equivalente nafta-xileno” y “equivalente heptano-xileno”, respectivamente. El porcentaje de xileno en los solventes se va agregando en incrementos de 5 % respecto del volumen de la mezcla. Si no se especifica un equivalente de xileno, sólo se deberá usar nafta normal.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** El ensayo de la mancha es una forma de cromatografía de papel. Se suelta sobre un papel de filtro una pequeña gota de cemento asfáltico preparada bajo condiciones normalizadas. Si la mancha que se forma es de un color marrón uniforme, el resultado del ensayo es negativo. Si la mancha es marrón con un centro mucho más oscuro, el resultado es positivo.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** El ensayo se usa para determinar si el cemento asfáltico ha sufrido sobrecalentamiento durante su elaboración. El sobrecalentamiento quiebra las moléculas y el cemento asfáltico resultante es menos dúctil y más susceptible a los efectos del envejecimiento.

4 MATERIALES

- 4.1 La nafta normal es el producto del primer destilado libre de cualquier clase de productos craqueados y debe cumplir los siguientes requisitos:

GRAVEDAD A.P.I.	49 – 50
DESTILACIÓN:	
PUNTO DE EBULLICIÓN INICIAL	Por encima de 149° C (300° F)
50 % SOBRE	168 – 179° C (335 – 355° F)
PUNTO FINAL	Bajo 210° C (410° F)
NÚMERO DE ANILINA	59 a 63° C (138 a 145° F)

- 4.1.1 El número de anilina del solvente se debe determinar como se establece en la norma ASTM D 611.

- 4.2 Cuando se especifiquen los equivalentes de xileno, el xileno por utilizar deberá ser químicamente puro, con una temperatura de ebullición entre 137 y 140° C (278.6 y 284° F) al ser destilado de acuerdo con la norma AASHTO T 115.

- 4.3 El heptano normal debe cumplir los siguientes requisitos:

OCTANAJE	0.0 ± 0.2
DENSIDAD A 20° C, g/ml	0.68375 ± 0.00015
ÍNDICE DE REFRACCIÓN, ND; A 20° C	1.38775 ± 0.00015
PUNTO DE CONGELAMIENTO, °C	- 90.72 mínimo
DESTILACIÓN:	
50 % RECUPERADO, °C	98.43 ± 0.05
INCREMENTO DESDE 20 HASTA 80% DE RECUPERACIÓN, °C	0.20 máximo

5 EQUIPO

- 5.1 *Frasco volumétrico* – De 50 ml de capacidad, de cualquiera de los dos modelos siguientes: Florence de boca ancha y fondo plano o Soxhlet de aproximadamente 45 mm (1 ¾") de diámetro por 60 mm (2 3/8") de alto.
- 5.2 *Tapón de corcho para frasco* – Provisto con un tubo de vidrio de 200 mm (8") de largo por 6 mm (¼") de diámetro.
- 5.3 *Papel de filtro* – Whatman No. 50, de 70 mm de diámetro.

- 5.4 Placa de vidrio** – Una placa de vidrio lisa y transparente. Se deberá limpiar primero con benceno o tetracloruro de carbono y lavar luego con agua y jabón. En seguida se seca frotando con un paño, se limpia con un producto limpiador de vidrio, se seca de nuevo frotando y se deja libre de polvo y pelusa. Después de este tratamiento de limpieza, si se aplica una gota de la mezcla de asfalto sobre el vidrio, debería fluir hasta formar una mancha elíptica. Si la mancha es dentada o de borde irregular, se debe limpiar de nuevo la placa de vidrio con el líquido limpiavidrios hasta que la gota de asfalto fluya apropiadamente como se describió antes.
- 5.5 Pipeta o bureta** – Con graduaciones cada 0.1 ml.
- 5.6 Termómetro** – Tipo ASTM 64C o 64F, con las siguientes características generales:

RANGO	25 a 55° C (77 a 131° F)
DIVISIONES	0.1° C (0.2° F)
LONGITUD	379 mm
INMERSIÓN	Total

- 5.7 Balanza** – De capacidad adecuada para las muestras por pesar.

6 MUESTRAS

- 6.1** Para asfaltos sólidos o semisólidos, el ensayo se deberá realizar sobre el material original. Para asfaltos líquidos de curado lento que tengan menos de 15 % de volumen destilado bajo 360° C (680° F), el ensayo se podrá realizar sobre el material original salvo en casos de discusión, cuando se deberá realizar sobre el residuo de la destilación. Para el resto de los asfaltos líquidos, el ensayo se efectuará sobre el residuo del ensayo de destilación (norma INV E-723).

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** Se coloca en el frasco una muestra de 2.00 ± 0.02 g del asfalto a ensayar. Si el producto no fluye fácilmente a temperatura ambiente, se calienta cuidadosamente hasta que la muestra se pueda extender en una película delgada cubriendo el fondo del frasco. Luego se permite el enfriamiento a temperatura ambiente.

- 7.2** Empleando la pipeta o la bureta, se introducen en el frasco 10.2 ml del solvente especificado. Se inserta rápidamente en el cuello del frasco el corcho con el tubo de 200 mm (8") y se le dan vueltas al frasco durante 5 segundos, formado remolinos con un movimiento circular rápido. En seguida, se introduce el frasco hasta su cuello en un baño de agua hirviendo durante 55 segundos (excepto en el caso de que la muestra sea un líquido muy fluido, en el cual el calentamiento es innecesario).
- 7.3** Se retira el frasco del baño y se gira durante 5 segundos, se introduce de nuevo en el baño por 55 segundos, repitiendo el proceso cada minuto hasta obtener la dispersión completa, lo que se juzga inclinándolo el frasco y girándolo.
- 7.4** Luego de alcanzar la dispersión completa, se hace descender el tubo de vidrio bajo el nivel de la solución y se permite el enfriamiento del frasco a temperatura ambiente durante 30 minutos.
- 7.5** La mezcla de solvente y asfalto se calienta durante 15 minutos en un baño de agua mantenido a $32.0 \pm 0.5^\circ \text{C}$ ($89.6 \pm 1.0^\circ \text{F}$). Después, la mezcla se agita completamente con una varilla de vidrio limpia y con ésta se deja caer una gota de la mezcla caliente sobre el papel de filtro Whatman No. 50.
- 7.6** Pasados 5 minutos, se examina la mancha sosteniendo el papel con el brazo estirado y con su plano aproximadamente perpendicular a la línea de visión, con una buena fuente de luz (preferiblemente luz diurna difusa) a espaldas del observador. Si la gota forma una mancha circular marrón o amarillo-marrón con un núcleo sólido o anular más oscuro en el centro, el ensayo se reporta como positivo (Figura 737 - 1).
- 7.7** Si la gota forma una mancha circular uniforme de color marrón, el resultado se deberá reservar y la mezcla de solvente y asfalto se deja a un lado en el frasco bien tapado a temperatura ambiente bajo luz tenue, para ser reensayada 24 horas después del primer examen. Entonces, se calienta la mezcla a $32.0 \pm 0.5^\circ \text{C}$ ($89.6 \pm 1.0^\circ \text{F}$) durante 15 minutos como en el numeral 5.5 y se agita vigorosamente hasta obtener la uniformidad, luego de lo cual se coloca nuevamente una gota sobre un papel de filtro. Si la gota de 24 horas aun forma una mancha circular uniforme de color marrón, el ensayo se reporta como negativo (Figura 737 - 1); pero si se forma en el centro de la mancha un núcleo sólido o anular más oscuro, como se describió en el numeral 5.6, el resultado del ensayo se reportará como positivo.

8 PROCEDIMIENTO EN CASOS DE DISCUSIÓN

- 8.1** En caso de discusión, el ensayo se deberá repetir. Cualquier pérdida en la masa del solvente durante la dispersión deberá ser repuesta con solvente adicional y el frasco, después de la dispersión completa, se debe mantener bajo luz tenue a $25.0 \pm 1.7^\circ \text{C}$ ($77 \pm 3^\circ \text{F}$) durante 24 horas. Cumplido este plazo, se calienta la mezcla durante 15 minutos a $32.0 \pm 0.5^\circ \text{C}$ ($89.6 \pm 1.0^\circ \text{F}$) y luego se colocan sendas gotas de la mezcla solvente-asfalto sobre el papel de filtro y la placa de vidrio. Si la apariencia de la gota sobre el papel de filtro, hecha con la mezcla fresca o con la de 24 horas sigue en discusión, entonces el ensayo que se realice sobre la placa de vidrio como se describe en seguida, será el definitivo.
- 8.2** Se coloca la gota de mezcla de 24 horas sobre la placa de vidrio mantenida en un ángulo de 45 grados con la horizontal. Si a medida que la gota fluye, desarrolla en el centro de su trayectoria una línea oscura enmarañada, el borde de la cual está bien definido contra el suave, claro y brillante color marrón de la zona exterior cuando el vidrio se examina mediante la luz reflejada contra un fondo oscuro, el ensayo se deberá reportar como positivo.
- 8.3** Si la gota de la mezcla de 24 horas fluye en una película marrón uniforme, clara y brillante, sin la línea central descrita en el numeral anterior, el ensayo se informará como negativo.



Figura 737 - 1. Resultados del ensayo de la mancha

9 EQUIVALENTE DE XILENO

- 9.1** El método usado en el ensayo de “equivalentes de xileno” es el mismo especificado antes, excepto que el solvente deberá estar compuesto por xileno y nafta normal o por xileno y heptano normal, según se especifique.
- 9.2** Para determinar el equivalente de xileno, se deben dispersar dos o más muestras del asfalto en la mezcla prescrita de solvente. El porcentaje de xileno

se hace variar mediante incrementos sucesivos de 5 % en volumen hasta encontrar dos soluciones con asfalto, una que presente mancha positiva y la siguiente (en la cual el solvente contiene 5 % más de xileno) con mancha negativa. El equivalente de xileno se reporta entonces mencionando su porcentaje en los dos solventes usados en estas dos soluciones, por ejemplo “equivalente de nafta-xileno 10–15 %” o “equivalente de heptano-xileno 20–25 %”, según sea el caso.

- 9.3** Cuando la aceptación de un material asfáltico se basa en el equivalente de xileno especificado, no es necesario determinar con exactitud el menor porcentaje de xileno que produce una mancha negativa. La muestra se puede ensayar con un solvente compuesto de los porcentajes especificados de xileno y nafta normal o de xileno y heptano normal, según se requiera, y cualquier material que muestre mancha negativa para este solvente se informará como menor que el equivalente de xileno particular que ha sido designado; por ejemplo, “equivalente de nafta-xileno menor de 20 %” o equivalente de heptano-xileno menor de 25 %”.

10 NORMAS DE REFERENCIA

AASHTO T-102-83 (2004)

EFFECTO DEL AGUA SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS (ENSAYO DE INMERSIÓN-COMPRESIÓN)

INV E – 738 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Este método describe el procedimiento para medir la pérdida de resistencia a la compresión que se produce por la acción del agua sobre las mezclas asfálticas compactadas, preparadas con cementos asfálticos. En el ensayo se obtiene un índice numérico de la pérdida producida, al comparar las resistencias a la compresión simple obtenidas sobre probetas recién moldeadas y curadas al aire y las obtenidas sobre probetas duplicadas sometidas a la acción del agua, en las condiciones que se prescriben en esta norma.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-738-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** Este método de ensayo se usa para evaluar la susceptibilidad a la humedad de las mezclas asfálticas compactadas.

3 EQUIPO

- 3.1** *Baño de agua* – Para la inmersión de las probetas se debe disponer de un baño de agua con la capacidad suficiente para mantenerlas totalmente sumergidas durante todo el tiempo que dure la inmersión. El baño debe estar provisto de un equipo de control automático, capaz de regular y mantener la temperatura exigida en el ensayo con un margen de error de $\pm 1^\circ \text{C}$ ($\pm 1.8^\circ \text{F}$). El baño debe estar construido o revestido con cobre, acero inoxidable u otro material inalterable en las condiciones del ensayo. Se debe utilizar agua destilada o bien agua tratada para eliminar los electrolitos, la cual se deberá desechar después de cada inmersión, vaciando y limpiando adecuadamente el baño.
- 3.2** *Baño de agua para ajuste de temperatura de prueba* – Un baño de agua con control manual o automático de temperatura y con la capacidad adecuada

para mantener las probetas a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), antes de la rotura a compresión. Cualquier tanque o recipiente resulta adecuado si tiene el tamaño suficiente para permitir la inmersión total de los especímenes.

- 3.3** *Balanza* – Una balanza con accesorios adecuados para pesar las probetas en el aire y en el agua, para determinar sus densidades, la cantidad de absorción y cualquier cambio que se produzca en los especímenes como resultado del ensayo de inmersión.
- 3.4** *Placas de transferencia* – Placas planas de vidrio u otro material no reactivo. Una de ellas se debe mantener bajo los especímenes durante el período de inmersión en agua y el manejo posterior, para evitar su rotura o deformación.
- 3.5** *Termómetros* – Calibrados, de líquido en vidrio, que permitan la lectura con aproximación a 0.5°C (1°F). También 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*).
- 3.6** *Baño de aire* – Capaz de mantener, por control automático o manual, una temperatura de $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), para el almacenamiento de los especímenes secos antes de someterlos al ensayo de compresión

4 ESPECÍMENES DE PRUEBA

- 4.1** *Preparación de las probetas* – Se deben preparar seis (6) especímenes cilíndricos de 101.6 mm (4") de diámetro por 101.6 mm (4") de altura para cada ensayo. Los aparatos y materiales necesarios, así como el procedimiento a seguir para la preparación de las mezclas, moldeo de las probetas y ensayo de las mismas, serán los descritos en la norma INV E-747 (Resistencia a compresión simple de mezclas asfálticas).

Nota 1: Este método de prueba fue desarrollado para medir la pérdida de resistencia a la compresión debido al efecto del agua para especímenes diseñados aproximadamente con 6 % de vacíos con aire mediante la compactación del método de prueba de la norma INV E-747. Cuando se utiliza con mezclas diseñadas por otros métodos, es posible que los especímenes queden compactados a otro nivel de vacíos con aire, situación que puede influir en los resultados. Algunas entidades han establecido un porcentaje de vacíos con aire o porcentaje de densidad con el cual se deben compactar los especímenes. Esto se logra ajustando la carga de compactación indicada en la sección referente a los especímenes de prueba de la norma INV E-747.

5 DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE LOS ESPECÍMENES DE PRUEBA

- 5.1** Se deja enfriar cada serie de seis probetas al menos durante dos horas, después de sacarlas del horno de curado descrito en el método norma INV E-747. Se determina la gravedad específica bulk de cada probeta, de acuerdo con el procedimiento (especímenes totalmente secos) y cálculos (gravedad específica bulk) de las normas INV E-733 o INV E-802.

Nota 2: El cálculo de los vacíos con aire puede depender del método de ensayo usado para determinar la gravedad específica bulk de la probeta.

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** Se divide cada juego de seis probetas en dos grupos de tres, de manera que la gravedad específica promedio de cada grupo sea aproximadamente la misma. El procedimiento a seguir con el grupo 1 es el descrito en el numeral 6.1.1. El procedimiento de prueba a seguir con el grupo 2 es el descrito en el numeral 6.1.2, a menos que se especifique la alternativa descrita en el numeral 6.1.3.

6.1.1 *Grupo 1* – Se llevan las tres probetas de este grupo a la temperatura de prueba de $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$) almacenándolas en el baño de aire mantenido a dicha temperatura durante un lapso no menor de 4 horas y se determina su resistencia a la compresión de acuerdo con la norma INV E-747.

6.1.2 *Grupo 2* – Las tres probetas de este grupo se sumergen en un baño de agua regulado a $60 \pm 1^\circ \text{C}$ ($140 \pm 1.8^\circ \text{F}$) durante 24 horas. Al final de este período se transfieren durante 2 horas a un segundo baño de agua regulado a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$). A continuación, se determina su resistencia a compresión de acuerdo con la norma INV E-747.

6.1.3 *Grupo 2, procedimiento alternativo* – Las tres probetas de este grupo se sumergen en un baño de agua regulado a $49 \pm 1^\circ \text{C}$ ($120.2 \pm 1.8^\circ \text{F}$) durante cuatro días. Al final de este período se transfieren al segundo baño de agua, regulado a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 1.8^\circ \text{F}$), durante 2 horas. A continuación, se determina su resistencia a compresión de acuerdo con la norma INV E-747.

7 CÁLCULOS

- 7.1 El índice numérico de la resistencia de las mezclas asfálticas al efecto perjudicial del agua (resistencia conservada), se calcula como el porcentaje de la resistencia original que se retiene luego de la inmersión:

$$\text{Resistencia conservada (\%)} = \frac{R_2}{R_1} \times 100 \quad [738.1]$$

Donde: R_1 : Resistencia a compresión de los especímenes secos (grupo 1);

R_2 : Resistencia a compresión de las probetas sometidas a inmersión en agua (grupo 2).

8 INFORME

- 8.1 En el informe se incluirán los siguientes datos:

8.1.1 Condiciones de inmersión.

8.1.2 Gravedad específica bulk promedio de cada grupo.

8.1.3 Resistencia a la compresión simple promedio de cada grupo, en kgf/cm^2 (lb/pg^2).

8.1.4 Porcentaje de vacíos con aire de los especímenes.

8.1.5 Resistencia conservada, redondeada al entero más próximo.

9 PRECISIÓN Y SESGO

- 9.1 *Precisión de un solo operador* – Se ha encontrado que la desviación estándar de un solo operador es 6 % (nota 3). Por consiguiente, los resultados de dos pruebas realizadas adecuadamente por el mismo operador, sobre el mismo material, no deben diferir en más de 18 % (nota 3).

Nota 3: Estos números representan, respectivamente, el (1s) y el (d2s), límites descritos en la práctica ASTM C 670.

- 9.2** *Precisión multi-laboratorio* – Se ha encontrado para ensayos entre varios laboratorios, que la desviación estándar es 18 % (nota 3). Por consiguiente, los resultados de dos pruebas efectuadas adecuadamente por dos laboratorios diferentes sobre muestras idénticas del mismo material no deben diferir en más de 50 % (nota 3).

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 1075 – 11

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

ESTIMACIÓN DEL GRADO DE CUBRIMIENTO DE LAS PARTÍCULAS DE AGREGADO GRUESO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS

INV E – 739 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Este ensayo se refiere a la determinación del grado de cubrimiento de las partículas de agregado en una mezcla bituminosa, sobre la base del porcentaje de partículas de agregado grueso clasificadas como completamente cubiertas por el ligante.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-739-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1 El procedimiento descrito en esta norma para estimar el porcentaje de partículas totalmente cubiertas después de emplear diferentes tiempos de mezcla, se usa para establecer el tiempo mínimo de mezclado que da lugar a un cubrimiento satisfactorio del agregado bajo un conjunto de condiciones dadas.
- 2.2 El método se puede emplear, también, para verificar si se ha mantenido un cubrimiento satisfactorio de las partículas en las pilas de almacenamiento de las mezclas en frío.
- 2.3 Este procedimiento es aplicable tanto para las mezclas elaboradas en caliente como para las preparadas en frío.

Nota 1: Se debe aclarar que aunque una mezcla para pavimentar cumpla con "el porcentaje de cubrimiento" especificado, esto no garantiza necesariamente que el cemento asfáltico esté uniformemente distribuido en toda la mezcla.

3 EQUIPO

- 3.1 *Tamices* – De 9.5 mm (3/8") y de 4.75 mm (No. 4).

- 3.2** *Cronómetro* – Para verificar el tiempo real de mezcla en las plantas de bachadas (plantas de mezcla por masa).
- 3.3** *Termómetro* – Con un rango de medida de 10° C (50° F) a 204° C (400° F), como mínimo.
- 3.4** *Pala para muestreo.*
- 3.5** *Bandejas para muestras.*

4 MUESTREO

- 4.1** *Planta de producción por bachadas* – Se permite que la planta opere con un tiempo establecido de mezcla por bachada (el tiempo se mide con un cronómetro).
- 4.2** *Planta de producción continua* – Se establece un tiempo de mezcla mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo de mezclado} = \frac{\text{Contenido de material en la mezcladora, kg [lb]}}{\text{Rendimiento de la mezcladora, kg/s [lb/s]}} \quad [739.1]$$

- 4.3** *Planta de tambor mezclador* – Se opera la planta en condición estable y continua por un tiempo suficientemente largo para completar el muestreo.
- 4.4** Las muestras deben ser tomadas en la planta de producción, inmediatamente después del descargue de la planta sobre tres camiones seleccionados al azar, según la norma INV E-730. El muestreo deberá estar de acuerdo con la norma INV E-731. La cantidad de muestra requerida para el ensayo es, aproximadamente, 2.5 a 4.0 kg (5 a 8 lb).
- 4.5** Si el muestreo en camiones no resulta práctico, el muestreo se podrá realizar en la vía antes de comenzar la compactación, en tres puntos seleccionados al azar, según la norma INV E-730. El muestreo se deberá efectuar de acuerdo con la norma INV E-731.
- 4.6** Si se trata de una pila de mezcla abierta en frío, el muestreo se deberá realizar en tres puntos de la pila escogidos al azar, según la norma INV E-730. El muestreo se deberá adelantar de acuerdo con la norma INV E-731.

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1** Cuando el material todavía se encuentre caliente, se tamiza inmediatamente sobre el tamiz de 9.5 mm (3/8"); o sobre el de 4.75 mm (No. 4) si el tamaño máximo del agregado es 9.5 mm (3/8"). Se toma una muestra de tamaño suficiente para que queden entre 200 y 500 partículas retenidas en el tamiz 9.5 mm (3/8") o en el de 4.75 mm (No. 4), según el caso. Nunca se deben sobrecargar los tamices. Si es necesario, se tamiza la muestra mediante dos o tres operaciones de tamizado. Se debe reducir al mínimo la agitación de la muestra, para evitar el recubrimiento de partículas que hayan salido de la planta sin cubrir.
- 5.2** Se colocan las partículas en una sola capa sobre una superficie limpia y se inicia inmediatamente el conteo.
- 5.3** Se examina cada partícula cuidadosamente, bajo buenas condiciones de luz (luz del día, fluorescente o similar). Aún si se nota sólo una pequeña área de la piedra sin cubrir, ésta se clasificará como "parcialmente cubierta". Sólo si está totalmente cubierta de ligante, la partícula se clasificará como "completamente cubierta".

6 CÁLCULOS

- 6.1** Se calcula el porcentaje de partículas totalmente cubiertas, de la siguiente manera:

$$\% \text{ estimado de partículas cubiertas} = \frac{\text{Número de partículas completamente cubiertas}}{\text{Número total de partículas contadas}} \times 100 \quad [739.2]$$

7 INFORME

- 7.1** Se deberá presentar la siguiente información:
- 7.1.1** Procedencia de la muestra.
 - 7.1.2** Tipo de mezcla (caliente, frío) y de planta.
 - 7.1.3** Para muestras tomadas de pilas, edad de la mezcla.

- 7.1.4 Fecha y lugar de muestreo.
- 7.1.5 Tamaño máximo del agregado.
- 7.1.6 Número de partículas contadas.
- 7.1.7 Porcentaje estimado de partículas cubiertas.

8 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D2489/D2489M – 08

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

ENSAYO DE ADHERENCIA EN BANDEJA

INV E – 740 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma presenta un procedimiento para determinar las características de adherencia entre un ligante bituminoso y una muestra representativa del agregado grueso que se va a utilizar en la construcción de un tratamiento superficial.
- 1.2 El método no es aplicable a partículas de agregado que pasen el tamiz de 9.5 mm (3/8").
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E-740-07.

2 EQUIPO Y MATERIALES

- 2.1 *Bandeja* – De lámina de zinc o aluminio, de 3.2 mm (1/8") de espesor, 152 × 152 mm (6 × 6") de base y aproximadamente 20 mm (0.8") de profundidad. Su fondo debe ser perfectamente plano.
- 2.2 *Horno* – Termostáticamente controlado, con circulación forzada de aire, que pueda mantener la temperatura en el rango de 60 a 110 ± 2° C.
- 2.3 *Tamices* – De ½" y 3/8" de abertura de malla.
- 2.4 *Baño de agua* – Termostáticamente controlado, que pueda mantener la temperatura en los rangos de 50 ± 2° C y 24 ± 2° C, provisto de un dispositivo para la circulación del agua y de un estante para soportar las bandejas con las muestras bajo el nivel del agua.
- 2.5 *Alicata*.
- 2.6 *Agua destilada o desmineralizada*.

3 MUESTRAS

- 3.1 Se requieren 50 partículas representativas del agregado grueso, de la fracción 12.5 – 9.5 mm (½" – 3/8").

- 3.2** Se debe disponer de 100 ml de la emulsión asfáltica de rotura rápida que se va a utilizar en la ejecución del tratamiento.

4 PROCEDIMIENTO

- 4.1** Se seca el agregado al horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$, hasta alcanzar masa constante.
- 4.2** Se vierte la emulsión en la bandeja limpia y seca, en la cantidad necesaria para obtener un contenido de ligante residual de 30 a 35 g.
- 4.3** Si la emulsión se encuentra caliente, se deja enfriar a una temperatura entre 50 y 60°C (108 y 140°F). Se colocan, una por una y de manera uniforme sobre la película de asfalto, las cincuenta partículas (Figura 740 - 1). Se deja el conjunto en reposo a temperatura ambiente por un periodo mínimo de 30 minutos y, en seguida, se lleva la bandeja con su contenido al horno a $60 \pm 1^\circ \text{C}$ durante 24 horas.



Figura 740 - 1. Colocación de las partículas de agregado en la lámina de asfalto

Nota 1: Hay que tener presente que la emulsión debe curar manteniendo siempre la placa en posición horizontal, para garantizar la uniformidad de la película de ligante.

- 4.4** Se retira la bandeja del horno y se sumerge en un baño de agua destilada a $50 \pm 2^\circ \text{C}$ durante cuatro días (Figura 740 - 2).
- 4.5** Cumplidos los cuatro días, se reduce la temperatura del baño de agua y se mantiene a $24 \pm 2^\circ \text{C}$ durante una hora. Alternativamente, se retira la bandeja del baño y se coloca dentro de otro recipiente con agua, siempre que en éste se pueda mantener una temperatura de $24 \pm 2^\circ \text{C}$ durante una hora.



Figura 740 - 2. Bandejas en el baño de agua

- 4.6** Se retira la bandeja del baño de agua y, con ayuda de un alicate, se extraen una por una las partículas de agregado (Figura 740 - 3), ejerciendo presión sólo en sentido vertical, para evitar que las partículas se deslicen sobre la película de asfalto.



Figura 740 - 3. Extracción de las partículas

- 4.7** Mediante inspección visual, se dividen las partículas en tres grupos, según las características que presenten, así:

- 4.7.1** *Completamente descubiertas* – Menos de 25 % de su superficie de contacto está cubierta con el ligante.
- 4.7.2** *Parcialmente descubiertas* – Entre 25 % y 75 % de su superficie de contacto está cubierta con el ligante.
- 4.7.3** *Cubiertas* – Más del 75 % de su superficie de contacto está cubierta con el ligante.

Nota 2: La película de ligante sobre la superficie del agregado puede ser muy delgada. Para confirmar su presencia, se coloca un papel de filtro Whatman No.1 sobre el área de contacto de la partícula, colocada ésta en posición invertida, y se aplica una presión firme con el dedo índice. A continuación, se levanta el papel tomándolo de sus bordes. Si el papel sostiene la partícula durante más de 5 segundos, se considera que hay ligante en su superficie.

5 CÁLCULOS

- 5.1** Tras la inspección visual de cada partícula, se calcula el porcentaje de partículas (por número) que tienen cobertura de ligante, de la siguiente manera:
- 5.1.1** *Completamente descubiertas* – Se cuenta como cero.
 - 5.1.2** *Parcialmente descubiertas* – Se cuenta media unidad.
 - 5.1.3** *Cubiertas* – Se cuenta una unidad.
- 5.2** El porcentaje de partículas cubiertas en la muestra se calcula como la suma de estos porcentajes, redondeada al 2 % más cercano.

6 INFORME

- 6.1** Se debe presentar la siguiente información:
- 6.1.1** Tipo y procedencia del agregado.
 - 6.1.2** Tipo, clase y procedencia del ligante asfáltico.
 - 6.1.3** Porcentaje partículas cubiertas, redondeado a 2%.
 - 6.1.4** Se debe informar si el agregado presentó tendencia a desmenuzarse al extraerlo de la bandeja con el alicate.

7 NORMAS DE REFERENCIA

MOPT, División de Ingeniería de Materiales, Norma provisional: "Ensayo de adherencia en bandeja", Bogotá

RTA Test Method T 230, February 2001

ESPESOR DE LA PELÍCULA DE ASFALTO EN MEZCLAS BITUMINOSAS

INV E – 741 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Este método se emplea para estimar el espesor medio de película de ligante en una mezcla asfáltica.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-741-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Espesor de la película de ligante* – Espesor promedio, en milésimas de milímetro (μm), del asfalto incorporado en la mezcla, restándole el asfalto que ha sido absorbido por el agregado.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1 El espesor de la película de ligante se determina dividiendo el volumen de asfalto efectivo en la mezcla por la superficie específica del agregado pétreo. La superficie específica se determina multiplicando el porcentaje de agregado que pasa por cada tamiz por un “factor de superficie específica”. Los productos acumulados representan la superficie específica equivalente en términos de m^2/kg . En los cálculos se deben emplear todos los tamices indicados, con sus respectivos factores de superficie específica.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1 Los agregados pétreos requieren estar cubiertos por un espesor mínimo de ligante, para asegurar la cohesión, la durabilidad y la resistencia a la fatiga de la mezcla asfáltica luego de su colocación en el terreno.

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1 Se deben determinar la granulometría del agregado total incorporado (incluyendo los porcentajes que pasan por los tamices indicados en el numeral 6.1) y el contenido de ligante incorporado en la mezcla, los correspondientes a la fórmula de trabajo si se está en etapa de diseño o los determinados según las normas INV E-729, INV E-732 o INV E-743 (contenido de asfalto) e INV E-782 (granulometría) cuando se trate de análisis de mezclas en el campo.
- 5.2 Se debe determinar la densidad bulk de los agregados totales incorporados a la mezcla, la correspondiente a la gravedad bulk promedio calculada de acuerdo con la norma INV E-799.
- 5.3 Se debe determinar la densidad del ligante de acuerdo con la norma INV E-707.
- 5.4 Se determinan la gravedad específica efectiva del agregado pétreo (G_{se}) el porcentaje de asfalto absorbido (P_{ba}) y el contenido de ligante efectivo (P_{be}) en la mezcla asfáltica, de acuerdo con la norma INV E-799.

6 CÁLCULOS

- 6.1 Se calcula la superficie específica del agregado combinado incluido en la mezcla, con la expresión:

$$SE = 0.41 + 0.0041a + 0.0082b + 0.0164c + 0.0287d + 0.0614e + 0.1229f + 0.3277g \quad [741.1]$$

Donde: SE: Superficie específica del agregado combinado, m^2/kg ;

a: Porcentaje pasa el tamiz de 4.75 mm (No. 4);

b: Porcentaje pasa el tamiz de 2.36 mm (No. 8);

c: Porcentaje pasa el tamiz de 1.18 mm (No. 16);

d: Porcentaje pasa el tamiz de 600 μm (No. 30);

e: Porcentaje pasa el tamiz de 300 μm (No. 50);

f: Porcentaje pasa el tamiz de 150 μm (No. 100);

g: Porcentaje pasa el tamiz de 75 μm (No. 200).

- 6.2** Se determina el volumen total de ligante asfáltico para una masa de 100 g de mezcla ($P_{b \text{ volumen}}$), con la expresión:

$$P_{b \text{ volumen}} = \frac{P_b}{D_b} \quad [741.2]$$

Donde: P_b : Contenido total de asfalto (% de la masa total de la mezcla);

D_b : Densidad del ligante a 25° C, g/cm³;

- 6.3** Se determina la masa de asfalto absorbido (en gramos) por cada 100 g de mezcla con la fórmula:

$$P_{ba \text{ masa}} = P_{ba} \times P_g \quad [741.3]$$

Donde: P_{ba} : Asfalto absorbido, como porcentaje de la masa del agregado;

P_g : Proporción de agregado en la mezcla, en tanto por uno. Se calcula con la fórmula:

$$P_g = 1 - \left[\frac{P_b}{100} \right] \quad [741.4]$$

- 6.4** Se determina y anota el volumen de asfalto absorbido en 100 g de mezcla, con la expresión:

$$P_{ba \text{ volumen}} = \frac{P_{ba \text{ masa}}}{D_b} \quad [741.5]$$

- 6.5** Se calcula el volumen de asfalto efectivo ($P_{be \text{ volumen}}$) en 100 g de mezcla, como sigue:

$$P_{be \text{ volumen}} = P_{b \text{ volumen}} - P_{ba \text{ volumen}} \quad [741.6]$$

- 6.6** Se calcula el espesor medio de la película de asfalto, en μm , con la fórmula:

$$H_a = \left[\frac{P_{\text{be volumen}}}{SE \times P_g} \right] \times 10 \quad [741.7]$$

7 INFORME

7.1 Se debe incluir la siguiente información:

7.1.1 Descripción, características y representatividad de la mezcla.

7.1.2 Datos empleados para determinar el espesor de la película.

7.1.3 Espesor promedio de la película de asfalto en la mezcla.

8 NORMAS DE REFERENCIA

ITM No. 589-12P INDIANA DOT

ANEXO A (Informativo)

EJEMPLO DE APLICACIÓN

A.1 Se determinará el espesor promedio de la película de ligante en una mezcla densa en caliente, de acuerdo con los datos que se asumen a continuación:

A.1.1 Contenido de ligante (P_b) en la mezcla asfáltica = 6.0 %.

A.1.2 Porcentaje de asfalto absorbido (P_{ba}) como % de la masa del agregado = 0.28 %.

A.1.3 Densidad del ligante a 25° C (D_b) = 1.015

A.1.4 Granulometría de los agregados en la mezcla:

TAMIZ No.	% PASA
4	73
8	58
16	42
30	28
50	17
100	7
200	5.4

A.2 Solución

A.2.1 Se determina la superficie específica del agregado:

$$SE = 0.41 + 0.0041a + 0.0082b + 0.0164c + 0.0287d + 0.0614e + 0.1229f + 0.3277g$$

$$SE = 0.41 + 0.0041 \times 73 + 0.0082 \times 58 + 0.0164 \times 42 + 0.0287 \times 28 + 0.0614 \times 17 + 0.1229 \times 7 + 0.3277 \times 5.4$$

$$SE = 6.351 \text{ m}^2/\text{kg}$$

A.2.2 Se determina el contenido de ligante efectivo en la mezcla asfáltica (P_{be}):

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba} (100 - P_b)}{100} = 6.0 - \frac{0.28 (100 - 6.0)}{100} = 5.74 \%$$

A.2.3 Se determina el volumen total de ligante asfáltico para una masa de 100 g de mezcla ($P_{b \text{ volumen}}$):

$$P_{b \text{ volumen}} = \frac{P_b}{D_b} = \frac{6.0}{1.015} = 5.911$$

A.2.4 Se determina la masa de asfalto absorbido (en gramos) por cada 100 g de mezcla:

$$P_{ba \text{ masa}} = P_{ba} \times P_g = 0.28 \times 0.94 = 0.2632$$

A.2.5 Se determina y anota el volumen de asfalto absorbido en 100 g de mezcla:

$$P_{ba \text{ volumen}} = \frac{P_{ba \text{ masa}}}{D_b} = \frac{0.2632}{1.015} = 0.259$$

A.2.6 Se calcula el volumen de asfalto efectivo ($P_{be \text{ volumen}}$) en 100 g de mezcla:

$$P_{be \text{ volumen}} = P_{b \text{ volumen}} - P_{ba \text{ volumen}} = 5.911 - 0.259 = 5.652$$

A.2.7 Se calcula el espesor medio de la película de asfalto, en μm , con la fórmula:

$$H_a = \left[\frac{P_{be \text{ volumen}}}{SE \times P_g} \right] \times 10 = \left[\frac{5.625}{6.351 \times 0.94} \right] \times 10 = 9.42 \mu\text{m}$$

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

MÉTODO DE ENSAYO PARA MEDIR LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE MATERIALES ASFÁLTICOS UTILIZANDO EL DUCTILÓMETRO

INV E – 742 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la recuperación elástica de una probeta de material asfáltico que se corta mientras se somete a la prueba de ductilidad, bajo condiciones especificadas de temperatura y velocidad. Mientras no se especifique algo diferente, la prueba se debe realizar a una temperatura de $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ($77 \pm 0.9^{\circ}\text{F}$) y a una velocidad de tracción de $5\text{ cm/min} \pm 5\%$.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-742-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Dos extremos de una probeta confeccionada con la muestra se estiran hasta una determinada distancia, a una velocidad y temperatura predeterminadas. Después, se corta la probeta en un punto equidistante de ambos extremos. Transcurrido un tiempo, se calcula la longitud de la contracción sufrida por la muestra, con la cual se determina la recuperación elástica porcentual.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 El ensayo permite verificar si se ha añadido al asfalto un material que le proporcione una característica elastomérica significativa. No es necesario determinar ni el tipo ni la cantidad de material elastomérico añadido.

4 EQUIPO

- 4.1 *Moldes* – Similares en diseño a los mostrados en la Figura 742 - 1 y con las dimensiones y tolerancias indicadas en ella. Su construcción será de bronce o de latón, con un espesor de $10 \pm 0.1\text{ mm}$. Sus extremos b y b' se denominan "pinzas" (nota 1), y las partes a y a' "piezas laterales". Al armar el molde se

obtiene una probeta de forma y dimensiones especificadas. El molde debe estar acompañado de una placa plana de base de bronce o latón, de dimensiones laterales algo mayores que las de aquel (Figura 742 - 2).

Nota 1: Las pinzas del molde son las mismas que se especifican en la norma INV E-702.

- 4.2 Baño de agua** – El baño se debe mantener a la temperatura de ensayo especificada, con una tolerancia de $\pm 0.1^\circ \text{C}$ ($\pm 0.18^\circ \text{F}$). El volumen mínimo de agua será de 10 litros. La altura de la lámina de agua no debe ser menor de 100 mm sobre la probeta y ésta deberá apoyarse sobre una placa perforada que se encuentre a una profundidad no menor de 50 mm en relación con el fondo del baño.

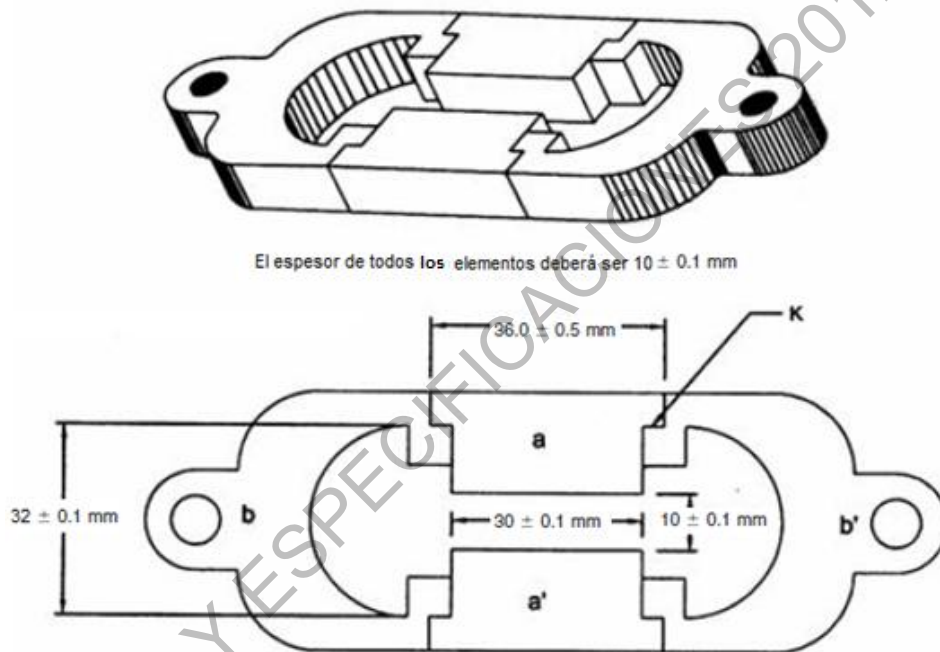


Figura 742 - 1. Molde para la muestra del ensayo de recuperación elástica

- 4.3 Máquina de ensayo (Ductilómetro)** – Para someter a tracción las probetas de material bituminoso se puede usar cualquier aparato construido de modo que la muestra se encuentre continuamente sumergida en agua, al mismo tiempo que las dos pinzas que sostienen las probetas se separan a una velocidad uniforme con una tolerancia de $\pm 5 \%$ y sin una vibración excesiva. El agua en el tanque de la máquina de ensayo debe cubrir la probeta, por encima y por debajo, con una lámina no menor de 2.5 cm y su temperatura deberá ser la especificada para el ensayo $\pm 0.5^\circ \text{C}$ (0.9°F). La máquina debe tener un dispositivo que permita medir el alargamiento de la probeta, en cm (nota 2).

Nota 2: La máquina de ensayo es la misma que se especifica en la norma INV E-702.

- 4.4 Termómetro** – Se requiere un termómetro de alguna de las siguientes características (nota 3):

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° C
INMERSIÓN	Total	Total

Nota 3: Si las probetas para este ensayo de ductilidad se acondicionan a 25° C (77° F) en el baño de agua del ensayo de penetración, se puede utilizar el termómetro prescrito para dicho ensayo.

- 4.5 Producto desmoldante** – Una mezcla como glicerina y dextrina; talco o caolín, para cubrir el fondo y los lados del molde y prevenir que la probeta de ensayo se adhiera a él y a la placa de base. Se pueden emplear otros materiales, si está demostrado que no afectan las propiedades físicas de la probeta.
- 4.6 Horno** – Capaz de mantener en la temperatura de calentamiento requerida por la muestra de asfalto para poder fluir ± 5° C (± 10° F).
- 4.7 Espátula** – De bordes rectos y de mayor anchura que el espécimen que debe enrasar.
- 4.8 Tamices** – De 76 mm de diámetro y de aberturas de malla de 300 µm (No. 50) y de 850 µm (No. 20).
- 4.9 Tijeras** – Para proveer un corte recto del hilo del asfalto en el momento especificado.

5 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 5.1 Residuo de emulsión asfáltica** – Si la muestra a ensayar corresponde al residuo de la destilación de una emulsión a 260° C (500° F) o al producto de la destilación de una emulsión modificada con polímero a una temperatura más baja, se agita el residuo en el matraz e inmediatamente se vierten porciones de él en los moldes de ensayo. Si se sospecha que existe material extraño dentro del residuo, éste se deberá pasar por un tamiz con aberturas de 300 µm (No. 50), precalentado a 135 ± 5° C (275 ± 10° C), antes de verterlo en los moldes de ensayo (nota 4).

Nota 4: Si el residuo de la emulsión es de alta viscosidad, se deberá usar un tamiz de de 850 µm (No. 20).

- 5.2** *Muestra que se encuentra a temperatura ambiente* – Si la muestra corresponde a un cemento asfáltico convencional o modificado con un polímero, se calienta éste cuidadosamente en un recipiente cubierto evitando sobrecalentamientos locales, hasta que adquiera la fluidez necesaria para ser vertido. Para ello, se deberá usar un horno ajustado a $135 \pm 5^\circ \text{C}$ ($275 \pm 10^\circ \text{C}$). La muestra calentada de esta manera se pasará a través del tamiz de $300 \mu\text{m}$ (No. 50) antes de verterla en el molde (nota 5).

Nota 5: Si la muestra no alcanza la fluidez suficiente a 135°C (275°F), se deberá calentar a una temperatura mayor. Si el material es muy viscoso y no pasa el tamiz de $300 \mu\text{m}$ (No. 50), se deberá usar un tamiz de $850 \mu\text{m}$ (No. 20).

6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** *Preparación del molde* – Se arma el molde sobre la placa de base. Se cubre cuidadosamente la superficie de la placa y las superficies interiores de las piezas laterales a y a' del molde con una película delgada del producto desmoldante, para prevenir que el material a ensayar se adhiera a ellas. La placa sobre la cual se coloca el molde debe estar perfectamente plana y a nivel, de modo que quede en contacto completo con la superficie inferior del molde.
- 6.2** Una vez preparada la muestra como se describe en la Sección 5, se agita por completo y se vierte dentro del molde con todo cuidado, para no desordenar el correcto montaje de las piezas de éste, ya que ello distorsionará la probeta de ensayo. El asfalto se vierte en forma de chorro fino en un recorrido alternativo de extremo a extremo, hasta llenar completamente el molde con un ligero exceso, evitando la inclusión de burbujas de aire. El molde lleno se deja enfriar a temperatura ambiente por un período de 30 a 40 min y, a continuación, se coloca por 30 ± 5 minutos en el baño de agua, mantenido a la temperatura de ensayo especificada. Pasado este tiempo, se remueve el molde del agua y se corta el exceso de ligante asfáltico con una espátula o un cuchillo caliente, resistente y afilado, de modo que el molde se ajuste al nivel de llenado.
- 6.3** *Conservación de las muestras a temperatura de ensayo* – Se colocan la placa y el molde con la probeta asfáltica en el baño de agua donde se deberán mantener durante 90 ± 5 min a la temperatura especificada. En seguida, se saca el conjunto del agua, se remueven cuidadosamente las piezas laterales a y a' del molde (Figura 742 - 2) y se separa el molde de la placa con un suave movimiento deslizante, evitando que la muestra se pandee. Inmediatamente, se monta la probeta en el ductilómetro, introduciendo cada pareja de clavijas de los sistemas fijo y móvil del molde en los orificios correspondientes de cada pinza y se inicia el ensayo de tracción.

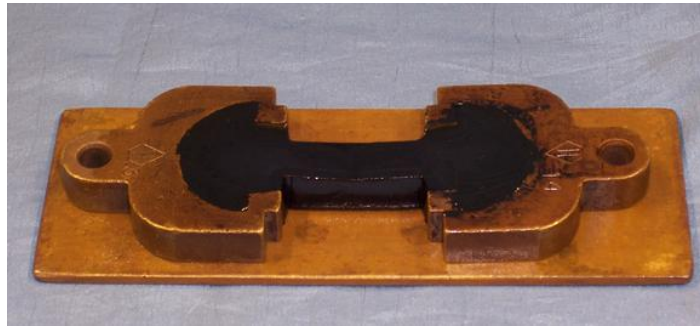


Figura 742 - 2. Molde con la muestra y sin las piezas laterales

- 6.4** *Ensayo de tracción, Procedimiento A* – Se enganchan los orificios de cada extremo de las pinzas a las clavijas del ductilómetro y se separan a la velocidad uniforme especificada de $5 \text{ cm/min} \pm 5.0 \%$ hasta una longitud de $10 \pm 0.25 \text{ cm}$, salvo que se especifique otra cosa (Figura 742 - 3a). Se detiene el motor de arrastre cuando el estiramiento de la muestra alcance la longitud indicada. Inmediatamente, se corta la muestra por su punto medio con las tijeras (Figura 742 - 3b). Se espera 1 hora (Figura 742 - 3c), luego de la cual se retrocede lentamente el soporte móvil del ductilómetro hasta que se toquen los dos extremos de la probeta (Figura 742 - 3d). Si los extremos se han hundido, se deberán levantar con cuidado hasta su nivel original antes de haberlos acercado lo suficiente para que se toquen. Se anota la longitud total del espécimen con los extremos cortados, justo cuando ellos se tocan.



Figura 742 - 3. Ensayo por el procedimiento A

- 6.5** *Ensayo de tracción, Procedimiento B* – Se enganchan los orificios de cada extremo de las pinzas a las clavijas del ductilómetro y se separan a la velocidad uniforme especificada de $5 \text{ cm/min} \pm 5.0\%$ hasta una longitud de $20 \pm 0.25 \text{ cm}$. Se detiene el motor de arrastre cuando el estiramiento de la muestra alcance la longitud indicada. Se deja la muestra en reposo durante 5 min. Entonces, se corta por su punto medio con las tijeras. Se permite que el espécimen permanezca en la máquina de ensayo en condición inalterada durante 60 min, manteniendo el agua a la temperatura especificada. Cumplido este plazo, se retrocede lentamente el soporte móvil del ductilómetro hasta que se toquen

los dos extremos de la probeta. Si los extremos se han hundido, se deberán levantar con cuidado hasta su nivel original, antes de haberlos acercado lo suficiente para que se toquen. Se anota la longitud total del espécimen con los extremos cortados, justo cuando ellos se tocan.

- 6.6** Si el material asfáltico entra en contacto con la superficie del agua o con el fondo del baño del ductilómetro durante el estiramiento, se considera que el ensayo no es normal. En este caso, se deberá ajustar la gravedad específica del baño agregando metanol o cloruro de sodio, según lo que haya sucedido, y se realizará un nuevo ensayo.
- 6.7** Si la muestra se parte antes de alcanzar la elongación especificada, también se considerará que el ensayo es anormal.

7 CÁLCULOS E INFORME

- 7.1** El porcentaje de recuperación elástica se calcula como sigue:

$$\% \text{ recuperación} = \frac{E - X}{E} \times 100 \quad [742.1]$$

Donde: E: Alargamiento original de la muestra (10 o 20 cm);

X: Alargamiento de la muestra cuando sus extremos cortados se ponen justo en contacto, cm con un decimal;

- 7.1.1** El valor calculado se informará como la recuperación elástica de la muestra, redondeado al entero porcentual.

- 7.2** Si al intentar realizar tres ensayos consecutivos, se llega a la conclusión de que ellos no son normales (numerales 6.6 y 6.7) se informará que resulta imposible obtener la recuperación elástica bajo las condiciones que especifica el ensayo.
- 7.3** En el informe se deberá mencionar la procedencia, tipo e historia térmica de la muestra (temperatura de destilación, si aplica; temperatura de colocación en el molde; si la muestra ha sido recalentada, etc.)

8 PRECISIÓN Y SESGO

8.1 *Precisión del procedimiento A* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de dos medidas simples por este método de ensayo; son los siguientes:

INDICADOR Y TIPO DE ASFALTO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE ENTRE 2 RESULTADOS (d2s)
<i>Precisión de un solo operador:</i>		
Asfalto convencional	0.91	2.6
Asfalto modificado	0.56	1.6
<i>Precisión multi-laboratorio:</i>		
Asfalto convencional	2.32	6.5
Asfalto modificado	1.71	4.8

8.2 *Precisión del procedimiento B* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de dos medidas simples por este método de ensayo se basan en un estudio realizado en 11 laboratorios sobre 3 muestras de asfaltos modificados con polímeros. Los materiales y las determinaciones promedio para cada asfalto (basadas en tres medidas), fueron los siguientes:

ASFALTO (CLASIFICACIÓN SUPERPAVE)	RECUPERACIÓN ELÁSTICA PROMEDIO (%)
PG 70-28	58.67
PG 76-22	78.51
PG 64-34	95.71

8.3 *Precisión de un solo operador para juegos de tres ensayos promediados y reportados como un resultado de ensayo:*

8.3.1 El estudio exigió que se informara el promedio de tres ensayos. Para materiales cuya recuperación elástica fue menor de 75 %, se encontró que la desviación estándar (1s) fue 1.93 %. Por lo tanto, el rango (diferencia entre los resultados mayor y menor) de las tres medidas individuales usadas en el cálculo del promedio, no debe exceder de 12 %. En el caso de materiales con recuperación elástica superior a 75 %, se encontró que la desviación estándar (1s) fue 0.56 %. Por lo tanto, el

rango de las tres medidas individuales usadas en el cálculo del promedio, no debe exceder de 3.5 %.

8.4 *Para promedios basados en tres medidas:*

8.4.1 El coeficiente de variación de un solo operador fue 1.74 %. Por consiguiente, los resultados obtenidos por el mismo operador al realizar correctamente dos ensayos sobre la misma muestra y empleando el mismo ductilómetro, no deben diferir en más de 5.0 % con respecto a su promedio.

8.4.2 El coeficiente de variación multi-laboratorio fue 2.29 %. Por lo tanto, los resultados obtenidos en dos laboratorios al realizar ensayos sobre muestras idénticas, no deben diferir en más de 6.5 % con respecto a su promedio.

8.5 *Sesgo* – Debido a que no hay un material de referencia aceptado para determinar el sesgo en este método de ensayo, no se presenta una declaración sobre él.

9 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

ASTM D 6084-06

PRI ASPHALT TECHNOLOGIES, INC, "Asphalt binders: Ground tire rubber modified"

<http://www.utexas.edu/research/superpave/articles/er.html>

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE LIGANTE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS UTILIZANDO UN MEDIDOR NUCLEAR

INV E – 743 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento para la determinación cuantitativa del contenido de ligante asfáltico en mezclas asfálticas, ensayando una muestra con un medidor nuclear que utiliza técnicas de termalización de neutrones.
- 1.2 Las operaciones y el mantenimiento del medidor nuclear no están cubiertos en detalle. Se debe consultar el manual del fabricante para los pormenores.
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E-743-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Este procedimiento se puede usar para determinar rápidamente el contenido de ligante en una mezcla asfáltica. Es apropiado para ensayos de control de calidad y de aceptación en la construcción, así como para aplicaciones en investigación y desarrollo. Este procedimiento es útil solamente en la determinación del contenido de ligante asfáltico y no está dispuesto para la realización análisis granulométricos.
- 2.2 Mediante este procedimiento, el contenido de ligante asfáltico de una muestra de prueba se determina comparando el contenido medido de ligante asfáltico con datos de calibración previamente establecidos. El contenido de ligante asfáltico se expresa como un porcentaje de la masa de la mezcla asfáltica.
- 2.3 La exactitud de los resultados depende de la correcta calibración del medidor nuclear al material que va a ser probado, como se describe en el Anexo A. Este procedimiento es sensible al tipo y a la gradación del agregado, al aditivo utilizado para mejorar la adhesión, y al tipo y porcentaje del ligante asfáltico.
- 2.4 Este procedimiento mide la cantidad total de hidrógeno en una muestra, incluyendo el hidrógeno presente en forma de agua. A menos que la muestra de prueba esté totalmente libre de agua, la humedad se deberá determinar de acuerdo con la norma INV E-755, y su porcentaje deberá ser sustraído del

contenido de ligante asfáltico medido por el medidor nuclear. Alternativamente, se puede secar la muestra en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) hasta masa constante antes del ensayo, anulando así la necesidad de efectuar una corrección a causa de la humedad.

- 2.5** Este procedimiento se puede usar con pavimentos asfálticos reciclados (RAP) incorporados a la mezcla asfáltica, siempre y cuando el RAP presente uniformidad en cuanto a la gradación, al contenido y al tipo de ligante asfáltico. Cuando se use RAP, éste se debe mezclar en las muestras de calibración en la misma proporción en la que será usado en el proyecto de construcción.

3 EQUIPO

- 3.1** *Medidor nuclear para la determinación de contenido de ligante asfáltico* – Compuesto por:
- 3.1.1** *Fuente de neutrones* – Una fuente radiactiva encapsulada y sellada.
 - 3.1.2** *Detectores de neutrones termales.*
 - 3.1.3** *Instrumento para la lectura del porcentaje de ligante asfáltico* – Con aproximación de 0.1 %.
 - 3.1.4** *Tres o más cazuelas de acero inoxidable para muestras* – De acuerdo con los requerimientos del medidor.
- 3.2** *Mezclador mecánico* – Con capacidad de 10 kg (22 lb), capaz de producir una mezcla asfáltica completa, homogénea y bien cubierta.
- 3.3** *Recipientes para muestras* – Tales como tarros de pintura o cajas de cartón sin encerar, no adsorbentes, que se puedan cerrar para prevenir la contaminación de la muestra, y capaces de resistir el calor de la mezcla asfáltica a la temperatura de mezclado.
- 3.4** *Aparato cuarteador de mezclas* – De conformidad con los requerimientos de la norma INV E-202, método B.
- 3.5** *Balanza* – Para uso general, de 20 kg (44 lb) de capacidad y una legibilidad de 0.1 g.

- 3.6** *Horno secador* – Capaz de contener el tamaño y el número de muestras, de cualquiera de los siguientes tipos:
- 3.6.1** Horno de convección de ventilación forzada, capaz de mantener una temperatura de $177 \pm 3^\circ \text{C}$ ($350 \pm 5^\circ \text{F}$).
 - 3.6.2** Horno microondas, que no sea perjudicial para el agregado, capaz de mantener una temperatura de $177 \pm 3^\circ \text{C}$ ($350 \pm 5^\circ \text{F}$).
- 3.7** *Placa niveladora* – Plana, rígida, de metal [espesor mínimo de 10 mm (0.4")]; de plexiglás [espesor mínimo de 12 mm (0.5")] o de madera laminada no absorbente [espesor mínimo de 19 mm (0.75")], un poco más grande que las cazuelas de muestra.
- 3.8** *Termómetro* – Con un rango de temperatura de 10 a 200° C (50 a 500° F).
- 3.9** *Elementos misceláneos* – Cazuelas, cucharas, espátulas y recipientes para mezclar.
- 3.10** *Información sobre materiales radiactivos* – Un paquete de calibración que contenga:
- 3.10.1** Requisitos del conteo normal diario.
 - 3.10.2** Hoja de datos de calibración de fábrica/laboratorio.
 - 3.10.3** Certificado de prueba de fugas.
 - 3.10.4** Declaración del expendedor de productos peligrosos.
 - 3.10.5** Guía sobre el procedimiento para almacenamiento, transporte y manejo del equipo para pruebas nucleares.
 - 3.10.6** Documentación de otros materiales radiactivos, de conformidad con los requerimientos de regulación en la localidad.

4 PRECAUCIONES

- 4.1** El medidor nuclear para determinar el contenido de ligante asfáltico puede ser sensible a influencias externas y, por lo tanto:

- 4.1.1 Cualquier otra fuente de radiación de neutrones se debe mantener a, por lo menos, 10 metros (33 pies) del aparato durante su uso.
 - 4.1.2 Durante su uso, no podrá haber materiales hidrogenados tales como agua, plástico, ligante asfáltico o mezclas asfálticas a menos de 1 m (3.3 pies) del aparato.
 - 4.1.3 Todo el personal se debe mantener a 1 m (3.3 pies) o más, del medidor durante las pruebas.
 - 4.1.4 El medidor nuclear no debe estar colocado a menos de 10 m (33 pies) de ningún tanque de suministro de agua, tanques de combustible u otros recipientes con líquidos sujetos a fluctuación de nivel del líquido.
- 4.2 El traslado del aparato a un lugar diferente, aún dentro del mismo laboratorio, puede producir cambios en las medidas de radiación, debido a las variaciones en el ambiente que lo rodea. Siempre que las condiciones del ambiente cambien, será necesario realizar medidas a causa del cambio ambiental y posiblemente una nueva calibración, antes de utilizar de nuevo el aparato. En las Secciones 5 y 6 se presentan instrucciones concernientes a las medidas de calibración y ambientales.

5 CALIBRACIÓN

- 5.1 Se deben hacer calibraciones y calibraciones cruzadas en mezclas asfálticas probadas con medidores y transferir las calibraciones entre ellos, de acuerdo con el Anexo A.

6 NORMALIZACIÓN

- 6.1 Todos los días antes de tomar las medidas de ensayo, o cuando el equipo haya sido cambiado de lugar o cuando las condiciones a 1 m (3.3 pies) de él se hayan modificado, se deberá obtener y registrar un conteo bajo las condiciones ambientales imperantes, de acuerdo con las especificaciones del fabricante. El tiempo empleado para medir el efecto del ambiente debe ser el mismo que se usa para las medidas de los ensayos rutinarios.
- 6.2 Si el conteo obtenido como resultado del cambio en el ambiente del aparato no varía en más de 1 % en relación con las medidas previas, se puede

considerar que el aparato está estable y aceptable para uso. Siempre que el medidor sea movido o si las condiciones que lo rodean cambian, se deberán obtener conteos adicionales a causa del efecto ambiental, hasta que la norma del 1 % sea satisfecha.

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1 Se obtiene una mezcla representativa de mezcla asfáltica de acuerdo con la norma INV E-731. Si se requiere, la mezcla se reduce al tamaño apropiado para la prueba dividiéndola o cuarteándola de acuerdo con la norma INV E-776. Siempre que sea posible, el ensayo se deberá realizar con una mezcla asfáltica caliente y fresca y no con una mezcla recalentada. Si la mezcla asfáltica se enfría y es necesario recalentarla, se debe calentar hasta el punto medio del rango de temperatura de compactación recomendado para el ligante usado en la mezcla asfáltica.
- 7.2 Se determina la masa de una cazuela limpia y se tara en la balanza.
- 7.3 Se coloca la mezcla asfáltica en la cazuela hasta llenar aproximadamente la mitad. Se apisona ligeramente la mezcla con una cuchara o una espátula precalentadas.
- 7.4 Se coloca mezcla asfáltica adicional en la cazuela hasta obtener la masa requerida, dentro de $\pm 5g$, como se indica en el Anexo A.
- 7.5 Se coloca la placa niveladora encima de la muestra asfáltica inmediatamente después de llenada la cazuela. Se compacta la mezcla hasta que quede al nivel del borde de la cazuela presionando la placa hacia abajo. Se debe asegurar que la mezcla asfáltica no sobresalga de la cazuela.
- 7.6 Se registra la masa de la mezcla asfáltica compactada en la cazuela. Esta masa se deberá ser igual a la masa objetivo $\pm 5 g$.

Nota 1: Si el medidor no tiene capacidad para compensar la temperatura, se debe medir y registrar la temperatura del espécimen compactado. Esta temperatura debe estar dentro de $\pm 5^{\circ} C$ ($9^{\circ} F$) de la temperatura del espécimen de la prueba de calibración.

- 7.7 Si el medidor tiene la capacidad de almacenar múltiples calibraciones, se activa la calibración para la mezcla asfáltica particular que se está ensayando. Se coloca la cazuela dentro del medidor y se realiza un conteo de 4 minutos.

- 7.8** Se determina el contenido del ligante asfáltico sin corregir, por lectura directa del medidor, por el gráfico de calibración o mediante la fórmula suministrada por el fabricante. Se registra el contenido de ligante asfáltico sin corregir de la lectura de los 4 minutos, redondeado a 0.1 %.
- 7.9** Usando una porción representativa de la muestra original o una porción del material retirado de la cazuela del medidor, se determina la humedad de la mezcla asfáltica de acuerdo con la norma INV E-755, y se registra redondeado a 0.1 %. Alternativamente, se puede secar la muestra en un horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) hasta masa constante antes del ensayo, anulando así la necesidad de efectuar una corrección a causa de la humedad.

8 CÁLCULOS

- 8.1** Si se ha determinado la humedad de la mezcla, su valor deberá ser restado del contenido de ligante sin corregir determinado por el medidor. Se anota este valor como el contenido de asfalto en la muestra ensayada.

9 INFORME

- 9.1** Se debe reportar la siguiente información:
- 9.1.1** Marca, modelo y número de serie del medidor nuclear usado para la determinación del contenido de ligante asfáltico.
 - 9.1.2** Fecha y fuente de la calibración.
 - 9.1.3** Fecha de la prueba.
 - 9.1.4** Nombre y firma del operador.
 - 9.1.5** Conteo ambiental del día del ensayo.
 - 9.1.6** Identificación de la mezcla asfáltica.
 - 9.1.7** Tipo de agregado y fuente de procedencia.
 - 9.1.8** Tipo de ligante asfáltico y fuente de procedencia.

- 9.1.9 Procedencia y cantidad del líquido aditivo mejorador de adherencia o cal hidratada, cuando se hayan usado.
- 9.1.10 Masa y temperatura de la muestra de calibración.
- 9.1.11 Masa y temperatura de la muestra de ensayo, si el medidor nuclear no tiene capacidad para compensar la temperatura.
- 9.1.12 Lectura del medidor nuclear.
- 9.1.13 Valor del contenido corregido del ligante asfáltico, aproximado a 0.1 %.

10 NORMAS DE REFERENCIA

AASHTO T 287-06

ANEXO A (Aplicación obligatoria)

PREPARACIÓN DE MUESTRAS Y CALIBRACIÓN DEL MEDIDOR NUCLEAR

A.1 Objeto

- A.1.1 Este Anexo abarca la preparación de muestras y la calibración de medidores nucleares para la determinación de contenido de ligante asfáltico. El Anexo incluye la calibración de la fórmula de trabajo de la mezcla asfáltica (FTM) y la calibración cruzada entre los medidores maestro y de campo.

A.2 Muestreo

- A.2.1 Se obtienen muestras de agregado de acuerdo con la norma INV E-201. Se requieren aproximadamente 50 kg (110 lb) para los especímenes de calibración.
- A.2.2 Se obtienen muestras del ligante asfáltico de acuerdo con la norma INV E-701. Se requieren aproximadamente 4 litros (1 galón).

Nota A.1: La mayor exactitud con que se preparen los ingredientes (incluidos aditivos mejoradores de adherencia, líquidos o cal hidratada) para igualar la fórmula de trabajo,

permitirá que los puntos de calibración sean lo más cercanos posibles a la producción de la mezcla asfáltica. Por lo tanto, los resultados serán más precisos.

A.3 Preparación del agregado

- A.3.1** Cuando se emplee cal, se debe hidratar la cantidad apropiada sobre el agregado.
- A.3.2** Se seca el agregado hasta masa constante, usando los aparatos y temperaturas indicados en la norma INV E-216.
- A.3.3** Se separa el agregado combinado tamizándolo en seco en los tamices especificados, incluyendo el material menor de 75 μm (No. 200).
- A.3.4** Se calcula el total de masa requerida para cada tamiz especificado, usando la siguiente fórmula:

$$X = \frac{T(100 - P)}{100} \quad [743.1]$$

Donde: X: Masa acumulada requerida de la bachada para cada tamiz especificado, g;

T: Masa total inicial del agregado, g;

P: Porcentaje que pasa por cada tamiz especificado de acuerdo con la fórmula de trabajo para la mezcla (FTM).

- A.3.5** Se efectúa una corrección por el polvo del agregado, como sigue:

A.3.5.1 Se prepara una muestra para gradación por lavado, a partir de las masas calculadas en el numeral A.3.4.

A.3.5.2 Se realiza la gradación por lavado, de acuerdo con las normas INV E-213 e INV E-214.

A.3.5.3 Se calcula la masa corregida de la bachada para cada tamiz especificado para los puntos de calibración, usando la siguiente fórmula:

$$Z_n = \frac{X^2}{Y} \quad [743.2]$$

- Donde:
- Z_n : Masa de bachada acumulada corregida, para cualquier tamaño de tamiz n , g;
 - X : Masa de bachada acumulada pre-lavada, para cada tamiz especificado, g;
 - Y : Masa de bachada acumulada pos-lavada, para cada tamiz especificado, g.

A.3.6 Se combina todo el agregado en las proporciones correctas para igualar la fórmula de trabajo para la mezcla (FTM), usando las masas calculadas en el numeral A.3.5.3.

A.4 Preparación del ligante asfáltico

A.4.1 Se calienta en un recipiente tapado un mínimo de 2 litros (½ galón) del ligante asfáltico hasta el punto medio del rango de temperatura de mezcla. Si se usa, se agrega al ligante asfáltico la cantidad apropiada de líquido aditivo mejorador de adherencia o cal hidratada. El ligante asfáltico se deberá usar tan pronto alcance el punto medio del rango de temperatura de mezcla. Si ello no es posible, el ligante asfáltico se podrá mantener a esta temperatura por un período no mayor de 4 horas. No se admite enfriar y recalentar el ligante asfáltico.

A.4.2 Método A – Porcentaje del ligante asfáltico por masa de la mezcla asfáltica.

A.4.2.1 Se calcula la masa del ligante asfáltico para cada punto de calibración, de la siguiente manera:

$$B = E (P_{bm}) \quad [743.3]$$

- Donde:
- B : Masa del ligante asfáltico, redondeada a 0.1 g;
 - E : Masa de la mezcla asfáltica, g;
 - P_{bm} : Porcentaje del ligante asfáltico en relación con la masa total de la mezcla asfáltica, expresado como decimal.

A.4.2.1.1 Se deberán preparar mezclas con diferentes contenidos de ligante, en incrementos de 0.8 %. El número mínimo de mezclas será de cuatro y sus contenidos de ligante serán los siguientes: óptimo de ligante – 0.8 %, óptimo, óptimo + 0.8 % y óptimo + 1.6.

A.4.2.2 Se calcula la masa de agregado requerida para cada punto de calibración como sigue:

$$A = E - B \quad [743.4]$$

Donde: A: Masa del agregado, redondeada a 0.1 g;

A.4.3 *Método B* – Porcentaje del ligante asfáltico por masa del agregado.

A.4.3.1 Se calcula la masa del agregado para cada punto de calibración como sigue:

$$A = \frac{E}{1 + P_{ba}} \quad [743.5]$$

Donde: P_{ba} : Porcentaje del ligante asfáltico respecto a la masa del agregado, expresado como decimal.

A.4.3.1.1 Se deberán preparar mezclas con diferentes contenidos de ligante, en incrementos de 0.8 %. El número mínimo de mezclas será de cuatro y sus contenidos de ligante serán los siguientes: óptimo de ligante – 0.8 %, óptimo, óptimo + 0.8 % y óptimo + 1.6.

A.4.3.2 Se calcula la masa del ligante asfáltico requerido para cada punto de calibración, como sigue:

$$B = A (P_{ba}) \quad [743.6]$$

A.5 Preparación de especímenes

- A.5.1** El agregado y el ligante asfáltico se deben calentar hasta el punto medio del rango de temperatura de mezcla para ese ligante asfáltico. Una vez que estos materiales se hayan estabilizado a esta temperatura, se procede con los siguientes pasos:
- A.5.2** Se determina la masa del recipiente para elaborar mezclas en caliente, con aproximación a 0.1 g.
- A.5.3** Se coloca en el recipiente un espécimen de agregado caliente, de la masa requerida con aproximación a 0.1 g.
- A.5.4** Se forma un cráter lo suficientemente grande en el agregado para contener la masa requerida del ligante asfáltico.
- A.5.5** Se coloca sobre la balanza el recipiente para mezcla. Se agrega en el cráter del agregado, la masa requerida del ligante asfáltico precalentado con aproximación a 0.1 g.
- A.5.6** Se mezclan mecánicamente el agregado y el ligante asfáltico en forma rápida, por un mínimo de 2 minutos, hasta obtener homogeneidad. Se examinan el fondo y los lados del recipiente para ver si hay agregado y ligante asfáltico sin mezclar. Si es necesario, se mezcla nuevamente de forma manual hasta que queden totalmente mezclados.

Nota A.2: No se recomienda el mezclado manual. Sin embargo, se puede hacer la mezcla manual en un recipiente grande. En este caso, el tiempo de mezclado deberá ser de, por lo menos, 5 minutos, pero podría ser más largo para asegurar un mezclado completo.

- A.5.7** Se retira la mezcla asfáltica del recipiente y se determina la masa del recipiente vacío para asegurar que todo el material ha sido retirado. La masa del recipiente debe estar entre ± 5 g de la determinada en el numeral A.5.2. Si no lo está, se raspa el recipiente con una espátula y se deposita el exceso en la muestra, hasta que la masa del recipiente esté dentro de la tolerancia.

A.6 Determinación de la masa objetivo

- A.6.1** Se prepara una bachada inicial (“*butter*”) para determinar la masa que será usada para las mezclas de calibración, utilizando una combinación de ligante asfáltico y agregado que se aproxime a las bachadas reales.

A partir de experiencias con la gravedad específica del agregado y su gradación, la masa objetivo se deberá encontrar entre 6000 y 9000 g.

Nota A.3: Para encontrar una masa inicial aproximada, se coloca el agregado seco en una cazuela de muestra del medidor nuclear. Se llena el recipiente hasta la mitad y se deja caer desde una altura de 25 mm (1"). Se llena el recipiente hasta que rebose y se empareja con el borde. Se determina esta masa, y se le añade 10 % para obtener una masa aproximada de inicio.

- A.6.2** Se mezclan el agregado y el ligante asfáltico precalentados de acuerdo con la Sección A.5.
- A.6.3** Se determina la masa de una cazuela limpia para muestra del medidor nuclear y se tara en la balanza.
- A.6.4** Se coloca la mezcla asfáltica en la cazuela hasta que llegue más o menos a la mitad y se apisona ligeramente con una cuchara o una espátula precalentadas.
- A.6.5** Se pone el resto de la mezcla asfáltica en la cazuela de manera que quede amontonada a ± 13 mm ($\frac{1}{2}$ ") por encima del borde.
- A.6.6** Se coloca la placa niveladora encima de la mezcla asfáltica inmediatamente después de haber llenado la cazuela. Se compacta la mezcla presionando la placa, hasta que esté al nivel del borde de la cazuela y se verifica que la mezcla asfáltica no sobresalga de él.
- A.6.7** Se determina y anota la masa de la mezcla asfáltica compactada en la cazuela. Este valor es la masa neta. La calibración subsecuente y los especímenes de muestra deberán encontrarse dentro de ± 5 g de esta masa.

A.7 Calibración (Generalidades)

- A.7.1** El tipo de agregado, la fuente y el grado del ligante asfáltico, el aditivo líquido mejorador de adherencia o la cal hidratada, y la gradación de mezcla asfáltica, influenciarán los resultados de prueba obtenidos usando este procedimiento. Por consiguiente, se debe desarrollar una curva de calibración para cada combinación de estos factores.
- A.7.2** La curva de calibración debe cubrir el rango de valores que se espera encontrar en las muestras de campo. Los límites para la curva de calibración deben considerar las fluctuaciones admitidas en el

contenido de ligante asfáltico más la humedad permitida del agregado (la cual se lee como ligante asfáltico en el medidor nuclear). Como mínimo, se debe usar 0.8 % por debajo del óptimo, el óptimo, y 0.8 % y 1.6 % por encima del contenido de ligante asfáltico óptimo, al preparar las cazuelas para la curva de calibración.

A.8 *Calibración de la fórmula de trabajo para la mezcla*

- A.8.1** Se preparan 4 muestras de agregado usando la masa objetivo determinada en el numeral A.6.7. Se colocan en cazuelas separadas, diseñadas para transferir el agregado seco a un recipiente para mezcla con una mínima pérdida de agregado. Se colocan en un horno ajustado al punto medio del rango de temperaturas de mezcla para el ligante asfáltico usado.
- A.8.2** Se determinan las masas del agregado y del ligante asfáltico para cada muestra de calibración, de acuerdo con las Secciones A.3 y A.4, respectivamente.
- A.8.3** Se mezclan el agregado y el ligante asfáltico precalentados, de acuerdo con la Sección A.5.
- A.8.4** Se determina la masa de una cazuela limpia de muestra para el medidor y se tara en la balanza.
- A.8.5** Se coloca mezcla asfáltica hasta la mitad de la cazuela. Se apisona ligeramente con una cuchara o una espátula precalentadas.
- A.8.6** Se pone el resto de la mezcla asfáltica en la cazuela de manera que sobresalga unos 13 mm (0.5") por encima del borde de ella.
- A.8.7** Se coloca la placa niveladora encima de la mezcla asfáltica inmediatamente después de haber llenado la cazuela. Presionando con la placa, se compacta la mezcla hasta que esté al nivel del borde de la cazuela y se verifica que la mezcla asfáltica no sobresalga por encima de él.
- A.8.8** Se determina y anota la masa de la mezcla asfáltica compactada en la cazuela. La masa deberá estar dentro de $\pm 5g$ de la masa neta determinada en el numeral A.6.7.

A.8.9 Se coloca la cazuela en el medidor nuclear y se prosigue de acuerdo con las instrucciones del fabricante para la operación del equipo y la secuencia de las operaciones.

Nota A.4: No se debe olvidar llevar a cabo un conteo por condiciones ambientales, de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

A.8.10 Se repiten los pasos A.8.2 a A.8.9, inclusive, para las otras muestras de calibración.

A.9 *Presentación de datos de calibración*

A.9.1 Para medidores nucleares que generan la calibración internamente:

A.9.1.1 Se imprimen o anotan los coeficientes de la fórmula, el coeficiente de ajuste y la diferencia porcentual de cada punto de calibración. Si el coeficiente de ajuste es menor de 0.998 para una mezcla asfáltica de gradación densa o de 0.995 para una mezcla asfáltica de gradación abierta, o cualquier punto de calibración tiene una diferencia porcentual calculada mayor de 0.09 %, la calibración es inaceptable y se deberá proceder nuevamente.

A.9.1.2 Se guarda la calibración aceptable en la memoria del medidor, usando la fórmula de trabajo para la mezcla (FTM) y un número de calibración fácilmente reconocible, de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

A.9.2 Para medidores nucleares que no generan la calibración internamente:

A.9.2.1 Se prepara una curva de calibración relacionando en un papel cuadriculado las lecturas del medidor para las muestras de calibración con el contenido de ligante asfáltico, escogiendo factores de escala convenientes para los dos parámetros.

A.10 *Calibración cruzada (Cuando sea aplicable)*

A.10.1 Los coeficientes de la fórmula se registran en el medidor de campo en el modo de transferencia durante el proceso de calibración cruzada. Los coeficientes de la nueva fórmula, al imprimirse, no se asemejarán a los valores registrados, puesto que ellos cambiarán basados en esta relación. Para una información más detallada sobre los coeficientes de la fórmula hay que remitirse a las instrucciones del fabricante. Si se

requiere, se puede realizar una calibración “corriente” y usarla en lugar del programa de transferencia. Esta operación requiere que las cazuelas de muestras usadas para la calibración sean probadas en otro medidor, si la prueba debe ser verificada.

Nota A.5: Algunas agencias viales hacen calibraciones cruzadas de los medidores. Este proceso crea una relación entre el equipo de campo y el medidor usado en la calibración de la fórmula de trabajo para la mezcla (FTM), permitiendo el ensayo de la mezcla asfáltica producida sin necesidad de ejecutar calibraciones en el terreno. Cuando varios medidores se han sometido a calibración cruzada, las calibraciones de la mezcla asfáltica se pueden transferir de un medidor a otro.

A.10.2 Se preparan seis muestras de calibración, usando un agregado disponible localmente previamente aprobado, con contenidos de ligante asfáltico entre 3 y 8 %, con incrementos de 1 %. Las muestras se mezclan para que cada recipiente de mezcla asfáltica sea igual a la masa objetivo ± 5 g, como se ha determinado para el agregado. Se ensaya cada muestra en el medidor maestro, usando conteos de 16 minutos en el modo normal de calibración. Después de que se han ensayado todas las muestras, el medidor calculará automáticamente un coeficiente de ajuste. El coeficiente de ajuste debe ser de, por lo menos, 0.999. Se sella cada cazuela para prevenir cambios en el contenido de hidrógeno y se repite el procedimiento. Las cazuelas selladas deben satisfacer el mismo criterio planteado anteriormente.

Nota A.6: Para sellar la cazuela, se debe cortar un pedazo de lata del tamaño del borde de ésta. Se sellan los bordes de la cazuela y la tapa de lata con epóxico. Este proceso evitará la entrada de humedad.

A.10.3 Se ensaya en el medidor de campo cada una de las seis muestras de calibración selladas, mientras éste se encuentre en el modo de calibración cruzada. Para cada muestra de calibración, se introducen en el medidor de campo los datos obtenidos en el medidor maestro. El medidor maestro y el de campo están ahora calibrados de manera cruzada.

Nota A.7: Anualmente, o cuando el medidor de campo difiera del maestro, se debe ejecutar una nueva calibración cruzada, usando las cazuelas selladas producidas originalmente para la normalización del medidor. Estas seis cazuelas deben ser examinadas mensualmente en el medidor maestro, para verificar que los conteos no han cambiado sustancialmente.

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

ESPESOR O ALTURA DE ESPECÍMENES COMPACTADOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

INV E – 744 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Este método se refiere a la determinación del espesor (o la altura) de especímenes compactados de mezclas asfálticas de pavimentos.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-744-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1 El espesor de una mezcla asfáltica compactada se emplea como un control de construcción para asegurarse de que se haya cumplido con los requerimientos del proyecto. Así mismo, los espesores se pueden utilizar para corregir las medidas de resistencia tomadas sobre especímenes con diámetro constante y alturas variables.

3 EQUIPO

- 3.1 Se puede emplear cualquiera de los siguientes dispositivos para medir el espesor de los especímenes de ensayo, con aproximación a 0.1 cm:
- 3.1.1 *Una regla o cinta metálica.*
- 3.1.2 *Un juego de calibradores.*
- 3.1.3 *Una plantilla de medida – U otro dispositivo, fabricado de manera que pueda medir los espesores de los especímenes de acuerdo con este procedimiento.*

4 ESPECÍMENES DE ENSAYO

- 4.1 Los especímenes de ensayo deben corresponder a probetas compactadas en el laboratorio o provenir de pavimentos asfálticos compactados.

- 4.2** Los especímenes de pavimento se deberán tomar con un taladro saca-núcleos, con sierra de diamante o carborundo, o mediante otros dispositivos adecuados.
- 4.2.1** Las medidas de espesor no se deberán realizar sobre especímenes que se hayan distorsionado o agrietado al extraerlos del pavimento, de los moldes de compactación en el laboratorio o durante el almacenamiento previo a la toma de medidas.
- 4.2.2** Los especímenes deberán estar libres de materias extrañas, tales como riegos de sello, liga o imprimación, partículas de suelo, papeles, hojas, etc.
- 4.2.3** Si se desea, los especímenes se pueden separar de otras capas mediante corte u otros medios, cuidando de obtener un plano de construcción bien definido.

5 PROCEDIMIENTO

- 5.1** El espesor de los especímenes se determina bien de forma directa empleando dispositivos como los mencionados en la Sección 3 (Método A), o bien a través de una combinación de medidas de área superficial y de cálculos, empleando las medidas realizadas de acuerdo con las normas INV E-733, INV E-734 o INV E-802 (Método B).

MÉTODO A

- 5.2** El espesor promedio de especímenes con superficies horizontales relativamente planas o capas con líneas de demarcación uniformes y muy bien definidas, se puede medir con una cinta, una regla o calibradores, como se indica a continuación:
- 5.2.1** Se mide el espesor del espécimen o capa, empleando cualquiera de los aparatos descritos en el numeral 3.1. Las medidas se efectúan en sentido aproximadamente perpendicular al plano superior del espécimen. Se puede medir entre las superficies superior e inferior; entre una línea de demarcación de construcción bien definida y la superficie superior o inferior, o entre dos líneas de demarcación de construcción bien definidas.

- 5.2.2** Se deben realizar cuatro mediciones en puntos separados 90° sobre la periferia de núcleos o en el punto medio aproximado de cada uno de los cuatro lados de especímenes rectangulares cortados. Se registra como espesor del espécimen el valor promedio de estas medidas.
- 5.3** Alternativamente, el espesor promedio de especímenes con superficie horizontal relativamente plana se puede medir por medio de plantillas de medición u otros dispositivos adecuados, siempre y cuando el dispositivo produzca resultados consistentes dentro de ± 0.3 cm de los obtenidos de acuerdo con el numeral 5.2.

MÉTODO B

- 5.4** En especímenes de mezclas asfálticas densas para pavimento (cuyo volumen de vacíos con aire es menor de 10 %) con límites verticales uniformes, el espesor se puede obtener dividiendo el volumen del espécimen por el área de su sección transversal, de acuerdo con el procedimiento que se describe en seguida.

Nota 1: Son ejemplos de estos especímenes, las probetas compactadas en el laboratorio para el ensayo Marshall y las muestras obtenidas por corte con extractoras de núcleos o mediante aserrado.

Nota 2: Especímenes cortados del pavimento empleando cinceles manuales u operados con motor, se deberán pulir mediante abrasión o sierras de diamante, para remover cualquier área distorsionada antes de efectuar las medidas.

- 5.4.1** Se determina el área, en cm^2 , de un plano horizontal a través del espécimen, aproximadamente equidistante de las superficies superior e inferior, y aproximadamente perpendicular a sus lados verticales.
- 5.4.2** Se determina el volumen (en cm^3) del espécimen mediante los métodos descritos en las normas INV E-733, INV E-734 o INV E-802.
- 5.4.3** Se calcula el espesor promedio de espécimen dividiendo el volumen del numeral 5.4.2 por el área del numeral 5.4.1:

$$\text{Espesor (cm)} = \frac{\text{Volumen (cm}^3\text{)}}{\text{Área (cm}^2\text{)}} \quad [744.1]$$

6 INFORME

- 6.1** Se informa el espesor (o altura) del espécimen, como el promedio determinado mediante cualquiera de los procedimientos descritos en los numerales 5.2 a 5.4. El valor se debe presentar redondeado a 0.1 cm.
- 6.2** En el informe se deberá indicar cuál de los tres procedimientos se empleó para hallar el espesor; es decir, si se midió con cinta, regla o calibrador (numeral 5.2), con plantilla de medición (numeral 5.3), o si fue calculado a partir de la relación volumen/área (numeral 5.4).

7 PRECISIÓN Y SESGO

- 7.1** *Precisión* – La Tabla 744 - 1 presenta las declaraciones de precisión para medidas realizadas con el sistema internacional de unidades (SI).

Tabla 744 - 1. Estimativos de precisión

CONDICIONES DE LAS MEDICIONES	DESVIACIÓN ESTÁNDAR, cm (1s)	RANGO ACEPTABLE ENTRE 2 RESULTADOS, cm (d2s)
<i>Medidas de diámetro</i>		
Precisión de un solo operador	0.0178	0.0503
Precisión multi-laboratorio	0.0254	0.0718
<i>Medidas de altura</i>		
Precisión de un solo operador		
Probetas Marshall SMA	0.0229	0.0648
Probetas de compactación giratoria	0.0102	0.0288
Núcleos de pavimento	0.00584	0.1652
Precisión de multilaboratorio		
Probetas Marshall SMA	0.0330	0.0933
Probetas de compactación giratoria	0.0406	0.1148
Núcleos de pavimento	0.118	0.3162

- 7.2** *Sesgo* – Aún no existe un material de referencia aceptado para la determinación del sesgo para este método.

8 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D3549/D3549M – 11

ANEXO A (Informativo)

DATOS SOBRE VARIABILIDAD EN LOS ESPESORES DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Tabla 744A - 1. Variabilidad en los espesores de pavimentos asfálticos

RANGO DE ESPESOR (pg)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (pg)	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)
1.0 a 1.9	0.21	14.7
2.0 a 2.9	0.29	13.0
3.0 a 3.9	0.37	11.3
4.0 a 4.9	0.53	12.5
6.0	0.75	12.5

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

CONCENTRACIÓN CRÍTICA DE LLENANTE EN MEZCLAS DE CONCRETO ASFALTICO

INV E – 745 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma establece el procedimiento de ensayo para determinar la concentración crítica de llenante mineral en una mezcla llenante-asfalto.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E-745-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Concentración crítica (C_s)* – Volumen de llenante mineral por unidad de volumen en el sistema llenante-asfalto, por encima del cual el sistema pierde la capacidad de deformación viscosa.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1 Se añade una masa conocida de llenante seco a 20 cm³ de kerosene deshidratado en cloruro de calcio, contenidos en una probeta. Se sumerge la probeta en un baño de agua en ebullición y se agita el contenido con un alambre fino hasta eliminar totalmente el aire. Al cabo de una hora se retira la probeta del baño y se deja sedimentar en reposo completo durante 24 h. A continuación, se lee el volumen del sedimento.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1 La concentración crítica corresponde a una dispersión de las partículas del llenante en el asfalto en el estado más suelto posible pero con contacto entre ellas; es decir, cuando el esfuerzo aplicado es consumido en la deformación viscosa del medio continuo asfalto y la resistencia friccional entre las partículas tiende a un mínimo.
- 4.2 Para conservar la capacidad de deformación viscosa del sistema llenante-asfalto, es necesario que la concentración en volumen del llenante en la

unidad de volumen del sistema sea igual o menor que la concentración crítica y, en consecuencia, esta característica del llenante puede servir para establecer la relación llenante/asfalto máxima que asegura la capacidad de deformación sin rotura por rigidez, del sistema cohesivo llenante-asfalto.

5 EQUIPO Y MATERIALES

- 5.1 *Probeta de vidrio* – Probeta graduada, de 50 cm³ de capacidad y 15 ± 1 mm de diámetro.
- 5.2 *Agitador* – Un agitador de alambre fino, de 30 cm de longitud.
- 5.3 *Balanza* – Una balanza de precisión, con sensibilidad de 0.01 g.
- 5.4 *Recipiente* – Un recipiente de aproximadamente 2 litros de capacidad, para acondicionar un baño de agua hirviendo.
- 5.5 *Horno* – Un horno regulado termostáticamente a 110 ± 5° C.
- 5.6 *Equipo Misceláneo* – Bandejas, cucharas, espátulas, embudos de vidrio, papel de filtro, mechero Bunsen, etc.
- 5.7 *Kerosene.*
- 5.8 *Cloruro de calcio.*



Figura 745 - 1. Equipo para el ensayo

6 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 6.1** Se obtiene una muestra representativa del llenante que se va a ensayar y se la reduce por cuarteo, hasta conseguir aproximadamente 100 g.
- 6.2** La muestra de 100 g se seca en el horno a $110 \pm 5^\circ \text{C}$, hasta masa constante.
- 6.3** Se pesa, con precisión de 0.01 g, una cantidad de llenante tal, que corresponda a un volumen de sedimentación comprendido entre 8 y 12 cm^3 cuando se ajuste el ensayo. Se designa esta masa como M. Si el volumen sedimentado no se encuentra en este intervalo, se deberá repetir la prueba ajustando la cantidad de llenante.

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** Se deshidrata el kerosene utilizando cloruro de calcio.
- 7.2** Se filtra el kerosene anhidro, para eliminar las partículas de cloruro de calcio y demás impurezas que pueda contener.
- 7.3** Se colocan alrededor de 15 cm^3 de kerosene en la probeta.
- 7.4** La muestra de llenante ya pesada se introduce lentamente dentro de la probeta, cuidando que no se pierda material.
- 7.5** Se agregan otros 5 cm^3 de kerosene para que arrastren el material que haya quedado adherido a las paredes de la probeta.
- 7.6** Se prepara un baño con agua a la temperatura de ebullición, utilizando el recipiente de 2 litros.
- 7.7** Se coloca la probeta en el recipiente de agua hirviendo, manteniéndola en posición vertical mediante un soporte adecuado y cuidando que quede sumergida en el agua la parte que contiene el líquido.
- 7.8** Se introduce el agitador de alambre en la probeta y, además, para evitar que entre vapor de agua en ésta, se coloca en su parte superior un tapón de algodón no muy ajustado.

- 7.9** Se mantiene la probeta en el baño de agua hirviendo durante una hora como mínimo (Figura 745 - 2). Se debe remover periódicamente con el agitador de alambre, hasta eliminar totalmente el aire, dando por terminada la operación cuando no se observen más desprendimientos de burbujas.
- 7.10** Se saca el agitador cuidando que no tenga partículas adheridas.
- 7.11** Se retira la probeta del baño y se deja en reposo en posición vertical durante 24 h.
- 7.12** Al cabo de ese lapso se lee el volumen ocupado en la probeta por el llenante mineral (V). Si éste no está comprendido entre 8 y 12 cm³, se repite el ensayo con una cantidad ajustada de llenante.



Figura 745 - 2. Probeta sometida a baño de agua en ebullición

8 CÁLCULOS

- 8.1** Se calcula la concentración crítica del llenante mediante la fórmula:

$$C_s = \frac{M}{V \times G_s} \quad [745.1]$$

Donde: C_s: Concentración crítica del llenante en el sistema llenante – asfalto

M: Masa de la muestra de llenante empleada, g;

V: Volumen del sedimento, en cm³;

G_s: Gravedad específica del llenante mineral.

9 PRECISIÓN

- 9.1 Al hacer dos determinaciones del C_s con el mismo material, éstas no deben diferir en ± 0.01 .

10 INFORME

- 10.1 El informe debe indicar:

- 10.1.1 La concentración crítica del llenante que se usará en la elaboración de la mezcla asfáltica.
- 10.1.2 La concentración real del volumen del llenante en la mezcla que se ha diseñado C_v (si se determinó).
- 10.1.3 Se deben comparar la concentración crítica y la concentración real (si se ha determinado esta última).

11 NORMAS DE REFERENCIA

IRAM 1542 – Junio 1983

ANEXO A (Informativo)

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN REAL DE LLENANTE EN EL SISTEMA LLENANTE–ASFALTO DE UN CONCRETO ASFÁLTICO

- A.1 La concentración real (C_v) se calcula a partir de la fórmula de trabajo establecida, mediante las siguientes expresiones:

$$C_v = \frac{F}{F + A} \quad [745.2]$$

$$F = \frac{P_s \times P_{75\mu m}}{G_s \times 100} = \frac{(100 - P_b) \times P_{75\mu m}}{G_s \times 100} \quad [745.3]$$

$$A = \frac{P_{be}}{G_b}$$

[745.4]

- Donde: C_v : Concentración real del volumen de llenante en el sistema llenante-asfalto;
- F: Volumen de llenante en la mezcla asfáltica;
- A: Volumen de asfalto efectivo en la mezcla asfáltica;
- P_s : Porcentaje de agregado, expresado en % de la masa total de la mezcla;
- P_b : Porcentaje de asfalto añadido, expresado en % de la masa de la mezcla;
- P_{be} : Porcentaje de asfalto efectivo, expresado en % de la masa de la mezcla y calculado según la norma INV E-799;
- G_b : Gravedad específica del asfalto;
- G_s : Gravedad específica del llenante;
- $P_{75\mu m}$: Porcentaje de llenante con respecto a la masa del agregado.

MEDIDA DE LA DENSIDAD DE CAPAS DE CONCRETO ASFÁLTICO EN EL TERRENO EMPLEANDO EL MÉTODO NUCLEAR

INV E – 746 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe un procedimiento de ensayo para determinar en el terreno la densidad de un pavimento de concreto asfáltico mediante atenuación de radiación gamma. En la norma se especifican dos modos operativos: a) la fuente y el detector de la radiación se sitúan sobre la superficie del pavimento (Método de retrodispersión) y, b) la fuente o el detector se sitúa a una profundidad conocida de hasta 300 mm, mientras que el detector o la fuente permanece sobre el pavimento (Método de transmisión directa).
- 1.2** La densidad, en masa por unidad de volumen del material que se ensaya, se determina comparando la cantidad de radiación gamma detectada con los datos de calibración previamente establecidos.
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E-746-07.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1** El método de ensayo descrito se utiliza como una técnica rápida y no destructiva para la determinación en el sitio de la densidad de las mezclas bituminosas compactadas.
- 2.2** Con una calibración apropiada y ensayos de confirmación, el método resulta adecuado para el control de calidad y la aceptación de capas de concreto asfáltico compactado.
- 2.3** También, se puede utilizar para establecer una energía de compactación adecuada y un patrón para lograr la densidad requerida.
- 2.4** La naturaleza no destructiva del ensayo permite la realización de medidas repetidas en un mismo punto entre las pasadas de los compactadores, lo que permite controlar la evolución de la densidad.

- 2.5** Los resultados de densidad obtenidos mediante este método son relativos. Se requieren correlaciones con los resultados de otros métodos de ensayo, como los descritos en las normas INV E-733, INV E-734 o INV E-802, para convertir los resultados obtenidos usando este método a valores de densidad real. Se recomienda que se tomen, al menos, siete densidades sobre núcleos y siete densidades por el método nuclear, para establecer un factor de conversión. Se deberá determinar un nuevo factor cada vez que haya un cambio en la mezcla asfáltica o en el proceso constructivo.

3 INTERFERENCIAS

- 3.1** La composición química del material que se ensaya puede afectar significativamente las mediciones, siendo entonces necesario efectuar los ajustes pertinentes. Ciertos elementos con números atómicos por encima de 20 pueden dar lugar a valores erróneamente elevados.
- 3.2** El método de ensayo muestra un sesgo espacial, debido a que el instrumento es más sensible a la densidad del material más próximo a la fuente de radiación.
- 3.2.1** Cuando se mide la densidad de una sobrecapa, puede ser necesario el uso de un factor de corrección, si el material de la capa subyacente varía en espesor, composición mineral o grado de compactación en diferentes tramos del pavimento (Ver Anexo C).
- 3.2.2** Si la superficie del material que se ensaya es muy rugosa, se pueden obtener valores de densidad más bajos que los reales.
- 3.3** Los sobretamaños que se encuentren en la trayectoria fuente-detector, pueden producir valores de densidad de la capa más altos que los reales.
- 3.4** El volumen de muestra de mezcla bituminosa que se ensaya es de, aproximadamente, 0.0028 m^3 (0.0989 pie^3) con el método de retrodispersión y de 0.0056 m^3 (0.198 pie^3) con el método de transmisión directa. El volumen real de muestra varía con el tipo de aparato empleado y con la densidad del material. En general, a mayor densidad el volumen involucrado es menor (nota 1).

Nota 1: El volumen de material compactado en obra representado por un ensayo, se puede incrementar efectivamente repitiendo el ensayo en sitios adyacentes y promediando los resultados.

- 3.5** Si se toman muestras del material ensayado con el propósito de establecer correlaciones con otros métodos de ensayo, como los descritos en las normas INV E-733, INV E-734 o INV E-802, el volumen por ensayar puede ser, aproximadamente, el de un cilindro de 200 mm (8") de diámetro, localizado directamente debajo del eje de la fuente radiactiva y el detector. La altura del cilindro a extraer será igual a la profundidad de colocación de la varilla con la fuente radiactiva en el caso de haber empleado un aparato de transmisión directa o de, aproximadamente, 75 mm (3") si se ha usado el método de retrodispersión (nota 2).

Nota 2: Si la capa de concreto asfáltico compactada tiene un espesor menor que la profundidad de medida del instrumento, se deberán hacer correcciones para obtener resultados apropiados, debido a la influencia de la densidad de la capa subyacente. (Ver Anexo C)

4 EQUIPO

- 4.1** *Dispositivo nuclear* – Un instrumento preparado para detectar y registrar radiaciones, que se pueda asentar sobre la superficie del pavimento bituminoso a ensayar. El instrumento deberá contener:
- 4.1.1** *Fuente de radiación gamma* – Una fuente sellada gamma de alta energía, tal como cesio o radio, y
 - 4.1.2** *Detector gamma* – Cualquier tipo de detector gamma, como tubos (s) Geiger-Mueller.
- 4.2** *Patrón de referencia* – Un bloque de material denso para utilizarlo en la comprobación del instrumento y establecer las condiciones para reproducir el conteo de referencia.
- 4.3** *Herramientas para el acondicionamiento del sitio de ensayo* – Una placa metálica, una regla u otro utensilio adecuado para nivelar el lugar de ensayo con la lisura requerida, utilizando una arena fina u otro material similar.
- 4.4** *Barra perforadora* – Una pieza de acero, cilíndrica, de diámetro un poco mayor que el de la varilla del dispositivo para transmisión directa, con la que se pueda hacer un agujero perpendicular a la superficie del pavimento a ensayar, dentro del cual se insertará la varilla con la fuente radioactiva. Se puede utilizar, también, un taladro.

5 SEGURIDAD

- 5.1** Este equipo utiliza material radioactivo que puede ser peligroso para la salud de los usuarios, a menos que se tomen todas las precauciones necesarias. El usuario del equipo se debe familiarizar con los procedimientos de seguridad y las regulaciones gubernamentales pertinentes.
- 5.2** Instrucciones efectivas al usuario sobre algunos procedimientos rutinarios de seguridad, tales como pruebas para detectar fugas de radioactividad, el registro de los datos del dosímetro personal, el uso de contadores de radiación, etc., se recomiendan como parte del sistema de operación de los equipos de este tipo.
- 5.3** Se deberá disponer de una licencia para la posesión y el manejo del aparato, si así lo establece la reglamentación de la agencia reguladora de las actividades radiactivas del país.

6 CALIBRACIÓN

- 6.1** El instrumento se debe calibrar por lo menos una vez al año, de conformidad con lo indicado en el Anexo A. Los datos de calibración se deben ajustar de acuerdo con el Anexo B, siempre que sea necesario.

7 NORMALIZACIÓN Y VERIFICACIÓN DE LA REFERENCIA

- 7.1** Los dispositivos nucleares para ensayos están sujetos al envejecimiento a largo plazo de la fuente radioactiva, de los detectores y de los sistemas electrónicos, lo cual va cambiando la relación entre la velocidad de conteo en el instrumento y la densidad del material. Para compensar este envejecimiento, el aparato se debe normalizar estableciendo una relación entre la velocidad de conteo medida en la muestra de ensayo y la velocidad de conteo medida sobre un patrón de referencia (referencia estándar). La medida obtenida con el patrón de referencia debe ser del mismo orden de magnitud que la obtenida en el ensayo, dentro del intervalo de densidades útiles del aparato.
- 7.2** La normalización del equipo se debe realizar al comienzo de cada jornada de trabajo, debiéndose llevar un registro permanente de la información que se ha obtenido.

- 7.2.1** El proceso de normalización se debe efectuar con el aparato situado a no menos de 10 m (33 pies) de cualquier otra fuente radiactiva o de masas de gran volumen u otros objetos que puedan afectar la medida de la velocidad de conteo de referencia.
- 7.2.2** Se enciende el aparato y se permite que se estabilice. Se siguen las instrucciones del fabricante con el fin de conseguir resultados más estables y consistentes.
- 7.2.3** Utilizando el patrón de referencia, se toman al menos cuatro lecturas repetidas con el período normal de medición y se calcula el valor medio. Si el aparato lo permite, resulta aceptable un período de medida cuya duración sea cuatro o más veces mayor que la de una medida normal. Esto constituye una verificación de normalización.
- 7.2.4** Si el valor obtenido en el numeral 7.2.3 está dentro de los límites que se establecen más adelante, se considera que el aparato funciona satisfactoriamente y que tal valor se puede utilizar para determinar la relación de cuentas durante la jornada. Si el valor obtenido está fuera de estos límites, se permite un tiempo adicional para la estabilización del aparato, verificando que el área esté libre de fuentes de interferencia y, a continuación, se realiza otra prueba de normalización. Si en la segunda prueba el valor obtenido está dentro de los límites, el aparato se podrá utilizar, pero si queda por fuera de ellos, se deberá ajustar o reparar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Los límites son los siguientes:

$$|N_s - N_o| \leq 2.0 \sqrt{\frac{N_o}{F}} \quad [746.1]$$

Donde: N_s : Valor del conteo actual de normalización;

N_o : Valor medio de los últimos cuatro valores de N_s obtenidos previamente;

F: Valor de cualquier pre-escala.

Nota 3: El conteo por períodos de medición será el número total de radiaciones gamma detectado durante tales períodos de tiempo. El valor que se lee en la pantalla del aparato se debe corregir si éste tiene incorporado algún tipo de pre-escala. Este valor, (F), es un divisor que reduce el valor real antes de mostrarlo en pantalla. El fabricante del aparato deberá suministrar este valor en caso de que sea diferente de 1.0.

- 7.3** El valor N_s se utiliza para determinar la relación de cuentas a considerar durante la jornada de trabajo del instrumento. Si, por cualquier circunstancia, los valores de densidad medidos a lo largo del día se tornan sospechosos, se deberá realizar una nueva normalización del aparato.

8 PROCEDIMIENTO

- 8.1** Con el fin de proporcionar resultados más estables y consistentes: (1) se enciende el instrumento antes de realizar cualquier medida, para que se estabilicen sus circuitos electrónicos y, (2) se deja encendido durante todo el día de trabajo.
- 8.2** Se efectúa la normalización del aparato según lo descrito en la Sección 7.
- 8.3** Se selecciona un sitio de ensayo de acuerdo con lo que indiquen las especificaciones del proyecto, y si no hay nada establecido en ellas sobre el particular, se seguirá el método de la norma INV E-730. Si el instrumento se sitúa a una distancia menor de 250 mm (10") de cualquier masa vertical que pueda influir sobre el resultado, se deberá aplicar el procedimiento de corrección proporcionado por el fabricante para tal evento.
- 8.4** Es fundamental asegurar el máximo contacto entre la base del instrumento y la superficie del material a ensayar. El vacío máximo no debe exceder de 6 mm ($\frac{1}{4}$ "). Se utilizan finos del sitio o arena fina para rellenar los huecos y nivelar la superficie (Figura 746 - 1).



Figura 746 - 1. Nivelación de la superficie con arena

- 8.5** Si se va a utilizar el equipo de transmisión directa, se hace la perforación requerida y se hincan la varilla de acero hasta una profundidad, al menos, 25 mm (1") mayor que la profundidad de medida deseada.

Nota 4: Se debe tener cuidado al hincar la varilla en la mezcla bituminosa compactada, para no producir perturbaciones del material que puedan producir errores en las mediciones. Es preferible hacer la perforación con ayuda de un taladro.

- 8.6** Se sitúa la fuente radiactiva en posición apropiada. Si se ensaya con equipo de transmisión directa, se desplaza el instrumento de manera que la varilla con la fuente radiactiva quede en contacto íntimo con el lado de la perforación ubicado en la trayectoria de las radiaciones gamma.

- 8.7** Se efectúa una medición durante el período de tiempo normal (Figura 746 - 2). Si se realizan las medidas con el método de retrodispersión empleando la técnica del colchón de aire, se toma una medida adicional en esta posición, tal como recomienda el fabricante (ver nota 2).



Figura 746 - 2. Determinación de la densidad

- 8.8** Se determina la relación de la lectura con respecto al conteo estándar o al conteo con colchón de aire. Con el valor de esta relación y con los datos de calibración y de ajuste, se calcula la densidad de la capa en el lugar (ver notas 5 y 6).

Nota 5: Algunos instrumentos tienen incorporado un sistema para calcular automáticamente la relación y la densidad bulk (o húmeda), y permitir un ajuste por las desviaciones producidas.

Nota 6: Si el espesor de la capa bituminosa que se ensaya es menor que la profundidad de medición del instrumento, hay que corregir el valor obtenido en el numeral 8.8 (ver Anexo C).

Nota 7: No se debe dejar el instrumento sobre una superficie caliente durante largos períodos de tiempo. Las temperaturas elevadas pueden afectar adversamente los circuitos electrónicos. Se debe permitir el enfriamiento del instrumento entre mediciones.

9 RESULTADOS

- 9.1** Se calcula la densidad en el sitio, utilizando las tablas, gráficos, o coeficientes de la ecuación de calibración, o la lectura directa del instrumento, haciendo los ajustes que sean necesarios. Esta será la densidad bulk (o humedad) de la capa de mezcla bituminosa ensayada.
- 9.1.1** Se puede calcular un ajuste por desviación, comparando los resultados de varias mediciones realizadas con el instrumento, con los resultados de densidad obtenidos siguiendo la norma INV E-733.
- 9.2** Se comparan los resultados obtenidos, con las densidades obtenidas sobre mezclas compactadas por el método Marshall (norma INV E-748) o con los resultados de las pruebas descritas en las normas INV E-735 o INV E-803, para determinar la aceptabilidad de la capa ensayada (grado de compactación).

10 INFORME

- 10.1** En el informe, junto con los resultados de densidad, se incluirá lo siguiente:
- 10.1.1** Marca, modelo y número de serie del aparato de ensayo utilizado.
- 10.1.2** Fecha y procedencia de los datos de calibración.
- 10.1.3** Fecha de ensayo.
- 10.1.4** El valor del conteo estándar del día de ensayo.
- 10.1.5** Descripción del lugar de ensayo, incluyendo el número de identificación del proyecto y el (los) tipo(s) de mezcla.
- 10.1.6** Espesor de la capa asfáltica ensayada y cualquier ajuste efectuado, si es el caso, con el fin de corregir desviaciones por esta causa.
- 10.1.7** Procedimiento de medición (retrodispersión o transmisión directa), profundidad, velocidad de conteo, densidad calculada en cada medición y cualquier dato de ajuste o corrección.
- 10.1.8** El porcentaje de compactación, si se ha requerido.

11 PRECISIÓN Y SESGO

11.1 *Precisión:*

11.1.1 La declaración de precisión se basa en un experimento de campo realizado en 2008 con apoyo del DOT del Estado de New York, empleando 6 medidores fabricados por 5 empresas. Las mezclas ensayadas fueron de concreto asfáltico Superpave de los tipos 9.5, 12.5, 19 y 37.5. Los valores de densidad oscilaron entre 127.8 y 149.1 lb/pie³, con un promedio de 138.07 y una desviación estándar de 3.900. Todos los ensayos con un determinado aparato fueron realizados por el mismo operador.

11.1.2 *Precisión de un solo operador* – Se determinó que la desviación estándar de un operador fue 25.15 kg/m³ (1.57 lb/pie³). Por lo tanto, es de esperar que los resultados de 2 ensayos correctamente efectuados por el mismo operador, sobre el mismo material y empleando el mismo equipo, no varíen en más de 78.49 kg/m³ (4.9 lb/pie³).

11.2 *Sesgo* – No hay consenso sobre cuál es el método más exacto para determinar los valores de densidad contra los cuales se puedan comparar los resultados de este método de ensayo, razón por la cual no se puede realizar una declaración sobre sesgo.

12 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 2950/D2950M – 11

ANEXO A (Aplicación obligatoria)

CALIBRACIÓN

- A.1** La calibración se debe realizar siguiendo el procedimiento recomendado por el fabricante del aparato.
- A.2** Por lo menos una vez al año y después de cualquier reparación que pudiera haber afectado a la geometría del instrumento, se deben verificar o restablecer las curvas, tablas o coeficientes de calibración.

- A.3** El instrumento se debe calibrar de manera que produzca una respuesta de calibración dentro de $\pm 16 \text{ kg/m}^3$ ($\pm 1.0 \text{ lb/pe}^3$) sobre los bloques de materiales (estándares) de densidad conocida. Puesto que la respuesta del instrumento nuclear está influenciada por la composición química del material a ensayar, se debe tener en cuenta la composición química de los bloques estándar al establecer la densidad de referencia. Las densidades de los materiales utilizados para establecer o verificar la calibración se deben extender en un rango suficientemente amplio para que dentro de él queden incluidos todos los materiales y densidades que se esperan en los materiales a ensayar en el terreno (Figura 746A - 1).
- A.4** Se deberán tomar suficientes datos de cada material de referencia de densidad, para asegurar una precisión en el conteo del instrumento de, al menos, la mitad de la precisión requerida en los conteos del aparato para su utilización en el campo. Los datos se pueden presentar en forma de gráfico, tabla o coeficientes de ecuación, o se memorizarán en el aparato para permitir la conversión de los datos de velocidad de conteo en densidad del material.



Figura 746A - 1. Bloques de calibración de diferente densidad

- A.5** El método y los procedimientos de ensayo utilizados para establecer los datos de la velocidad de conteo serán los mismos que se empleen para obtener los datos de velocidad de conteo para el material en el terreno.
- A.6** El tipo de material, la densidad y la densidad equivalente calculada del material de cada estándar de calibración utilizado para establecer o verificar la calibración del instrumento, se deben incluir como parte de los datos de calibración.
- A.7** Estándares de calibración (bloques de calibración):

- A.7.1** Los estándares de calibración se pueden establecer utilizando uno de los métodos que se describen en seguida. Los bloques serán de tamaño suficiente para que la velocidad de conteo no cambie, aunque ellos se aumenten en alguna de sus dimensiones. (nota A.1).

Nota A.1: Un bloque cuya superficie sea, aproximadamente, de 610 mm de largo por 430 mm de ancho (24 x 17"), es satisfactorio para este propósito. Para el método de retrodispersión se requiere un espesor mínimo de 230 mm (9"), mientras que para transmisión directa, el espesor debe ser, al menos, 50 mm (2") mayor que la profundidad a la cual se sitúa el extremo de la varilla con la fuente radiactiva durante la realización del ensayo. Para la técnica de colchón de aire (Air-Gap), se requiere un estándar de calibración con una superficie mayor. Las dimensiones superficiales de los bloques se pueden reducir ligeramente, si ellos se encuentran adyacentes a un material de alta densidad.

A.7.1.1 Se preparan bloques de suelo y fragmentos de roca compactados con diferentes rangos de densidad. Al fabricar los bloques, el material se debe colocar en capas cuyo espesor depende del equipo de compactación disponible. Cada capa se deberá compactar con igual energía de compactación. La densidad de cada bloque se calcula con base en su volumen y su masa.

A.7.1.2 Se preparan bloques de concreto en obra, fabricados con diferentes agregados y mezclas de agregados, para obtener un intervalo amplio de densidades. La mezcla se coloca de manera que se asegure su uniformidad y la de la densidad del bloque. La densidad de cada bloque se calcula midiendo su volumen y su masa.

A.7.1.3 Se preparan bloques de materiales estables diferentes a suelos. Se determina la densidad equivalente de suelo y roca de cada bloque, midiendo su volumen y su masa.

Nota A.2: Para establecer y verificar las calibraciones, se han utilizado con éxito durante décadas, bloques fabricados con magnesio, aluminio o con bloques laminados de hojas de aluminio/magnesio de igual espesor (máximo 1 mm), así como bloques sólidos de granito o de piedra caliza.

A.7.1.4 La densidad de los bloques de calibración se debe determinar con un exactitud de $\pm 0.3\%$

ANEXO B (Aplicación obligatoria)

AJUSTES DE CALIBRACIÓN

- B.1** La respuesta de calibración se debe revisar antes de efectuar ensayos con materiales claramente diferentes de los utilizados en la calibración; también, se deberá verificar en aparatos recientemente adquiridos o reparados.
- B.2** Se realiza un número suficiente de mediciones y se comparan con las obtenidas al emplear otros métodos aceptados como, por ejemplo, el volumétrico descrito en la norma INV E-733, con el fin de establecer una correlación entre la calibración del aparato y los otros métodos.

ANEXO C (Aplicación obligatoria)

DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE MEDICIÓN

- C.1** La profundidad de medición es característica del diseño de cada instrumento particular y se puede definir como la distancia, medida desde la superficie, a la cual un cambio significativo en la densidad no se traduce en un cambio en el resultado de la medición.
- C.1.1** Se determina la profundidad, midiendo la densidad aparente de capas superiores de densidad uniforme pero de distinto espesor, colocadas sobre una capa de base con una densidad muy diferente. Se varía el espesor de la capa superior hasta que se obtenga un valor constante de la densidad medida con el instrumento (nota C.2).
- Nota C.1: Para espesores de capa de 51 mm (2") o menores, se recomienda la técnica de retrodispersión. Para espesores mayores, se sugiere la de transmisión directa.*
- Nota C.2: Materiales como magnesio y aluminio en láminas se han usado satisfactoriamente como capas superiores. Los bloques de magnesio y aluminio utilizados como estándares en la calibración, son útiles como material de base.*
- C.1.2** Se llevan los resultados a una gráfica y se determina la profundidad a la cual la densidad aparente medida es igual a la densidad calculada. Esta determinación se debe hacer para un material de baja densidad y para otro de alta densidad actuando como capa superior. La profundidad de medición es el promedio de los dos resultados.

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

de base a la probeta. El tamaño de las caras de carga de las placas deberá ser ligeramente superior al diámetro máximo de las probetas a ensayar. La superficie de las placas deberá ser completamente lisa y plana, no permitiéndose variaciones con respecto al plano verdadero superiores a 0.0127 mm (0.0005") en placas nuevas y a 0.025 mm (0.001") en placas en uso. En la placa superior con apoyo esférico, el centro de la esfera deberá coincidir con el centro de la cara de carga de la placa. La parte móvil de esta pieza debe encajar ajustadamente en el apoyo esférico; pero el diseño deberá ser tal, que la placa de carga gire libremente y bascule en ángulos pequeños en cualquier dirección.

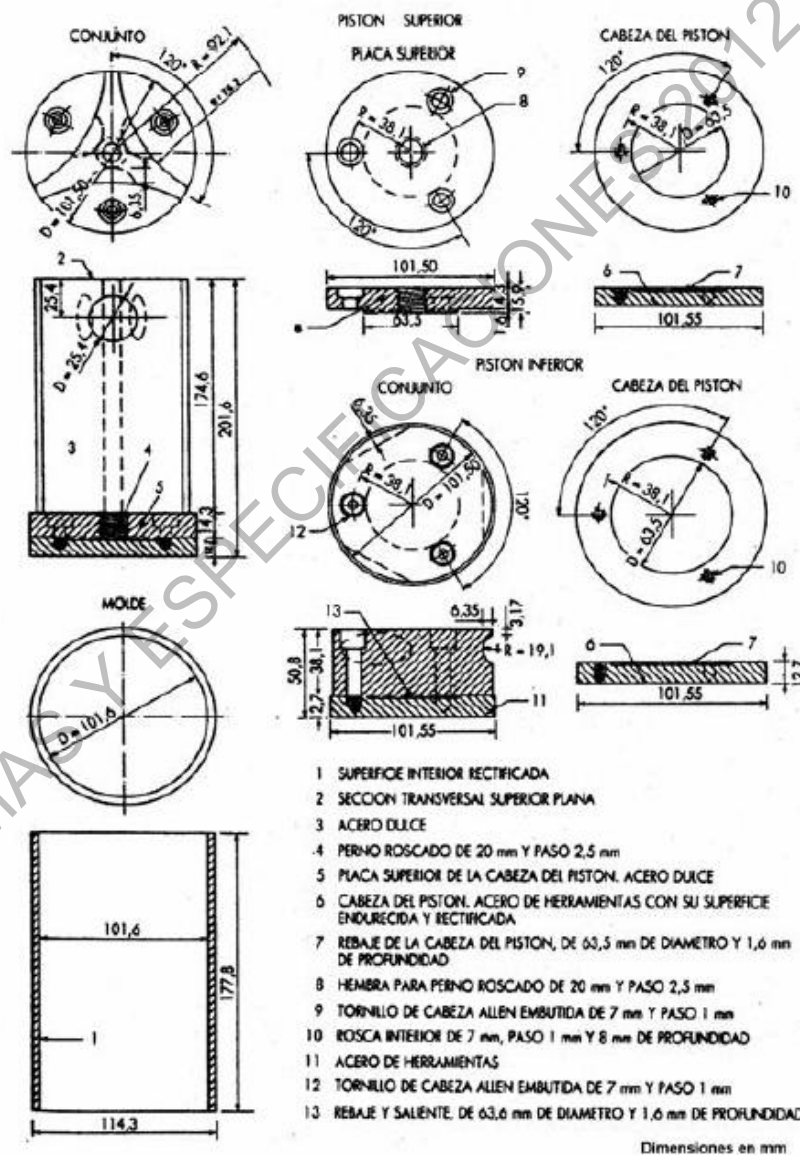


Figura 747 - 1. Conjunto de compactación

- 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 a 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 ± 20 cSt (85 ± 10 sSF) y de 280 ± 30 cSt (140 ± 15 sSF) durante la compactación. El agregado se deberá calentar por encima de la temperatura determinada para el mezclado, pero no más de 28°C (50°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°C (347°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°C (5 a 9°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 ± 2.5 mm (4.0 ± 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 ± 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/cm² o 150 lbf/pg²), 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/cm² o 3000 lb/pg²) 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/cm² o 3000 lb/pg²) 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/pg²), la cual se determina dividiendo la carga máxima obtenida en el ensayo por el área de su sección transversal original (81.1 cm² 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/cm² ó 21 lb/pg²) (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/cm² o 59 lb/pg²) 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/cm² o 122 lb/pg²).

Nota 3: Los números representan respectivamente el 1s y d2s, 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/cm² o 54 lb/pulg²) (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/cm² o 153 lb/pg²).
- 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

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

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.

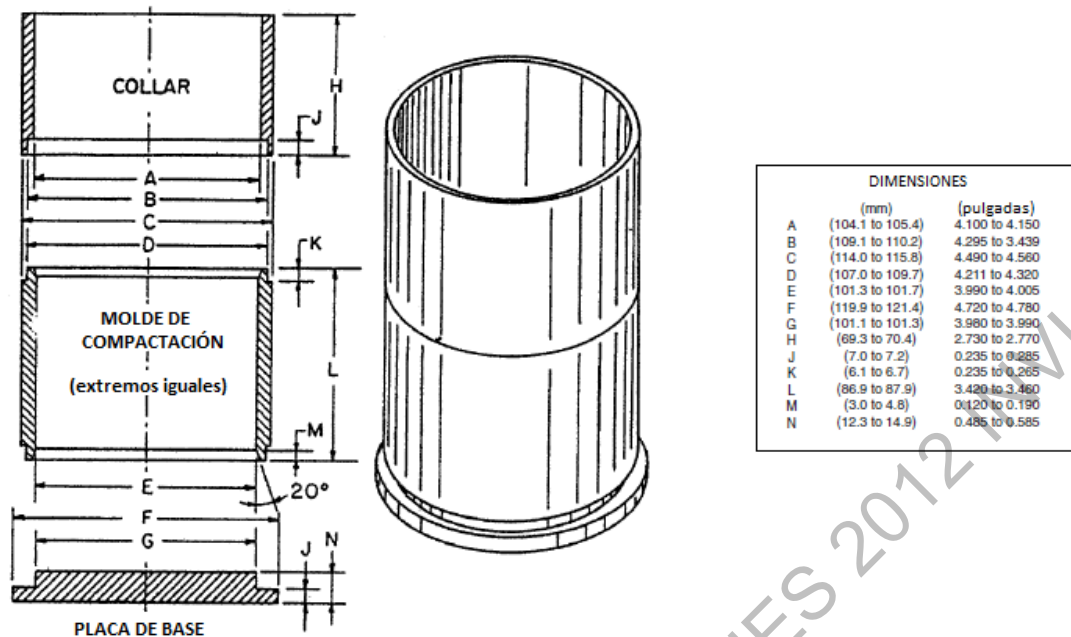


Figura 748 - 1. Molde para probetas Marshall

- 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.

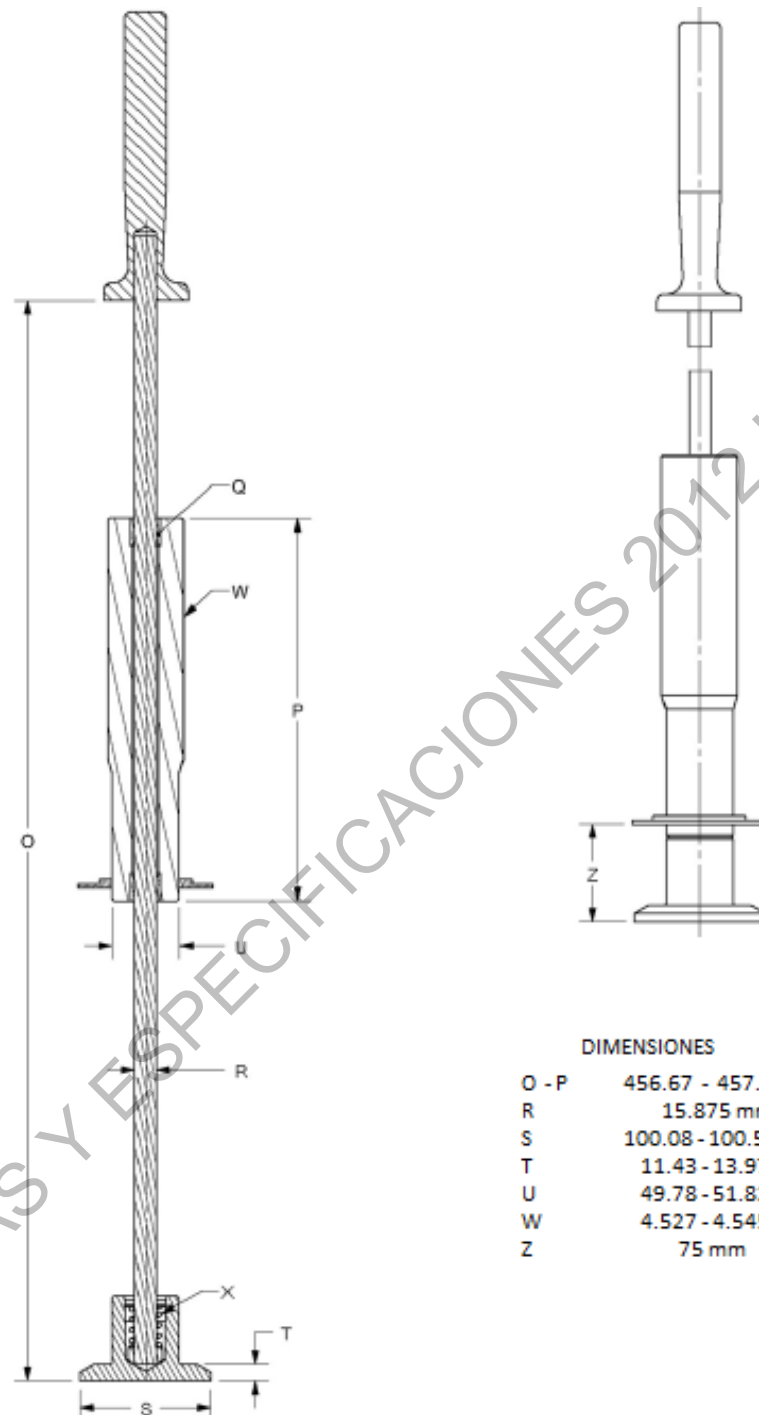


Figura 748 - 2. Martillo de compactación de manejo manual

- 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.



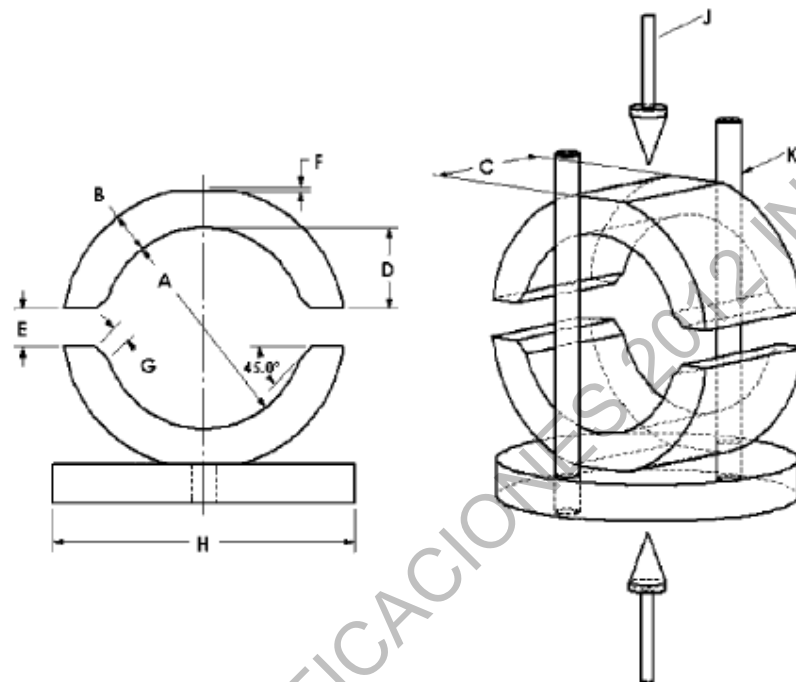
Figura 748 - 3. Martillo mecánico de compactación Marshall



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.

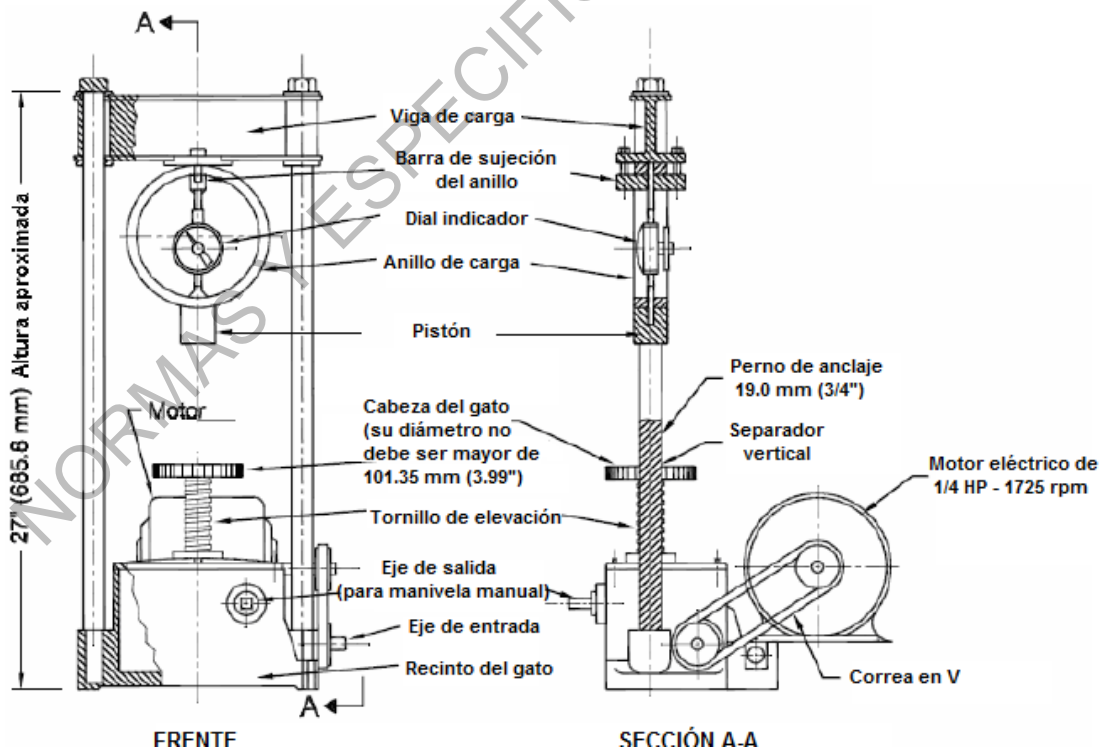


Figura 748 - 6. Máquina de compresión



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.

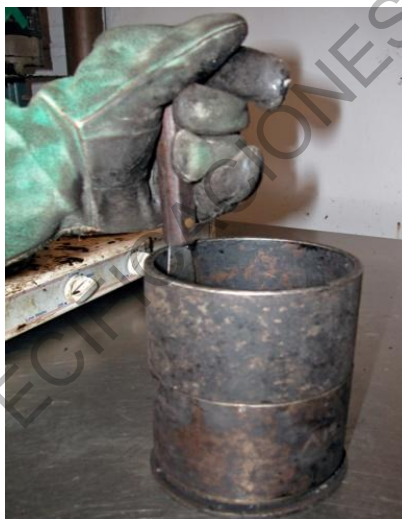


Figura 748 - 10. Golpes con la espátula a la mezcla dentro del molde

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

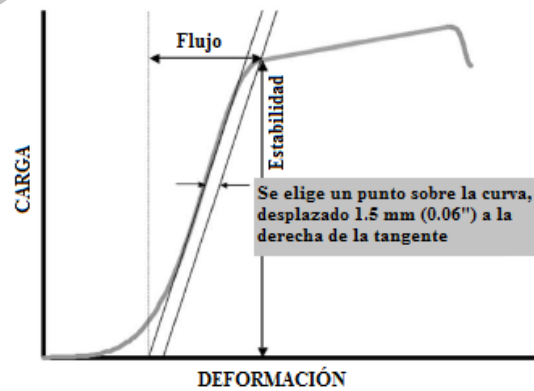
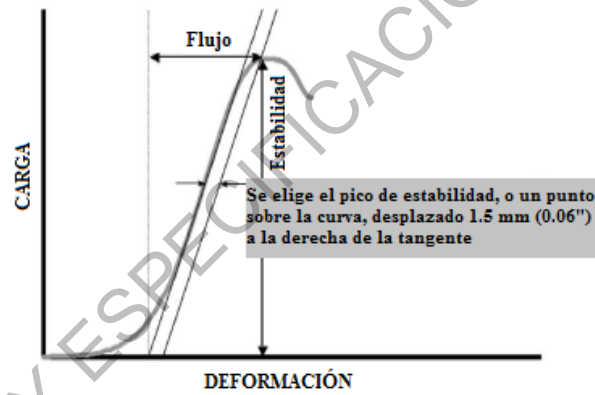


Figura 748 - 13. Determinación del flujo para dos tipos de falla de la probeta

- 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.

ENSAYO DE TENSIÓN INDIRECTA PARA DETERMINAR EL MÓDULO RESILIENTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

INV E – 749 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma se refiere a los procedimientos para preparar y ensayar probetas fabricadas en el laboratorio o recuperadas de mezclas asfálticas de pavimentos, para determinar valores del módulo resiliente, aplicando el ensayo de tensión indirecta con carga repetida.
- 1.2 A la fecha, no se han hecho declaraciones sobre reproducibilidad y sesgo para esta norma y, por lo tanto, no se debe utilizar para la aceptación o rechazo de un material con fines de pago.
- 1.3 Esta norma reemplaza la norma INV E-749-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Carga de contacto* (P_{contacto}) – Carga vertical aplicada a la muestra para mantener un contacto positivo entre ella y la banda de carga. La carga de contacto (P_{contacto}) es 4 % de la carga máxima ($P_{\text{máx}}$) y no debe ser menor de 22.5 N (5 lb) ni mayor de 89 N (20 lb).

$$P_{\text{contacto}} = 0.04 P_{\text{máx}} \quad [749.1]$$

- 2.2 *Núcleo* – Espécimen cilíndrico intacto que se remueve del pavimento mediante perforación y muestreo en un sitio determinado. El núcleo puede comprender una, dos, o más de dos capas diferentes.
- 2.3 *Carga cíclica resiliente (carga vertical resiliente)*, ($P_{\text{cíclica}}$) – Carga aplicada al espécimen, usada directamente para calcular el módulo resiliente.

$$P_{\text{cíclica}} = P_{\text{máx}} - P_{\text{contacto}} \quad [749.2]$$

- 2.4 *Forma de carga de medio seno verso* – Forma requerida para el pulso de carga para el ensayo de módulo resiliente. El pulso es de forma $(1 - \cos \theta)/2$, con la curva variando desde la carga de contacto (P_{contacto}) hasta la máxima ($P_{\text{máx}}$).

- 2.5** *Módulo resiliente instantáneo* – Determinado a partir de los gráficos deformación-tiempo, como se describe en la Sección 9.
- 2.6** *Capa* – Parte del pavimento construida con un determinado material y colocada con equipo y técnicas similares. El espesor de una capa asfáltica es el obtenido a partir de una pasada de la máquina pavimentadora y del proceso subsiguiente de compactación, y puede ser igual o menor que el espesor del núcleo.
- 2.7** *Carga axial máxima aplicada ($P_{m\acute{a}x}$)* – Carga total máxima aplicada a la muestra. Incluye la carga de contacto y la carga cíclica (resiliente).

$$P_{m\acute{a}x} = P_{\text{contacto}} + P_{\text{c\acute{i}clica}} \quad [749.3]$$

- 2.8** *Esp\́ecimen de ensayo (probeta)* – Parte de la capa que se usa en el ensayo. Su espesor puede ser igual o menor que el de la capa.
- 2.9** *Deformaci3n total* – Determinada a partir de los gr\́aficos deformaci3n-tiempo, como se describe en la Secci3n 9.

3 RESUMEN DEL M\́ETODO

- 3.1** El ensayo de tensi3n indirecta con cargas repetidas para determinar el m3dulo resiliente de mezclas asf\́alticas se lleva a cabo aplicando cargas de compresi3n con ondas de forma de medio seno verso. La carga se aplica verticalmente sobre un plano diametral de un esp\́ecimen cil\ndrico de concreto asf\́altico. Se miden las deformaciones recuperables horizontal y vertical resultantes y, a partir de ellas, se calculan valores de la relaci3n de Poisson resiliente. Posteriormente, se calculan valores del m3dulo resiliente a partir de la relaci3n de Poisson. De la interpretaci3n de los datos de deformaci3n resultan dos valores del m3dulo resiliente: uno, llamado m3dulo resiliente instant\́aneo, que se calcula empleando la deformaci3n recuperable que ocurre instant\́aneamente durante la parte de descarga de un ciclo; el otro, llamado m3dulo resiliente total, se calcula empleando la deformaci3n recuperable total, que incluye tanto la recuperable instant\́anea, como la recuperable dependiente del tiempo, que contin\́ua durante la descarga y el resto del per\́odo de reposo de un ciclo.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** Los valores del módulo resiliente se pueden emplear para evaluar la calidad relativa de los materiales, así como para generar datos de entrada para el diseño, la evaluación y el análisis de pavimentos. El ensayo se puede emplear para estudiar los efectos de la temperatura y la carga sobre el módulo resiliente.

5 EQUIPO

- 5.1** *Máquina de ensayo* – La máquina de ensayo debe ser de carga vertical, de cadena cerrada, con un dispositivo de aplicación de carga electro-hidráulico o neumático capaz de producir ciclos repetidos de pulsos de carga de forma de medio seno verso, dentro de un determinado intervalo de frecuencias, duraciones de carga y niveles de carga.
- 5.2** *Dispositivo de aplicación de carga* – Debe tener la posibilidad de ensayar especímenes de 101.6 o 152.4 mm (4 o 6") de diámetro y con espesores hasta de 63.5 mm (2 ½"). El dispositivo debe ser suficientemente compacto para ser usado dentro de una cámara ambiental. Debe tener una placa de carga fija en la parte inferior y una móvil en la superior. El movimiento de la placa superior debe ser guiado por dos columnas, una a cada lado del espécimen y equidistantes del eje de carga y de las bandas de carga, para asegurarle un movimiento mínimo de traslación o rotación durante la carga del espécimen. Las columnas de guía deben tener una superficie de contacto prácticamente sin fricción. Se deberá inspeccionar con frecuencia la superficie de las columnas para comprobar si presenta estrías a causa de la fricción. El alineamiento del dispositivo dentro del sistema de carga se debe obtener de manera que la fricción sea limitada. La placa de carga superior debe poseer suficiente rigidez, para prevenir deflexiones excesivas o indebidas durante la carga. La Figura 749 - 1 muestra las bandas de carga, las cuales deben ser perpendiculares a la línea que une las dos columnas de guía.
- 5.3** *Sistema de control de temperatura* – El sistema de control de temperatura deberá ser capaz de funcionar dentro de un intervalo de temperaturas desde 5 hasta 45° C (41 – 113° F) con una precisión de $\pm 1^\circ$ C ($\pm 2^\circ$ F). El sistema debe incluir un gabinete de temperatura controlada, de tamaño suficiente para mantener al menos 3 especímenes durante el período al ensayo, como se describe en el numeral 7.4.

- 5.4** *Sistema de medición y registro* – El sistema de medición y registro deberá incluir sensores para medir y registrar, simultáneamente, deformaciones horizontales y verticales y cargas. El sistema deberá ser capaz de medir deformaciones horizontales y verticales en el intervalo de 0.00038 mm (0.000015") de deformación. Las celdas de carga se deben calibrar con exactitud, con una resolución de 8.9 N (2 lbf) o mejor.



Figura 749 - 1. Espécimen con las bandas de carga

- 5.4.1** *Adquisición de datos* – Los dispositivos de medida o registro deberán proporcionar las medidas de deformación en tiempo real y ser capaces de controlar lecturas en ensayos conducidos a 1.0 Hz. Se recomienda el uso de sistemas de control por computador. El sistema de adquisición de datos debe ser capaz de coleccionar 200 barridos (escaneos) por segundo (un barrido incluye todos los valores de carga y deformación en un punto de tiempo dado). Se debe disponer, también, de la posibilidad de obtener gráficos en tiempo real (simultáneamente con la recolección de datos del sistema de monitoreo del computador), para verificar el progreso del ensayo. Si se utilizan registradores gráficos en banda de papel sin sistemas de monitoreo por computador, se deberá ajustar la escala del dibujo para que haya un balance entre la reducción de escala requerida como resultado del tiempo de reacción de la pluma y la amplificación de escala necesaria para que los valores representados en el dibujo presenten suficiente exactitud. Para los fines de los cálculos, se deberán usar los valores de carga reales y no los proyectados, por lo cual el sistema de adquisición de datos deberá ser capaz de monitorear los valores de carga de manera continua durante el ensayo.

Nota 1: Se pueden hacer ensayos a varias frecuencias. Se sugieren valores de 0.33 y 0.5 Hz.

5.4.2 *Medida de la deformación* – Los valores de la deformación vertical y horizontal se deben medir sobre la superficie del espécimen empleando transductores lineales diferenciales variables (TLDVs) montados en puntos de medición a lo largo de los diámetros horizontal y vertical. La longitud de medición puede ser de tres tamaños en relación con el diámetro del espécimen: **(1)** $\frac{1}{4}$ del diámetro o 25.4 mm (1") para especímenes de 101.6 mm (4") de diámetro, o 38.1 mm ($1\frac{1}{2}$ ") para especímenes de 152.4 mm (6") de diámetro; **(2)** la mitad del diámetro o 50.8 mm (2") para especímenes de 101.6 mm (4") de diámetro, o 76.2 mm (3") para especímenes de 152.4 mm (6") de diámetro; y **(3)** un diámetro o 101.6 mm (4") para probetas de 101.6 mm (4") de diámetro, o 152.4 mm (4") para probetas de 152.4 mm (6") de diámetro. Es necesario montar 2 TLDVs en cada cara del espécimen, uno en posición horizontal y otro en posición vertical, por lo que se requieren 4 TLDVs para las medidas de deformación en un espécimen.

Nota 2: Los resultados obtenidos con una longitud de medida de $\frac{1}{4}$ del diámetro del espécimen son los que brindan la mejor precisión.

5.4.3 *Medida de la carga* – Las cargas repetidas se deberán medir con una celda de carga electrónica, con una capacidad adecuada para la máxima carga requerida y una sensibilidad de 0.5 % de la carga pico proyectada. La celda de carga debe ser monitoreada y verificada mensualmente durante el período de ejecución de ensayos de módulo resiliente, empleando un anillo de prueba calibrado, con el fin de tener la certeza de que la celda opera de manera correcta.

5.5 *Bandas de carga* – Se necesitan bandas de carga de acero, con superficies de contacto cóncavas, maquinadas con un radio de curvatura igual al radio nominal del espécimen de ensayo, para aplicar la carga al espécimen (nota 3). Las áreas de contacto de las bandas de carga deberán tener 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ ") y 19 mm ($\frac{3}{4}$ ") de ancho, para las probetas de 101.6 mm (4") y 152.4 mm (6") de diámetro, respectivamente. Los bordes externos de las superficies curvadas deben ser limados levemente para remover las asperezas que puedan producir cortes a la muestra durante el ensayo. Se deben dibujar líneas delgadas a través de la longitud de cada banda en su parte central, para ayudar al alineamiento. Así mismo, se deben hacer marcas apropiadas para centrar el espécimen en la longitud de las bandas de carga. Esto se puede hacer, bien haciendo coincidir el centro del espécimen con una marca en el centro de la banda de carga, o bien posicionado el espécimen entre dos marcas en los extremos de su espesor, o ambos.

Nota 3: Los especímenes de ensayo pueden tener diámetros de 101.6 ± 0.10 mm (4.000 ± 0.004 ") o de 152.4 ± 0.15 mm (6.000 ± 0.006 ").

5.6 Dispositivos para marcar y alinear:

5.6.1 El dispositivo de alineamiento de los TLDVs debe alinear simultáneamente los TLDVs horizontal y vertical en las caras superior e inferior del espécimen para la colocación del adhesivo. Si no se usa este dispositivo, entonces se debe usar un elemento que permita marcar ejes mutuamente perpendiculares en las caras superior e inferior del espécimen, a través de su centro. Los ejes se deben marcar al mismo tiempo en las dos caras, para asegurar que quedan en el mismo plano.

5.6.2 Se debe emplear un dispositivo de alineamiento, para posicionar y colocar soportes horizontales y verticales para los medidores o TLDVs a lo largo de los diámetros horizontal y vertical del espécimen y sostenerlo en su lugar hasta que cure el pegante que sostiene los soportes. Deberá ser fácilmente removible, sin alterar los TLDVs una vez que cure el pegante, y no se podrá montar de manera destructiva en el espécimen. El dispositivo deberá ser capaz de montar el TLDV a longitudes de medición de $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{2}$ del diámetro del espécimen. El TLDV debe quedar tan cerca como sea posible de la superficie del espécimen (pero sin tocarla), con el fin de minimizar el efecto de pandeo. Se recomienda una separación de 5.08 mm (0.2") para asegurar resultados uniformes en los ensayos. El eje del TLDV no se deberá encontrar a más de 6.35 mm ($\frac{1}{4}$ ") de la superficie del espécimen. La Figura 749 -2 muestra un ejemplo de un dispositivo de alineamiento.

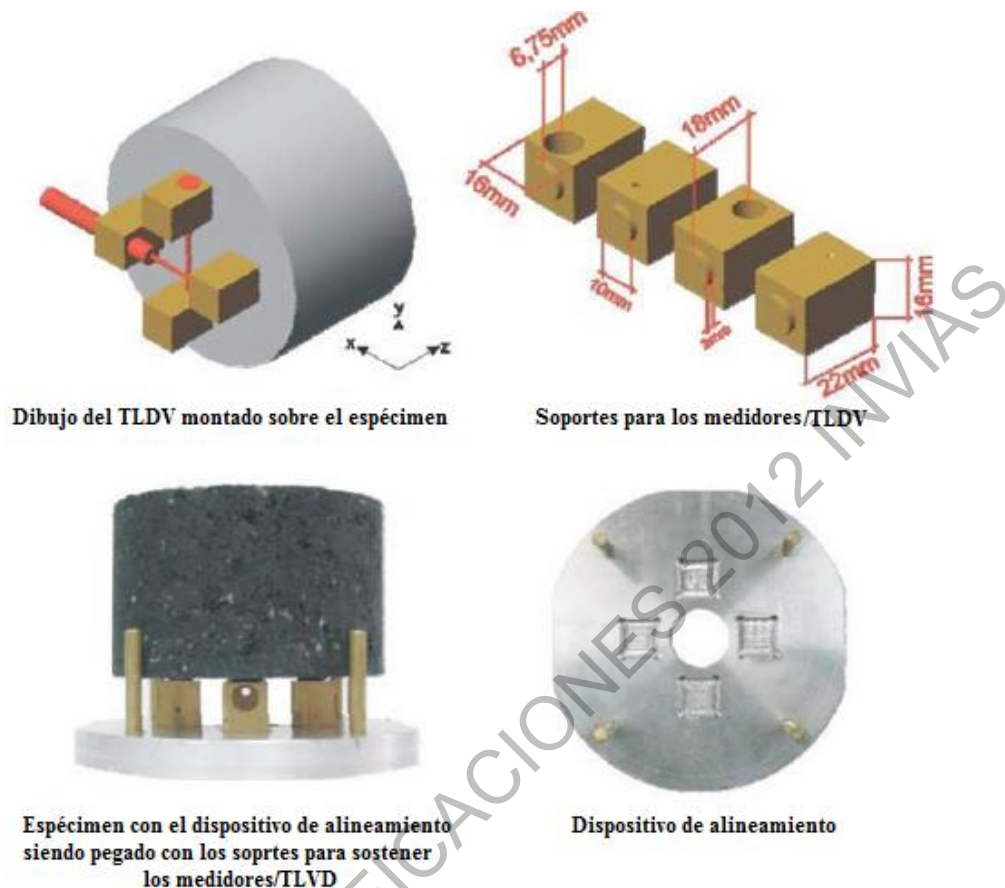


Figura 749 - 2. Dispositivos para marcar y alinear

6 ESPECÍMENES

6.1 *Tamaño* – Los ensayos de módulo resiliente se deben realizar sobre probetas de 101.6 ± 0.10 mm (4.000 ± 0.004 ") o de 152.4 ± 0.15 mm (6.000 ± 0.006 ") de diámetro, cuyo espesor puede variar entre 38.1 mm ($1 \frac{1}{2}$ ") y 63.5 mm ($2 \frac{1}{2}$ "). El espécimen puede ser un núcleo extraído del pavimento o una probeta compactada en el laboratorio por el método Marshall o con el compactador giratorio. Dependiendo de la altura del espécimen moldeado en el compactador giratorio y del espesor escogido para realizar el ensayo, se podrán aserrar entre 2 y 3 especímenes de ensayo a partir de un espécimen compactado.

6.2 *Especímenes de núcleos:*

6.2.1 Los núcleos para la preparación del espécimen (que pueden contener una o más capas susceptibles de ser ensayadas) deberán presentar

superficies lisas y uniformes y cumplir los requisitos de espesor y diámetro señalados en el numeral 6.1. Los núcleos que tengan muestras evidentes de deformación o de agrietamiento son inaceptables para el ensayo. Si las superficies de los extremos del núcleo son irregulares, se deberán rectificar cuanto sea necesario. Si del núcleo se van a separar especímenes de capas individuales, la operación se efectuará con una sierra de diamante y empleando agua o aire como refrigerante. Se pueden obtener especímenes de cada capa en el terreno, con el fin de hacer ensayos preliminares de resistencia a la tensión.

- 6.2.2** Si el núcleo es multicapa, las capas se deberán separar por sus interfaces. Si se detectan varias capas consecutivas del mismo material, se permite ensayarlas en conjunto como un solo espécimen. Luego del corte, se debe marcar la dirección del tránsito en cada capa, con el fin de mantener la orientación correcta.
- 6.2.3** Con el fin de limitar la falta de paralelismo de los dos lados planos, se recomienda colocar el espécimen sobre una superficie a nivel y medir su alejamiento de la perpendicularidad. El sensor de desplazamiento debe tener una precisión de 0.01 mm (0.0004"). La desviación estándar de dos superficies paralelas debe ser menor de 0.56 mm (0.022"). El rango aceptable de dos resultados de ensayos realizados para determinar el espesor de la muestra es 2.04 mm (0.08"). La Figura 749 - 3 muestra un dispositivo para medir la falta de paralelismo.
- 6.3** *Especímenes moldeados en el laboratorio* – Se deben preparar de acuerdo con procedimientos aceptables, tales como los indicados en las normas INV E-748 e INV E-800. Además, deberán cumplir los requisitos sobre tamaño señalados en el numeral 6.1.
- 6.4** *Eje diametral* – La marcación del eje diametral a ser ensayado se debe realizar con un dispositivo apropiado para ello, como se describe en el numeral 5.6. El eje debe ser paralelo al símbolo de dirección del tránsito (flecha) que se haya marcado durante la extracción del núcleo en la vía. La ubicación del eje diametral se puede rotar levemente, si resulta necesario para evitar el contacto de las bandas de carga con partículas anormalmente grandes, o vacíos superficiales, o para evitar el montaje del TLDV sobre una superficie con vacíos de gran tamaño. La segunda marca diametral deberá ser perpendicular a la primera. Estas marcas son necesarias para montar apropiadamente los TLDVs horizontal y vertical.



Figura 749 - 3. Dispositivo para medir la falta de paralelismo

- 6.5** El espesor (t) de cada espécimen de ensayo se debe medir con aproximación a 0.25 mm (0.01") antes del ensayo. Para obtenerlo, se promedian los resultados de cuatro lecturas realizadas a iguales intervalos a través del perímetro, a una distancia entre 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ ") y 25.4 mm (1") del borde del espécimen.
- 6.6** El diámetro (D) de cada espécimen de ensayo se debe determinar con aproximación a 0.25 mm (0.01"), a partir de dos medidas en la mitad de su altura, una a lo largo del eje paralelo a la dirección del tránsito y otra perpendicular a la anterior.
- 6.7 Réplicas:**
- 6.7.1** El procedimiento de ensayo aplica tanto a especímenes compactados en el laboratorio como a núcleos extraídos de pavimentos. Se pueden obtener tres especímenes de ensayo de espesor igual a 38.1 mm (1 $\frac{1}{2}$ ") o 50.8 mm (2") a partir de una probeta compactada de 127 mm (5") o 178 mm (7") de altura. Se recomienda aserrar los dos extremos de cada probeta compactada, para obtener una superficie lisa. El procedimiento descrito en este numeral da lugar a tres réplicas de una probeta compactada. En el caso de núcleos, se requiere tomar tres especímenes de campo de una sección homogénea.

- 6.7.2** Tres especímenes dan lugar a un total de 12 valores de relación de Poisson y de módulo resiliente instantáneos y totales (cuatro valores por espécimen).
- 6.8** *Preparación del espécimen* – Para medidas de deformación en dos direcciones (horizontal y vertical), se montan los puntos de medición pegándolos al espécimen. Se espera hasta que se fijen apropiadamente y se seque el pegante antes de remover el porta pegante. Se adosan los TLDVs a las dos caras del espécimen, disponiéndolos por pares, vertical y horizontalmente. Se ajusta el sistema electrónico de medida y las ampliaciones necesarias para los cuatro TLDVs. Puede ser necesaria una activación inicial negativa si se está usando una ampliación elevada o si existe la posibilidad de exceder el rango de voltaje (o ambas).

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** El procedimiento involucra la determinación del módulo resiliente a unos valores definidos de carga, frecuencia y duración de la carga, a 25° C (77° F). Opcionalmente, se pueden hacer series de ensayos a varias temperaturas (por ejemplo, 5° C (41° F), 15° C (59° F), 20° C (68° F) y 25° C (77° F), a una frecuencia de carga específica para cada temperatura.
- 7.2** *Pre-requisitos del ensayo* – El ensayo se debe realizar luego de que se haya verificado el sistema de respuesta ensayando especímenes sintéticos, como se menciona en el numeral 8.1.
- 7.3** *Ensayo preliminar de resistencia a la tensión* – Antes de proceder a la ejecución del ensayo de módulo resiliente, se debe determinar la resistencia a la tensión, empleando un espécimen de ensayo tomado de la misma capa y tan cerca como sea posible al sitio de toma del núcleo para el ensayo del módulo. En el caso de los especímenes de laboratorio, se deberá elaborar una probeta adicional, con las mismas propiedades de las destinadas a la determinación del módulo. El ensayo se debe realizar en acuerdo con la norma INV E-786.
- 7.4** *Control de temperatura* – Los especímenes de ensayo compactados en el laboratorio se deben llevar a una temperatura de $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 2^\circ \text{F}$). Los núcleos también se deben colocar en un gabinete de temperatura controlada y se llevan a la temperatura especificada para el ensayo. A menos de que la temperatura sea controlada y la temperatura real sea conocida, los especímenes deberán permanecer en el gabinete a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 2^\circ \text{F}$) por lo

menos durante 6 horas antes del ensayo. Se puede poner en el gabinete una muestra falsa para verificar la temperatura.

7.5 *Alineamiento y fijación del espécimen:*

7.5.1 El espécimen se debe colocar de manera que la marca colocada en la mitad de su espesor quede ubicada en la línea de acción del eje actuante o, alternativamente, comprobando que el espécimen está centrado exactamente entre las marcas finales de las bandas de carga. Las marcas diametrales se usan entonces para asegurar que el espécimen está alineado de arriba abajo con las bandas de carga. Con el uso de un espejo, se puede alinear la cara posterior de manera similar.

7.5.2 La superficie de contacto entre la probeta y cada banda de carga es crítica para la obtención de resultados apropiados. Si existen proyecciones o depresiones en la superficie de contacto que dejen una banda sin contacto en una longitud mayor de 19 mm ($\frac{3}{4}$ ") luego de completar la etapa de acondicionamiento de la carga, se deberá rotar el eje de ensayo o rechazar la probeta. Si no se dispone de un espécimen apropiado de reemplazo, se suspende el ensayo y se informan las razones para la suspensión.

7.6 *Pre-acondicionamiento* – El pre-acondicionamiento y el ensayo se deben conducir mientras el espécimen se encuentra en un gabinete de temperatura controlada que satisfaga los requisitos indicados en el numeral 5.3.

7.6.1 La selección de las cargas por aplicar para el pre-acondicionamiento y el ensayo se basan en la resistencia a la tensión indirecta, determinada como se especifica en la norma INV E-786. Durante el ensayo, se deberán usar niveles de esfuerzo de 10 a 20 % de la resistencia a la tensión medida a $25 \pm 1^\circ \text{C}$ ($77 \pm 2^\circ \text{F}$). Se deberán mantener, también, las cargas de contacto indicadas en el numeral 2.1.

7.6.2 La secuencia del ensayo de módulo resiliente consiste en un ensayo inicial a lo largo del primer eje diametral (o a lo largo de la dirección del tránsito en el caso de núcleos), seguido por la rotación del espécimen en un ángulo de 90° . El espécimen de ensayo de deberá mantener a 25°C . La forma de la onda generada en el computador se debe ajustar con los amplificadores, para hacerla lo más próxima posible a la de medio seno verso. No se requiere ningún período de reposo entre el primer ensayo y el que se realiza después de la rotación. El número de

aplicaciones de carga para cada rotación durante los ciclos de pre-acondicionamiento es 100. Sin embargo, el número mínimo de aplicaciones de carga para una situación específica deberá ser tal, que las deformaciones del módulo resiliente sean estables (Ver numeral 7.7). El número mínimo de ciclos de carga es el necesario para obtener cinco ciclos estables, lo que significa un cambio de menos de 1 % en el módulo resiliente en 5 ciclos consecutivos. Cuando se usen más ciclos de pre-acondicionamiento, se deberá dejar constancia de ello, indicando los motivos. Así mismo, si el ensayo se detuvo por alguna razón, se debe dejar un tiempo suficiente para la relajación del espécimen, antes de reanudar la prueba.

- 7.7** *Deformaciones horizontal y vertical* – Se deben controlar ambas deformaciones durante el pre-acondicionamiento. Si se produce una deformación total vertical acumulada mayor de 0.025 mm (0.001"), la carga se deberá reducir al mínimo valor posible, para mantener deformaciones adecuadas con propósitos de medición. Si el uso de menores niveles de carga no es adecuado con fines de medición, se suspende el pre-acondicionamiento y se generan 10 pulsos de carga para la determinación del módulo resiliente, dejando constancia de ello en el informe del ensayo.
- 7.8** *Ensayo* – Al término del pre-acondicionamiento para cada rotación, el ensayo para determinar el módulo resiliente se adelanta como se describe a continuación:
- 7.8.1** Se registra la deformación individual medida por cada uno de los 4 dispositivos de medición de deformación tan pronto como se termina el pre-acondicionamiento (los pulsos de carga se aplican continuamente durante el pre-acondicionamiento y la recolección de datos para el módulo resiliente). Solamente se anotan los valores de carga y deformación para los últimos 5 ciclos del total de pulsos de carga aplicados. Un ciclo de carga consiste en un pulso de carga y un periodo de reposo subsecuente. El módulo resiliente se deberá calcular y reportar para cada ciclo, usando la ecuación de la Sección 9. Luego de 100 ciclos de pre-acondicionamiento, se usan los primeros cinco ciclos consecutivos para los cuales la carga aplicada no excede el rango máximo mostrado en la Tabla 749 - 1.
- 7.8.2** Luego de que el espécimen se ha ensayado a lo largo del primer plano diametral, se rota 90° y se repite el procedimiento indicado en el numeral 7.8.1.

- 7.8.3** Luego de completar el ensayo a lo largo de los dos planos diametrales perpendiculares, se debe realizar un ensayo de tensión indirecta a $25 \pm 1^\circ \text{ C}$ ($77 \pm 2^\circ \text{ F}$), de acuerdo con la norma INV E-786. Este ensayo se realiza para determinar la resistencia a la tensión del espécimen específico realmente usado en el ensayo de módulo. Para este espécimen, el eje de carga deberá ser el mismo de la primera posición en el ensayo del módulo.

Tabla 749 - 1. Máximo rango en la aplicación de carga luego de alcanzar condiciones estables

MÓDULO ESTIMADO MPa (lb/pg ²)	MÁXIMO RANGO DE CARGA EN 5 CICLOS N (lbf)
< 3447.5 (< 500 000)	44.5 (10)
< 6985 (< 1 000 000)	90 (20)

8 CONTROL DE CALIDAD Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD (QC/QA)

- 8.1** Cada semana, antes de comenzar los ensayos, el personal del laboratorio deberá ensayar uno o más especímenes sintéticos, los cuales se deben seleccionar de manera que suministren una respuesta comparable a la de una probeta de concreto asfáltico a 25° C (77° F). Típicamente, se usan materiales como el polietileno para verificar el sistema de respuesta, aunque se puede usar otro que presente un módulo similar. Los especímenes sintéticos se deberán ensayar a 25° C (77° F), con un tiempo de carga de 0.1 s y uno de reposo de 0.9 s, sobre ambos ejes, y con un nivel de carga similar al usado con el concreto asfáltico. La verificación del sistema con uno o varios materiales conocidos, es la mejor y más rápida manera de asegurar que el equipo trabaja como se espera. Sin embargo, el ensayo QC/QA se debe realizar cada vez que la alineación del sistema de carga pueda haber cambiado.

- 8.2** Los especímenes se ensayan de la siguiente manera:

- 8.2.1** El espécimen se coloca en un gabinete de temperatura controlada que cumpla los requisitos indicados en el numeral 5.3, a 25° C (77° F). Las cargas aplicadas para pre-acondicionamiento y ensayo de los especímenes sintéticos deben producir en el material una deformación entre 1 y 2.5 μm . Se deberá usar la siguiente ecuación (deducida de la ecuación que se presenta en el numeral 9.3.2) para obtener una estimación de la carga deseada:

$$\text{Carga} = \frac{M_R \text{ del material sintético} \times (\text{deformación}) \times (\text{espesor})}{(I3 - I2) \times (\text{relación de Poisson}_{\text{sintético}})} \quad [749.4]$$

8.2.2 El espécimen de ensayo se debe pre-acondicionar a lo largo del eje apropiado, antes de aplicarle un mínimo de 100 ciclos del pulso de carga especificado de forma medio seno verso, de 0.1 s de duración, con un reposo de 0.9 s. La forma de la onda generada en el computador se debe ajustar con los amplificadores hasta que las deformaciones horizontal y vertical sean estables y uniformes. El equipo se debe ajustar sintonizando de manera de conseguir la mejor simulación posible del medio seno deseado para la carga, y del intervalo deseado entre cargas.

8.2.3 Los resultados de la prueba QC/QA se deben almacenar como un registro permanente del sistema de respuesta para obtener la huella dactilar del sistema. Esta "huella dactilar" es un registro de la respuesta sintonizada del sistema y de su ajuste a la forma de onda requerida matemáticamente. Si todos los especímenes sintéticos no han sido ensayados para cada juego de 100 ciclos de módulo resiliente, la prueba QC/QA se deberá realizar sobre los faltantes, con el fin de verificar el sistema de respuesta.

8.3 Extensómetros, TLDVs y celdas de carga se deben calibrar como lo recomienden sus fabricantes.

9 CÁLCULOS

9.1 *Deformación instantánea* – Se recomienda realizar regresiones en tres porciones de la curva de deformación. La primera, llamada "1", indica la porción recta de la trayectoria de descarga, la segunda ("2") representa la porción curva que une la trayectoria de descarga con la de recuperación, y la tercera ("3") corresponde a la porción de recuperación, como se muestra en la Figura 749 - 4:

9.1.1 Regresión lineal en la porción recta correspondiente a la trayectoria de descarga entre T_1 y T_2 de la Figura 749 - 5, relacionados con T_m (desplazamiento pico), T_a y T_b :

$$Y = a + bX \quad [749.5]$$

Donde: Y: Valor de deformación;

X: Tiempo;

a, b: Constantes de regresión.

9.1.2 Regresión en la parte curva que conecta la trayectoria recta de descarga con la porción de recuperación, dando lugar a la siguiente ecuación hiperbólica entre T_2 y T_c (40 % del período de reposo).

$$Y = a + \frac{b}{X} \quad [749.6]$$

Donde los parámetros tiene el mismo significado que en la ecuación precedente.

9.1.3 Regresión en la porción de recuperación entre 40 y 90 % del período de reposo (rango recomendado), que da lugar a una ecuación hiperbólica. La porción de recuperación corresponde al tiempo desde $[(0.4 \times 0.9 \text{ s}) + 0.1] = 0.46 \text{ s}$ hasta $[(0.9 \times 0.9 \text{ s}) + 0.1] = 0.91 \text{ s}$, y está limitada por T_c y T_d (Figura 749 - 5).

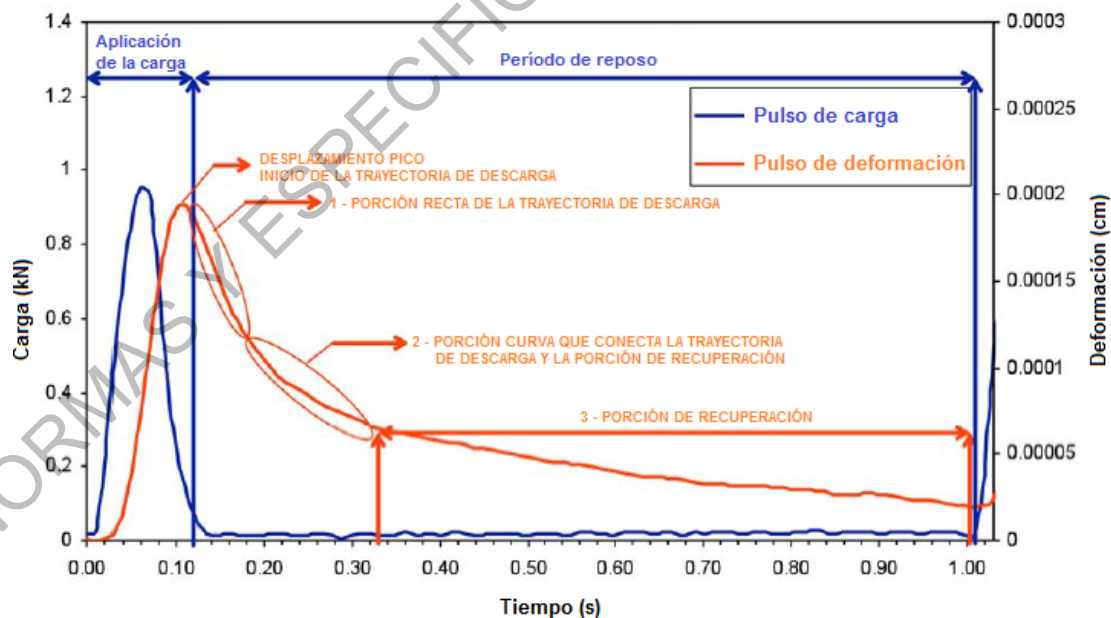


Figura 749 - 4. Regresiones en tres porciones de la curva de deformación

9.1.4 Se dibuja una tangente a esta hipérbola en el punto correspondiente al 55 % del período de reposo (punto recomendado) (T_{55}), que

corresponde al instante $[(0.9 \times 0.55) + 0.1] = 0.595$ s. La intersección de esta tangente con la prolongación de la recta de la trayectoria de descarga se usa para determinar el tiempo para la deformación instantánea. La ecuación de la trayectoria de descarga corresponde a la mitad del tiempo de carga ($0.5 \times 0.1 = 0.05$ s). Esta línea recta ocurre entre el tiempo de carga pico (T_m) más 0.005 (T_a) y el tiempo de carga pico más 0.05 s (T_b). Entonces, se selecciona el punto de la curva hiperbólica correspondiente al tiempo de la coordenada de la intersección (punto A en la Figura 749 - 5) para determinar la deformación instantánea, restando la deformación correspondiente al punto A en la curva de la deformación pico (Ver Figura 749 - 5).

- 9.2 Deformación total** – Se determina de las gráficas deformación-tiempo, restando la deformación obtenida al final de un ciclo de carga-descarga, determinada tomando el promedio de los valores de deformación obtenidos para el tiempo comprendido entre el 85 y el 95 % del período de reposo a partir de los valores pico de deformación, como se muestra en la Figura 749 - 6. Ellos corresponden a los tiempos $[(0.9 \times 0.85) + 0.1] = 0.865$ s, y $[(0.9 \times 0.95) + 0.1] = 0.955$ s, designados como T_e y T_f en la Figura 749 - 6. Este valor incluye tanto la deformación instantánea recuperable, como la deformación recuperable retardada durante la porción del período de reposo de un ciclo.

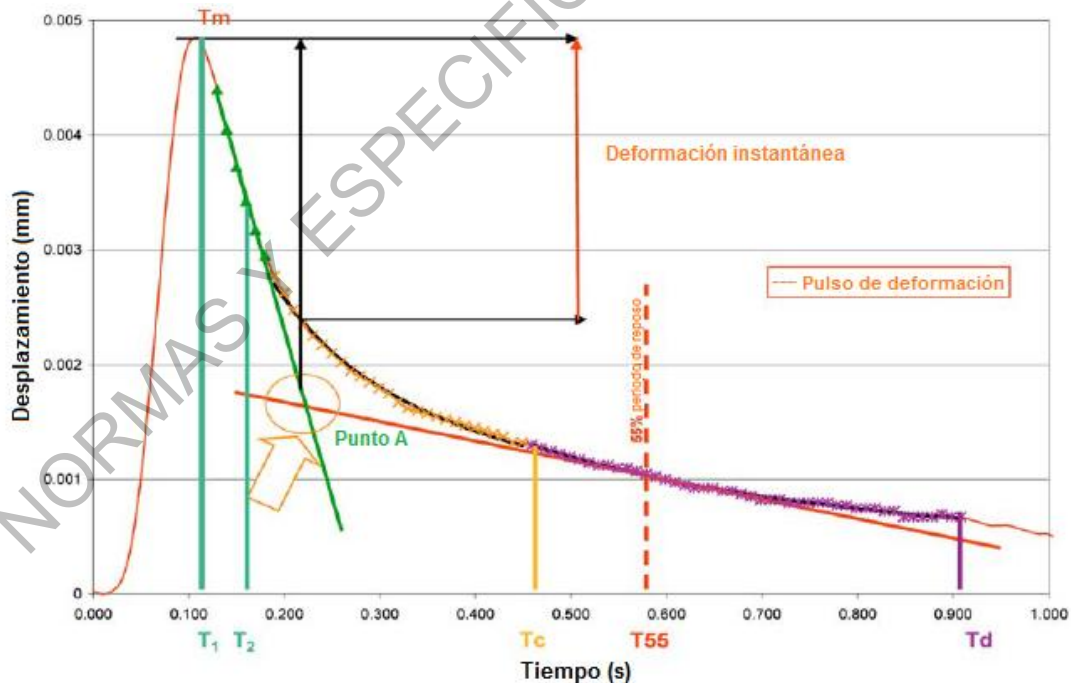


Figura 749 - 5. Determinación de la deformación instantánea

9.3 Las ecuaciones que se presentan en seguida están proyectadas para el cálculo de valores instantáneos o totales, dependiendo de los valores de deformación que se utilicen. Se considera que la deformación horizontal es positiva y la vertical negativa. El valor de la carga se asume positivo.

9.3.1 *Relación de Poisson* – Se debe calcular a partir de las deformaciones vertical y horizontal, con la ecuación que se presenta a continuación. De acuerdo con Zhang et al (1997), si la relación entre el ancho de la banda de carga y el diámetro del espécimen es 1/8, la relación de Poisson será independiente del diámetro del espécimen; no obstante, depende de la longitud de medición, de acuerdo con las constantes I1, I2, I3 e I4, presentadas en la Tabla 749 - 2.

$$\mu = \frac{I4 - I1 \times \left[\frac{\delta_v}{\delta_h} \right]}{I3 - I2 \times \left[\frac{\delta_v}{\delta_h} \right]} \quad [749.7]$$

Donde: μ : Relación de Poisson;

δ_v : Deformación vertical recuperable (instantánea o total), medida sobre el diámetro vertical del espécimen, mm (pg);

δ_h : Deformación horizontal recuperable (instantánea o total), medida sobre el diámetro horizontal del espécimen, mm (pg).

Tabla 749 - 2. Constantes para calcular el módulo resiliente y la relación de Poisson

LONGITUD DE MEDICIÓN, COMO FRACCIÓN DEL DIÁMETRO DEL ESPÉCIMEN	I1	I2	I3	I4
0.25	0.144357	- 0.450802	0.155789	- 0.488592
0.50	0.233936	- 0.780056	0.307445	- 1.069463
0.75	0.265925	- 0.952670	0.430875	- 1.934486
1.00	0.269895	- 1.000000	- 0.062745	- 3.587913

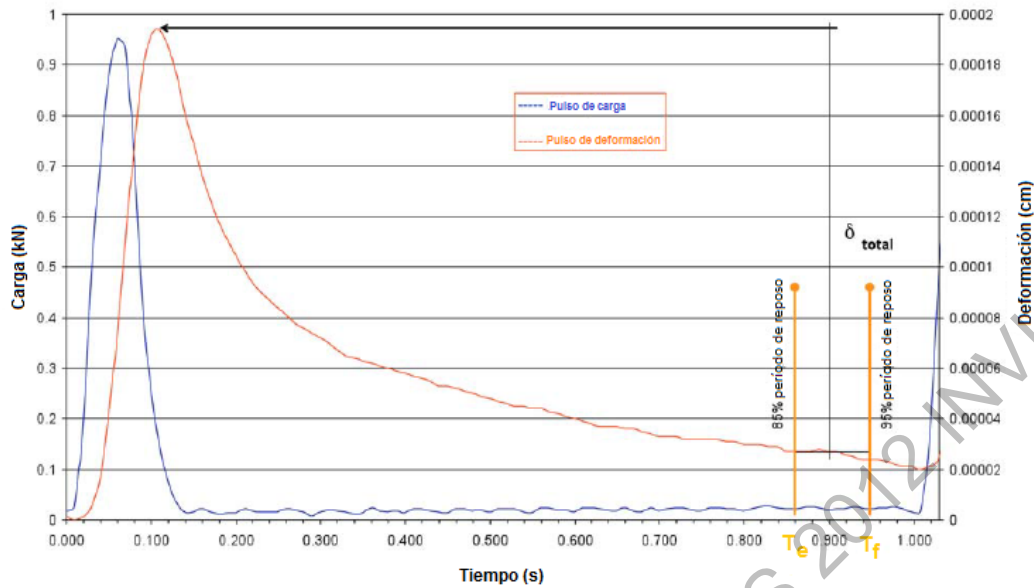


Figura 749 - 6. Determinación de la deformación total

9.3.1.1 El rango esperado para la relación de Poisson es 0.25 – 0.45. Si el valor calculado está por fuera de él, se deberá revisar el espécimen para ver si presenta alguna deformación visible y/o grietas debido a daño, y se presenta el informe correspondiente.

9.3.1.2 La relación de Poisson se debe calcular para cada juego de TLDVs (horizontal y vertical). Para el primer plano diametral se estiman dos relaciones, las cuales se obtienen de las dos caras del espécimen. Otro par de relaciones se obtiene al rotar la probeta, dando como resultado un total de cuatro relaciones de Poisson por espécimen.

9.3.2 *Módulo resiliente* – Se calcula a partir de la relación de Poisson obtenida en el numeral 9.3.1 y de la deformación horizontal (instantánea o total):

$$M_R = \frac{P_{cíclica}}{\delta_h \times t} (I1 - I2 \times \mu) \quad [749.8]$$

Donde: M_R :	Módulo resiliente de elasticidad instantáneo o total, MPa, (lbf/pg ²);
δ_h :	Deformación horizontal recuperable (instantánea o total), mm (pg.);
μ :	Relación de Poisson instantánea o total;
t:	Espesor del espécimen, mm (pg.);
$P_{c\acute{i}clica} = (P_{m\acute{a}x} - P_{c\acute{o}ntacto})$:	Carga cíclica aplicada al espécimen, N (lbf);
$P_{m\acute{a}x}$:	Carga máxima aplicada, N (lbf);
$P_{c\acute{o}ntacto}$:	Carga de contacto, N (lbf).

9.3.2.1 Para cada deformación horizontal se debe usar su relación de Poisson correspondiente, por lo que se obtendrán cuatro valores de módulo resiliente (dos caras más dos rotaciones) para cada espécimen.

- 9.4** En la Figura 749 - 7 se muestra un diagrama de flujo para determinar la deformación instantánea.
- 9.5** En la Figura 749 - 8 se muestra un diagrama de flujo para determinar la deformación total.
- 9.6** En la Tabla 749 - 3 se presenta una recomendación sobre el tiempo para el cálculo del desplazamiento resiliente.

Tabla 749 - 3. Recomendaciones de tiempo para el desplazamiento resiliente

RECOMENDACIONES DEL NCHRP RESEARCH RESULTS DIGEST No. 285, JANUARY 2004, PROJECT 1-28 A		CONSIDERANDO UN PULSO DE CARGA DE 0.1 s Y UN TIEMPO DE REPOSO DE 0.9 s LOS TIEMPOS DEL CICLO TOTAL PARA LOS ESTIMATIVOS DE LA CURVA SON	
T_c	40% del período de reposo	T_c	0.46 s
T_d	90% del período de reposo	T_d	0.91 s
T_{55}	55% del período de reposo	T_{55}	0.595 s
T_e	85% del período de reposo	T_e	0.865 s
T_f	95% del período de reposo	T_f	0.955 s
T_1	$T_m + T_a$	T_a	0.005 s
T_2	$T_m + T_b$	T_b	$\frac{1}{2} T_{\text{pulso de carga}}$ (cuando $T_{\text{pulso de carga}}$ es igual a 0.1 s, $T_b = 0.05$)

10 INFORME

10.1 Se debe presentar la siguiente información general:

10.1.1 Identificación de la muestra.

10.1.2 Espesor promedio del espécimen de ensayo (t), redondeado a 0.254 mm (0.01").

10.1.3 Diámetro promedio del espécimen de ensayo (D), redondeado a 0.254 mm (0.01").

10.1.4 Resistencia a la tensión indirecta (inicial), redondeada a 1 MPa, de un espécimen comparable usado para seleccionar el nivel de esfuerzo (o de carga) para el ensayo.

10.1.5 Resistencia a la tensión indirecta (final), redondeada a 1 MPa, del espécimen luego de completado el ensayo de módulo resiliente.

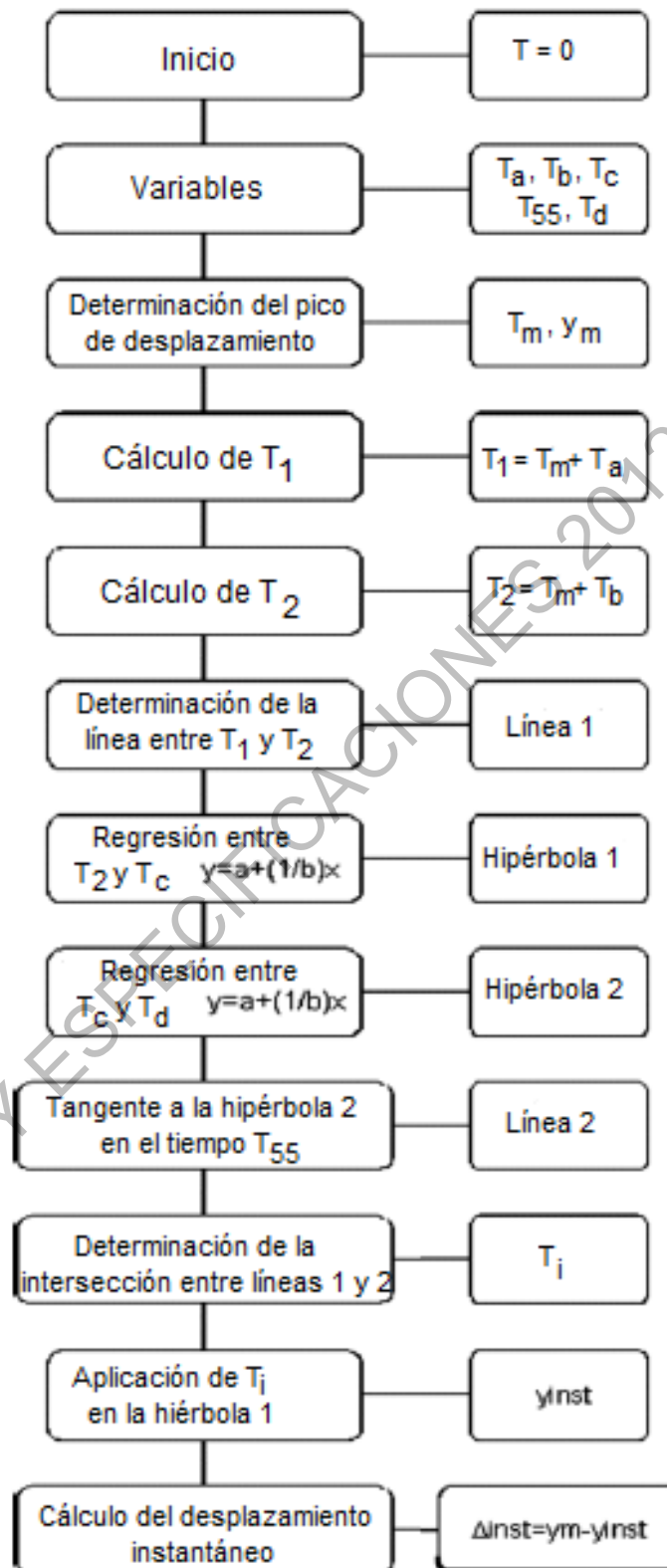


Figura 749 - 7. Diagrama de flujo para la determinación de la deformación instantánea

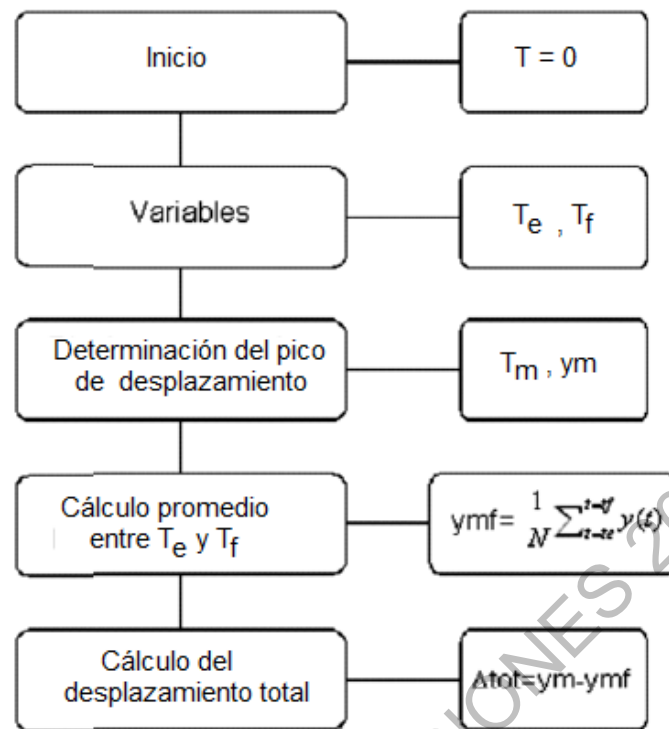


Figura 749 - 8. Diagrama de flujo para la determinación de la deformación total

10.1.6 Se puede presentar la siguiente información adicional, si se considera relevante:

10.1.6.1 Si se requirió el aserrado de núcleos.

10.1.6.2 Si el espécimen tenía alguna base oblicua (alejada de la perpendicularidad respecto del eje, en más de 0.5° o 3.175 mm (1/8") en una longitud de 304.8 mm (12"), al colocarlo sobre una superficie a nivel y medir la desviación de la perpendicularidad).

10.1.6.3 Si se usó un espécimen falso para monitorear la temperatura. Si no se usó, indicar el tiempo durante el cual se mantuvo el espécimen de prueba a la temperatura de ensayo en la cámara ambiental.

10.1.6.4 Si el ensayo no se pudo completar por daño o falla del espécimen.

10.1.6.5 Si había proyecciones o depresiones de más de 1.59 mm (1/16") en la superficie de ensayo y, sin embargo, el

espécimen se ensayó por no haber otro de reemplazo. En este caso, indicar la magnitud de las proyecciones o depresiones.

10.1.6.6 En el caso de núcleos, si se olvidó marcar la dirección del tránsito sobre ellos o si el ensayo no se realizó en la dirección marcada, por alguna razón.

10.2 Además, se debe presentar la siguiente información sobre los datos y los resultados del ensayo:

10.2.1 *Módulo resiliente instantáneo para cada espécimen:*

10.2.1.1 Los niveles de carga vertical ($P_{cíclica}$).

10.2.1.2 La carga de contacto ($P_{contacto}$) usada durante los últimos cinco ciclos de carga.

10.2.1.3 Deformaciones recuperables instantáneas horizontal y vertical, medidas durante los últimos cinco ciclos de carga.

10.2.1.4 Relaciones de Poisson instantáneas, calculadas durante los últimos cinco ciclos de carga.

10.2.1.5 Módulos resilientes instantáneos, calculados durante los últimos cinco ciclos de carga.

10.2.1.6 Valores promedio y desviaciones estándar de la relación de Poisson y del módulo resiliente instantáneos, para todas las réplicas usadas con un determinado tipo de mezcla.

10.2.2 *Módulo resiliente total para cada espécimen:*

10.2.2.1 Los niveles de carga vertical ($P_{cíclica}$).

10.2.2.2 La carga de contacto ($P_{contacto}$) usada durante los últimos cinco ciclos de carga.

10.2.2.3 Deformaciones recuperables totales horizontal y vertical, medidas durante los últimos cinco ciclos.

10.2.2.4 Relaciones de Poisson totales, calculadas durante los últimos cinco ciclos de carga.

10.2.2.5 Módulos resilientes totales, calculados durante los últimos cinco ciclos de carga.

10.2.2.6 Valores promedio y desviaciones estándar de la relación de Poisson y del módulo resiliente totales, para todas las réplicas usadas con un determinado tipo de mezcla.

10.2.3 Se debe obtener un total de 24 resultados, considerando tres réplicas, dos rotaciones y dos tiempos de recuperación (instantáneo o total).

11 PRECISIÓN Y SESGO

11.1 *Precisión:*

11.1.1 Se determinó que la desviación estándar de repetibilidad era 7 %, en ensayos realizados por triplicado sobre 6 muestras diferentes. La reproducibilidad aún no ha sido determinada. Por lo tanto, esta norma no se puede emplear para aceptar o rechazar un material con fines de pago.

11.1.2 Para el espécimen sintético seleccionado para QC/QA, dos resultados obtenidos por el mismo operador en diferentes instantes se deben considerar aceptables si no difieren en más de 5 %.

11.2 *Sesgo* – No se puede presentar información sobre sesgo, por cuanto no se dispone de un valor de referencia aceptado.

12 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 7369 – 11

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS MEDIANTE EL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO

INV E – 750– 13

1 OBJETO

- 1.1** Este método de ensayo cubre la determinación del módulo de corte dinámico y del ángulo de fase de un ligante asfáltico cuando se ensaya en corte dinámico (oscilatorio), empleando una configuración de ensayo de platos paralelos. Es aplicable a ligantes asfálticos con valores de módulo de corte dinámico desde 100 Pa hasta 10 MPa. Este rango se obtiene típicamente entre 6 y 88° C a una frecuencia angular de 10rad/s. Este método de prueba está proyectado para determinar las propiedades viscoelásticas lineales de ligantes asfálticos de acuerdo con las exigencias de las especificaciones, y no como un procedimiento general para la caracterización completa de las propiedades viscoelásticas del ligante.
- 1.2** Esta norma es adecuada para ensayar tanto asfaltos originales como envejecidos mediante la norma INV E-720, ensayo de película delgada y rotatoria o mediante la norma INV E-751, de envejecimiento acelerado en cámara a presión (PAV).
- 1.3** Este método de ensayo está limitado a ligantes asfálticos que contengan material particulado de dimensiones menores a 250 µm.
- 1.4** Esta norma reemplaza la norma INV E-750-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Ligante asfáltico* – Cemento asfáltico producido a partir de residuos de petróleo, con o sin la adición de modificadores orgánicos no particulados.
- 2.2** *Términos específicos de esta norma:*
- 2.2.1** *Recalentamiento* – Calentamiento del ligante asfáltico hasta que esté suficientemente fluido para eliminar los efectos de endurecimiento estérico.

- 2.2.2** *Módulo de corte complejo, G^** – Relación que se calcula dividiendo el valor absoluto de la tensión de corte entre picos, τ , por el valor absoluto de la deformación de corte entre picos, γ .
- 2.2.3** *Calibración* – Proceso de verificar la exactitud y la precisión de un dispositivo, usando un estándar de trazabilidad NIST y realizando los ajustes necesarios al dispositivo para corregir su funcionamiento o su precisión y exactitud.
- 2.2.4** *Probeta de prueba testigo* – Un espécimen formado entre los platos de la prueba del reómetro de corte dinámico (DSR) del ligante asfáltico u otro polímero para medir la temperatura del asfalto sostenido entre los platos. La probeta de prueba testigo se usa solamente para determinar las correcciones por temperatura.
- 2.2.5** *Ciclo de carga* – Ciclo unitario de tiempo para el cual la muestra de ensayo está cargada a una frecuencia y un esfuerzo o nivel de deformación seleccionados.
- 2.2.6** *Angulo de fase, (δ)* – Ángulo en radianes entre una deformación aplicada sinusoidalmente y la resultante de tensión sinusoidal en un ensayo de deformación controlada, o entre la tensión aplicada y la deformación resultante en un ensayo de esfuerzo controlado.
- 2.2.7** *Módulo de pérdida de corte, (G'')* – Es el módulo de corte complejo multiplicado por el seno del ángulo de fase expresado en grados. Representa la componente del módulo complejo que mide la energía perdida (disipada durante un ciclo de carga).
- 2.2.8** *Módulo de almacenamiento de corte, (G')* – Es el módulo de corte complejo multiplicado por el coseno del ángulo de fase expresado en grados. Representa la componente en fase del módulo complejo que es una medida de la energía almacenada durante un ciclo de carga.
- 2.2.9** *Geometría de platos paralelos* – Se refiere a la configuración de ensayo, en la cual la muestra de ensayo se coloca entre dos platos paralelos relativamente rígidos, y sometida a corte oscilatorio.
- 2.2.10** *Corte oscilatorio* – Se refiere a un tipo de carga en la cual una tensión o una deformación de corte se aplica a una muestra de ensayo de una manera oscilatoria, de modo que la tensión o deformación de corte varíe en amplitud alrededor de cero de manera sinusoidal.

- 2.2.11** *Viscoelástico lineal* – Dentro del contexto de esta especificación, se refiere a una región de comportamiento en la cual el módulo de corte dinámico es independiente de la tensión o de la deformación de corte.
- 2.2.12** *Termómetro portátil* – Es un dispositivo electrónico que consiste en un detector de temperatura (sonda que contiene una termocupla u otro elemento de resistividad), que requiere circuitos electrónicos y un sistema de lectura.
- 2.2.13** *Termómetro de referencia* – Un termómetro de líquido en vidrio o electrónico con trazabilidad NIST, que se usa como estándar de laboratorio.
- 2.2.14** *Corrección de temperatura* – Diferencia entre la temperatura indicada por el DSR y la de la probeta de prueba, medida en el termómetro portátil insertado entre los platos de ensayo.
- 2.2.15** *Equilibrio térmico* – Se alcanza cuando la temperatura de la probeta montada entre los platos se vuelve constante con el tiempo.
- 2.2.16** *Verificación* – Proceso de chequeo de la exactitud de un dispositivo o de sus componentes, comparado con un estándar interno de laboratorio. Usualmente se realiza dentro del laboratorio en que se opera.
- 2.2.17** *Endurecimiento estérico* – Ver asociación molecular (numeral 2.2.18)
- 2.2.18** *Asociación molecular* – Proceso donde las asociaciones ocurren entre las moléculas de ligante asfáltico durante el almacenamiento a temperatura ambiente. A menudo llamadas endurecimiento estérico en la literatura técnica, las asociaciones moleculares pueden incrementar el módulo de corte dinámico de los ligantes asfálticos. La proporción de asociación molecular es específica de cada asfalto y puede ser significativa, incluso al cabo de unas pocas horas de almacenamiento.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** El procedimiento se usa para medir el módulo de corte complejo (G^*) y el ángulo de fase (δ) de ligantes asfálticos, usando un reómetro de corte dinámico y una configuración de ensayo de platos paralelos.

- 3.2** El ensayo es aplicable a ligantes asfálticos cuyo módulo dinámico de corte esté comprendido entre 100 Pa y 10 MPa. Este es el rango típico que se obtiene entre 6 y 88° C a una frecuencia angular de 10 rad/s, dependiendo del grado, de la temperatura de ensayo y del acondicionamiento (envejecimiento) del ligante asfáltico.
- 3.3** Las probetas de prueba, de 1 mm de espesor por 25 mm de diámetro o de 2 mm de espesor por 8 mm de diámetro, se forman entre platos metálicos paralelos. Durante el ensayo, uno de los platos paralelos oscila con respecto al otro a frecuencias y amplitudes de deformación rotacional (deformación controlada) (o amplitudes de torque, (tensión controlada)) preseleccionadas (Figura 750 - 1). La amplitud requerida depende del valor del módulo de corte complejo del asfalto que se ensaya. Las amplitudes requeridas han sido seleccionadas para asegurar que las medidas se encuentren dentro de la región de comportamiento lineal.
- 3.4** La probeta de ensayo se mantiene a la temperatura de prueba dentro de $\pm 0.1^\circ \text{C}$, por calentamiento y enfriamiento de los platos superior e inferior o por su almacenamiento en un ambiente térmicamente controlado o en una cámara de ensayo.
- 3.5** Las frecuencias de carga oscilatoria que se usan en este ensayo pueden ir de 1 a 100 rad/s, usando una forma de onda sinusoidal. La especificación del ensayo está realizada para una frecuencia de ensayo de 10 rad/s. El módulo complejo (G^*) y el ángulo de fase (δ), se calculan automáticamente como parte de la operación del reómetro, mediante el software de computador suministrado por el fabricante del equipo.

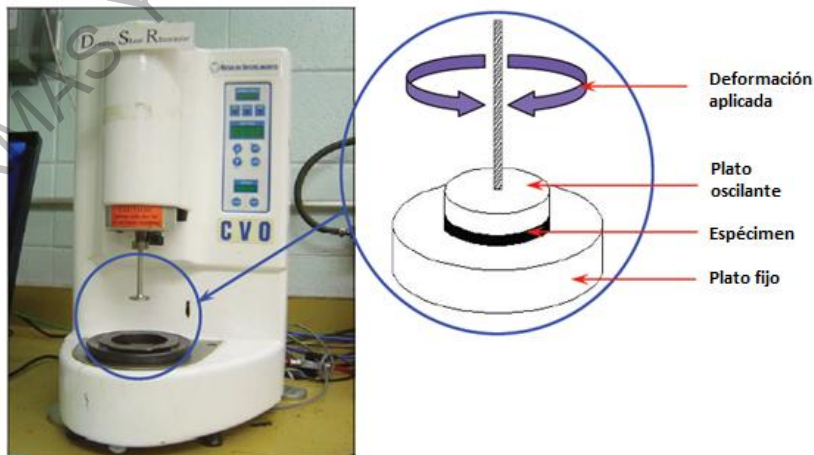


Figura 750 - 1. Reómetro de corte dinámico

4 IMPORTANCIA Y USO

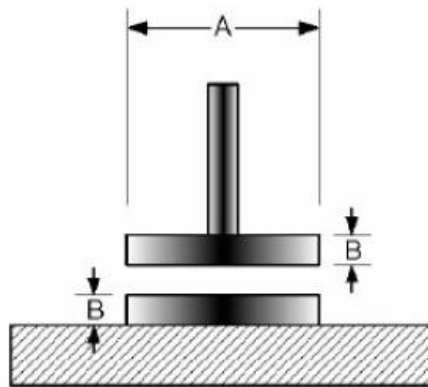
- 4.1** La temperatura de ensayo utilizada en este procedimiento está relacionada con la temperatura a que estará sometido el pavimento en el área geográfica donde se usará el ligante asfáltico.
- 4.2** El módulo de corte complejo es un indicador de la rigidez o resistencia del ligante asfáltico a la deformación bajo carga. El módulo de corte complejo y el ángulo de fase definen la resistencia a la deformación de corte de un ligante asfáltico en la región viscoelástica lineal.
- 4.3** El módulo complejo y el ángulo de fase se usan para determinar criterios relacionados con el desempeño, de acuerdo con las especificaciones Superpave.

5 EQUIPO

- 5.1** *Reómetro de corte dinámico* – El sistema de ensayo incluye los platos metálicos paralelos, una cámara ambiental, un dispositivo de carga y un sistema de control y registro de datos.

- 5.1.1** *Platos de ensayo* – Platos metálicos de acero inoxidable o aluminio con superficies pulidas suaves. Uno de 8.00 ± 0.02 mm de diámetro y otro de 25.00 ± 0.05 mm de diámetro (Figura 750 - 2). En algunos reómetros, el plato base es plano. Se requiere una porción en relieve de por lo menos 1.50 mm de altura, del mismo diámetro del plato superior. La porción en relieve hace más fácil conformar la probeta y puede mejorar la repetibilidad del ensayo.

Nota 1: Para conseguir datos correctos, los platos superior e inferior deben ser concéntricos entre sí. No existe ningún procedimiento establecido en la actualidad para verificar la concentricidad, excepto la observación visual. El plato móvil debe girar sin ninguna oscilación horizontal o vertical observable. Este funcionamiento se puede verificar visualmente o con un calibrador de carátula sostenido en el borde del plato móvil mientras está girando. Hay dos índices que se usan para determinar el correcto funcionamiento de un sistema de medición: la oscilación horizontal (centricity) y la oscilación vertical (runout). Típicamente, la oscilación se puede observar si es mayor que ± 0.02 mm. Para un sistema nuevo, es típica una oscilación de ± 0.01 mm. Si la oscilación aumenta con el uso a más de ± 0.02 mm, se recomienda que el instrumento sea reparado por el fabricante



DIMENSIÓN	8 mm NOMINAL	25 mm NOMINAL
A	8 ± 0.02 mm	25 ± 0.05 mm
B	≥ 1.50 mm	≥ 1.50 mm

Figura 750 - 2. Dimensiones de los platos

5.1.2 Cámara ambiental– Una cámara para controlar la temperatura de ensayo, mediante calentamiento o enfriamiento (en etapas), para mantener la probeta en un ambiente constante. El medio usado para el enfriamiento o el calentamiento del espécimen en la cámara ambiental no debe afectar las propiedades del ligante asfáltico. La temperatura en la cámara puede ser controlada por la circulación de un fluido como agua, un gas acondicionado como nitrógeno o, por un arreglo apropiado de elementos Peltier en estado sólido rodeando la muestra. Cuando se use aire forzado, se debe incluir un secador adecuado para prevenir la condensación de la humedad sobre los platos y aditamentos y, si se opera bajo el punto de congelación, se debe prevenir la formación de hielo. La cámara ambiental y el controlador deben controlar la temperatura de la probeta, incluyendo gradientes térmicos dentro de la muestra, con una exactitud de $\pm 0.1^\circ$ C. La cámara incluirá completamente los platos superior e inferior para minimizar los gradientes térmicos.

Nota 2: Si se utiliza un medio fluido, se puede requerir una unidad de baño circulatorio separada del reómetro de corte dinámico, la que bombeará el fluido a través de la cámara de ensayo.

5.1.2.1 Controlador de temperatura – Un controlador capaz de mantener la temperatura de las probetas dentro de 0.1° C, para temperaturas de ensayo en el rango de 3 a 88° C.

5.1.2.2 *Sensor interno de temperatura para el DSR* – Un termómetro de resistencia de platino (PRT) montado dentro de la cámara ambiental como parte integral del DSR, en contacto directo con el plato fijo, con un rango de temperatura de 3 a 88° C y con una resolución de 0.1° C (ver nota 3). Este termómetro se deberá usar para controlar la temperatura del espécimen de ensayo entre los platos y registrar lecturas continuas de temperatura durante el montaje, acondicionamiento y ensayo de la probeta.

Nota 3: Para este propósito se recomiendan termómetros de resistencia de platino (PRTDs) de acuerdo a la Norma DIN 43760 (Clase A) o equivalente. El PRTD se debe calibrar como una unidad integral con su respectivo medidor o circuito electrónico.

5.1.3 *Dispositivo de carga* – El dispositivo de carga deberá aplicar una carga oscilatoria sinusoidal al espécimen, a una frecuencia de 10.0 ± 0.1 rad/s. Si se usan frecuencias diferentes de 10 rad/s, la frecuencia deberá tener una exactitud de 1 %. El dispositivo de carga debe ser capaz de aplicar carga bajo modalidad de esfuerzo controlado o deformación controlada. Si la carga se aplica bajo modalidad de deformación controlada, el dispositivo de carga aplicará un torque cíclico suficiente para producir una deformación angular rotacional con una exactitud de 100 μ rad alrededor de la deformación especificada. Si la carga se aplica bajo la modalidad de esfuerzo controlado, el dispositivo de carga deberá aplicar un torque cíclico con una exactitud de 10 mN·m alrededor del torque especificado. La deformabilidad total del sistema a un torque de 100 N·m, será menor que 2 mrad/N·m. El fabricante del dispositivo debe proveer un documento que certifique que la frecuencia, el esfuerzo y la deformación, son controlados y medidos con una exactitud de 1.0 % o menos en el rango de la medida correspondiente.

5.1.4 *Sistema de control y registro de datos* – Este sistema proveerá un registro de temperatura, frecuencia, ángulo de deflexión y torque. Los dispositivos usados para medir estas cantidades deberán satisfacer los requerimientos de precisión especificados en la Tabla 750 - 1. Además, el sistema deberá calcular y registrar el esfuerzo de corte, la deformación de corte, el módulo de corte complejo (G^*) y el ángulo de fase (δ). El sistema deberá medir y registrar G^* , en el rango de 100 Pa a 10 MPa, con una exactitud menor o igual a 1.0 %, y el ángulo de fase en el rango de 0 a 90°, con una exactitud de 0.1°.

Tabla 750 - 1. Requerimientos del sistema de control y adquisición de datos

PROPIEDAD	EXACTITUD
Temperatura	0.1° C
Frecuencia	1 %
Torque	10 mN·m
Ángulo de deflexión	100 μ rad

- 5.2 Molde de la probeta (Opcional)** – Las dimensiones generales del molde de goma de silicona para formar las probetas de ensayo de ligante asfáltico pueden variar, pero el espesor deberá ser mayor de 5 mm. Si el molde es de muestra simple, las dimensiones que se encuentran convenientes son las siguientes: para un plato de prueba de 25 mm con una separación de 1 mm, un molde con una cavidad de aproximadamente 18 mm de diámetro y 2 mm de profundidad. Para un plato de prueba de 8 mm con una separación de 2 mm, un molde con una cavidad de aproximadamente 8 mm de diámetro y una profundidad de 2.5 mm.
- 5.3 Recortadora de probetas** – Una recortadora de probetas con un emparejador de ancho no menor de 4 mm.
- 5.4 Material para limpieza** – Paño limpiador, toallas de papel, hisopos de algodón u otro material adecuado para la limpieza de los platos.
- 5.5 Solventes de limpieza** – Aceite mineral, solvente de base cítrica, alcohol mineral, tolueno, u otro solvente similar para el lavado de los platos. Acetona para remover los residuos de solvente de las superficies de los platos.
- 5.6 Termómetro de referencia** – Cualquier termómetro de líquido en vidrio o electrónico identificable por NIST (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de Estados Unidos). Los termómetros de referencia deben ser guardados en el laboratorio como medios para verificar el termómetro portátil (Sección 8.3).
- 5.6.1 Termómetro de líquido en vidrio** – De rango apropiado y subdivisiones de 0.1° C. Deberá ser de inmersión parcial dentro del punto de congelamiento y calibrado de acuerdo con la norma ASTM E 563.
- 5.6.1.1 Lupa (opcional)** – Para uso con los termómetros de líquido en vidrio, con el fin de mejorar la legibilidad y minimizar el paralaje.

- 5.6.2** *Termómetro electrónico* – Que incorpore un detector de resistencia (ver nota 3) con una exactitud de $\pm 0.05^\circ \text{C}$ y una resolución de 0.01°C . Se deberá calibrar al menos una vez al año, de acuerdo con la norma ASTM E 77.
- 5.7** *Termómetro portátil* – Un termómetro portátil consistente en un detector de resistencia con circuito electrónico asociado y lectura digital. El espesor del detector no debe ser mayor de 2.0 mm, de manera que pueda ser insertado entre los platos de prueba. El termómetro de referencia (ver numeral 5.6) puede ser usado para este propósito si su detector encaja dentro de la probeta testigo como se requiere en los numerales 8.4.1 u 8.4.2.

6 RIESGOS

- 6.1** Se deben observar los procedimientos de seguridad normalizados cuando se esté calentando el ligante asfáltico y preparando las probetas de prueba.

7 PREPARACIÓN DEL EQUIPO

- 7.1** Los aparatos de ensayo se deben preparar según las recomendaciones del fabricante. Los requerimientos específicos varían para los diferentes modelos y fabricantes de reómetros.
- 7.2** Se deben inspeccionar las caras de los platos de prueba y se debe descartar cualquier plato que presente bordes ásperos o redondeados, o rayones profundos. Se debe limpiar cualquier residuo de ligante asfáltico con un solvente orgánico, tal como aceite mineral, alcohol mineral, solvente de base cítrica o tolueno. Se debe remover cualquier residuo de solvente, limpiando la superficie de los platos con el hisopo de algodón o con un paño suave humedecido con acetona. Si es necesario, se debe utilizar un hisopo de algodón seco o un paño blando para asegurar que no hay humedad condensada en los platos.
- 7.3** Se montan los platos de prueba limpios e inspeccionados sobre las fijaciones de ensayo y se ajustan firmemente.
- 7.4** Se elige la temperatura de ensayo según el grado del ligante asfáltico o de acuerdo a la planificación preseleccionada de ensayo (nota 4). Se espera que el

reómetro alcance una temperatura estable alrededor de $\pm 0.1^\circ \text{C}$ de la temperatura de ensayo.

Nota 4: El Método Superpave y la práctica AASHTO R 29 proporcionan guías para la selección de las temperaturas de ensayo.

- 7.5** Con los platos a la temperatura de ensayo, o en el medio del rango de temperatura esperado, se establece el nivel inicial de separación: (1) girando manualmente el plato móvil para reducir la separación hasta que el plato móvil toque al plato fijo (la separación cero se logra cuando el plato deja de girar completamente), o (2) para reómetros con transductores de fuerza normal, reduciendo la separación y observado la fuerza normal y, una vez establecido el contacto entre los platos, poner la separación en cero aproximadamente cuando la fuerza normal es cero.

Nota 5: El marco, los detectores y las fijaciones del DSR cambian de dimensiones con la temperatura haciendo que el espacio cero se modifique al cambiar la temperatura. Los ajustes en el espacio no son necesarios cuando las medidas se realizan en un rango limitado de temperaturas. El espacio se debe ajustar a la temperatura de ensayo o, cuando los ensayos se hacen dentro de un rango de temperaturas, el espacio se deberá ajustar en la parte media de dicho rango. Para la mayoría de los instrumentos, no es necesario ajustar el espacio en un rango de temperaturas de $\pm 12^\circ \text{C}$ respecto de la temperatura a la cual se ajustó la separación cero. Si el instrumento dispone de una compensación de vacío térmica, el vacío se puede ajustar a la primera temperatura de ensayo en lugar de hacerlo a la parte media del rango de temperaturas de ensayo.

- 7.6** Una vez establecido el cero de separación según el numeral 7.5, se separan los platos aproximadamente hasta la separación de prueba y se precalientan. Con el precalentamiento de los platos se promueve la adhesión entre el ligante asfáltico y los platos, especialmente en las temperaturas intermedias.
- 7.7** Para precalentar los platos de 25 mm, se llevan a la temperatura de ensayo o a la menor temperatura de ensayo si se están llevando a cabo pruebas a más de una temperatura. Para precalentar los platos de 8 mm, se deben llevar los platos a una temperatura entre 34 y 46°C . Se separan los platos y se establece un espaciamiento de ajuste de 1.05 mm (para los especímenes de ensayo de 25 mm de diámetro) o 2.10 mm (para los especímenes de ensayo de 8 mm de diámetro).

Nota 6: Para obtener la adhesión adecuada entre el ligante asfáltico y los platos de prueba, éstos se deben precalentar. El precalentamiento es especialmente crítico cuando se usa el molde de silicona para la preparación del ligante asfáltico para trasladarlo al plato de prueba y cuando la prueba se realiza con los platos de 8 mm. Cuando se usa el método de colocación directa, a medida que los platos se ponen en contacto con el ligante asfáltico, el calor de éste mejora la adhesión. La temperatura de precalentamiento necesaria para lograr una adhesión adecuada dependerá del grado y de la naturaleza del ligante asfáltico y de la temperatura de ensayo (platos de 8 mm o de 25 mm). Para algunos grados de ligante muy rígidos, especialmente aquellos con altos niveles de modificación, el calentamiento de los platos a 46°C puede ser insuficiente para asegurar una adhesión apropiada entre el ligante y los platos de ensayo, sobre todo si se usa el molde de silicona y la prueba se realiza con los platos de 8 mm.

Solamente en el caso de asfaltos altamente modificados se pueden utilizar mayores temperaturas de precalentamiento.

8 VERIFICACIÓN Y CALIBRACIÓN

8.1 El reómetro de corte dinámico (DSR) y sus componentes se deben verificar por lo menos cada seis meses y cuando el DSR o los platos hayan sido recientemente instalados, cuando el DSR se cambia de sitio, o cuando se sospecha de la exactitud del DSR o de cualquiera de sus componentes. Cuatro elementos requieren ser verificados: el diámetro del plato de prueba, el transductor de torque del DSR, el termómetro portátil y la temperatura de la probeta de prueba DSR. Se debe verificar el transductor de temperatura antes de verificar el transductor del torque del DSR.

8.2 *Verificación del diámetro del plato* – Se miden los diámetros con aproximación al 0.01 mm más cercano. Se debe mantener un registro de las medidas de los diámetros como parte del plan de control de calidad del laboratorio, de manera que las medidas sean claramente identificadas con los platos respectivos. Se entran las dimensiones de las medidas reales en el software del DSR para que sean usadas en los cálculos. Si los diámetros de los platos superior e inferior difieren, se debe introducir la medida del más pequeño de los dos.

Nota 7: Un error de ± 0.05 mm en el diámetro del plato, produce un error de 0.8 % en el módulo complejo para platos de 25 mm. Para el plato de 8 mm, errores en el diámetro del orden de ± 0.01 , ± 0.02 y ± 0.05 mm dan errores en el módulo complejo de 0.5, 1.0, y 2.5 %, respectivamente.

8.3 *Verificación del termómetro portátil* – Se verifica el termómetro portátil (usado para medir la temperatura entre los platos), empleando el termómetro de referencia del laboratorio. Si el termómetro de referencia (numeral 5.6) se usa también como un termómetro portátil para medir la temperatura entre los platos de prueba, además deberá reunir los requisitos descritos en el numeral 5.7. Los termómetros electrónicos se deben verificar usando los mismos medidores y el mismo conjunto de circuitos (instalación eléctrica) empleados cuando se realiza la medida de temperatura entre los platos.

8.3.1 *Procedimiento recomendado para la verificación* – Se pone el termómetro de referencia en contacto íntimo con el detector del termómetro portátil y se colocan en un baño termostáticamente controlado, agitando el agua del baño (nota 8). Se debe asegurar que el agua del baño sea desionizada para prevenir la conducción eléctrica que puede ocurrir entre los electrodos del elemento sensible del

detector de temperatura. Si no se dispone de agua desionizada, el termómetro de referencia y el detector del termómetro portátil se deben encapsular en una bolsa plástica impermeable, antes de colocarlos en el baño. Se obtienen medidas a intervalos de, aproximadamente, 6°C en un rango por encima de las temperaturas de ensayo, permitiendo que el baño alcance el equilibrio térmico a cada temperatura. Si las lecturas del termómetro portátil y del termómetro de referencia difieren en más de 0.1°C , se debe grabar la diferencia en cada temperatura como una corrección de temperatura, y se deben mantener en un registro como parte del programa de control de calidad del laboratorio.

Nota 8: Un procedimiento recomendado para el rango alto de temperaturas es usar un baño de agua con agitación, controlado a $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$, como el baño de viscosidad usado en el procedimiento de las normas INV E-715 o INV E-716. Para un baño de baja temperatura se puede emplear un baño de hielo o un baño de temperatura controlada. La sonda del termómetro portátil se debe poner en contacto con el termómetro de referencia y se mantienen en contacto íntimo. Una banda de caucho funciona bien para este propósito. Se sumergen los termómetros ensamblados en el baño de agua, y se lleva éste al equilibrio térmico. Se anota la temperatura en cada dispositivo cuando se alcanza el equilibrio térmico.

Nota 9: Si las lecturas de los dos dispositivos difieren en 0.5°C o más, la calibración o el funcionamiento del termómetro portátil pueden ser sospechosos, y se puede requerir su recalibración o reemplazo. Un cambio continuo en las correcciones de temperatura durante el transcurso del tiempo, también puede hacer sospechoso el funcionamiento del termómetro portátil.

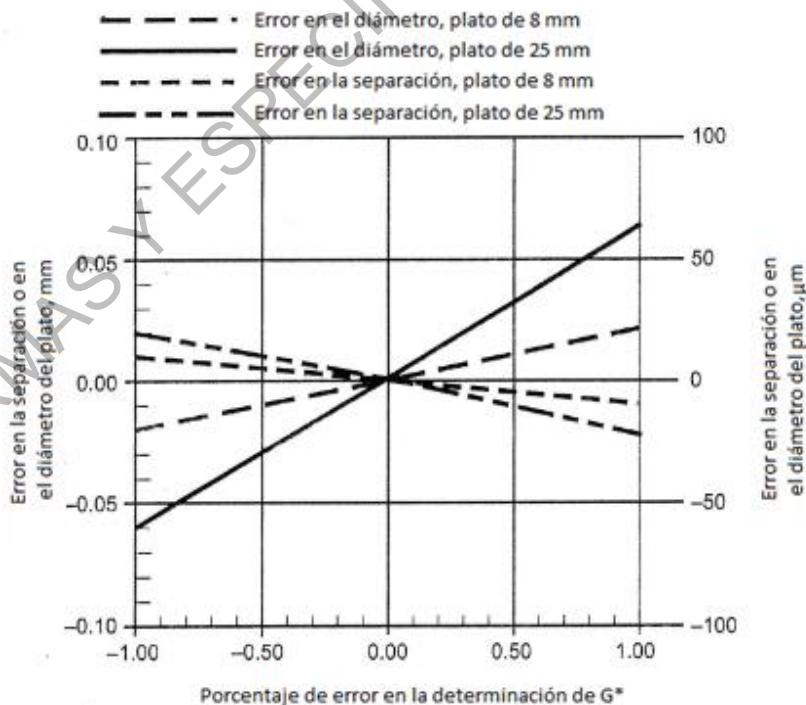


Figura 750 - 3. Efecto del error en la separación o en el diámetro del plato

8.4 *Corrección de la temperatura de la probeta de ensayo* – Gradientes térmicos dentro del reómetro pueden causar diferencias entre la temperatura de la probeta de ensayo y la temperatura indicada por el termómetro del DSR (también utilizada para controlar la temperatura del DSR). El termómetro del DSR se debe verificar a intervalos no mayores de seis meses. Cuando estas diferencias son de 0.1° C o mayores, se debe determinar una corrección de temperatura usando un detector térmico montado en un disco de caucho de silicona (numeral 8.4.1) o colocando ligante asfáltico (muestra testigo) entre los platos e insertando el detector del termómetro portátil en el ligante asfáltico (numeral 8.4.2).

8.4.1 *Método utilizando el disco de caucho de silicona* – Se coloca el disco entre los platos de prueba de 25 mm y se cierra la separación, para poner el disco de silicona en contacto con las caras de los platos superior e inferior. Si es necesario, se aplica una delgada capa de grasa derivada del petróleo o un compuesto anti-adherente para llenar completamente cualquier vacío entre el disco de silicona y los platos. Se necesita un contacto completo para asegurar la transferencia de calor entre los platos y el disco de silicona. Se determina cualquier corrección de temperatura necesaria según el numeral 8.4.3.

Nota 10: El compuesto antiadherente disponible con el nombre "anti-seize" en las ferreterías y en las tiendas de suministro de productos para automóviles, es mucho menos propenso a contaminar el agua circulante que la grasa de petróleo.

Nota 11: Los discos de silicona están disponibles, generalmente, en espesor de 2 mm y diámetro ligeramente mayor a 25 mm.

8.4.2 *Método utilizando la probeta testigo* – La probeta de la prueba testigo se debe hacer de ligante asfáltico u otro polímero con el que se pueda formar fácilmente entre los platos. La probeta de prueba testigo se monta entre los platos de ensayo y se inserta el detector (la sonda) del termómetro portátil dentro de ella. Se cierra la separación hasta el valor de prueba (1 mm para los platos de 25 mm y 2 mm para los platos de 8 mm), conservando centrado vertical y radialmente el detector en la probeta testigo. Se calientan los platos cuanto sea necesario para permitir que la probeta testigo llene completamente el espacio entre ellos. No es necesario recortar la probeta testigo, excepto cuando el material alrededor de los bordes de los platos sea excesivo. Se debe determinar cualquier corrección de temperatura necesaria según lo indicado en el numeral 8.4.3.

Nota 12: La boligoma puede dejar un residuo de aceite de silicona en las caras de los platos y, por esta razón, no se recomienda su uso como una probeta testigo.

8.4.3 *Determinación de la corrección de temperatura* – Se obtienen simultáneamente las medidas de temperatura con el termómetro del DSR y el termómetro portátil a incrementos de 6° C para cubrir el rango de las temperaturas de ensayo. Para cada incremento de temperatura, después de que se alcanza el equilibrio térmico, se registra la temperatura indicada por el termómetro portátil y por el termómetro del DSR con aproximación a 0.1° C. El equilibrio de temperatura se alcanza cuando la temperatura indicada por ambos termómetros no varía en más de 0.1° C durante un lapso de cinco minutos. Se deben obtener medidas adicionales para abarcar el rango entero de temperatura que será usado para medir el módulo de corte dinámico.

8.4.4 *Gráfico corrección versus temperatura de la probeta* – Utilizando los datos obtenidos en el numeral 8.4, se prepara un gráfico de la diferencia entre las dos temperaturas medidas (la del termómetro portátil y la del termómetro del DSR) contra la temperatura medida en el termómetro portátil (ver Figura 750 - 4). Esta diferencia es la corrección de temperatura que se debe aplicar al detector de temperatura del DSR para obtener la temperatura deseada en el espécimen de prueba colocado entre los platos de ensayo. De la gráfica se reporta la corrección de temperatura a la respectiva temperatura de ensayo, y se reporta la temperatura entre los platos como temperatura de ensayo. Alternativamente, en el software del equipo se pueden incorporar estas correcciones de temperatura.

Nota 13: La diferencia entre las dos medidas de temperatura puede no ser una constante para un reómetro dado, ya que puede variar con las diferencias entre las temperaturas de la prueba y del ambiente del laboratorio, así como con las fluctuaciones de la temperatura ambiente. La diferencia entre las dos medidas de temperatura es causada, en parte, por gradientes térmicos en la probeta de prueba en el dispositivo sujetador.

8.5 *Verificación del DSR* – Se verifica la exactitud del transductor del torque y del transductor de desplazamiento angular.

Nota 14: Un instrumento nuevo o reacondicionado se debe verificar semanalmente usando los procedimientos descritos en el numeral 8.5, hasta que se demuestre una verificación aceptable. Se recomienda mantener los datos en forma de gráfica de control, en el que se tracen las medidas de verificación contra las fechas calendario (Ver Anexo B).

8.5.1 *Verificación del transductor del torque* – Se debe verificar la calibración del transductor del torque al menos cada seis meses, usando un fluido de referencia o los dispositivos que el fabricante proporcione, cuando la calibración del transductor del torque sea sospechosa o cuando la

viscosidad dinámica, medida para el fluido de referencia, indique que el transductor del torque no está calibrado.

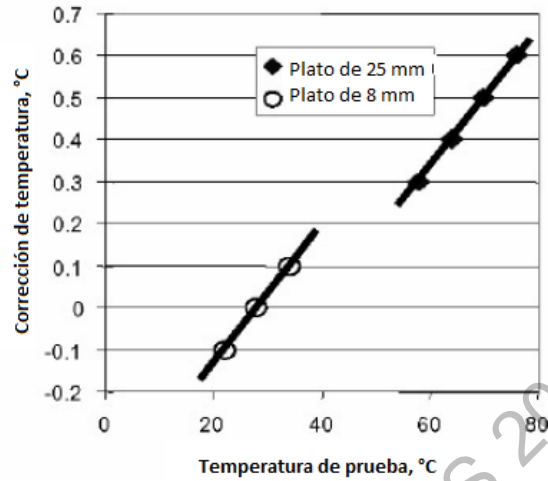


Figura 750 - 4. Determinación de la corrección de temperatura

8.5.1.1 Verificación del transductor del torque con fluido de referencia – La viscosidad compleja del fluido de referencia, medida en el DSR, deberá estar entre del 3 % de la viscosidad capilar reportada por el fabricante del fluido de referencia; en caso contrario, la calibración del transductor del torque se considerará sospechosa. La viscosidad compleja se calcula dividiendo el módulo complejo, G^* , por la frecuencia angular en rad/s. La práctica recomendada cuando se usa el fluido de la referencia se da en el Anexo C.

Nota 15: Un fluido de referencia conveniente está disponible con el número estándar de viscosidad N2700000SP de Cannon Instrument Company.

8.5.1.2 Verificación del transductor del torque con artefactos – Se verifica la calibración del transductor del torque usando los artefactos proporcionados por fabricante y de acuerdo con las instrucciones dadas por éste. Si los artefactos adecuados no están disponibles, este requerimiento debe ser descartado.

8.5.2 Verificación del transductor de desplazamiento angular – Si los artefactos suministrados por el fabricante están disponibles, se debe verificar la calibración cada seis meses o cuando la calibración del DSR sea sospechosa. Si los artefactos convenientes no están disponibles, se debe descartar este requisito.

- 8.5.3** Si el DSR no puede ser verificado con éxito de acuerdo con el numeral 8.5, no se podrá utilizar conforme con esta norma de ensayo hasta que se haya calibrado con éxito, bien sea por el fabricante o bien por personal de servicio calificado.

9 PREPARACIÓN DE MUESTRAS Y DE ESPECÍMENES DE ENSAYO

- 9.1** *Preparación de muestras de ensayo* – Si se va a ensayar un ligante original, se deben obtener las muestras de ensayo de acuerdo al método de la norma INV E-701.

- 9.1.1** Se calienta el ligante asfáltico del cual se obtendrá el espécimen, calentándolo hasta que esté suficientemente fluido para vaciar los especímenes requeridos. Este calentamiento previo elimina las asociaciones moleculares reversibles (endurecimiento estérico) que ocurren durante el almacenamiento normal a temperatura ambiente. No se debe exceder la temperatura de 163° C. Se cubre la muestra y se agita ocasionalmente durante el proceso de calentamiento para asegurar la homogeneidad y la remoción de las burbujas de aire. Se deben minimizar la temperatura y el tiempo de calentamiento, para evitar el endurecimiento de la muestra.

Nota 16: Se recomiendan temperaturas mínimas de vertido que produzcan una consistencia equivalente a la del aceite de motor SAE 10W30 a temperatura ambiente (de fácil vertido, pero no excesivamente fluido). Se debe evitar el calentamiento de ligantes asfálticos a temperaturas superiores a 135° C; sin embargo, con algunos asfaltos modificados o ligantes muy envejecidos, se pueden requerir temperaturas de vertido por encima de 135° C.

Nota 17: Para muestras envejecidas en el PAV, el ligante asfáltico se puede colocar en un horno de vacío ajustado a un máximo de 175° C durante 40 minutos. Debido a que la transferencia de calor en un horno de vacío es pobre, el ligante asfáltico no se sobrecalentará.

- 9.1.2** El material frío proveniente de los contenedores de almacenamiento debe ser calentado antes de su uso. La estructura desarrollada durante el almacenamiento puede dar como resultado una sobreestimación de los módulos hasta en un 50 %.
- 9.2** *Preparación de los especímenes de ensayo* – Se debe poner en cero la separación como se especifica en la Sección 7. Se limpian y secan cuidadosamente las caras de los platos de ensayo, para que la probeta se adhiera a ambos platos de manera uniforme y fuerte. Se debe llevar la cámara a una temperatura entre 34 y 46° C cuando se usen las probetas de 8 mm. Se lleva la cámara a la temperatura de ensayo o comienzo del rango (ver nota 6)

cuando se usen las probetas de 25 mm. Esto es para precalentar los platos y permitir así la adhesión del espécimen a ellos. Se debe preparar un espécimen de ensayo usando uno de los métodos especificados en los numerales 9.3.1, 9.3.2 o 9.3.3.

- 9.3** El espécimen se puede elaborar con alguno de los siguientes tres procedimientos: transfiriendo el ligante asfáltico a un plato de prueba por medio de vertido (numeral 9.3.1), transfiriendo directamente (numeral 9.3.2) y mediante el uso de un molde de silicona (numeral 9.3.3).

Nota 18: El traslado directo o vertido son los métodos preferidos, porque los resultados de la prueba son probablemente menos influenciados por el endurecimiento estérico que en el método de molde de silicona. La colocación directa y el vertido directo a las temperaturas más altas del ligante asfáltico cuando los platos y el ligante entran en contacto, se traduce en una mejora de la adherencia. Por esta razón, es también importante que después del vertido o colocación directa se lleven rápidamente al contacto el ligante asfáltico y los platos.

- 9.3.1** *Vertido* – Solamente cuando se usen reómetros diseñados de forma que se pueda levantar el plato sin ser afectada la configuración del cero, se remueve el plato móvil y mientras se sostiene el contenedor de muestras aproximadamente a 15 mm sobre la superficie del plato de ensayo, se vierte el ligante asfáltico en el centro del plato superior continuamente hasta que cubra el plato entero, excepto una franja de aproximadamente 2 mm de ancho en el perímetro (nota 19). Se espera solamente el tiempo suficiente para que el espécimen adquiera rigidez; entonces se monta el plato de ensayo en el reómetro.

Nota 19: Se pueden usar un gotero o una jeringa para transferir el asfalto caliente al plato.

- 9.3.2** *Traslado directo* – Se trasfiere el ligante caliente a uno de los platos, usando una varilla de vidrio o metálica, una espátula, o una herramienta similar. Inmediatamente después de transferir el ligante caliente a uno de los platos, se procede como se indica en el numeral 9.4 para recortar el espécimen y formar la saliente.

Nota 20: Se ha encontrado que una espátula de acero inoxidable, pequeña y angosta, del tipo usado para pesar polvos en una balanza analítica, es apropiada para transferir el ligante caliente. Cuando se usa una varilla, se debe formar una masa de tamaño suficiente para formar el espécimen de ensayo usando un movimiento de torsión. El movimiento de torsión parece mantener bajo control la masa en la varilla. Una varilla de 4 a 5 mm de diámetro es adecuada. La técnica de la varilla de vidrio es especialmente útil para el plato del 8 mm.

- 9.3.3** *Molde de silicona* – Se vierte el ligante asfáltico caliente dentro del molde de goma de silicona, lo que formará una bolita con las dimensiones indicadas en el numeral 5.2. Se permite que el molde de goma de silicona se enfríe a temperatura ambiente. El espécimen se

puede montar tanto en el plato superior como en el inferior. Para montar el espécimen en el plato inferior se remueve la bolita del molde y se centra sobre el plato inferior del DSR. Para montar el espécimen en el plato superior, se centra éste aún dentro del molde sobre dicho plato. Se presiona suavemente el espécimen contra el plato superior y entonces se quita el molde de caucho de silicona con cuidado, quedando el espécimen adherido al plato superior.

9.3.3.1 El molde lleno se debe dejar enfriar a la temperatura ambiente, colocándolo sin refrigerar sobre una superficie plana en el laboratorio. Un enfriamiento por debajo de la temperatura ambiente, resulta en una historia térmica desconocida que puede afectar los valores medidos del módulo y del ángulo de fase. En el enfriamiento también se puede producir humedad en la superficie del espécimen que afectará la adhesión entre éste y los platos.

Nota 21: No se deben usar solventes para limpiar los moldes de caucho de silicona. Los moldes se deben limpiar con un paño limpio para quitar cualquier residuo de ligante asfáltico. Con el uso, los moldes se manchan de asfalto, dificultando la remoción del ligante del molde. Si los pegotes se vuelven un problema, se deberá desechar el molde.

Nota 22: Algunos grados de ligantes no se pueden remover del molde de silicona sin enfriar. En los ligantes blandos, de grados tales como PG 52-34, PG 46-34 y algunos PG 58-34 (o sus equivalentes en otros sistemas de clasificación), no se facilita el desmolde a las temperaturas ambientes. Si la probeta de ligante no se puede desmoldar sin enfriar, se puede usar el método de traslado directo o vertido, o el molde lleno puede ser enfriado en un congelador o refrigerador durante el tiempo mínimo necesario para facilitar el desmolde del espécimen.

9.4 *Conformación del espécimen de ensayo* – Inmediatamente después de que el espécimen ha sido colocado en uno de los platos como se describió anteriormente, se deben mover los dos platos de prueba juntos hasta que la separación entre ellos iguale la separación de ensayo más el cierre requerido de la separación para crear la saliente (ver numeral 9.5, cierre de separación requerido para crear la saliente). Se debe retirar el exceso de ligante asfáltico del borde de los platos, moviendo una espátula adecuada caliente alrededor del perímetro de ellos, de manera que el ligante asfáltico vaciado coincida con el diámetro exterior de los platos.

Nota 23: La espátula se debe encontrar a una temperatura suficientemente alta para cortar el espécimen pero no demasiado como para producir la pirólisis de su borde.

Nota 24: La separación se debe ajustar a la temperatura de inicio de la prueba (numeral 10.1.1) o a la media del rango esperado de temperaturas de ensayo (numeral 10.1.2). Se debe ver la nota 5 como guía para el ajuste de la separación. Típicamente, se pueden obtener resultados confiables de ensayo con una sola muestra usando temperaturas dentro de 12° C de la temperatura a la cual se fija la separación.

- 9.5 Creación de la saliente** – Cuando el arreglo de la probeta está completo, se disminuye la separación por la cantidad requerida para que se forme una ligera saliente en la cara externa del espécimen de ensayo. La separación requerida para crear una saliente es específica para cada reómetro y depende de factores tales como el diseño del reómetro y la diferencia de temperatura entre la temperatura del arreglo y la temperatura del ensayo. Para crear la saliente, los valores recomendados para cerrar la separación son de 0.05 mm para el plato de 25 mm y de 0.10 mm para el plato de 8 mm. Una práctica recomendada para verificar el cierre requerido de la separación con el objeto de producir una saliente apropiada se da en el Anexo D.

Nota 25: El módulo complejo se calcula suponiendo que el diámetro de la probeta es igual al diámetro del plato. Si el ligante forma una superficie cóncava en sus bordes exteriores esta suposición no será válida y el módulo se subestimarán. El módulo calculado se basa en el radio del plato elevado a la cuarta potencia. Se recomienda una saliente ligera igual a, aproximadamente, un cuarto de la separación. Un procedimiento para determinar el valor del cierre requerido para formar una separación aceptable se presenta en el Anexo D.

10 PROCEDIMIENTO

- 10.1** Se lleva el espécimen a la temperatura de ensayo $\pm 0.1^\circ\text{C}$ (ver nota 4).

Nota 26: La separación se debe ajustar a la temperatura de inicio de la prueba (numeral 10.1.1) o a la media del rango esperado de temperaturas de la prueba (numeral 10.1.2). Se debe ver la nota 5 como guía en el ajuste de la separación. Típicamente, se pueden obtener resultados confiables de ensayo con una sola muestra, usando temperaturas dentro de 12°C de la temperatura a la cual se fija la separación.

- 10.1.1** Cuando se ensaye un ligante de acuerdo al método Superpave, se selecciona la temperatura de ensayo apropiada según la especificación Superpave para ligantes asfálticos.

- 10.1.2** Cuando se realice un barrido de temperaturas, se debe iniciar el ensayo a una temperatura en el medio del rango, y se aumenta o disminuye hasta cubrir el rango deseado de temperaturas de prueba.

- 10.2** Se ajusta el controlador de temperatura a la temperatura deseada de ensayo, incluyendo cualquier compensación requerida, como se indica en el numeral 8.4.4. Se permite que la temperatura indicada en el RTD alcance el valor deseado. El ensayo se podrá comenzar sólo después de que la temperatura haya permanecido en el valor deseado $\pm 0.1^\circ\text{C}$ por, al menos, 10 minutos.

Nota 27: Es imposible especificar un solo tiempo de equilibrio que sea válido para los reómetros producidos por distintos fabricantes. El diseño del sistema de control ambiental (baño de fluido u horno de aire) y la temperatura de inicio determinarán el tiempo requerido para alcanzar la temperatura de ensayo. El método para determinar el tiempo correcto de equilibrio térmico se describe en el Anexo E.

10.3 Modo de control de deformación – Cuando se opere en un modo de control de deformación, se debe determinar el valor de la deformación de acuerdo a los valores del módulo complejo. Se controla la deformación dentro del 20 % del valor objetivo calculado mediante la siguiente ecuación:

$$\gamma, \% = \frac{12.0}{(G^*)^{0.29}} \quad [750.1]$$

Donde: γ : Deformación de corte, %;

G^* : Módulo complejo, kPa;

10.3.1 Cuando se prueban especímenes para verificar el cumplimiento de la especificación Superpave, se debe seleccionar el valor de la deformación de acuerdo con la Tabla 750 - 2. Los reómetros de corte dinámico contienen un software que controla automáticamente la deformación sin requerir la intervención del operador.

Tabla 750 - 2. Valores de deformación objetivo

MATERIAL	kPa	DEFORMACIÓN, %	
		VALOR OBJETIVO	RANGO
Ligante original	1.0 G^* /sen δ	12	9 a 15
Residuo RTFO	2.2 G^* /sen δ	10	8 a 12
Residuo PAV	5000 G^* sen δ	1	0.8 a 1.2

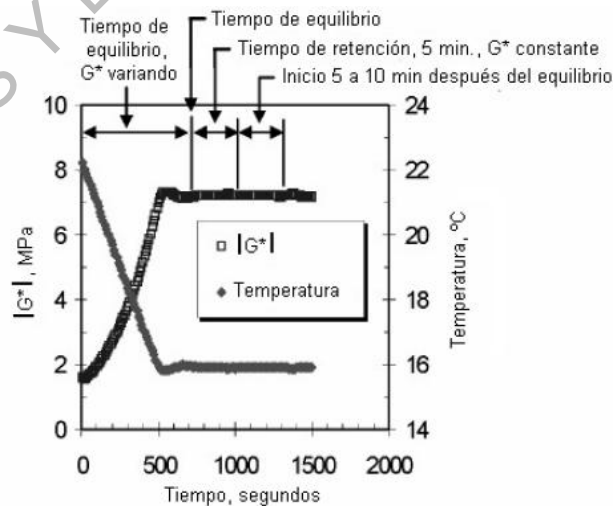


Figura 750 - 5. Determinación del tiempo de equilibrio térmico

- 10.4** *Modo de control de esfuerzo* – Cuando se opere en modo de control de esfuerzo, se determina el nivel de tensión de acuerdo al valor del módulo complejo. Se debe controlar la tensión dentro del 20% del valor objetivo calculado por la siguiente ecuación.

$$\tau = 12.0(G^*)^{0.71} \quad [750.2]$$

Donde: τ : Esfuerzo cortante, kPa;

G^* : Módulo complejo, kPa.

- 10.4.1** Cuando se prueben los especímenes para verificar el cumplimiento de las especificaciones Superpave, se deben seleccionar los valores apropiados de esfuerzo de la Tabla 750 - 3. Los reómetros de corte dinámico contienen un software que controla automáticamente el nivel de esfuerzo sin requerir la intervención del operador.

- 10.5** Cuando la temperatura se ha equilibrado, se debe acondicionar la muestra aplicando la tensión requerida por 10 ciclos o un rango requerido de 8 a 16 ciclos, a una frecuencia de 10 rad/s (nota 28). Se obtiene una medida de ensayo registrando los datos para 10 ciclos adicionales o un rango de 8 a 16 ciclos. Se deben reducir los datos obtenidos para la segunda serie de ciclos, para producir un valor del módulo complejo y del ángulo de fase. Para reducir los datos se usa típicamente una transformada rápida de Fourier. Se pueden obtener múltiples mediciones para verificar que la muestra está apropiadamente preparada. La separación entre el ligante y los platos o la fractura de la muestra, pueden provocar disminuciones en los módulos en mediciones repetidas. Algunos ligantes pueden exhibir un módulo reducido con aplicación continua de tensiones de corte (mediciones múltiples). El sistema de adquisición de datos obtiene y reduce automáticamente los datos cuando está apropiadamente activado. Cuando se realicen ensayos a más de una frecuencia, se inicia el ensayo a la frecuencia más baja y se incrementa hasta la frecuencia mayor.

Nota 28: La frecuencia patrón de 10 rad/s se usa cuando se ensayan ligantes según método Superpave.

Tabla 750 - 3. Niveles de esfuerzo objetivo

MATERIAL	kPa	ESFUERZO, kPa	
		VALOR OBJETIVO	RANGO
Ligante original	1.0 $G^*/\text{sen } \delta$	0.12	0.09 a 0.15
Residuo RTFO	2.2 $G^*/\text{sen } \delta$	0.22	0.18 a 0.26
Residuo PAV	5000 $G^* \text{ sen } \delta$	50.0	40.0 a 60.0

- 10.6** El sistema de adquisición de datos especificado en el numeral 5.1.4 calcula automáticamente G^* y δ a partir de la información registrada, cuando está apropiadamente activado.
- 10.7** Se debe iniciar la prueba inmediatamente después de preparar y conformar el espécimen. El ensayo a temperaturas subsecuentes se deberá realizar tan rápidamente como sea posible, para minimizar el efecto de las asociaciones moleculares (endurecimiento estérico) que puede causar un incremento en el módulo si el espécimen permanece en el reómetro por un período prolongado. Cuando se ensaye a múltiples temperaturas, todos los ensayos se deben realizar en un término de 4 horas.

11 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

- 11.1** El módulo dinámico y el ángulo de fase dependen de la magnitud de la deformación de corte; el módulo y el ángulo de fase para cementos asfálticos modificados y no modificados disminuye al aumentar la deformación de corte, como se muestra en la Figura 750 - 6. Un gráfico como el de la Figura 750 - 6 se puede generar aumentando gradualmente la amplitud de carga o de deformación, con lo cual produce un barrido de deformación. No es necesario generar tales barridos durante ensayos normales; sin embargo, estos gráficos son útiles para verificar los límites de la región lineal.
- 11.2** Se puede definir una región lineal con base en pequeñas deformaciones, donde el módulo es relativamente independiente de la deformación de corte. Esta región variará según la magnitud del módulo complejo. La región lineal se define como el rango en deformación donde el módulo complejo es 95% o mayor del valor para deformación cero.

- 11.3** La tensión de corte varía linealmente desde cero en el centro de los platos hasta un máximo en las extremidades de su perímetro. El esfuerzo cortante se calcula a partir del torque aplicado o medido, de la deformación aplicada o medida y de la geometría del espécimen de ensayo.

12 INFORME

- 12.1** Se registra la identificación y la descripción completa del material ensayado, incluyendo nombre, código, fuente y tipo de recipiente de la muestra.
- 12.2** Se describe el instrumento usado para el ensayo, incluyendo marca y modelo.
- 12.3** Los niveles de deformación y esfuerzo especificados en las Tablas 750 - 2 y 750 - 3 han sido seleccionados para asegurar un punto de referencia común, que ha mostrado estar dentro de la región lineal para ligantes asfálticos originales y modificados. Algunos sistemas pueden no ser lineales en esta región. Cuando se observe esta situación, se informará el módulo a los niveles de tensión o deformación recomendados, pero se deja constancia de que las condiciones de ensayo resultaron fuera de la región lineal.
- 12.4** Para cada ensayo, se informa lo siguiente:
- 12.4.1** Diámetro del plato de ensayo, aproximado a 0.1 mm y separación de ensayo, aproximada a 1 μ m.
 - 12.4.2** Temperatura de ensayo, aproximada a 0.1° C.
 - 12.4.3** Frecuencia de ensayo, aproximada a 0.1 rad/s.
 - 12.4.4** Amplitud de deformación, aproximada a 0.01 %, o el torque, aproximado al mN·m.
 - 12.4.5** El módulo complejo G^* para las 10 mediciones, en kPa con tres cifras significativas.
 - 12.4.6** El ángulo de fase (δ) para los segundos 10 ciclos, aproximado a 0.1°.

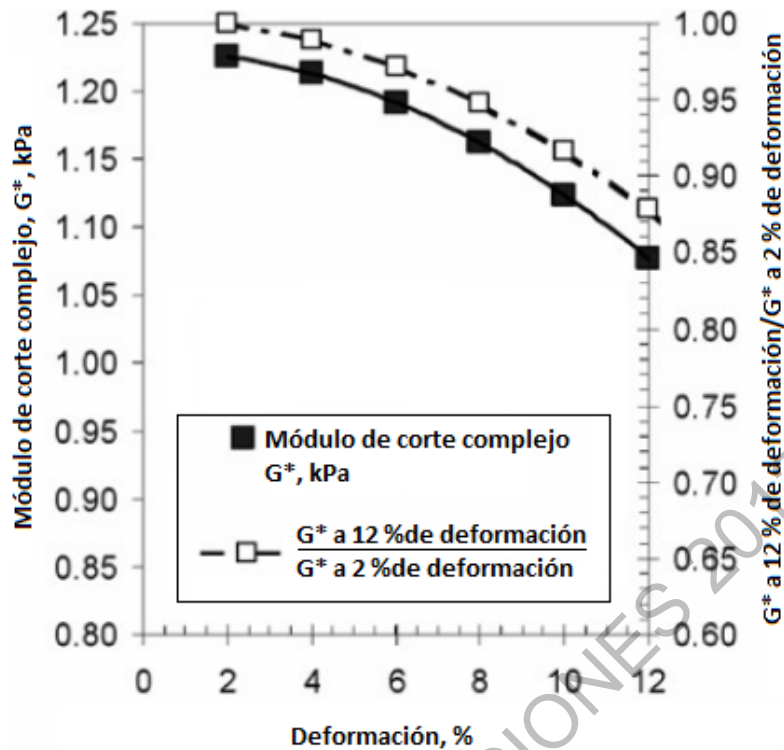


Figura 750 - 6. Ejemplo de un barrido de deformación

13 PRECISIÓN Y SESGO

13.1 Precisión – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados de corte dinámico obtenidos por este método, se dan en la Tabla 750 - 4.

13.1.1 Precisión de un solo operador (Repetibilidad) – Los valores en la columna 2 de la Tabla 750 - 4 son los coeficientes de variación que se consideran apropiados para las condiciones de ensayo descritas en la columna 1. Resultados obtenidos por duplicado por el mismo operador, usando el mismo equipo y en el mismo laboratorio, no se considerarán dudosos a menos que la diferencia en los resultados, expresada como porcentaje de su promedio, exceda los valores dados en la columna 3 de la Tabla 750 - 4.

13.1.2 Precisión multilaboratorio (Reproducibilidad) – Los valores en la columna 2 de la Tabla 750 - 4 son los coeficientes de variación que se consideran apropiados para las condiciones de ensayo descritas en la columna 1. Dos resultados emitidos por dos operadores diferentes, ensayando el mismo material en diferentes laboratorios, no se

considerarán dudosos a menos que la diferencia entre ellos, expresada como porcentaje de su promedio, exceda los valores dados en la columna 3 de la Tabla 750 - 4.

Tabla 750 - 4. Estimativos de precisión

CONDICIÓN	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (1s%) ^A	RANGO ACEPTABLE DE DOS RESULTADOS DE ENSAYO (d2s%) ^A
<i>Precisión de un solo operador:</i>		
Ligante original: G*/sen δ (kPa)	2.3	6.4
Residuo RTFO: G*/sen δ (kPa)	3.2	9.0
Residuo PAV: G* sen δ (kPa)	4.9	13.8
<i>Precisión multilaboratorio</i>		
Ligante original: G*/sen δ (kPa)	6.0	17.0
Residuo RTFO: G*/sen δ (kPa)	7.8	22.2
Residuo PAV: G* sen δ (kPa)	14.2	40.2

^A Estos valores representan el 1s % y el d2s % descritos en Práctica ASTM C670

Nota 29: Los estimativos de precisión dados en la Tabla 750 - 4 se basan en el análisis de los resultados de ensayos realizados sobre ocho pares de muestras. Los datos analizados consistieron en los resultados de 185 a 208 laboratorios para cada uno de los ocho pares de muestras. Los análisis incluyeron 5 grados de ligantes: PG 52-34, PG 64-16, PG 64-22, PG 70-22 y PG 76-22 (SBS modificado). Los resultados promedio del asfalto original para G/sen δ variaron de 1.067 a 2.342 kPa. Los resultados del residuo RTFO para G*/sen δ variaron de 2.274 a 7.733 kPa. Los resultados promedio del residuo PAV para G*-sen δ variaron de 1100 a 4557 kPa.*

Nota 30: A manera de ejemplo, dos ensayos realizados sobre el mismo residuo PAV dieron resultados de 1200 y 1300 kPa. El promedio de estos dos resultados es 1250 kPa. Entonces, el rango aceptable de resultados es el 13.8% de 1250 kPa, es decir, 173 kPa. Como la diferencia entre 1200 y 1300 kPa es menor de 173 kPa, se concluye que los dos resultados se encuentran dentro del rango aceptable.

13.2 Sesgo – No se presenta información sobre el sesgo de este procedimiento de ensayo, puesto que no hay ningún material que presente un valor de referencia aceptable.

14 NORMAS DE REFERENCIA

AASHTO T 315 – 09

ANEXO A (Informativo)

COMPROBACIÓN DE LA LINEALIDAD

A.1 Objeto:

A.1.1 Este procedimiento se emplea para determinar si un ligante asfáltico no envejecido exhibe un comportamiento lineal o no lineal en la temperatura de grado superior, es decir, 52, 58, 64, 70, 76, u 82° C. La determinación se basa en el cambio del módulo de corte complejo a 10 rad/s, cuando la deformación es incrementada desde 2 a 12 %.

A.2 Procedimiento:

A.2.1 Se verifican el DSR y sus componentes, de acuerdo con la Sección 8 de esta norma.

A.2.2 Se prepara el DSR de acuerdo con la Sección 9 de esta norma.

A.2.3 Se prepara un espécimen de ensayo con plato de 25 mm, tal como se describe en la Sección 10 de esta norma. Se selecciona la temperatura de prueba como la temperatura de grado superior para el ligante en cuestión.

A.2.4 Se determina el módulo de corte complejo a deformaciones de 2 y 12 %, siguiendo el procedimiento descrito en la Sección 11 exceptuando lo anotado a continuación. Siempre se debe iniciar con la tensión más baja y se procede a la siguiente más alta.

A.2.4.1 *Reómetros controlados por deformación* – Si el software proporcionado con el DSR va a controlar automáticamente las pruebas a deformaciones múltiples, el DSR se programa para obtener el módulo de corte complejo a las deformaciones de 2, 4, 6, 8, 10 y 12 %. Si el control automático no está

disponible, se prueba seleccionando manualmente las deformaciones de 2, 4, 6, 8, 10 y 12 %.

A.2.4.2 Reómetros controlados por tensión – Se calcula la tensión de arranque basada en el módulo de corte complejo G^* , y en la tensión de corte, τ , determinados a la temperatura superior del grado del ligante. A esta temperatura, el módulo complejo, G^* , deberá ser mayor o igual a 1.00 kPa y la tensión de corte, τ , estará entre 0.090 y 0.150 kPa (ver Tabla 750 - 2). Se calcula la tensión de arranque como $\tau / 6.00$ kPa. Se aumenta la tensión en cinco incrementos de $\tau / 6.00$ kPa.

Nota A1: Ejemplo de cálculo: Se asume un ligante asfáltico de PG 64-22 con $G^ = 1.29$ kPa a 64° C y $\tau = 0.135$ kPa. La tensión de arranque será 1.35 kPa/6 = 0.225 kPa. Se debe probar a 0.225 , 0.450 , 0.675 , 0.900 , 1.13 , y 1.35 kPa, empezando con 0.225 kPa.*

A.3 Gráfica módulo complejo (G^*) contra deformación:

A.3.1 Se debe realizar una gráfica de módulo de corte complejo contra el % de deformación como la mostrada en la Figura 750 - 6. En la gráfica se determina el módulo de corte complejo a 2 y 12 % de deformación.

A.4 Cálculos:

A.4.1 Se calcula la relación de modular dividiendo el módulo de corte complejo a 12 % de deformación por el módulo de corte complejo a 2 % de deformación.

A.5 Informe:

A.5.1 Se debe reportar la siguiente información:

A.5.1.1 El módulo de corte complejo (G^*) con tres cifras significativas.

A.5.1.2 La deformación, redondeada a 0.1 %.

A.5.1.3 La frecuencia, redondeada a 0.1 rad/s.

A.5.1.4 La relación modular calculada dividiendo el módulo a 12 % de deformación por el módulo a 2 % de deformación.

A.6 Interpretación de los datos:

- A.6.1** Para considerar el material como no lineal, la relación modular, calculada como se indica en el numeral A.4, debe ser < 0.900 y para considerarlo como lineal debe ser ≥ 0.900 . Si la medida fue realizada en el rango no lineal del material, los resultados obtenidos bajo esta norma serán considerados como inválidos para clasificar un ligante de acuerdo con el sistema Superpave.

**ANEXO B
(Informativo)****GRÁFICAS DE CONTROL**

B.1 Gráficas de control:

- B.1.1** Las gráficas de control son empleadas comúnmente por varias industrias, incluyendo la de la construcción de carreteras, para controlar la calidad de los productos. Estas gráficas brindan un medio para organizar, mantener e interpretar los datos de los ensayos. Como tales, las gráficas de control constituyen un medio excelente para organizar, mantener e interpretar los datos de los ensayos de verificación del DSR. Para desarrollar gráficas de control y procesos de decisión que sean parte del control de calidad estadístico, se usan procedimientos formales basados en principios estadísticos.
- B.1.2** Una gráfica de control es, simplemente, una representación gráfica de los resultados de los ensayos a través del tiempo. Dibujando los valores medidos en el laboratorio para el fluido de referencia en un formato de gráficas de control resulta fácil ver cuándo: (1) las medidas están bien controladas y tanto el dispositivo como el operador están trabajando adecuadamente; (2) las medidas se están volviendo más variables con el tiempo, lo que indica un posible problema con el equipo de ensayo o con el operador; y (3) las medidas de laboratorio para el fluido están en promedio por encima o por debajo del valor objetivo.
- B.1.3** Se consiguen excelentes programas de software para generar y mantener gráficas de control. Algunos paquetes de análisis estadístico contienen procedimientos que se pueden usar para generar estas gráficas. Hojas de cálculo como las de Microsoft Excel se pueden usar también para generar las gráficas de control y, por supuesto, las

gráficas también se pueden elaborar manualmente (ver Tabla 750B - 1 como un ejemplo de hoja de salida).

B.2 Cuidado al seleccionar los datos:

B.2.1 Los datos empleados para generar las gráficas de control se deben obtener con gran cuidado. La idea de la aleatoriedad es importante pero no requiere ser demasiado complicada. Un ejemplo mostrará por qué se requiere una muestra al azar – un laboratorio mide siempre el fluido de referencia al inicio del turno o de la jornada. Estas medidas pueden ser sesgadas por errores iniciales, tal el caso de la falta de estabilidad de la temperatura cuando el dispositivo se pone en funcionamiento. La muestra al azar asegura que la medida es representativa del proceso o del material que se está ensayando. Dicho de otro modo, una muestra al azar tiene la misma posibilidad de ser escogida que otra muestra. Una medida o muestra tomada siempre al comienzo o al final del día, o justo antes de la pausa para el café no tiene esta oportunidad.

B.3 Ejemplo:

B.3.1 La potencia de la gráfica de control se ilustra en la Tabla 750B - 1, utilizando los datos de verificación obtenidos para el DSR. Otros datos de verificación del DSR apropiados para su presentación en gráficas de control de calidad incluyen las medidas para determinar la corrección de temperatura, la calibración del termómetro electrónico y para mantener los datos generados internamente por muestras de referencia del ligante asfáltico. Para este ejemplo, la viscosidad reportada para el fluido de referencia es 271 Pas; por lo tanto, el valor calculado para G^* es 2.71 kPa. Este valor de G^* se identifica como “ G^* del fluido de referencia” en la Figura 750B - 1. El laboratorio debería obtener este valor como promedio si no existe sesgo.

Tabla 750B - 1. Datos de la muestra de ensayo

SEMANA	G^* MEDIDA, kPa
1	2.83
2	2.82
3	2.77
4	2.72
5	2.69
6	2.72

SEMANA	G* MEDIDA, kPa
7	2.77
8	2.75
9	2.71
10	2.82
11	2.66
12	2.69
13	2.75
14	2.69
15	2.73
16	2.77
17	2.72
18	2.67
19	2.66
20	2.78
21	2.74
22	2.69
Promedio	2.73
Desviación estándar	0.051
Coefficiente de variación	1.86

B.3.2 *Comparación del promedio de G* en el laboratorio durante 22 semanas con el valor calculado del fluido de referencia*

B.3.2.1 El promedio de las medidas de las 22 semanas se identifica como “promedio de 22 semanas de laboratorio” en la Figura 750B - 1. Durante las 22 semanas en las cuales se realizaron las medidas, el valor promedio fue 2.73 kPa. Este valor se compara favorablemente con el valor de referencia calculado de 2.71 kPa, difiriendo del promedio por sólo 0.7 %. Esto es sólo un pequeño sesgo.

B.3.3 *Comparación del coeficiente de variación de las medidas de laboratorio con el coeficiente de variación de un método de selección round robin*

B.3.3.1 En un estudio previo del tipo *round robin*, se encontró que la desviación estándar en un laboratorio (d1s) para el fluido fue 0.045 (CV = 1.67 %). La desviación estándar de las 22 semanas para los valores medidos de G* es 0.051 y el CV 1.86 %. Se debe anotar que el CV de 1.86 % para las 22 semanas también

incluye la variabilidad diaria, que es un componente de variabilidad que no está incluido en el valor d1s del *round robin*. Con base en esta información, se considera que las medidas de variabilidad del laboratorio son aceptables.

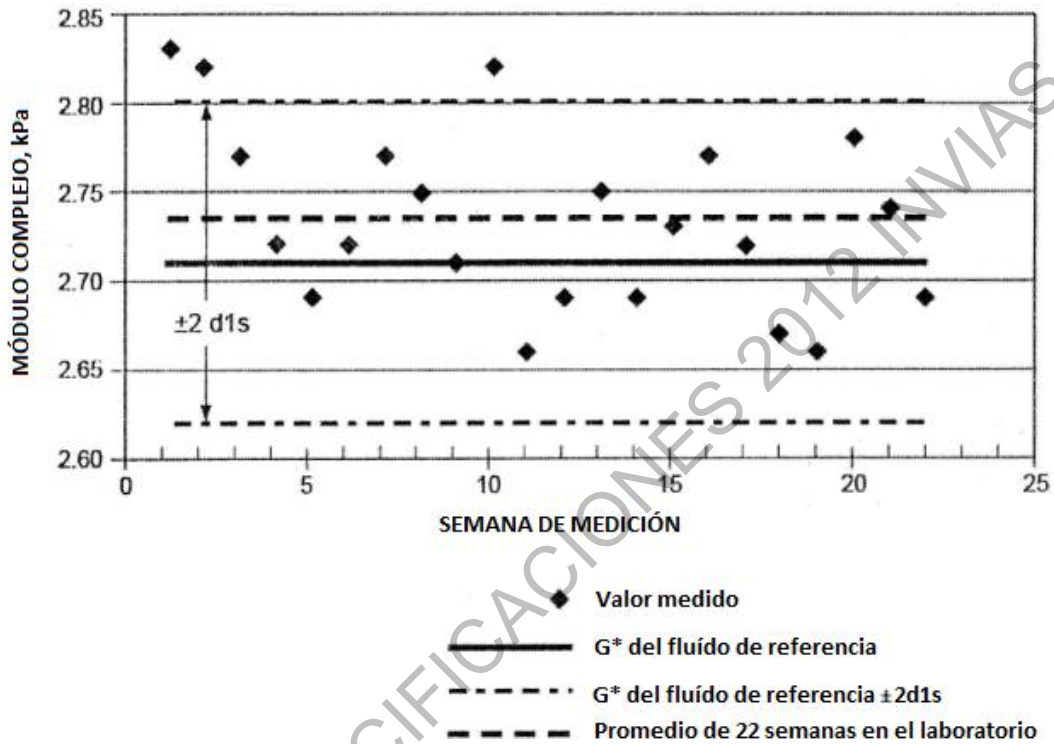


Figura 750B - 1. Gráfica de control

B.3.4 Variabilidad de los valores medidos

B.3.4.1 En la Figura 750B - 1, el valor G* calculado para el fluido de referencia se muestra como una línea continua. Allí se muestran, también, dos líneas a trazos que representan el G* calculado del fluido de referencia ± 2d1s, donde d1s es el valor del *round robin*. El valor de referencia calculado para el fluido es 2.71 kPa y la desviación estándar es 0.045. Así, una desviación de 2d1s da valores de:

$$2.71\text{kPa} \pm (2) (0.045) = 2.80 \text{ kPa}, 2.62 \text{ kPa}$$

B.3.4.1.1 Si los procedimientos de laboratorio están bajo control, el equipo está apropiadamente calibrado y no hay sesgo en el laboratorio, el 95 % de las medidas deberían caer en el rango entre 2.62 y

2.80 kPa. Las medidas por fuera de este rango se consideran sospechosas y se deberá investigar su causa, la cual podrá ser o bien debida a la variabilidad del ensayo o bien al sesgo del laboratorio. La medida de la semana 10 en la Figura 750B - 1 cae por fuera de los límites $\pm 2d1s$ siendo ello motivo para investigar los procedimientos de ensayo y de verificación.

B.3.4.1.2 Si una medida se desvía del objetivo, en este caso el G^* del fluido de referencia, por más de $\pm 3d1s$, se debe iniciar una acción correctiva. El rango $\pm 3d1s$ limita el 99.7 % de los valores medidos, si los procedimientos del laboratorio están bajo control y el equipo se encuentra adecuadamente calibrado.

B.3.5 *Tendencias en el valor medido*

B.3.5.1 La gráfica de control se puede utilizar, también, para identificar tendencias no deseadas en los datos. Por ejemplo, entre las semanas 1 y 5 se observa un decrecimiento continuo en el valor medido. Esto es motivo para investigar la razón de dicha tendencia. Reglas más sofisticadas para analizar tendencias en las gráficas de control se pueden encontrar en la literatura especializada.

ANEXO C

UTILIZACIÓN DEL FLUIDO DE REFERENCIA

C.1 *Fluido de referencia*

C.1.1 Un polímero orgánico producido por *Cannon Instrument Company* como N2700000SP, se ha encontrado conveniente para ser utilizado como fluido de referencia para verificar la calibración del DSR. La viscosidad del fluido es, aproximadamente, 270 Pa·s a 64° C. Sin embargo, la viscosidad del fluido varía de un lote a otro. La viscosidad de cada lote específico se encuentra impresa en la etiqueta de la botella.

C.2 *Precauciones al usar el fluido de referencia*

C.2.1 Algunos cuidados cuando se esté usando el fluido de referencia son:

C.2.1.1 El fluido no puede ser usado para verificar la exactitud de la medida de ángulo de fase.

C.2.1.2 El fluido no se debe calentar, puesto que al calentarlo se puede degradar dando lugar a un cambio en su viscosidad.

C.2.1.3 El fluido sólo se debe usar para la comprobación, después de que las medidas de temperatura sean verificadas en el DSR.

C.2.1.4 El fluido no se puede usar para calibrar el transductor del torque. El fabricante u otro personal de servicio calificado deberán realizar la calibración empleando un dispositivo diseñado específicamente para ello. Por lo general, estos dispositivos de calibración no se encuentran en los laboratorios.

C.2.1.5 Cuando se ensaya a 10 rad/s, el fluido de la referencia sólo se debe usar a 64° C o más. A menores temperaturas, el fluido es viscoelástico; en esta condición, la viscosidad, η , reportada en el certificado del fluido de referencia no coincide con la viscosidad compleja $\eta^* = G^*/10\text{rad/s}$ determinada a partir de la medida.

C.2.1.6 Las burbujas en el fluido tendrán un efecto dramático en el valor medido de G^* . El fluido en la botella debe estar libre de burbujas y se debe tener cuidado para no introducir burbujas cuando se estén preparando los especímenes de ensayo.

C.3 Cálculo de G^* a partir de la viscosidad medida bajo condiciones constantes:

C.3.1 Para hacer conversiones entre viscosidad dinámica y viscosidad en condiciones constantes de los polímeros, el método más popular y exitoso es la llamada regla empírica Cox–Merz. La regla conduce, en términos simplificados, a la siguiente aproximación:

$$G^*/\omega \sim \eta$$

[750.3]

Donde: G^* : Módulo complejo;

- ω : Frecuencia angular en rad/s;
- η : Viscosidad capilar independiente de la rata de corte, como es reportado por el proveedor del fluido de referencia.

C.3.2 Para aplicar esta regla, las medidas deben estar en la región viscosa, dónde el ángulo de fase se aproxima a 90°. El valor del módulo complejo es, entonces, simplemente 10 veces el valor de la viscosidad capilar. Por ejemplo, si la viscosidad capilar es 270 000 mPa·s el módulo complejo es:

$$G^*, \text{ kPa} \sim (270\,000 \text{ mPa}\cdot\text{s})(1 \text{ kPa}/1\,000\,000 \text{ mPa}) (10 \text{ rad/s}) = 2.70 \text{ kPa}\cdot\text{rad}$$

C.3.3 El fluido de referencia se comporta como un fluido viscoso a 64° C y más, y suministra estimativos muy exactos de G^* por encima de 64° C. A temperaturas por debajo de 58° C, el fluido da valores incorrectos de G^* , y el error aumenta a medida que la temperatura se aleja de 64° C. A 64° C y por encima, G^* dividido por la frecuencia en rad/s no debe tener más de 3 % de diferencia en relación con la viscosidad impresa en la etiqueta de la botella. Si se obtiene una diferencia mayor, entonces la calibración del torque se deberá considerar sospechosa.

C.4 *Métodos para transferir el fluido a los platos de ensayo*

C.4.1 Se recomiendan tres métodos para transferir el fluido a los platos de la prueba: El método de varilla de vidrio (numeral C.4.2), el método de la espátula (numeral C.4.3), y un método directo donde un plato de prueba removible está en contacto directo con el fluido en la botella (numeral C.4.4).

C.4.2 *Método de la varilla de vidrio (Figura 750C - 1)* – En este método, se inserta una varilla de vidrio en el fluido y se hace rotar (Paso 1). Se continúa girando la varilla, y se tira despacio del fluido (Paso 2) arrastrando una masa pequeña del fluido con la varilla. Se lleva la masa al plato (Paso 3) para transferir el fluido a éste. Ver Figura 750C - 1.



Figura 750C - 1. Usando una varilla de vidrio para colocar el fluido de referencia en el plato

C.4.3 *Método de la espátula (Figura 750C - 2)* – Siempre y cuando se use cuidadosamente, se puede emplear una espátula para transferir el fluido. Como cuidado especial, se debe evitar atrapar aire cuando se extrae el fluido de la botella (Paso 1). Se unta la masa de la espátula sobre el plato (Paso 2) y se corta la masa delineando a través de los bordes del plato (Paso 3). Este método parece ser el más difícil de llevar a cabo y es el menos recomendado de los tres.



Figura 750C - 2. Usando una espátula para colocar el fluido de referencia en el plato

C.4.4 *Método del toque directo (Figura 750C - 3)* – Si el reómetro está equipado con platos que se pueden quitar y reinstalar sin afectar la separación de referencia, se quita uno de ellos y se toca la superficie del plato con la superficie del fluido en la botella (Paso 1). Se retira el plato de la botella, mientras se trae una masa del fluido junto con el

plato (Paso 2). Se invierte el plato y se permite que el fluido fluya de afuera hacia adentro en forma de hongo (Paso 3).

- C.4.5** Se procede inmediatamente como se indica en el numeral 9.5, se arregla la probeta del fluido de referencia y se forma la saliente.
- C.4.6** Se ensaya el espécimen del fluido de referencia, como se describe en la Sección 10.



Figura 750C - 3. Método del toque directo para colocar el fluido de referencia en el plato

ANEXO D

SELECCIÓN DEL CIERRE DE LA SEPARACIÓN PARA OBTENER LA SALIENTE

D.1 Necesidad de medir con exactitud el diámetro del espécimen:

- D.1.1** La exactitud de las medidas de DSR depende de la exactitud en la medida del diámetro del espécimen de ensayo. El diámetro del espécimen se asume igual al diámetro de los platos de prueba. Por esta razón, el recorte del exceso de ligante asfáltico y el último cierre de la separación para producir una leve saliente en el espécimen de ensayo son pasos críticos en el procedimiento de ensayo del DSR. Cuando la separación es cerrada a su dimensión final, la saliente debe ser de tamaño suficiente para compensar cualquier contracción del ligante y evitar así una superficie cóncava como la mostrada en la Figura 750D -

1. El diámetro de la probeta del espécimen en la Figura 750D - 1 se acerca a “d” más que a “d'”, el diámetro del plato. El módulo, G^* , se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$|G^*| = \left[\frac{2h}{\pi r^4} \right] \times \left[\frac{\tau}{\theta} \right] \quad [750.4]$$

Donde: G^* : Módulo complejo;

τ : Torque aplicado al espécimen de ensayo;

h: Espesor del espécimen de ensayo;

θ : Rotación angular, rad;

r: Radio del plato de ensayo.

D.1.2 Según la ecuación anterior, el módulo depende del radio (o diámetro) elevado a la cuarta potencia. Por consiguiente, una concavidad pequeña en la superficie exterior del espécimen de la prueba, como la mostrada en la Figura 750D - 1, tendrá gran efecto sobre el módulo medido, porque el diámetro real de la probeta será menor que el diámetro del plato. Para una cantidad dada de concavidad, el efecto en el módulo medido es mayor para el plato de 8 mm que para el de 25 mm. Un resultado más deseable es tener una ligera protuberancia como la ilustrada en la Figura 750D - 2. Los esfuerzos de corte no se transfieren directamente del plato al ligante en voladizo; por consiguiente, el efecto de una ligera saliente en el módulo medido es mucho menor que el efecto de una ligera concavidad. Se debe notar que los errores en el diámetro del espécimen de ensayo no afectan los valores medidos del ángulo de fase.

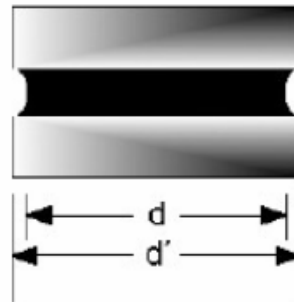


Figura 750D - 1. Superficie cóncava resultante del cierre insuficiente después de recortar la probeta

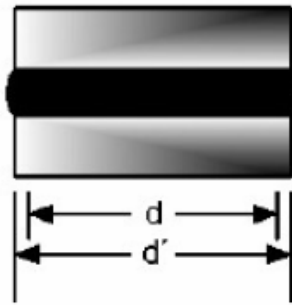


Figura 750D - 2. Saliente apropiada

D.2 *Valores recomendados para el cierre de la separación:*

D.2.1 Los valores recomendados del cierre requerido de la separación para formar a la temperatura de la prueba una saliente similar a la mostrada en la Figura 750D - 2, se presentan en el numeral 9.5, y son 50 μm y 100 μm para los platos de 25 mm y de 8 mm, respectivamente. Aunque estos valores pueden ser apropiados para muchos reómetros, pueden no serlo para todos. La pertinencia de estos valores a un reómetro específico se puede determinar preparando un espécimen de ensayo utilizando el cierre recomendado y observando la forma de la saliente después del cierre final de la separación y después de que el espécimen de ensayo se encuentre a la temperatura de prueba. Si los valores recomendados de cierre no dan lugar a una saliente apropiada, se deberán someter a ajuste. En las Figuras 750D - 3 a 750D - 5, se muestran salientes apropiadas e inadecuadas. Una lupa resulta útil para examinar la forma de la saliente. Independientemente del cierre requerido para producir una saliente deseable, en los cálculos se deberá utilizar la separación real.

D.3 *Factores que afectan el desarrollo de la saliente:*

D.3.1 Varios factores pueden afectar la formación de la saliente a la temperatura de prueba. Éstos incluyen: (1) el valor del cierre usado para crear la saliente; (2) la diferencia entre la temperatura de recorte, la temperatura a la cual se crea la saliente y la temperatura de ensayo; (3) las características de expansión y contracción térmica del reómetro; (4) la contracción y la expansión térmica del ligante asfáltico.

D.3.2 Una superficie cóncava es más probable que se forme a las temperaturas intermedias que a temperaturas mayores de prueba (en el plato de 8 mm más que en el plato de 25 mm). En efecto, a las

mayores temperaturas de ensayo el material en exceso se puede escurrir de los platos como se muestra en la Figura 750D - 5. Esta situación también se debe evitar y se pueden requerir valores de cierre de la separación algo menores a los valores recomendados.

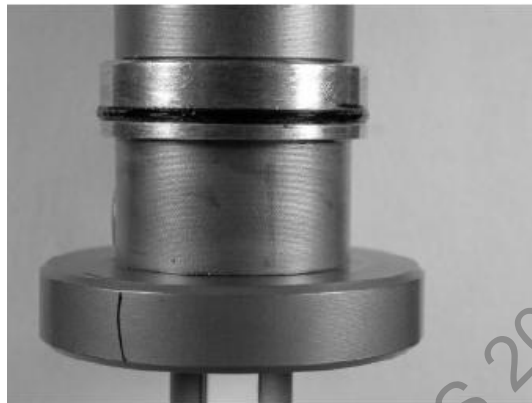


Figura 750D - 3. Tamaño adecuado de saliente



Figura 750D - 4. Saliente cóncava



Figura 750D - 5. Saliente excesiva

ANEXO E

DETERMINACIÓN DEL TIEMPO PARA ALCANZAR EL EQUILIBRIO TÉRMICO

E.1 *Motivo para determinar este tiempo:*

E.1.1 Luego de montado el espécimen de ensayo en el DSR, le toma algún tiempo al ligante asfáltico que se encuentra entre los platos alcanzar el equilibrio térmico. Debido a la existencia de gradientes térmicos entre los elementos de ensayo y el espécimen, le puede tardar más tiempo al espécimen en alcanzar el equilibrio térmico que el indicado por el termómetro del DSR. Por lo tanto, es necesario determinar experimentalmente el tiempo que necesita el espécimen para alcanzar el equilibrio térmico.

E.1.2 El tiempo requerido para obtener el equilibrio térmico varía según el tipo de reómetro. Entre los factores que lo pueden afectar, se encuentran los siguientes: (1) diseño del reómetro y si se usa aire o líquido como medio para calentamiento y enfriamiento; (2) diferencia entre la temperatura ambiente y la de ensayo; (3) diferencia entre la temperatura de recorte de la muestra y la de ensayo; y (4) tamaño del plato (8 mm o 25 mm).

E.1.3 No es posible especificar un solo tiempo como tiempo requerido para obtener el equilibrio térmico. Por ejemplo, el equilibrio se alcanza con mayor rapidez en reómetros controlados con líquido que en los que son enfriados con aire. Esto requiere que el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio térmico sea establecido para cada reómetro de manera individual, para las temperaturas típicas de recorte y ensayo y para las condiciones mismas de la prueba.

E.2 *Método para determinar el tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico:*

E.2.1 Un estimativo confiable del tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico se puede obtener monitoreando la temperatura del DSR y el módulo complejo de una muestra montada entre los platos de ensayo. Debido a que el módulo es altamente sensible a la temperatura, éste es un excelente indicador del equilibrio térmico. Se

recomienda el siguiente procedimiento para determinar el tiempo para alcanzar el equilibrio.

- E.2.1.1** Se monta una muestra de ligante en el DSR y se recorta de la manera usual. Se crea una saliente y se llevan la cámara de ensayo o el fluido a la temperatura de ensayo.
 - E.2.1.2** Se opera el reómetro de manera continua a 10 rad/s usando un ligante asfáltico sin modificar (uno que no cambie de módulo con el corte repetido). Se debe usar el menor valor de deformación que brinde una buena resolución en la medición.
 - E.2.1.3** Se registra el módulo a intervalos de 30 segundos y se elabora un dibujo que lo relacione con el tiempo (Figura 750 - 4).
 - E.2.1.4** El tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico es el necesario para alcanzar un módulo constante. Típicamente, este tiempo será mayor que el requerido para alcanzar una lectura constante en el termómetro del DSR.
- E.2.2** Debido a que el tiempo requerido para alcanzar el equilibrio térmico variará con la temperatura y las condiciones del ensayo, este tiempo se deberá establecer de manera separada para las medidas a las temperaturas medias y elevadas. Una vez establecido el tiempo para alcanzar el equilibrio térmico, el procedimiento no se deberá repetir a menos que cambien las condiciones de ensayo.

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

MÉTODO DE ENVEJECIMIENTO ACELERADO DE LIGANTES ASFÁLTICOS UTILIZANDO UNA CÁMARA DE ENVEJECIMIENTO A PRESIÓN (PAV)

INV E – 751 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para producir el envejecimiento acelerado (oxidación) de un ligante asfáltico por medio de aire presurizado y una temperatura elevada. Esta prueba pretende simular los cambios reológicos causados a los ligantes asfálticos por el envejecimiento por oxidación en servicio, pero no brinda información exacta sobre las velocidades relativas de envejecimiento. El ensayo está proyectado para ser empleado con los residuos provenientes del ensayo de película delgada rotatoria (norma INV E-720), el cual está diseñado para simular el envejecimiento que sufre el ligante en la planta asfáltica.

Nota 1: Los asfaltos modificados pueden sufrir separación de fases o formar natas durante el acondicionamiento en el horno en el ensayo de la norma INV E-720, lo que hace que los resultados de los ensayos subsecuentes sobre el residuo puedan carecer de representatividad para simular su envejecimiento a corto plazo. Este problema se puede presentar, también, durante el acondicionamiento en el PAV, razón por la cual este ensayo puede resultar inadecuado para algunos tipos de asfaltos modificados.

Nota 2: El acondicionamiento de este ensayo no ha sido validado para productos que contengan materiales particulados.

- 1.2** El envejecimiento de los ligantes asfálticos durante el servicio es afectado por la temperatura ambiente y por variables asociadas a la mezcla asfáltica, tales como las proporciones volumétricas, la permeabilidad de la mezcla, las características de los agregados y, posiblemente, otros factores. Este proceso de ensayo está proyectado para brindar una evaluación de la resistencia relativa de diferentes ligantes asfálticos al envejecimiento por oxidación a altas temperaturas y presiones, pero no considera las variables de la mezcla, ni suministra la resistencia relativa al envejecimiento en condiciones de servicio.
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E-751-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** En primer término, el ligante asfáltico a ensayar se envejece en un horno en la prueba de película delgada rotatoria, de acuerdo con la norma INV E-720. Posteriormente, el residuo proveniente del ensayo anterior se coloca en bandejas de acero y se envejece a la temperatura de envejecimiento especificada durante 20 h en una cámara presurizada con aire a 2.10 MPa. La temperatura de envejecimiento se selecciona según el grado del ligante asfáltico. Una vez terminado el proceso en la cámara PAV, el residuo de ligante asfáltico es desgasificado por medio de vacío.

3 USO Y SIGNIFICADO

- 3.1** Este método está diseñado para simular el envejecimiento por oxidación que ocurre en ligantes asfálticos durante la vida de servicio del pavimento. El residuo proveniente de este ensayo se puede usar para estimar las propiedades físicas o químicas de ligantes asfálticos después de varios años de envejecimiento en el campo.
- 3.2** El ligante asfáltico envejecido mediante el ensayo descrito en esta norma, se usa para determinar las propiedades de desempeño del asfalto exigidas por algunas especificaciones.
- 3.3** Para ligantes asfálticos de diferentes grados o provenientes de distintas fuentes, no existe una correlación única entre el tiempo de envejecimiento y la temperatura utilizados en el ensayo, y la edad y la temperatura del pavimento en servicio. Por lo tanto, para unas condiciones climáticas de servicio dadas, no es posible seleccionar para la cámara presurizada una sola condición de tiempo, temperatura y presión, que permita predecir las propiedades del ligante asfáltico después de unas condiciones específicas de exposición en servicio.
- 3.4** El grado relativo de endurecimiento de diferentes ligantes asfálticos varía con las temperaturas y presiones de acondicionamiento en la cámara presurizada. Por lo tanto, dos ligantes asfálticos pueden envejecer a una velocidad similar bajo una condición determinada de temperatura y presión, pero hacerlo de manera diferente bajo otra condición. Por lo tanto, las velocidades relativas de envejecimiento para una serie de asfaltos en las condiciones del PAV pueden diferir significativamente de las reales del pavimento en servicio a temperaturas y presiones ambientales más bajas.

4 EQUIPO

- 4.1 *Sistema de ensayo* – Consiste en una cámara de presión, dispositivos controladores de presión, dispositivos controladores de temperatura, dispositivos para la medición de la presión y la temperatura y un sistema para el registro de la temperatura y la presión (Figura 751 - 1).

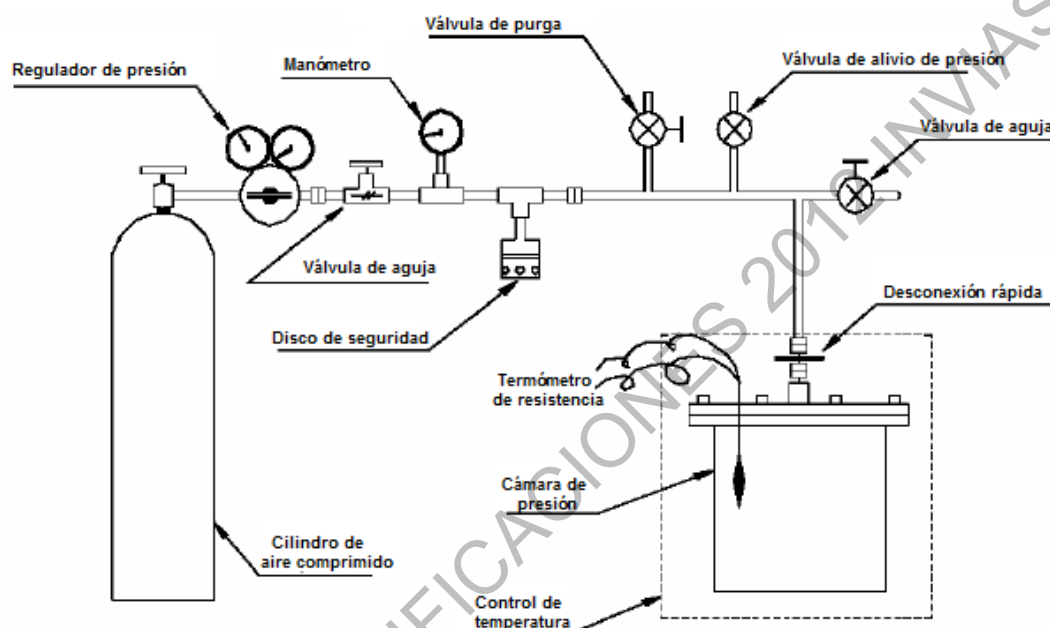
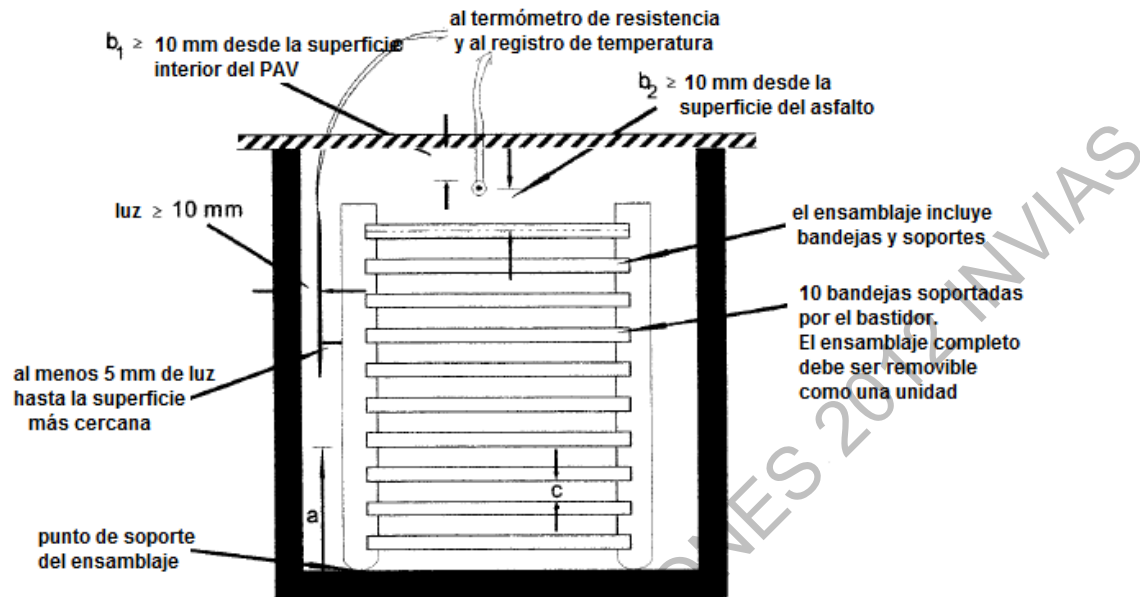


Figura 751 - 1. Esquema de la configuración típica de un sistema de ensayo de envejecimiento acelerado en cámara de presión PAV

- 4.1.1 *Cámara de presión* – Una cámara de presión de acero inoxidable, diseñada para operar a 2.1 ± 0.1 MPa, entre 90 y 110° C, con dimensiones interiores adecuadas para alojar un bastidor con 10 bandejas para el ensayo. El bastidor debe ser apto para sostener 10 bandejas de acero inoxidable en posición horizontal, de modo que el espesor de una delgada capa de ligante ubicada en el fondo de cada bandeja mantenga una uniformidad razonable. El bastidor debe estar diseñado de manera que su inserción y remoción de la cámara sea fácil, cuando todos los elementos y el ligante estén a la temperatura de ensayo. En la Figura 751 - 2 se muestra un esquema de la posible configuración de la cámara y del bastidor con las bandejas, con las dimensiones relevantes, en la Figura 751 - 3 una vista general de equipo, y en la Figura 751 - 4 se muestran detalles de la bandeja y el bastidor.

Nota 3: La cámara de presión puede ser una unidad separada que se coloque dentro de un horno de ventilación forzada para acondicionar los ligantes asfálticos, o ser una parte integral

del sistema de control de temperatura (por ejemplo, por calentamiento directo de la cámara o rodeándola con una unidad de calentamiento sujeta a ella, o un baño de agua). Para los fines prácticos, se recomienda que la cámara tenga 250 mm de diámetro y 265 mm de altura.



Nota 1 - La distancia "a" controla la horizontalidad de las bandejas. El ensamblaje debe estar sostenido en tres o más puntos. La distancia "a", medida desde cada punto de soporte a la parte inferior de la bandeja (o al soporte de la bandeja), debe ser controlada con una precisión de ± 0.05 mm.

Nota 2 - Las distancias "b₁" y "b₂" deben ser tales, que cualquier parte activa del transductor de temperatura se encuentre más de 10 mm de cualquier superficie adyacente.

Nota 3 - La distancia "c" debe ser ≥ 12 mm.

Figura 751 - 2. Diagrama que muestra la ubicación de las bandejas y el termómetro de resistencia dentro de la cámara de presión

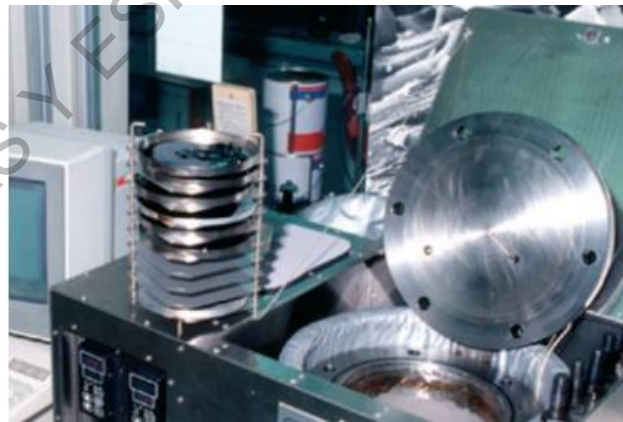


Figura 751 - 3. Vista general del equipo

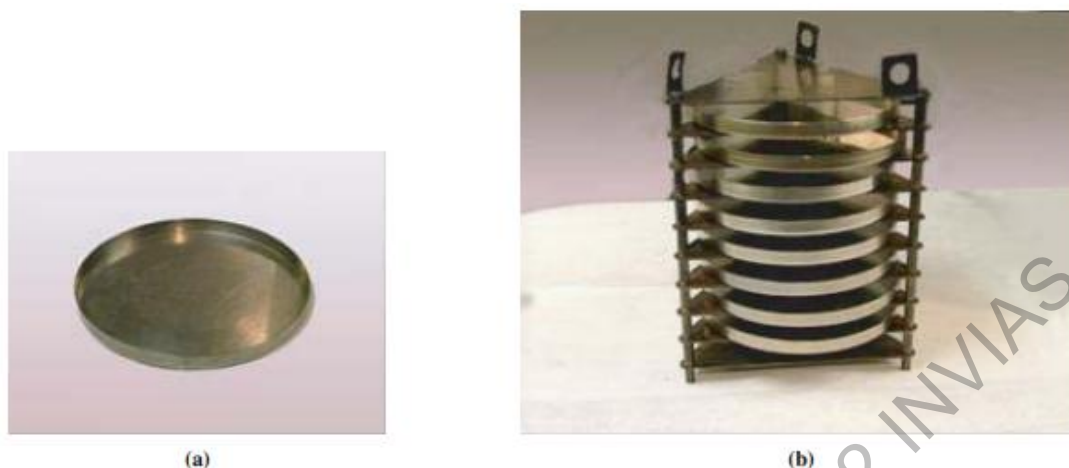


Figura 751 - 4. Ensayo PAV: (a) bandeja; (b) bastidor con bandejas

4.1.2 Dispositivos para el control de la presión:

4.1.2.1 Una válvula de seguridad que evite presiones superiores a la de diseño de la cámara que, en ningún caso, deberá exceder de 2.5 MPa durante el proceso de envejecimiento.

4.1.2.2 Un regulador de presión capaz de controlar la presión dentro de la cámara, con una precisión de ± 0.02 MPa y con una capacidad adecuada para reducir la presión proveniente de la fuente de aire comprimido, de manera que la presión dentro de la cámara cargada se mantenga a 2.1 ± 0.1 MPa durante el ensayo.

4.1.2.3 Una válvula de purga de liberación lenta o un controlador de presión, que permita reducir la presión en la cámara, una vez terminado el ensayo, desde 2.1 MPa hasta la presión atmosférica local, en un lapso de 8 a 15 min.

4.1.3 *Dispositivo para el control de la temperatura* – Un dispositivo digital de control de temperatura como los descritos en los numerales 4.1.4.1 o 4.1.4.2, para mantener la temperatura durante el proceso de envejecimiento en todos los puntos dentro de la cámara presurizada, con una exactitud de $\pm 0.5^\circ$ C.

4.1.3.1 Un horno de tiro forzado o baño líquido capaz de obtener en 2 horas la temperatura de ensayo en la cámara despresurizada, luego de colocar en ésta el bastidor con las bandejas. El dispositivo debe ser capaz de mantener la

temperatura dentro de la cámara en el valor especificado para el ensayo $\pm 0.5^{\circ}$ C. Si se usa un horno, sus dimensiones interiores deben ser lo suficientemente amplias para permitir la libre circulación del aire forzado dentro de él y alrededor de la cámara, cuando ésta se encuentre dentro del horno. El horno deberá tener un soporte para sostener la cámara cargada en una posición elevada sobre la superficie inferior del horno.

- 4.1.3.2** Una cámara de presión con un sistema integral de control de temperatura, que sea capaz de conducir la cámara de presión cargada y despresurizada a la temperatura de precondicionamiento dentro de las 2 horas siguientes a la colocación de la cámara en el dispositivo de calentamiento, y mantener, en todos los puntos dentro de la cámara a presión, la temperatura de ensayo $\pm 0.5^{\circ}$ C.

Nota 4: Puede ser necesario el precalentamiento de la cámara de presión para alcanzar la temperatura de ensayo en el período requerido de 2 horas.

4.1.4 *Dispositivos para medir la temperatura y la presión:*

- 4.1.4.1** Un detector de temperatura de resistencia de platino (RTD) con exactitud de 0.1° C y que satisfaga el estándar IEC 751, para medir la temperatura dentro de la cámara de presión. El RTD se debe calibrar con su respectivo medidor o circuito electrónico como una unidad integral.

- 4.1.4.2** *Dispositivo de registro de la temperatura* – Una registradora de cinta u otro tipo de sistema de adquisición de datos capaz de registrar temperaturas durante el ensayo con exactitud de $\pm 0.1^{\circ}$ C, con un intervalo mínimo de una vez por minuto. Como alternativa, se puede usar un dispositivo electrónico capaz de registrar solamente las temperaturas máxima y mínima (con exactitud de $\pm 0.1^{\circ}$ C).

- 4.1.4.3** Un manómetro capaz de medir la presión dentro de la cámara con una precisión de ± 0.02 MPa durante el ensayo.

- 4.2** *Bandejas de acero inoxidable* – Diez bandejas cilíndricas de acero inoxidable, cada una de 140 ± 1 mm (5.5 ± 0.04 ") de diámetro interior y 9.5 ± 1.5 mm ($3/8 \pm 1/16$ ") de profundidad, de fondo plano. El espesor de la lámina metálica deberá ser, aproximadamente, de 0.6 mm (0.024").

Nota 5: Se requieren bandejas de acero inoxidable y no de aluminio para uso en el PAV, puesto que proporcionan un ambiente más seguro para los hidrocarburos bajo elevadas temperaturas y presiones y, además, no se deforman con tanta facilidad.

Nota 6: Las bandejas presentan tendencia al alabeo con el uso. Aunque los ensayos muestran que un pequeño grado de alabeo no afecta significativamente los resultados, conviene revisarlas con frecuencia, para eliminar las que se encuentren alabeadas o deterioradas. Se ha encontrado que el espesor de lámina indicado en el numeral 4.2 provee una rigidez adecuada.

4.3 *Balanza* – Se deberá emplear una balanza con capacidad de 200 g y sensibilidad de 0.001 g.

4.4 *Horno de vacío* – Un horno de vacío, capaz de mantener una temperatura hasta de 180° C con una exactitud de $\pm 5,0^{\circ}$ C y una presión absoluta de 15 ± 1.0 kPa.

4.4.1 *Dispositivos para medir la temperatura y la presión:*

4.4.1.1 *Dispositivo para medir la temperatura* – Un sensor de temperatura capaz de medir la temperatura de la cámara del horno de vacío con una exactitud de $\pm 5^{\circ}$ C.

4.4.1.2 *Dispositivo para medir el vacío* – Un manómetro de vacío, o uno de presión absoluta, o un sistema de medida digital que mida la presión absoluta en la cámara dentro de ± 0.5 kPa (± 1.0 pg Hg).

4.5 *Sistema de vacío* – Un sistema de vacío capaz de generar y mantener presiones absolutas bajo 15 kPa. Un sistema de vacío adecuado incluye una bomba de vacío, un aspirador de aire o un sistema casero de vacío.

Nota 7: Un manómetro de vacío suministra la diferencia de presión entre la presión atmosférica y la presión absoluta en el horno de vacío. Al nivel del mar, donde la presión atmosférica es 101.3 kPa (29.9 pg Hg), y con una presión absoluta dentro del horno igual a 15.0 kPa (4.4 pg Hg), el manómetro de vacío leerá 86.3 kPa (25.5 pg Hg). A 1000 m (3281 pies) sobre el nivel del mar, donde la presión atmosférica es 89.7 kPa (26.5 pg Hg), el manómetro de vacío leerá 26.5 menos 4.4 pg Hg, es decir, 22.1 pg Hg. La corrección por efecto de la altura sobre el nivel del mar se puede adoptar restando 0.85 pg H por cada 250 m de altitud (o restando 0.52 pg Hg por cada 500 pies).

4.6 *Horno* – Que pueda mantener una temperatura de $168 \pm 5^{\circ}$ C.

5 MATERIALES

- 5.1 Aire comprimido** – Que cumpla los requerimientos mínimos de la CGA (*Compressed Gas Association*) para el aire grado D y que tenga un punto de condensación máximo de -40°C .

Nota 8: En los Estados Unidos de América, el aire de grado D de la CGA se conoce comúnmente como aire para respiración OSHA (Occupational Safety and Health Administration). La CGA define el aire grado D, como conteniendo 19.5 – 23.5 % de oxígeno, balanceado principalmente por nitrógeno. El dióxido de carbono (CO_2) está limitado a 1000 ppm (v/v), el monóxido de carbono (CO) a 10 ppm y el aceite (condensado) a 5 mg/m^3 , a temperatura y presión normales.

6 RIESGOS

- 6.1** Se deben emplear procedimientos seguros de laboratorio para el manejo del cemento asfáltico caliente cuando se preparen y acondicionen los especímenes y se remuevan los residuos de la cámara de presión. Se debe tener especial cuidado al levantar la cámara.

7 CALIBRACIÓN Y NORMALIZACIÓN

- 7.1 Sensores de temperatura:**

- 7.1.1 Dispositivo termométrico del PAV** – Se verifica la calibración del RTD a $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ al menos cada 6 meses, usando un termómetro calibrado de acuerdo con un estándar nacional. La verificación se debe realizar cerca de la temperatura de uso, en un rango de 90 a 110°C .

Nota 9: Si el sensor dentro del PAV está orientado en dirección horizontal, se puede usar un bloque de bronce o latón de $25 \times 25 \times 25\text{ mm}$, con orificios taladrados en dos caras adyacentes, para acomodar los sensores, con el fin de acoplarlos térmicamente.

- 7.1.2 Dispositivo termométrico del horno de vacío** – Se debe verificar su calibración a $\pm 1^{\circ}\text{C}$ al menos cada 6 meses, usando un termómetro calibrado de acuerdo con un estándar nacional. La verificación se debe realizar a una temperatura que se encuentre en un rango de $\pm 10^{\circ}\text{C}$ la de uso.

- 7.2 Manómetros de presión y vacío:**

- 7.2.1 Manómetro de presión del PAV** – Se debe verificar su calibración dentro de $\pm 0.02\text{ MPa}$ al menos cada 6 meses, usando un indicador de

presión calibrado de acuerdo con un estándar nacional. La verificación se debe realizar a una presión cercana a la de uso, en un rango de 2.00 a 2.10 MPa.

7.2.2 *Vacío del horno de vacío o manómetro de presión absoluta* – La calibración de la cámara de vacío, o el manómetro de presión absoluta, o el sistema digital de medición de vacío, se deben verificar al menos cada 6 meses, para igualar una lectura de presión absoluta con una variación máxima de ± 0.5 kPa (± 0.2 pg Hg), usando un indicador de presión calibrado de acuerdo con un estándar nacional. La verificación se debe realizar a una presión cercana a la de uso, en un rango de 12.5 a 17.5 kPa (Ver nota 7).

7.3 *Planicidad* – La planicidad relativa de las muestras es importante para los resultados del proceso de envejecimiento.

7.3.1 Se verifica la planicidad del bastidor solo, colocándolo sobre una superficie nivelada y midiendo la planicidad del estante superior del bastidor. Para ello, se recomienda un nivel circular tipo ojo de buey. También, se permite el uso de un nivel pequeño de mecánico [de unos 150 mm (6")] pero, en este caso, la planicidad se deberá verificar en ángulos rectos.

7.3.2 La planicidad del bastidor se debe verificar también cuando se encuentre dentro de la cámara de presión. Tanto la cámara como el bastidor se deberán calentar a la temperatura de operación antes de realizar esta verificación. El proceso es similar al descrito en el numeral 7.3.1, salvo que los soportes del horno para el ensamblaje o los soportes del sistema de nivelación se deben ajustar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

7.4 *Normalización* – Para aquellas cámaras donde la presurización sea operada por el operador, se debe emplear el procedimiento descrito en seguida, para determinar la temperatura óptima a la cual se debe aplicar la presión a la cámara. Se deberán realizar algunas corridas de envejecimiento. Se carga la cámara con el bastidor y las bandejas vacías y se incrementa la temperatura dentro de la cámara hasta la temperatura para la prueba de envejecimiento. Cuando la temperatura dentro de la cámara esté dentro de 10° C de la temperatura de envejecimiento elegida, se aplica una presión de aire de 2.1 ± 0.1 MPa. Se registra el incremento de temperatura producido al aplicar la presión. Se repite el procedimiento al menos tres veces y se usa el promedio del incremento de temperatura para establecer la temperatura a la cual se

debe aplicar la presión a la cámara para realizar el proceso de envejecimiento. Esta información es de utilidad en el numeral 8.9.

8 PROCEDIMIENTO

- 8.1** Se coloca el bastidor dentro de la cámara de presión. Si se usa un horno, se coloca la cámara en el horno, se elige la temperatura para la prueba de envejecimiento, y se precalienta la cámara a dicha temperatura. Si se usa una cámara con un control de temperatura integrado, se selecciona la temperatura de ensayo y se siguen las instrucciones del fabricante para el precalentamiento.

Nota 10: Para acondicionar el ligante en conformidad con una determinada especificación, se debe seleccionar la temperatura de envejecimiento establecida en dicha especificación.

Nota 11: Para cámaras colocadas en un horno, se precalienta la cámara de presión entre 10 y 15° C por encima de la temperatura de ensayo, para reducir la caída de temperatura en la cámara durante el proceso de carga de las bandejas y minimizar el tiempo requerido para estabilizar el sistema una vez cargado, y obtener así la temperatura requerida con mayor facilidad.

Nota 12: La temperatura de envejecimiento en el PAV se selecciona teniendo en cuenta diferentes regiones climáticas. Temperaturas que excedan de, aproximadamente, 115° C, pueden cambiar la estructura química del ligante asfáltico al usar la práctica de envejecimiento acelerado, y se deben evitar.

- 8.2** Si se requiere, se envejece previamente el ligante asfáltico mediante el método de la norma INV E-720, ensayo de película delgada rotatoria.
- 8.3** Se combinan los residuos calientes provenientes del ensayo anterior dentro de un solo recipiente, se agita para mezclar y se vacía en las bandejas de acero inoxidable de acuerdo con el numeral 8.4, o bien se deja que el residuo se enfríe a temperatura ambiente, se cubre y se guarda hasta realizar el ensayo de envejecimiento acelerado. Si se ha permitido que el ligante asfáltico se enfríe a temperatura ambiente, se debe calentar nuevamente hasta que presente suficiente fluidez, se agita para homogeneizarlo y después se vierte en las bandejas.
- 8.4** Se coloca cada bandeja de acero inoxidable sobre una balanza y se agregan a ella 50 ± 0.5 g de ligante asfáltico. Esta cantidad dará lugar a una capa de ligante de unos 3.2 mm de espesor.

Nota 13: El cambio de masa no se mide como parte de este procedimiento. El cambio de masa no es significativo, porque el ligante asfáltico absorbe aire como resultado de la presurización. Cualquier ganancia en masa como resultado de la oxidación lleva enmascarada la absorción de aire por parte del ligante como resultado de la presurización.

- 8.5** Si una cámara de calentamiento en horno es precalentada a una temperatura distinta a la deseada, se reajusta el control de temperatura del horno a la temperatura de envejecimiento.
- 8.6** Las operaciones descritas en los numerales 8.7 y 8.8 se deben realizar tan rápidamente como sea posible, para evitar el enfriamiento de la cámara y del bastidor.
- 8.7** Se colocan las bandejas con ligante asfáltico en el bastidor. Durante un mismo ensayo, en la cámara de presión se pueden colocar bandejas que contengan ligantes asfálticos provenientes de distintas fuentes o grados. Se coloca el bastidor con las bandejas llenas dentro de la cámara de presión y se cierra. No es necesario poner bandejas vacías en los estantes del bastidor donde no se hayan colocado muestras.
- 8.8** Si se usa un horno, se coloca la cámara de presión cargada y cerrada dentro del horno. Se conectan las líneas del termómetro de resistencia y del suministro de aire a las conexiones externas de la cámara, según lo requieran el diseño de la cámara y la configuración del horno.
- 8.9** Para cámaras de presión colocadas en un horno, se espera hasta que la temperatura en el interior de la cámara alcanza la especificada menos el valor determinado en el numeral 7.4, se aplica una presión de aire de $2,1 \pm 0,1$ MPa y se inicia la medida del tiempo del ensayo. Si se usa un control integrado de temperatura en la cámara, se siguen las instrucciones del fabricante con respecto a la temperatura deseada de pre-calentamiento para presurizar la cámara a $2,1 \pm 0,1$ MPa y se inicia la medida del tiempo del ensayo. Si la temperatura dentro de la cámara de presión no alcanza la temperatura deseada mediante la aplicación de presión dentro de 2 h contadas desde la carga del bastidor con las bandejas, se interrumpe el procedimiento y se descartan las muestras de asfalto.

Nota 14: Presiones que excedan 2.1 MPa no incrementan sustancialmente la rapidez de envejecimiento. Por ello, presiones mayores que la señalada no se justifican.

Nota 15: Una vez presurizada, la temperatura dentro de la cámara de presión se equilibra rápidamente. El tiempo bajo presión, sin incluir el período de precalentamiento a presión ambiente, corresponde al tiempo de envejecimiento. Dado que el ligante asfáltico ha sido envejecido a 163° C en el ensayo de película delgada rotatoria, el envejecimiento producido a presión ambiente durante el período de precalentamiento es pequeño, y por lo tanto, ese tiempo no se considera.

- 8.10** Se mantienen la temperatura y la presión de aire dentro de la cámara de presión por $20 \text{ h} \pm 10 \text{ min}$.

- 8.11** Si la temperatura varía en relación con la elegida para el ensayo en más de $\pm 0.5^\circ \text{C}$ durante más de 60 minutos en las 20 horas del período de envejecimiento, las condiciones del proceso se declaran inválidas y se descarta la muestra. De la misma manera se procederá si la temperatura indicada por el dispositivo de registro varía respecto de la elegida en más de 5°C por más de 10 minutos acumulados durante las 20 horas. Si la presión al término del período de ensayo está por fuera del rango indicado en el numeral 8.9, también se declararán inválidas las condiciones del proceso y se descarta la muestra. Si se empleó un dispositivo que registra sólo las temperaturas máxima y mínima, las condiciones del proceso se declararán inválidas y se descartará la muestra, si una de dichas temperaturas varió en más de $\pm 0.5^\circ \text{C}$ durante las 20 horas del ensayo.
- 8.12** Al finalizar el período de ensayo de 20 h, se comienza a reducir lentamente la presión dentro de la cámara usando la válvula de purga, la cual se debe ajustar con una apertura tal, que requiera entre 8 y 15 min para igualar las presiones externas e internas de la cámara, evitando así el excesivo burbujeo y la formación de espuma en el ligante. Alternativamente, se puede programar el regulador de presión para que libere lentamente la presión en un plazo de 15 min. Los tiempos para la liberación y el equiparamiento de las presiones no se deben incluir dentro de las 20 horas del ensayo.
- 8.13** Se hace vacío para remover el aire de las muestras envejecidas.
- 8.13.1** Se remueve del PAV el bastidor con las bandejas y se colocan éstas en un horno a $168 \pm 5^\circ \text{C}$ por 15 ± 1 min.
- 8.13.2** Se precalienta el horno de vacío hasta estabilizarlo a $170 \pm 5^\circ \text{C}$.
- 8.13.3** Se remueven las bandejas del horno y se vierte el residuo caliente desde las bandejas a un solo recipiente, cuyas dimensiones permitan que la totalidad del residuo ocupe en él un espesor entre 15 y 40 mm (de ser necesario, se deberá usar más de un recipiente). Luego de vaciar la última bandeja, se transfiere el recipiente al horno de vacío dentro del minuto siguiente, donde se mantiene a $170 \pm 5^\circ \text{C}$ durante 10 ± 1 min sin someterlo a vacío.
- Nota 16: Es imperativo calentar el ligante antes de someterlo a vacío, ya que una vez aplicado el vacío se transfiere poco calor a la muestra*
- 8.13.4** Después de los 10 min de equilibrio, se abre la válvula de vacío tan rápidamente como sea posible para reducir la presión en el horno a 15 ± 2.5 kPa absolutos (Ver nota 7) durante 30 ± 1 min. Al final de los 30

min, se libera el vacío y se retira el recipiente. Si permanecen burbujas en la superficie del residuo, se deben remover aplicando una llama o un cuchillo caliente sobre la superficie.

- 8.14** Si los ensayos para determinar las propiedades del residuo no se realizan inmediatamente, la muestra se puede cubrir y almacenar a temperatura ambiente para futuros ensayos. No se han realizado estudios para determinar si el ensayo de envejecimiento y las pruebas subsecuentes se deben ejecutar como una secuencia continua. Por lo tanto, por ahora resulta aceptable verter el residuo de las bandejas del PAV en los recipientes para desgasificación, y luego: (1) permitir el enfriamiento de la muestra y desgasificar otro día, o (2) desgasificar el material envejecido y luego permitir su enfriamiento. Los pasos críticos antes de ensayar las muestras envejecidas son: (1) recalentar el asfalto envejecido a $168 \pm 5^\circ \text{C}$ por un máximo de 30 min antes de usar la muestra para los ensayos subsecuentes, y (2) agitar la muestra para asegurar su homogeneidad.

9 INFORME

- 9.1** Se debe reportar la siguiente información:

9.1.1 Identificación de la muestra.

9.1.2 Temperatura de envejecimiento del ensayo, aproximada a 0.5°C .

9.1.3 Registro de temperaturas máximas y mínimas, aproximadas a 0.1°C .

9.1.4 Tiempo total de envejecimiento durante el cual la temperatura estuvo fuera del rango específico, aproximado al minuto.

9.1.5 Tiempo total de envejecimiento, en horas y minutos.

9.1.6 Indicar la temperatura y el tiempo de calentamiento, si se requirió una temperatura mayor de 163°C en cualquier momento durante el manejo del material.

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 6521 – 08

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

MÉTODO DE ENSAYO PARA MEDIR LA RIGIDEZ EN FLUENCIA POR FLEXIÓN A BAJAS TEMPERATURAS MEDIANTE EL REÓMETRO DE VIGA DE FLEXIÓN (BBR)

INV E – 752 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma cubre la determinación de la rigidez o fluencia en flexión bajo carga constante de ligantes asfálticos, mediante un reómetro de viga de flexión. Es aplicable a materiales con valores de rigidez en flexión entre 20 MPa y 1 GPa (valores de deformabilidad en flexión de 50 nPa^{-1} a 1 nPa^{-1}) y puede ser usado con material original o envejecido de acuerdo con los métodos de las normas INV-720 (RTFOT) o INV E-751 (PAV). El equipo de ensayo está diseñado para operar en un rango de temperatura desde -36 hasta 0°C .
- 1.2** Los resultados obtenidos no son válidos para vigas de ligante asfáltico que se deflecten más de 4 mm o menos de 0.08 mm, cuando se ensayen de acuerdo con esta norma.
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E 752-07.

2 DEFINICIONES

2.1 *Definiciones básicas:*

2.1.1 *Ligante asfáltico* – Cemento asfáltico producido a partir del residuo de petróleo, con o sin la adición de modificadores orgánicos no particulados.

2.1.2 *Endurecimiento físico* – Rigidización de los ligantes asfálticos dependiente del tiempo, la cual resulta del incremento retardado de rigidez cuando el asfalto es almacenado a bajas temperaturas. El incremento de rigidez debido a endurecimiento físico es reversible al elevar la temperatura.

2.2 Descripción de términos específicos de esta norma:

- 2.2.1** *Flujo plástico (creep) por flexión* – Para el propósito de este método, se usa este término para definir cualquier característica del ligante asfáltico que se determina en un ensayo de flujo plástico a la flexión, en el cual una viga simplemente apoyada es solicitada bajo carga constante en su punto medio, midiéndose la deflexión de la viga (δt) con respecto al tiempo de carga. Cualquier propiedad que sea determinada a partir de los datos registrados en un ensayo como el descrito, es una propiedad de flujo plástico o *creep*.
- 2.2.2** *Rigidez flexural medida en flujo plástico, $S_m(t)$* – Relación entre el máximo esfuerzo de flexión y la máxima deformación a la flexión en la viga.
- 2.2.3** *Rigidez estimada en flujo plástico, $S(t)$* – Rigidez en flujo plástico, obtenida por ajuste de un polinomio de segundo orden al logaritmo de la rigidez medida a 8.0, 15.0, 30.0, 60.0, 120.0 y 240.0 segundos y el logaritmo del tiempo.
- 2.2.4** *Deformabilidad flexural en flujo plástico, $D(t)$* – Relación entre la máxima deformación de flexión y el máximo esfuerzo de tensión en la viga. $D(t)$ es el inverso de $S(t)$. $S(t)$ ha sido usado tradicionalmente en la tecnología del asfalto mientras que $D(t)$ es comúnmente usado en estudios de visco-elasticidad.
- 2.2.5** *Valor m* – Valor absoluto de la pendiente de las curvas del logaritmo de la rigidez contra el logaritmo del tiempo.
- 2.2.6** *Carga de contacto (35 ± 10 mN)* – Carga requerida para mantener contacto positivo entre la viga y el vástago de carga.
- 2.2.7** *Carga de asentamiento (980 ± 50 mN)* – Carga de 1 s de duración, requerida para asentar la viga.
- 2.2.8** *Carga de ensayo (980 ± 50 mN)* – Carga de 240 s de duración, requerida para determinar la rigidez del material ensayado.
- 2.2.9** *Tiempo cero del ensayo* – Tiempo en segundos, en el cual se envía la señal a la válvula solenoide para cambiar desde el regulador de carga cero (carga de contacto) al regulador de carga de ensayo (carga de ensayo).

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** El reómetro de viga de flexión mide la deflexión en el punto medio de una viga de ligante asfáltico simplemente apoyada, sometida a una carga constante aplicada en su punto medio. El dispositivo opera sólo en el modo de carga, es decir, no se obtienen mediciones de recuperación.
- 3.2** Se coloca una viga de ensayo en un baño de fluido a temperatura controlada y se somete a carga constante por 240 s. La carga de ensayo (980 ± 50 mN) y la deflexión del punto medio de la viga se registran usando un sistema computarizado de monitoreo durante el ensayo.
- 3.3** La tensión máxima de flexión en el punto medio de la viga se calcula a partir de las dimensiones de la viga, la luz (distancia entre apoyos) y la carga aplicada a la viga, para tiempos de carga de 8, 15, 30, 60, 120 y 240 s. La máxima deformación unitaria de flexión en la viga se calcula para los mismos intervalos de tiempo de carga, a partir de las dimensiones y la deflexión de la viga. La rigidez de la viga para los tiempos de carga especificados se calcula dividiendo el esfuerzo máximo por la deformación unitaria máxima.
- 3.4** Para verificar que la carga completa de ensayo (980 ± 50 mN) se aplica dentro de los primeros 0.5 s, se informan la carga y deflexión a los 0.0 y 0.5 s. Estos datos no se usan en los cálculos de la rigidez ni del “valor m” y no deberían ser considerados para representar propiedades del material. El tiempo de elevación de la carga (tiempo para aplicar la carga total) se puede ver afectado por la operación inapropiada de los reguladores de presión, por una presión de aire inapropiada, por mal funcionamiento de los sistemas de aire (fricción) y otros factores. Al reportar las señales a los 0.0 y 0.5 s, el usuario de los resultados del ensayo puede determinar las condiciones de carga.

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** La temperatura de ensayo está relacionada con las temperaturas experimentadas por el pavimento en el área geográfica en la cual se contempla el empleo del ligante asfáltico.
- 4.2** La rigidez o la deformabilidad flexural en flujo plástico (*creep*), determinadas a partir de este ensayo, describen la respuesta esfuerzo – deformación – tiempo del ligante asfáltico a baja temperatura, en el rango de temperaturas de ensayo dentro del cual la respuesta es visco-elástica lineal.

- 4.3** El comportamiento de las mezclas asfálticas al agrietamiento térmico a bajas temperaturas está relacionado con la rigidez en flujo plástico y el “valor m” (pendiente de la curva del logaritmo de la rigidez en flujo plástico versus el logaritmo del tiempo de carga), del ligante asfáltico contenido en la mezcla.
- 4.4** La rigidez flexural al flujo plástico y el “valor m” se usan como criterio de desempeño del ligante asfáltico, de acuerdo con la especificación Superpave para los diferentes grados de los cementos asfálticos.

5 EQUIPO

- 5.1** *Sistema de ensayo reómetro de viga de flexión (BBR)*(Figura 752 - 1) – El sistema de ensayo reómetro de viga de flexión consiste en: (1) un marco de carga que permite que la viga de ensayo, los soportes y la parte inferior del marco de ensayo estén sumergidos en un baño fluido a temperatura constante; (2) un baño líquido a temperatura controlada que permite mantener la viga de asfalto a la temperatura de ensayo y que provee una fuerza capaz de contrarrestar la fuerza resultante de la masa de la viga; (3) un componente de registro de datos controlado automáticamente por un computador; (4) moldes para las probetas; (5) elementos necesarios para calibrar y/o verificar el BBR.



Figura 752 - 1. Reómetro de viga de flexión

- 5.1.1** *Marco de carga* – El marco de carga consiste en soportes para la muestra, un vástago de punta redondeada que aplique la carga en el punto medio de la probeta, una celda de carga montada en el vástago,

instrumentos para reducir a cero la carga sobre la probeta, instrumentos para aplicar una carga constante al vástago de carga y un transductor medidor de deflexión adosado al vástago de carga. La Figura 752 - 2 muestra un esquema del dispositivo.

5.1.1.1 *Sistema de carga* – Un sistema capaz de aplicar una carga de contacto de 35 ± 10 mN a la probeta de prueba y mantener una carga de prueba de 980 ± 50 mN.

5.1.1.2 *Requerimientos para el sistema de carga* – El tiempo para alcanzar la carga de prueba debe ser menor de 0.5 s. En ese tiempo, la carga de contacto debe subir de 35 ± 10 mN a la carga de prueba de 980 ± 50 mN. Durante el tiempo para alcanzar la carga, el sistema debe amortiguar la carga de prueba a 980 ± 50 mN. Entre 0.5 y 5.0 s, la carga de la prueba deberá estar en ± 50 mN de la carga media de ensayo y, después de esto, estará dentro de ± 10 mN de dicha carga.

5.1.1.3 *Apoyos para la muestra* – Apoyos transversales para la viga de asfalto, consistentes en una base y un soporte horizontal con una superficie superior curva de radio 3.0 ± 0.25 mm y costados inclinados en un ángulo de 45° con la horizontal (ver Figura 752 - 2). Los apoyos, hechos de acero inoxidable (u otro material resistente a la corrosión), deben estar separados 102.0 ± 1.0 mm entre sí. El ancho útil del soporte será de 9.5 ± 0.25 mm. Esto se requiere para asegurar que los bordes de la viga, resultantes del proceso de moldeado, no interfieran con la medición de la deflexión del espécimen en su punto medio durante el ensayo. Además, los apoyos deben incluir pasadores de alineamiento vertical de 2 a 4 mm de diámetro, colocados en la parte posterior de los soportes de cada muestra a 6.75 ± 0.25 mm del centro de ellos. Estos pasadores deben ser colocados sobre el lado posterior de los apoyos para alinear la probeta en el centro de ellos. Ver detalles en la Figura 752 - 2.

5.1.1.4 *Vástago de carga* – Vástago de punta redondeada, con superficie de contacto esférica, de radio 6.25 ± 0.30 mm, continua con una celda de carga y un transductor medidor de deflexión, capaz de aplicar una carga de contacto de 35 ± 10 mN, y de mantener una carga constante de ensayo de 980 ± 50 mN. La elevación de la carga de ensayo se debe producir

en menos de 0.5 s. Durante el tiempo de elevación de la carga, el sistema deberá amortiguar la carga luego de los primeros 5 s a un valor constante ± 10 mN.

5.1.1.5 *Celda de carga* – Con una capacidad mínima de 2000 mN, y una resolución mínima de 2.5 mN, montada en línea con el vástago de carga y por encima del fluido del baño, para medir la carga de contacto y la carga de ensayo.

5.1.1.6 *Transductor lineal diferencial variable (TLDV)* – Un transductor lineal diferencial variable u otro dispositivo montado axialmente sobre el vástago de carga, capaz de registrar un movimiento lineal menor o igual a $2.5 \mu\text{m}$, con un rango de al menos 6 mm para medir la deflexión de la viga de ensayo.

5.1.2 *Baño líquido de temperatura controlada* – Capaz de mantener la temperatura en todos los puntos dentro del baño entre -36 y 0°C , con un margen de $\pm 0.1^\circ \text{C}$. La colocación de una probeta fría en el baño puede causar que la temperatura del baño fluctúe $\pm 0.2^\circ \text{C}$ en relación con la temperatura de ensayo objetivo; en consecuencia, se permitirán variaciones en el baño de $\pm 0.2^\circ \text{C}$ bajo condiciones isotérmicas.

5.1.2.1 *Agitador de baño* – Un agitador para mantener la temperatura homogénea, con una intensidad de agitación tal, que las corrientes en el fluido no perturben el proceso de ensayo ni provoquen vibraciones que produzcan variaciones en las lecturas, mayores a las especificadas en los numerales 5.1.3 y 5.1.3.1.

5.1.2.2 *Baño de circulación (opcional)* – Unidad circuladora de fluido, separada del marco de ensayo, la cual bombea el fluido a través del baño. Si se emplea esta unidad, las vibraciones producidas por el equipo deben ser aisladas de la cámara del baño, de manera que su efecto en los registros sea menor que lo indicado en los numerales 5.1.3 y 5.1.3.1.

5.1.3 *Sistema de adquisición de datos* – Sistema que registre la carga con una precisión de 2.5 mN, la deflexión de la viga con una precisión de $2.5 \mu\text{m}$ y la temperatura del baño líquido con una precisión de 0.1°C . El sistema debe detectar el momento en el cual se envía la señal a la válvula solenoide para cambiar el regulador de carga cero (carga de

contacto) al regulador de carga de ensayo (carga de ensayo). Este instante es el tiempo cero del ensayo. Usando este instante como referencia, el sistema debe registrar las medidas de carga y deflexión relativas a partir del tiempo cero. El sistema debe registrar la carga y la deflexión a los 0.0, 0.5, 8.0, 15.0, 30.0, 60.0, 120.0 y 240 s. Cada registro será el promedio de tres o más lecturas tomadas dentro de ± 0.2 s del tiempo especificado de registro; por ejemplo, se mide para un tiempo de carga de 7.8, 7.9, 8.0, 8.1 y 8.2 s.

5.1.3.1 Filtro de la señal – Se puede requerir el filtrado digital o análogo de los datos de deflexión y carga para eliminar el ruido electrónico que, de lo contrario, podría afectar la capacidad del polinomio de segundo orden para ajustar los datos con suficiente exactitud y obtener una estimación confiable del “valor m”. Las señales de carga y deflexión pueden ser pasadas con un filtro digital o análogo de bajo paso, que remueva las señales de frecuencia mayores que 4 Hz. El promedio deberá ser obtenido en un período menor o igual que ± 0.2 s con respecto al tiempo especificado de registro.

5.2 Equipo para medir la temperatura – Transductor de temperatura calibrado, capaz de medir temperaturas con una exactitud de 0.1°C en el rango de -36 a 0°C . Debe ir montado dentro de los 50 mm del punto medio de los apoyos de la probeta de ensayo.

Nota 1: La medida de la temperatura requerida se puede llevar a cabo con un termómetro de resistencia de platino (RTD) o con una resistencia térmica calibrada apropiadamente. La calibración del RTD o la resistencia térmica puede ser verificada como se indica en el numeral 5.6. Se recomienda el uso del RTD bajo estándar DIN 43760 (Clase A). Para obtener la exactitud y la precisión requeridas, es necesario que cada RTD sea calibrado como un sistema, con su respectivo medidor o circuito electrónico.

5.3 Moldes para la viga de ensayo – Moldes para producir vigas de asfalto cuyas dimensiones, una vez desmoldadas, sean de 6.35 ± 0.05 mm de espesor por 12.70 ± 0.05 mm de ancho y 127 ± 2.0 mm de largo. Los moldes serán fabricados de aluminio liso, en las dimensiones indicadas en la Figura 752 - 3.

5.3.1 El espesor de los dos espaciadores usados para cada molde (pequeñas piezas finales utilizadas en los moldes metálicos) se debe medir con un micrómetro y no deberá haber una variación de más de 0.05 mm entre uno y otro.

Nota 2: Pequeños errores en el espesor de la probeta de prueba pueden tener gran efecto sobre los módulos calculados, teniendo en cuenta que el módulo es función del espesor, h, elevado al cubo.

- 5.4 Elementos para calibración o verificación** – Se requieren los siguientes elementos para verificar y calibrar el BBR:
- 5.4.1 Viga gruesa de acero inoxidable para calibrar el medidor de deformaciones y la celda de carga** – Una viga de acero inoxidable de 6.4 ± 0.10 mm de espesor por 12.7 ± 0.25 mm de ancho y 127 ± 5 mm de largo para medir el sistema de deformación y calibrar de la celda de carga.
- 5.4.2 Viga delgada de acero inoxidable para chequeo de todo el sistema** – Una viga de acero inoxidable de 1.3 ± 0.3 mm de espesor por 12.7 ± 0.1 mm de ancho, por 127 ± 5 mm de largo, de módulo elástico conocido (especificado por el fabricante con tres cifras significativas). El fabricante deberá medir e informar el espesor de esta viga con aproximación a 0.01 mm y el ancho con aproximación a 0.05 mm. Las dimensiones de esta viga se deben emplear para calcular el módulo durante la verificación de todo el sistema. Ver numeral 9.1.4.
- 5.5 Masas estándar** – Se requieren una o más de las siguientes masas normalizadas:
- 5.5.1 Para la verificación de la calibración de la celda de carga** – Una o más masas que totalicen 100 ± 0.2 g y dos masas de 2 ± 0.2 g cada una (ver nota 3) para verificar la calibración de la celda de carga.
- Nota 3: En Colombia, las monedas de 20 pesos, de la serie emitida desde 2004, tienen una masa aproximada de 2 g y, por lo tanto, pueden ser convenientes para sustituir estas masas.*
- 5.5.2 Para la calibración de la celda de carga** – Cuatro masas, cada una de masa conocida ± 0.2 g e igualmente espaciadas en masa a través del rango de la celda de carga.
- 5.5.3 Para el chequeo cotidiano de todo el sistema** – Dos o más masas, cada una de masa conocida con aproximación de 0.2 g, para conducir el chequeo de todo el sistema como lo especifica el fabricante.
- 5.5.4 Exactitud de las masas** – Se debe verificar la exactitud indicada en el numeral 5.5, por lo menos una vez cada tres años.
- 5.6 Termómetros calibrados** – Termómetros de líquido en vidrio, calibrados para la verificación del transductor de temperatura, con un rango adecuado y subdivisiones de 0.1° C. Estos termómetros deben estar calibrados de acuerdo con la práctica ASTM E77 por lo menos una vez al año. Un termómetro

adecuado es el denominado 62C, cuyas características relevantes son las siguientes:

RANGO	- 38 a 2° C
DIVISIONES	0.1° C
LONGITUD	379 mm
INMERSIÓN	Total

- 5.7** *Medidor de espesor* – Un medidor de espesores escalonados, para verificar las calibraciones del transductor de desplazamiento, como se describe en la Figura 752 - 4.

6 MATERIALES

- 6.1** *Láminas plásticas* – Plástico laminado limpio, de 0.12 ± 0.04 mm de espesor, para revestir las tres caras interiores más grandes del molde de aluminio. Las láminas no deben ser deformadas por el ligante asfáltico caliente. Las transparencias para impresora láser han dado resultados adecuados.
- 6.2** *Grasa derivada del petróleo* – Se usa para adherir las láminas plásticas a las caras interiores del molde. No se pueden usar productos a base de silicona.
- 6.3** *Mezcla glicerol-talco* – Lubricante usado como desmoldante para revestir las piezas extremas de los moldes de aluminio. Para este propósito, se puede utilizar una mezcla de 20 % en peso de glicerina grado USP y 80 % de talco grado USP o caolín (arcilla china).
- 6.4** *Fluido para el baño térmico* – Un fluido que no sea absorbido por el ligante asfáltico y que no afecte sus propiedades. La densidad del fluido no debe exceder 1.05 g/cm^3 en el rango de temperaturas de ensayo. El fluido debe ser transparente para el rango de temperaturas de ensayo. Resultan adecuados fluidos como el etanol, el metanol y mezclas de glicolmetanol (por ejemplo, 60 % glicol, 15 % de metanol y 25 % de agua). No se deben utilizar fluidos de silicona ni mezclas que la contengan.

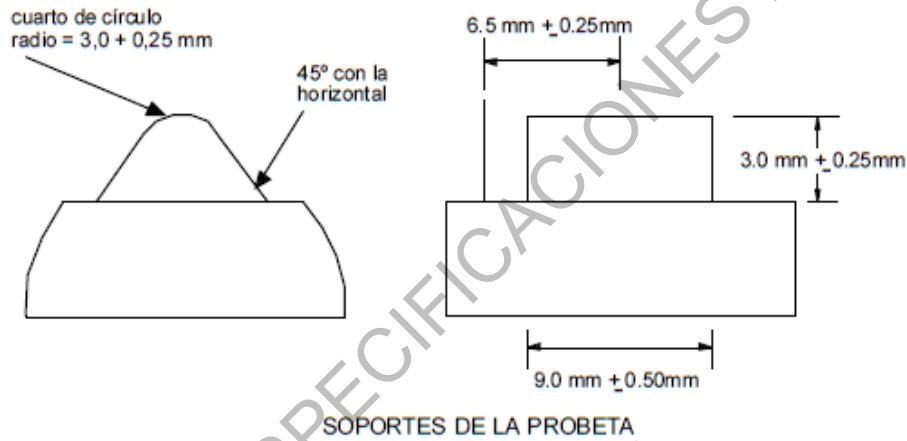
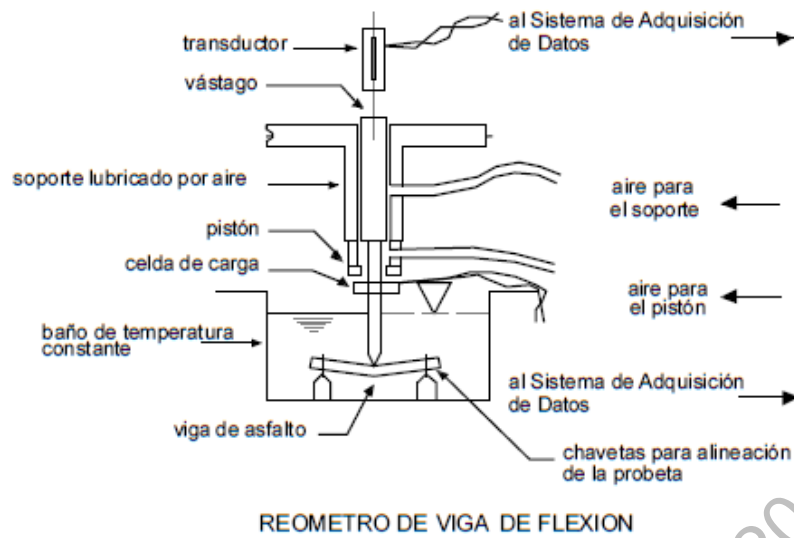


Figura 752 - 2. Representación esquemática de un reómetro de viga de flexión

7 PELIGROS

- 7.1** Se deben observar los procedimientos de seguridad normalizados cuando se esté calentando el ligante asfáltico y preparando las probetas de prueba.
- 7.2** Los baños de alcohol son inflamables y tóxicos. Por lo tanto, se debe localizar el baño térmico en un área bien ventilada, ubicada lejos de fuentes de ignición. Se debe evitar la respiración de los vapores del alcohol y el contacto del fluido del baño con la piel.
- 7.3** El contacto entre el fluido del baño y la piel a las bajas temperaturas usadas en este método de prueba puede causar quemaduras.

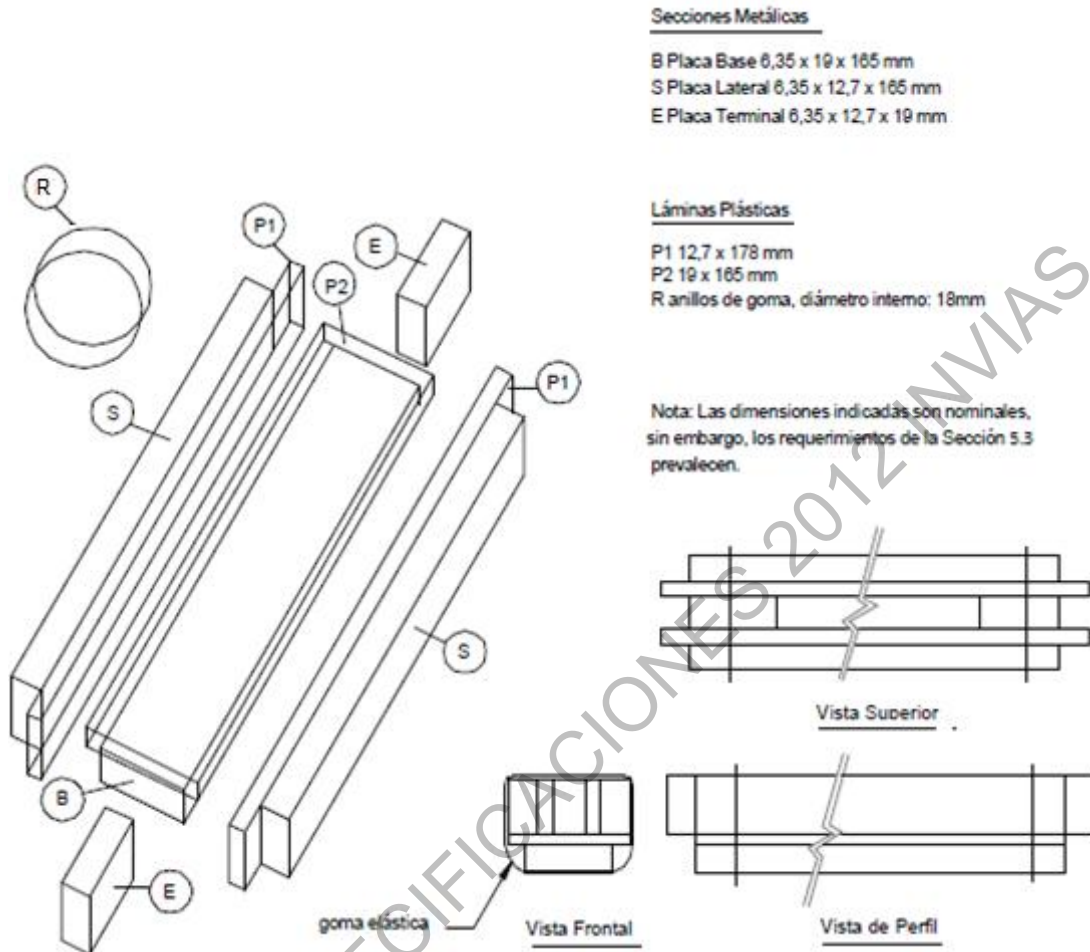


Figura 752 - 3. Dimensiones y especificaciones para los moldes de aluminio

8 PREPARACIÓN DEL EQUIPO

- 8.1** Se limpian los apoyos, la cabeza de carga y el baño de fluido de cualquier partícula o revestimiento, en caso necesario.

Nota 4: Debido a la fragilidad del ligante asfáltico a las temperaturas a las que se realiza este ensayo, es posible que en el líquido del baño se introduzcan pequeños fragmentos de ligante. Si estos fragmentos se ubican en los apoyos o en la cabeza de carga, se afectará la deflexión medida. Los fragmentos pequeños, debido a su tamaño, se deformarán al ser cargados y agregarán una deflexión aparente a la viga. El uso de filtros puede ayudar a mantener los requerimientos de limpieza del baño.

- 8.2** Se selecciona la temperatura de ensayo y se ajusta el baño líquido a la temperatura seleccionada. Se espera hasta que la temperatura se estabilice y luego se permite el equilibrio del baño a la temperatura de ensayo $\pm 0.1^\circ \text{C}$.

- 8.3 Se activa el sistema de adquisición de datos y se carga el software como se explica en el manual del fabricante para el sistema de ensayo.

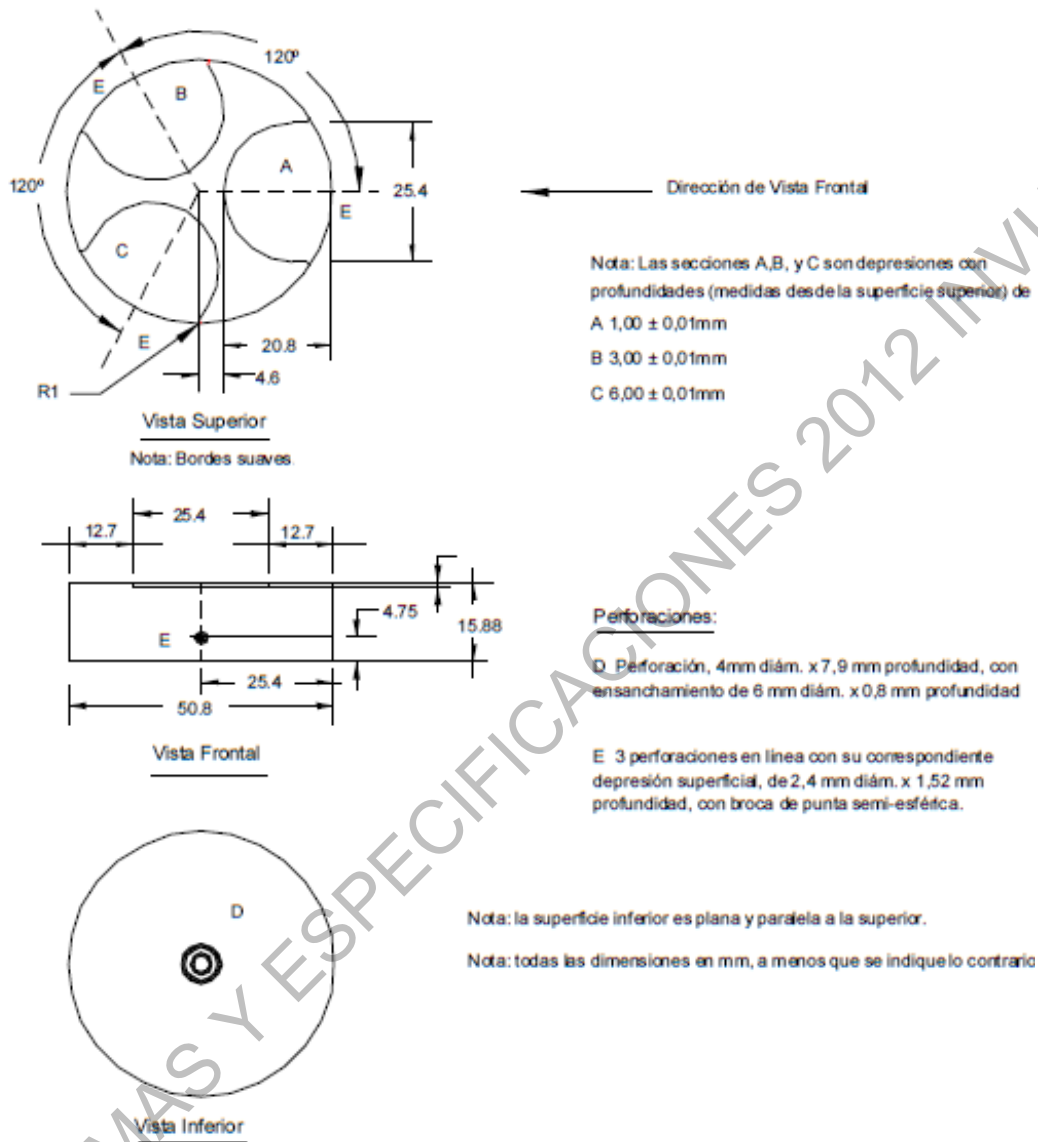


Figura 752 - 4. Medidor típico de espesores usado para calibrar el sensor de deflexión

9 NORMALIZACIÓN

- 9.1 Se verifica la calibración del transductor de desplazamiento, de la celda de carga y del transductor de temperatura, tal como se describe en los numerales 9.1.1 a 9.1.6. Cada uno de los pasos de verificación se debe realizar, como mínimo, con la frecuencia descrita en los diferentes numerales de esta

Sección. Se pueden realizar pasos adicionales de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. En el Anexo A se describen los procedimientos de calibración. A opción del fabricante, se pueden combinar los pasos de verificación y de calibración.

9.1.1 *Verificación de la libre operación del sistema de colchón de aire* – Diariamente, antes de realizar los ensayos, se debe verificar que el sistema de colchón de aire se encuentra operando libremente y está libre de fricción. Los numerales 9.1.1.1 y 9.1.1.2 se usarán para verificar que el vástago esté libre de fricción. Si los requisitos de estos numerales no son satisfechos, ello significa que hay fricción en el colchón de aire. Se debe limpiar el vástago y ajustar la luz del transductor de desplazamiento según las instrucciones del fabricante. Si esto no elimina la fricción, se debe discontinuar el uso del BBR y consultar al fabricante.

Nota 5: La fricción puede ser causada por un ajuste deficiente del núcleo del transductor de desplazamiento que lo hace rozar contra su carcasa, por una acumulación de ligante asfáltico en el eje de carga, así como por aceite u otras partículas en el suministro de aire, y otras causas.

9.1.1.1 Se coloca en los apoyos de la muestra la viga delgada de acero que se usa para el cero del regulador de carga (numeral 5.4.2), y se aplica a la viga una carga de 35 ± 10 mN. Se observa la lectura del TLDV como se indica en el sistema de adquisición de datos. Se agarra suavemente el eje y se alza unos 5 mm, observando la lectura del TLDV. Cuando el vástago se libera, inmediatamente sufre un leve desplazamiento hacia abajo y hace contacto con la viga.

9.1.1.2 Se remueve cualquier viga de los apoyos. Se usa el regulador de carga cero para ajustar el vástago de carga hasta que se esté desplazando libremente, aproximadamente en el punto medio de su recorrido vertical. Se añaden suavemente 2 g de masa a la plataforma de carga. El vástago deberá descender suavemente bajo la masa.

9.1.2 *Verificación del transductor de desplazamiento* – Diariamente, antes de realizar los ensayos, se debe verificar la calibración del transductor de desplazamiento usando un calibrador escalonado, de dimensiones conocidas, similar al mostrado en la Figura 752 - 4. Con el marco de carga montado en el baño a la temperatura de ensayo, se remueven todas las vigas de los soportes y se coloca el calibrador en una

plataforma de referencia bajo el vástago de carga según las instrucciones del fabricante. Se aplica una masa 100 ± 0.2 g en el vástago de carga y se mide con el transductor de desplazamiento la elevación de los escalones con respecto al borde superior de la superficie del medidor. Se comparan los valores de las medidas indicadas por el sistema de adquisición de datos con las dimensiones conocidas. Si las dimensiones del bloque y las indicadas por el sistema de adquisición de datos difieren en más de $\pm 5 \mu\text{m}$ se requiere una calibración. Se realiza la calibración y se repite lo indicado en el numeral 9.1.1. Si no se pueden reunir los requisitos de este numeral después de la calibración, se discontinúa el uso del dispositivo y se consulta al fabricante.

9.1.3 *Verificación de la celda de carga* – Se verifica la calibración de la celda como sigue:

9.1.3.1 *Carga de contacto* – Diariamente, se verifica la calibración de la celda de carga en el rango de la carga de contacto. Se coloca sobre los apoyos la viga de acero de 6.4 mm de espesor (numeral 5.4.1). Se aplica una carga de 20 ± 10 mN a la viga, usando el regulador de presión de carga cero. Se agrega a la plataforma de carga la masa de 2.0 ± 0.2 g como está especificado en el numeral 5.5.1. El aumento en la carga desplegada por el sistema de adquisición de datos deberá ser 20 ± 5 mN. Se agrega una segunda masa de 2.0 ± 0.2 g en la plataforma de carga. El aumento en la carga desplegada por el sistema de adquisición de datos deberá ser 20 ± 5 mN. Si los aumentos en la carga desplegada no son de 20 ± 5 mN, se requiere una calibración. Si no se pueden reunir los requisitos de este numeral después de la calibración, se suspende el uso del dispositivo y se consulta al fabricante.

9.1.3.2 *Carga de ensayo* – Diariamente, antes de realizar cualquier ensayo, se debe verificar la calibración de la celda de carga en el rango de la carga de ensayo. Se coloca sobre los apoyos la viga de acero de 6.4 mm de espesor (numeral 5.4.1). Se usa el regulador de carga cero (carga de contacto) para aplicar una carga a la viga de 20 ± 10 mN. Se adiciona una masa de 100 g a la plataforma de carga. El aumento de carga desplegada en el sistema de adquisición de datos debe ser de 981 ± 5 mN. De lo contrario, se debe calibrar la celda de carga. Si los requisitos de este numeral no se satisfacen después de la

calibración, se debe discontinuar el uso del dispositivo y consultar al fabricante.

- 9.1.4** *Chequeo diario del sistema total* – Diariamente, antes de realizar cualquier prueba y con el marco de carga montado en el baño, se realiza un chequeo del funcionamiento total del sistema. Se coloca la viga delgada de acero de 1.3 ± 0.3 mm de espesor y de módulo conocido, sobre los apoyos de la muestra como se describe en el numeral 5.4.2. Siguiendo las recomendaciones del fabricante, se coloca la viga en los soportes y se aplica una masa inicial de 50.0 o 100.0 ± 0.2 g (491 o 981 mN ± 2 mN) a la viga, para asegurar que quede bien asentada en contacto completo con los apoyos. Siguiendo las instrucciones del fabricante, se aplica una segunda carga adicional de 100.0 a 300.0 ± 0.2 g a la viga. El software proporcionado por el fabricante debe usar el cambio de carga y el cambio asociado en la deflexión para calcular el módulo de la viga con tres cifras significativas. El módulo reportado por el software deberá estar dentro del 10 % del módulo informado por el fabricante de la viga; de lo contrario, el funcionamiento global del BBR será considerado dudoso y se deberá consultar al fabricante.
- 9.1.5** *Verificación del transductor de temperatura* – Diariamente, antes de realizar las pruebas, y siempre que la temperatura de ensayo se cambie, se debe verificar la calibración del detector de temperatura empleando un termómetro calibrado como se indica en el numeral 5.6. Con el marco de carga montado en el líquido del baño, se sumerge el termómetro en el baño, cerca del transductor de temperatura, y se compara la temperatura indicada por el termómetro calibrado con la que despliega el sistema de adquisición de datos. Si la temperatura indicada por el sistema no concuerda con la del termómetro de mercurio dentro de $\pm 0.1^\circ$ C, se requiere calibración.
- 9.1.6** *Verificación de la alineación anverso/reverso del vástago de carga* – Cada seis meses, se debe verificar la alineación del vástago carga con el centro de los apoyos de la muestra, empleando un calibrador de alineación proporcionado por el fabricante o mediante la siguiente medición: Se corta una tira de papel blanco de unos 25 mm de longitud y ligeramente más estrecha que la viga de deformación. Se pega con cinta la tira de papel al centro de la viga de deformación. Se saca el marco de carga del baño, se pone la viga de deformación sobre los apoyos y se coloca un trozo pequeño de papel carbón sobre el papel blanco. Se aplica presión de aire para empujar el vástago hacia abajo

causando una impresión del papel carbón en el papel blanco. Se retira la viga y se mide la distancia desde el centro de la impresión hasta cada borde de la viga con un par de calibradores de nonio. La diferencia entre las dos medidas debe ser 1.0 mm o menor. Si este requisito no se cumple, se debe contactar con el fabricante del dispositivo.

10 PREPARACIÓN DE LOS MOLDES Y ESPECÍMENES DE ENSAYO

10.1 Para preparar los moldes, se extiende una capa muy delgada de grasa (derivada del petróleo), sólo lo suficiente para sostener el plástico al molde, sobre las caras interiores de las tres piezas más largas del molde de aluminio. Se colocan las láminas plásticas sobre las caras de las piezas de aluminio y se frota el plástico con el dedo aplicando una presión firme. Se ensambla el molde como lo muestra la Figura 752 - 3, usando los anillos de goma, para sostener juntas las piezas del molde. Se inspecciona el molde y se presiona la película plástica contra el aluminio para expulsar cualquier burbuja de aire. Si persisten las burbujas de aire, se desarma el molde y se vuelve a aplicar grasa sobre las caras de aluminio. Se cubren las caras interiores de las dos piezas extremas con una película delgada de glicerol y talco, para prevenir que el ligante asfáltico se adhiera a las piezas extremas de aluminio. Una vez ensamblados los moldes, se almacenan a temperatura ambiente hasta verter el ligante asfáltico.

Nota 6: El espesor del espécimen está controlado por las piezas extremas. El espesor de las piezas extremas se debe medir periódicamente para asegurar que cumplen los requerimientos del numeral 5.3. La rigidez es proporcional a la tercera potencia del espesor.

10.2 Si se ensaya asfalto original, se deben obtener muestras de ensayo según la norma INV E-701.

10.3 Se calienta el material hasta que esté suficientemente fluido para poderlo verter. Si el ligante asfáltico no se deja verter fácilmente cuando se calienta en el horno a 165° C, se puede calentar elevando la temperatura del horno a 180° C hasta que alcance la fluidez necesaria para verterlo.

Nota 7: Se recomiendan temperaturas mínimas de vertido que produzcan una consistencia equivalente al aceite de motor SAE 10W30 a temperatura ambiente (de fácil vertido, pero no excesivamente fluido). Se debe evitar el calentamiento de ligantes asfálticos no envejecidos, a temperaturas superiores a 135° C. Sin embargo, con algunos asfaltos modificados o ligantes muy envejecidos, se pueden requerir temperaturas de vertido sobre 135° C. El residuo obtenido del ensayo de envejecimiento acelerado en cámara de presión (norma INV E-751 PAV) debe ser puesto en bandejas de TFOT (norma INV E-721) y puede ser calentado hasta 163° C. En todos los casos, el tiempo de calentamiento debe ser el mínimo posible. Estas precauciones ayudarán a evitar el endurecimiento por oxidación y la pérdida de volátiles que endurecerán aun más la muestra asfáltica. Durante el proceso de calentamiento, la muestra deberá ser cubierta y agitada ocasionalmente para asegurar su homogeneidad.

10.4 Moldeo – Se llena el molde con asfalto, vertiéndolo desde un extremo del molde hacia el otro, sobrellenando ligeramente el molde. Al verter, se debe mantener la cápsula con la muestra 20 a 100 mm por encima de la parte superior del molde, vertiendo continuamente hacia el otro extremo en un solo paso. Se deja enfriar 45 a 60 minutos a temperatura ambiente y, empleando un cuchillo o una espátula caliente, se enrasa con el borde del molde el material que rebosa en la superficie expuesta del espécimen frío. Se retira el plástico laminado (revestimiento del molde) si éste se ha distorsionado.

10.5 Previamente al ensayo, se almacenan todas los especímenes de ensayo en sus moldes a temperatura ambiente. Se debe planificar el ensayo de manera que se realice dentro de las 4 horas siguientes al llenado de los moldes.

Nota 8: Los incrementos tiempo-dependientes de la rigidez pueden ocurrir cuando los ligantes son almacenados a temperatura ambiente, incluso por cortos períodos de tiempo. Este incremento en la rigidez es el resultado de asociaciones moleculares y en la literatura se le denomina como endurecimiento estérico.

10.6 Inmediatamente antes de realizar el ensayo, se debe enfriar el molde de aluminio con asfalto en un congelador o baño de hielo a $-5 \pm 7^\circ \text{C}$ durante 5 a 10 min, solo lo suficiente para rigidizar la viga de ligante asfáltico, de modo que pueda ser desmoldada con facilidad y sin distorsionarse (nota 9). Algunos grados de asfalto más blandos pueden requerir temperaturas más bajas. No se deben enfriar los moldes con las muestras en el baño de ensayo, debido a que se pueden producir fluctuaciones de temperatura en el baño que excedan de $\pm 0.2^\circ \text{C}$.

Nota 9: El enfriamiento excesivo puede causar un endurecimiento no deseado de la viga, lo que ocasiona un incremento en la variabilidad de los datos de ensayo.

10.7 Inmediatamente se retira el espécimen de molde, cuando esté lo suficientemente rígido para ser desmoldado sin que se produzcan distorsiones al desarmar el molde de aluminio (Figura 752 - 5).

Nota 10: Se debe minimizar la distorsión de la probeta durante el desmolde. En el análisis de los datos se asume un contacto total entre la probeta y los apoyos. Una viga alabeada producirá una rigidez medida menor que la real.



Figura 752 - 5. Viga de ligante asfáltico

11 PROCEDIMIENTO

- 11.1** Al ensayar una probeta para verificar el grado de desempeño, se selecciona la temperatura de ensayo adecuada usando la especificación Superpave. Después de desmoldar, se coloca inmediatamente la probeta de ensayo en el baño y se acondiciona a la temperatura de ensayo por 60 ± 5 minutos.

Nota 11: Los ligantes asfálticos pueden endurecer rápidamente cuando se mantienen a bajas temperaturas. Este efecto, llamado endurecimiento físico, es reversible cuando el ligante asfáltico es calentado a temperatura ambiente o ligeramente superior. Por ello, el tiempo de acondicionamiento debe ser cuidadosamente controlado si se desean obtener resultados repetibles.

- 11.2** *Chequeo de la carga de contacto y de la carga de prueba* – Se debe chequear el ajuste de la carga de contacto y de la carga de prueba, con anterioridad al ensayo de cada juego de probetas. Se debe usar la viga de acero inoxidable de 6.35 mm de espesor para el chequeo de las cargas de contacto y de ensayo.

Nota 12: No se deben realizar estos chequeos con la viga delgada de acero o con la probeta de ensayo de ligante asfáltico.

- 11.2.1** Se coloca la viga de acero sobre los apoyos. Se incrementa suavemente la fuerza en la viga a 980 ± 50 mN, usando la válvula reguladora de la carga de ensayo.

- 11.2.2** Se cambia de la carga de prueba a la carga de contacto y se ajusta la fuerza sobre la viga a 35 ± 10 mN. Se deben cambiar la carga de ensayo y la de contacto cuatro veces.

- 11.2.3** Cuando se esté cambiando entre la carga de prueba y la carga de contacto, se deben mirar el vástago y la plataforma de carga para ver el

movimiento vertical. El vástago de carga deberá mantener el contacto con la viga de acero cuando se esté cambiando entre la carga de contacto y la de prueba, mientras se mantienen estas cargas a 35 ± 10 mN y 980 ± 50 mN, respectivamente.

11.2.4 Acción correctiva – Si los requisitos de los numerales 11.2.1 a 11.2.3 no se satisfacen, el dispositivo puede requerir calibración según las instrucciones del fabricante, o el vástago de carga puede estar sucio o requerir alineación (ver numeral 9.1.2). Si los requisitos de los numerales 11.2.1 a 11.2.3 no pueden ser cumplidos después de la calibración, de la limpieza, o de otra acción correctiva, se debe descartar el uso del dispositivo y consultar al fabricante.

11.3 Se introduce en el computador que controla el sistema de ensayo la información referente a la identificación del espécimen, la carga de ensayo, la temperatura de ensayo, el tiempo en que el espécimen está dentro del baño a la temperatura de ensayo y cualquier otra información que sea de utilidad.

11.4 Tras el acondicionamiento, se coloca la viga de ensayo sobre los apoyos y se inicia la secuencia de carga del ensayo. Durante el ensayo se debe mantener el baño a la temperatura de prueba $\pm 0.1^\circ$ C; de lo contrario, el ensayo se deberá rechazar.

11.5 Se aplica manualmente a la viga una carga de contacto de 35 ± 10 mN para asegurar el contacto entre ella y la cabeza de carga, durante un período no mayor de 10 s.

Nota 13: La carga de contacto especificada se requiere para asegurar un contacto continuo entre el vástago de carga, el soporte y el espécimen. Si este contacto continuo no se establece dentro del rango de carga requerido, se obtendrán resultados erróneos. La carga de contacto se deberá aplicar incrementando suavemente la carga hasta 35 ± 10 mN. Mientras ella se esté aplicando, la carga sobre la viga no deberá exceder de 45 mN y el tiempo para aplicar y ajustar la carga de contacto no deberá exceder de 10 s.

11.6 Se activa el sistema de prueba automático, el cual está programado para proceder como sigue:

11.6.1 Inmediatamente después de la aplicación de la carga de contacto de 35 mN, se incrementa la carga desde 35 ± 10 mN hasta la carga de asentamiento de 980 ± 50 mN por 1.0 ± 0.1 segundo.

Nota 14: Las cargas de asentamiento descritas en los numerales 11.6.1 y 11.6.2 son aplicadas y retiradas automáticamente por el sistema de carga controlado por el computador y son transparentes al operador. Los datos no se registran durante la carga inicial.

11.6.2 Se reduce la carga a 35 ± 10 mN y se permite a la viga su recuperación durante 20.0 ± 0.1 segundos.

11.6.3 Se aplica la carga de prueba, en el rango especificado en el numeral 5.1.1.2.

Nota 15: La carga real en la viga, medida por la celda de carga, se usa para el cálculo de la tensión en la viga. La carga inicial de asentamiento de 980 ± 50 mN y la carga de la prueba incluyen los 35 ± 10 mN de precarga o de contacto.

11.6.4 Se retira la carga de la prueba y se termina el ensayo.

11.6.5 Al final de la carga de asentamiento inicial y al final de la prueba, se debe revisar la pantalla del computador para verificar que la carga sobre la viga en cada caso retorna a 35 ± 10 mN. Si la viga no retorna a 35 ± 10 mN, la prueba no es válida y se debe calibrar el reómetro.

11.7 Se remueve la probeta de los soportes y se procede con el siguiente ensayo.

12 CÁLCULOS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

12.1 Ver Anexo A.

13 INFORME

13.1 Se debe reportar la información de un ensayo individual, tal como se muestra en la Figura 752 - 6, incluyendo:

13.1.1 Temperaturas máxima y mínima del baño líquido, medidas durante los 240 s del ensayo, a intervalos de 1.0 s y con aproximación a 0.1° C.

13.1.2 Fecha y hora en que se aplica la carga de ensayo.

13.1.3 Nombre del archivo con los datos del ensayo.

13.1.4 Nombre del operador.

13.1.5 Número de identificación de la muestra.

13.1.6 Hora en que la viga se introduce en el baño.

13.1.7 Hora de inicio del ensayo.

13.1.8 Cualquier mensaje mostrado por el software durante el ensayo.

13.1.9 Coeficiente de correlación, R^2 , para el logaritmo de la rigidez versus logaritmo del tiempo, aproximado a 0.000001.

13.1.10 Otros comentarios (máximo 256 caracteres).

13.1.11 Constantes A, B y C, con 3 cifras significativas.

13.1.12 Diferencia entre la rigidez medida y estimada, calculada como:

$$\frac{(\text{Estimada} - \text{Medida}) \times 100 \%}{\text{Medida}} \quad [752.1]$$

Información del ensayo

Proyecto:	Ensayo	Temp. Objetivo:	23.0° C	Conf. Ensayo	2.199e + 008
Operador:	MCB	Temp. real:	14.8° C	Fecha	09/17/93
Espécimen:	Viga plástica B	Tiempo inmersión:	0.0 s	Const. Carga	0.24
Hora:	11:47:03	Ancho de la viga:	12.70 mm	Const. Flexión	0.0024
Fecha:	09/18/93	Espesor:	6.35 mm	Fecha	09/17/93
Archivo:	0818934.DAT				

Resultados

t Tiempo (s)	P Fuerza (N)	d Deflexión (mm)	Rigidez Medida kPa	Rigidez Estimada kPa	Diferencia %	Valor-m
8	0.9859	0.9126	87030	87060	0.03532	0.176
15	0.9894	1.022	77990	77930	-0.08120	0.175
30	0.9913	1.158	68690	68990	0.04809	0.175
60	0.9910	1.308	61110	61110	0.004487	0.174
120	0.9908	1.475	54150	54150	-0.001551	0.174
240	0.9906	1.664	48010	48000	-0.005077	0.174

Coefficientes de regresión: a = 5.100 b = -0.1784 c = 0.001020 $R^2 = 0.999996$
 Reómetro de viga de flexión Cannon

Figura 752 - 6. Informe de un ensayo típico

13.2 Se deben reportar la carga y la deflexión a los 0.0 y 0.5 s.

13.3 Se presenta la información que se indica en la Figura 752 - 6 para los intervalos de tiempo de 8, 15.0, 30.0, 60.0, 120.0, y 240.0 s, incluyendo:

- 13.3.1 Tiempo de carga, aproximando a 0.1 s.
- 13.3.2 Carga, aproximada a 1.0 mN.
- 13.3.3 Deflexión de la viga, aproximada a 1 μm .
- 13.3.4 Módulo de rigidez medido, en MPa, con 3 cifras significativas.
- 13.3.5 Módulo de rigidez estimado, en MPa, con 3 cifras significativas.
- 13.3.6 Diferencia entre el módulo de rigidez medido y el estimado, %.
- 13.3.7 "Valor m" estimado, redondeado a 0.001.
- 13.3.8 Coeficientes de regresión y ajuste de mínimos cuadrados, valor R^2 .

14 PRECISIÓN Y SESGO

- 14.1 *Precisión* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de la rigidez y de la pendiente de rigidez en flujo plástico, obtenidos con este método se muestran en la Tabla 752 - 1.
 - 14.1.1 *Precisión de un solo operador (Repetibilidad)* – Los valores de la columna 2 de la Tabla 752 - 1 son los coeficientes de variación que se consideran apropiados para las condiciones descritas en la columna 1. Resultados duplicados obtenidos por el mismo operador, usando el mismo equipo y en el mismo laboratorio, y durante un lapso que resulte lo más corto posible, no serán considerados dudosos a menos que la diferencia en los resultados duplicados, expresada como porcentaje del promedio, exceda los valores dados en la columna 3 de la Tabla 752 - 1.
 - 14.1.2 *Precisión multilaboratorio (Reproducibilidad)* – Los valores de la columna 2 de la Tabla 752 - 1 son los coeficientes de variación que se consideran apropiados para las condiciones descritas en la columna 1. Dos resultados presentados por 2 operadores diferentes, ensayando el mismo material en diferentes laboratorios, no serán considerados dudosos a menos que la diferencia de los resultados, expresada como porcentaje de su promedio, exceda los valores dados en la columna 3 de la Tabla 752 - 1.

Tabla 752 - 1. Estimativos de precisión

CONDICIÓN	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (1s %)	RANGO ACEPTABLE ENTRE DOS RESULTADOS DE ENSAYO (d2s %)
<i>Precisión de un solo operador:</i>		
Rigidez en flujo lento, MPa	2.5	7.2
Pendiente (valor m)	1.0	2.9
<i>Precisión multilaboratorio:</i>		
Rigidez en flujo lento, Ma	6.3	17.8
Pendiente (valor m)	2.4	6.8

Nota 16: Los valores estimados de precisión presentados en la Tabla 752 - 1, se basan en el análisis de una serie limitada de resultados de pruebas realizadas a ocho pares de muestras por diversos laboratorios habilitados de AMRL. El análisis incluyó resultados de 174 a 196 laboratorios sobre cinco grados asfálticos: PG 52 –34, PG 64 –16, PG 64 –22, PG 70–22 y PG 76–22 (SBS modificado). Los resultados promedio de rigidez a la fluencia plástica variaron de 125.4 MPa a 236.8 MPa, mientras que las pendientes oscilaron entre 0.308 y 0.374.

Nota 17: A manera de ejemplo, dos ensayos realizados sobre el mismo material dieron resultados de rigidez de 190.3 y 200.7 MPa, respectivamente. El promedio de estas dos medidas es 195.5 MPa. Por lo tanto, el rango aceptable de resultados es el 7.2 % de 195.5 MPa, es decir, 14.1 MPa. Como la diferencia entre 190.3 y 200.7 MPa es menor de 14.1 MPa se considera que los resultados se encuentran en el rango aceptable.

14.2 Sesgo – Debido a que no hay un valor de referencia aceptable, el sesgo no se ha determinado.

15 NORMAS DE REFERENCIA

AASHTO T 313 – 08

ANEXO A (Aplicación obligatoria)

APLICACIONES Y CÁLCULOS

A.1 Calibración del transductor de desplazamiento – Se debe calibrar el transductor de desplazamiento usando un calibrador de bloque escalonado de dimensiones conocidas, similar al mostrado en la Figura 752 - 4. Con el marco

de carga montado en el baño a la temperatura de ensayo, se quitan todas las vigas de los apoyos y se coloca el calibrador de bloque escalonado en la plataforma de referencia debajo del vástago de carga, según las instrucciones proporcionadas por el fabricante del dispositivo. Se aplica una masa de 100 g en el vástago de carga y se siguen las instrucciones del fabricante para obtener lecturas en el transductor de desplazamiento en cada escalón del calibrador. El software proporcionado por el fabricante convertirá las medidas a constantes de calibración en términos de $\mu\text{m/bit}$ con tres cifras significativas y deberá incorporar automáticamente las nuevas constantes en el software. La constante de calibración debe ser repetible dentro del 10 % de una calibración a otra; de lo contrario, la operación del sistema puede ser dudosa.

- A.2** *Calibración de la celda de carga* – Se calibra la celda de carga de acuerdo con las instrucciones del fabricante, usando un mínimo de cuatro masas uniformemente distribuidas en el rango de la celda de carga. El software proporcionado por el fabricante convertirá las medidas a una constante de calibración en términos de mN/bit con tres cifras significativas y deberá incorporar automáticamente la nueva constante en el software. Las constantes de la calibración deben ser repetibles dentro del 10 % de una calibración a otra; de lo contrario, la operación del sistema puede ser dudosa. Se repite este proceso para cada temperatura de ensayo.
- A.3** *Calibración del transductor de temperatura* – Se calibra el detector de temperatura usando un termómetro calibrado de rango conveniente que reúna los requisitos del numeral 9.1.5. Se sumerge el termómetro en el baño líquido cerca del detector térmico y se compara la temperatura indicada por el termómetro calibrado con la desplegada por el detector térmico. Si la temperatura indicada por el detector térmico no coincide con la del termómetro dentro de $\pm 0.1^\circ \text{C}$, se deben seguir las instrucciones del fabricante para corregir la temperatura desplegada, de manera que coincida con la del termómetro calibrado.
- A.4** *Determinación de la deformación del sistema* – Se determina la deformación del sistema de acuerdo con las instrucciones del fabricante, usando un mínimo de cuatro masas uniformemente distribuidas en el rango de la celda de carga. El software de adquisición de datos debe medir la posición del desplazamiento del transductor en cada carga. La deformación se debe calcular como la deflexión medida por unidad de carga. El software proporcionado por el fabricante convertirá las medidas a deformación en términos de $\mu\text{m/N}$ con tres cifras significativas y deberá incorporar automáticamente la deformación en el software. La medida de deformación se puede realizar como parte de la calibración de la celda de carga o como una operación separada. La medida de

deformación se deberá realizar cada vez que se calibre la celda de carga. El valor de deformación debe ser repetible dentro del 10 % de una determinación a otra; de lo contrario, el funcionamiento del sistema puede ser dudoso. Se debe repetir el proceso para cada temperatura de ensayo.

A.5 *Resultado de un ensayo típico* – La Figura 752 - 6 presenta una tabla que muestra el resultado de un ensayo típico mediante el reómetro de viga de flexión. Se deben despreciar las medidas obtenidas y las curvas proyectadas en la pantalla del computador durante los 8 segundos iniciales de la aplicación de la carga de ensayo. Los datos obtenidos inmediatamente después de la aplicación de la carga de ensayo pueden no ser válidos debido a los efectos de carga dinámica y un aumento finito de tiempo. Se deben usar sólo los datos obtenidos entre 8 y 240 s después de aplicada la carga de ensayo, para calcular $S(t)$ y el “valor m ”.

A.6 *Deflexión de una viga elástica* – Utilizando la teoría elemental de flexión, la deflexión en el medio de la luz de una viga elástica prismática de sección constante, en un ensayo de flexión de tres puntos, se puede obtener aplicando las siguientes dos ecuaciones:

$$\delta = \frac{PL^3}{48EI} \quad [752.2]$$

Donde: δ : Deflexión de la viga en el punto medio de la luz, mm;

P: Carga aplicada, N;

L: Longitud de luz, mm;

E: Módulo de elasticidad, MPa;

I: Momento de inercia, mm⁴.

Siendo I:

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad [752.3]$$

Donde: I: Momento de inercia de la sección transversal de la viga de ensayo, mm⁴;

- b: Ancho de la viga, mm;
- h: Espesor de la viga, mm.

Nota A.1: La probeta de prueba tiene una proporción entre el largo y la altura de 16:1 y, por lo tanto, la contribución al esfuerzo de corte puede ser despreciada.

A.7 *Módulo elástico de flexión* – De acuerdo con la teoría elástica, el módulo de flexión de una viga prismática de sección transversal constante cargada en su punto medio, se calcula con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{PL^3}{4bh^3\delta} \quad [752.4]$$

- Donde: E: Rigidez flexural de *creep* dependiente del tiempo, MPa;
- P: Carga constante, N;
- L: Longitud de la luz (distancia entre apoyos), mm;
- b: Ancho de la viga, mm;
- h: Espesor de la viga, mm;
- δ : Deflexión de la viga, mm.

A.8 *Tensión máxima de flexión* – La tensión máxima de flexión en la viga ocurre en el punto medio, en los extremos superior e inferior de la sección. La tensión máxima se calcula con la siguiente fórmula:

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad [752.5]$$

- Donde: σ : Tensión de flexión máxima en la viga, MPa;
- P: Carga constante, N;
- L: Longitud de la luz (distancia entre apoyos), mm;
- b: Ancho de la viga, mm;
- h: Espesor de la viga, mm.

A.9 Deformación unitaria máxima de flexión – La deformación unitaria máxima de flexión en una viga ocurre en el punto medio, en los extremos superior e inferior de la sección. La máxima deformación unitaria, ϵ , se calcula usando la siguiente ecuación:

$$\epsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad [752.6]$$

Donde: ϵ : Deformación unitaria máxima de flexión en la viga, mm/mm;

δ : Deflexión de la viga, mm;

h: Espesor de la viga, mm;

L: Longitud de la luz (distancia entre apoyos), mm.

A.10 Módulo de rigidez viscoelástico lineal – De acuerdo al principio de correspondencia elástico - viscoelástico, se puede suponer que si una viga lineal y viscoelástica es sometida a carga constante aplicada en $t = 0$, la distribución de la tensión es la misma que en una viga elástica bajo la misma carga. Como las deformaciones y los desplazamientos son dependientes del tiempo, éstos se pueden relacionar a partir de los casos elásticos, reemplazando E por $1/D(t)$. Puesto que $1/D(t)$ es equivalente a $S(t)$, recomponiendo el resultado de la solución elástica se obtiene la siguiente relación para la rigidez:

$$S(t) = \frac{PL^3}{4bh^3\delta(t)} \quad [752.7]$$

Donde: $S(t)$: Rigidez flexural al flujo plástico (*creep*), dependiente del tiempo, MPa;

P: Carga constante, N;

L: Longitud de la luz (distancia entre apoyos), mm;

b: Ancho de la viga, mm;

h: Espesor de la viga, mm;

$\delta(t)$: Deflexión de la viga , mm;

$\delta(t)$ y $S(t)$: Indican que la deflexión y la rigidez, respectivamente, son funciones del tiempo.

A.11 Presentación de la información:

A.11.1 Se grafica la respuesta de la viga de ensayo a carga constante (*creep*) como el logaritmo de la rigidez con respecto al logaritmo del tiempo de carga. La Figura 752 - 6 muestra una representación típica de los datos del ensayo. Sobre el rango de tiempo de ensayo de 8 a 240 s, el gráfico de datos mostrado en la Figura 752A - 1 se puede representar por un polinomio de segundo orden como sigue:

$$\log S'(t) = A + B[\log(t)] + C[\log(t)]^2 \quad [752.8]$$

Y la pendiente, m , de la curva del logaritmo de la rigidez versus logaritmo del tiempo, en valor absoluto es igual, a:

$$|m(t)| = \frac{d[\log S'(t)]}{d[\log(t)]} = B + 2C [\log(t)] \quad [752.9]$$

Donde: $S'(t)$: Rigidez flexural al flujo plástico (*creep*), dependiente de t , estimada mediante la ecuación 752.8, MPa;

t : Tiempo, s;

A, B y C: Coeficientes de regresión.

A.11.2 Puede ser necesario ajustar los datos para obtener curvas suavizadas que permitan el análisis de regresión requerido para determinar el "valor m ". Este procedimiento se puede realizar promediando 5 lecturas tomadas al tiempo de lectura ± 0.1 y ± 0.2 s.

A.11.3 Se deben obtener las constantes A, B y C a partir de ajuste por mínimos cuadrados de la ecuación 752.8. Se deben usar datos igualmente espaciados con respecto al logaritmo del tiempo para determinar los coeficientes de regresión de las dos ecuaciones del numeral A.11.1. Se deben determinar experimentalmente los valores de rigidez usados en

la regresión para derivar los coeficientes A, B y C y, a su vez, calcular los “valores m ” después de los tiempos de carga de 8, 15, 30, 60, 120 y 240 s.

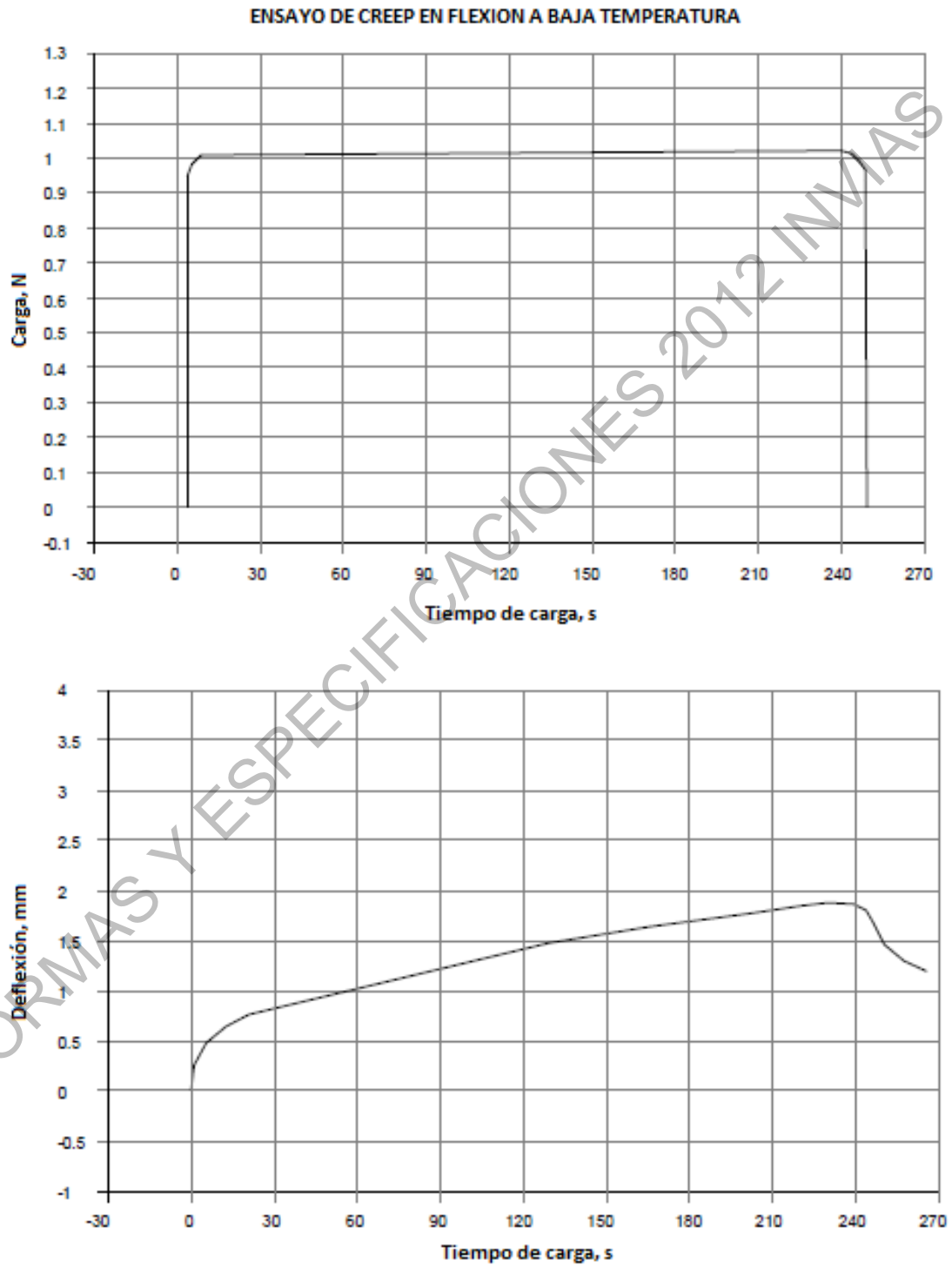


Figura 752A - 1. Dibujos típicos de carga y deflexión

A.12 Se calculan los coeficientes de regresión y los valores estimados de rigidez y el “valor m ”.

A.12.1 Se calculan los coeficientes de regresión A, B y C de las dos ecuaciones del numeral A.11.1, y el denominador D, como sigue:

$$A = [S_y (S_{x2}S_{x4n} - S_{x3}^2) - S_{xy} (S_{x1}S_{x4} - S_{x2}S_{x3}) + S_{xyy} (S_{x1}S_{x3} - S_{x2}^2)] / D \quad [752.10]$$

$$B = [6 (S_{xy}S_{x4} - S_{xyy}S_{x3}) - S_{x1}(S_yS_{x4} - S_{xyy}S_{x2}) + S_{x2}(S_yS_{x3} - S_{xy}S_{x2})] / D \quad [752.11]$$

$$C = [6(S_{x2}S_{xyy} - S_{x3}S_{xy}) - S_{x1}(S_{x1}S_{xyy} - S_{x3}S_y) + S_{x2}(S_{x1}S_{xy} - S_{x2}S_y)] / D \quad [752.12]$$

$$D = 6(S_{x2}S_{x4} - S_{x3}^2) - S_{x1}(S_{x1}S_{x4} - S_{x2}S_{x3}) + S_{x2}(S_{x1}S_{x3} - S_{x2}^2) \quad [752.13]$$

Donde, para tiempos de carga de 8, 15, 30, 60, 120 y 240 s:

$$S_{x1} = \log 8 + \log 15 + \dots \log 240 = S \log t_i \quad [752.14]$$

$$S_{x2} = (\log 8)^2 + (\log 15)^2 + \dots (\log 240)^2 = S (\log t_i)^2 \quad [752.15]$$

$$S_{x3} = (\log 8)^3 + (\log 15)^3 + \dots (\log 240)^3 = S (\log t_i)^3 \quad [752.16]$$

$$S_{x4} = (\log 8)^4 + (\log 15)^4 + \dots (\log 240)^4 = S (\log t_i)^4 \quad [752.17]$$

$$S_y = \log S(8) + \log S(15) + \dots \log S(240) = S \log(S(t_i)) \quad [752.18]$$

$$S_{xy} = \log S(8) \log(8) + \log S(15) \log(15) + \dots \log S(240) \log(240) = S (\log S(t_i) \log t_i) \quad [752.19]$$

$$S_{xyy} = (\log 8)^2 \log S(8) + (\log 15)^2 \log S(15) + \dots (\log(240))^2 \log S(240) = S [(\log t_i)^2 \log S(t_i)] \quad [752.20]$$

A.12.2 Se calcula la rigidez estimada a los 8, 15, 30, 60, 120 y 240 s, como sigue:

$$\log S'(t) = A + B[\log(t)] + C[\log(t)]^2 \quad [752.21]$$

A.12.3 Se calcula el “valor m ” estimado a los 8, 15, 30, 60, 120 y 240 s, como el valor absoluto de:

$$|m| = B + 2C[\log(t)] \quad [752.22]$$

A.12.4 Se calcula S_m como el promedio de los valores de rigidez en 8, 15, 30, 60, 120 y 240 s, como sigue:

$$\log S_m = [\log S(8) + \dots \log S(240)] / 6 = (\sum \log S(t_i)) / n \quad [752.23]$$

A.12.5 Se calcula la fracción de variación en la rigidez, explicada por el modelo cuadrático como:

$$R^2 = 1.00 - \left[\frac{[\log S(8) - \log S'(8)] + \dots [\log S(240) - \log S'(240)]}{[\log S(8) - \log(S_m)]^2 + \dots [\log S(240) - \log(S_m)]^2} \right] \quad [752.24]$$

A.12.6 Se deben usar los valores estimados de rigidez y de m a 60 s para propósitos de especificación. Los valores medidos y estimados de rigidez deben concordar dentro de un 2%. De lo contrario, el ensayo se considera dudoso.

Esta página ha sido dejada en blanco intencionalmente

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS

GRÁFICA VISCOSIDAD – TEMPERATURA PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS

INV E – 753 – 13

1 OBJETO

- 1.1 La gráfica a la cual hace referencia esta norma sirve para estimar la viscosidad de un cemento asfáltico a determinada temperatura, así como para establecer la temperatura a la cual el producto alcanza la viscosidad deseada.
- 1.2 La gráfica se puede emplear tanto para cementos asfálticos originales, como para los residuos de los ensayos de envejecimiento en el laboratorio. También, para ligantes extraídos de muestras de pavimentos.

2 IMPORTANCIA Y USO

- 2.1 La gráfica viscosidad–temperatura constituye un medio conveniente para conocer la susceptibilidad térmica de un asfalto para pavimentación.
- 2.2 Durante la manufactura y compactación de las mezclas asfálticas en caliente, el cemento asfáltico debe tener unas viscosidades óptimas. Si su viscosidad durante la operación de mezclado es muy alta, el agregado no quedará cubierto apropiadamente, mientras que si es muy baja, el ligante envolverá fácilmente al agregado pero se podrá escurrir durante el almacenamiento o el transporte de la mezcla. Si la viscosidad del asfalto durante la compactación es muy baja, la mezcla presentará demasiada movilidad y podrá ser desplazada hacia adelante por el rodillo de compactación, mientras que si es muy alta, la trabajabilidad de la mezcla se reduce y el incremento de densidad durante la compactación será muy limitado.

3 DESCRIPCIÓN

- 3.1 La manera de representar la relación viscosidad–temperatura es una gráfica cuyas coordenadas son el logaritmo del logaritmo de la viscosidad en mPa.s en ordenadas, y el logaritmo de la temperatura absoluta en grados Kelvin ($^{\circ}\text{C} + 273$) en las abscisas. Sin embargo, por conveniencia, la viscosidad se representa en Pa.s y la temperatura en $^{\circ}\text{C}$, como se muestra en la Figura 753 - 1.

4 PROCEDIMIENTO

- 4.1 Las viscosidades se deben determinar de acuerdo con las normas de ensayo INV E-715, INV E-716 e INV E-717, pudiendo emplearse temperaturas de prueba diferentes a las establecidas en ellas.
- 4.2 Para temperaturas por encima de 60° C (140° F) se deben dibujar, al menos, dos puntos en la gráfica viscosidad-temperatura y trazar una línea recta a través de ellos. Si el rango de variación por determinar incluye temperaturas por debajo de 60° C (140° F), la línea se deberá dibujar a partir de un mínimo de tres puntos.

Nota 1: La gráfica es adecuada cuando las temperaturas son mayores de 60° C (140° F), a las cuales los cementos asfálticos presentan un comportamiento fundamentalmente viscoso. A las temperaturas normales de servicio, la mayoría de ellos son viscoelásticos y la sola viscosidad no describe de manera apropiada las propiedades de flujo.

Nota 2: Algunos cementos asfálticos presentan relaciones viscosidad-temperatura demasiado complejas para ser representadas a partir de solo tres puntos. En estos casos, conviene realizar determinaciones de viscosidad a un número mayor de temperaturas para producir una curva más ajustada a la realidad del comportamiento del asfalto.

Nota 3: Determinar viscosidades por extrapolación puede conducir a resultados erróneos.

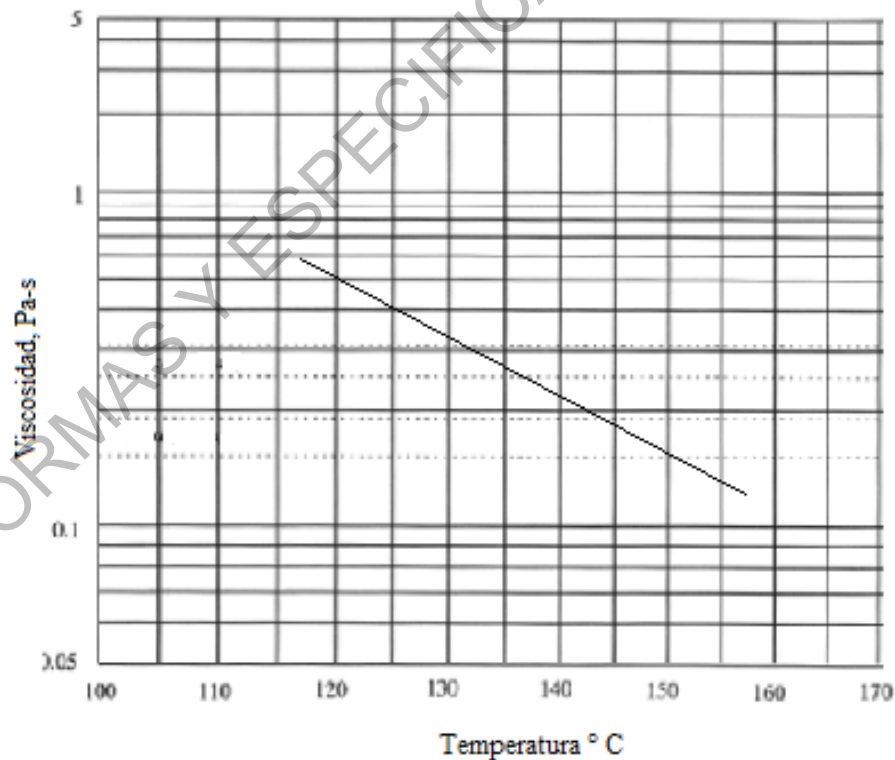


Figura 753 - 1. Gráfica viscosidad – temperatura para cementos asfálticos

5 EL NOMOGRAMA DE HEUKELOM

- 5.1** Es una manera de representar la relación entre la viscosidad y la temperatura en un rango de temperatura más amplio. El nomograma permite relacionar en una sola gráfica los datos de viscosidad, punto de ablandamiento, penetración y punto de fragilidad Fraass de un cemento asfáltico (Figura 753 - 2). La gráfica consiste en una escala horizontal para la temperatura y dos escalas verticales para la penetración y la viscosidad. La escala de temperatura es lineal, mientras las de viscosidad y penetración son logarítmicas. La escala de penetración fue concebida de manera que los asfaltos de grado de penetración con una susceptibilidad térmica “normal” den lugar a una línea recta a lo largo del nomograma (línea S) de la Figura 753 - 3.

Nota 4: La escala de penetración del nomograma, que es una prolongación de la escala de viscosidad, se elaboró partiendo de las siguientes hipótesis: (1) que en el punto de ablandamiento, la penetración de todos los cementos asfálticos es 800 (0.1 mm) y que su viscosidad es 12 000 Poises (1200 Pa.s); (2) que existe una relación empírica entre la penetración a 25° C y la viscosidad, de acuerdo con expresiones obtenidas por Saal y otros investigadores, y (3) que el punto de fragilidad Fraass corresponde a una penetración de 1 ¼ (0.1 mm).

- 5.2** En función de la manera como queden representados en el nomograma, los cementos asfálticos se pueden ubicar en tres clases:
- 5.2.1** *Clase S* – Corresponden a ella los cementos asfálticos obtenidos por destilación directa (Straight), con un contenido bajo de parafinas. Son los recomendables para los trabajos de pavimentación.
- 5.2.2** *Clase W* – Son cementos asfálticos con un alto contenido de parafina (Wax); los cuales quedan representados por dos líneas rectas separadas por una zona intermedia de discontinuidad. A baja temperatura, cuando la parafina está cristalizada, las líneas de los cementos asfálticos con y sin parafina coinciden, mientras que a temperaturas elevadas, cuando la parafina se ha fundido, la línea para el cemento asfáltico de Clase W se aparta, situándose a la izquierda de la línea para el cemento asfáltico de Clase S. La separación de las dos clases se produce mediante una zona curva de transición en el rango de temperaturas donde ocurre la fusión de la parafina.
- 5.2.3** *Clase B* – Corresponden a ella los cementos asfálticos soplados (Blown), representados por dos rectas que se cortan con diferentes pendientes. A altas temperaturas, la pendiente es similar a la de los cementos asfálticos del mismo origen pero sin soplar (Clase S), mientras que a baja temperatura, la pendiente es menos pronunciada

(menor susceptibilidad térmica). Estos cementos asfálticos presentan un alto grado de oxidación y no se deben emplear en pavimentación.

- 5.3** El nomograma incluye en su parte superior una escala para determinar gráficamente el Índice de Penetración del asfalto a partir de los resultados de los ensayos de penetración a 25° C y de punto de ablandamiento. Por su mayor exactitud en la determinación, se recomienda emplear las ecuaciones incluidas en la norma INV E-724, en lugar de este procedimiento gráfico.

6 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

ASTM D2493/D2493M-09

JORGE OMAR AGNUSDEI, "Control de calidad de los materiales asfálticos", Memorias del Octavo Simposio sobre control de calidad en los pavimentos asfálticos, páginas 87 a 122, Buenos Aires, Noviembre de 1982

Norma chilena 8.302.18

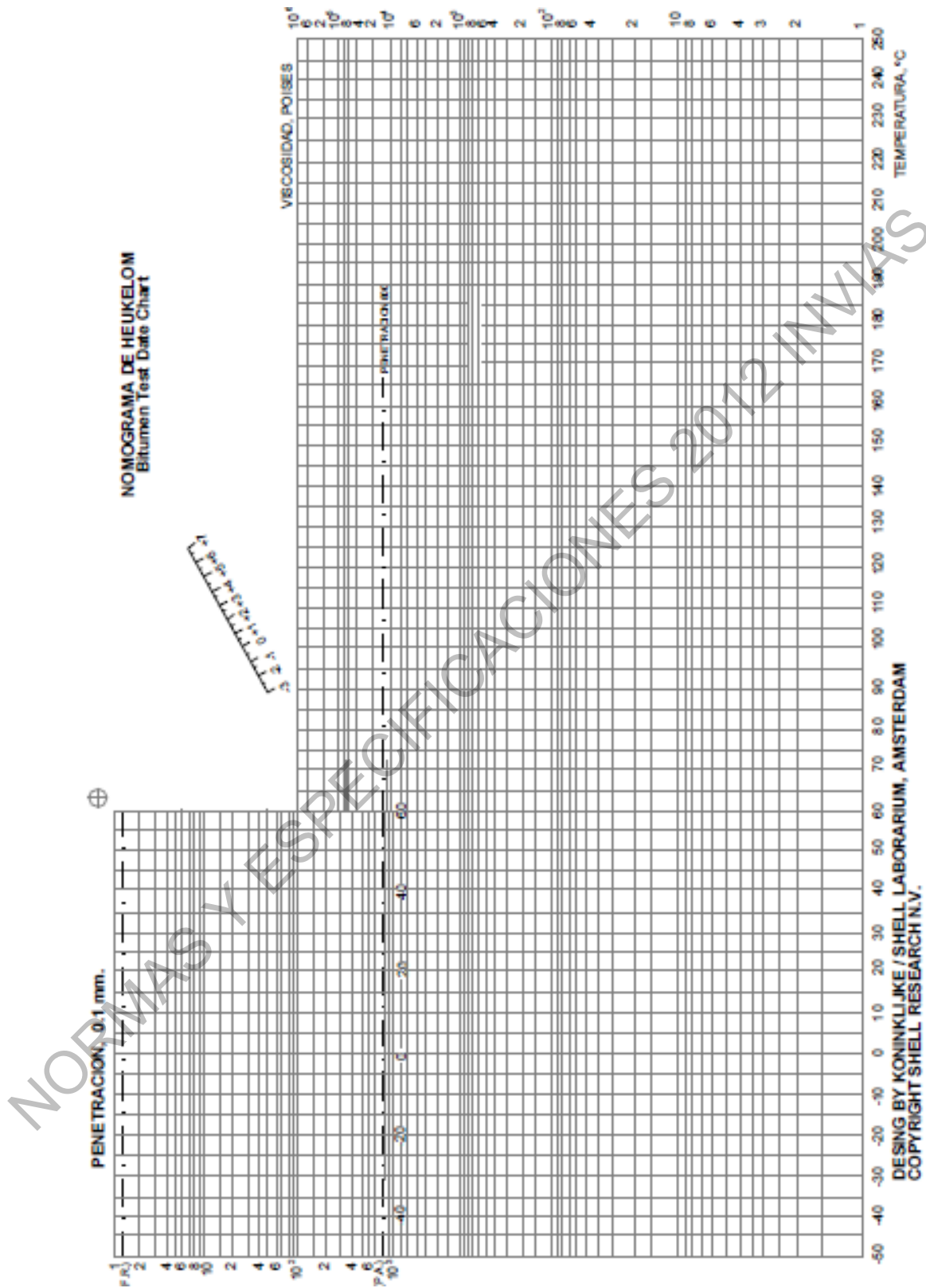


Figura 753 - 2. Nomograma de Heukelom

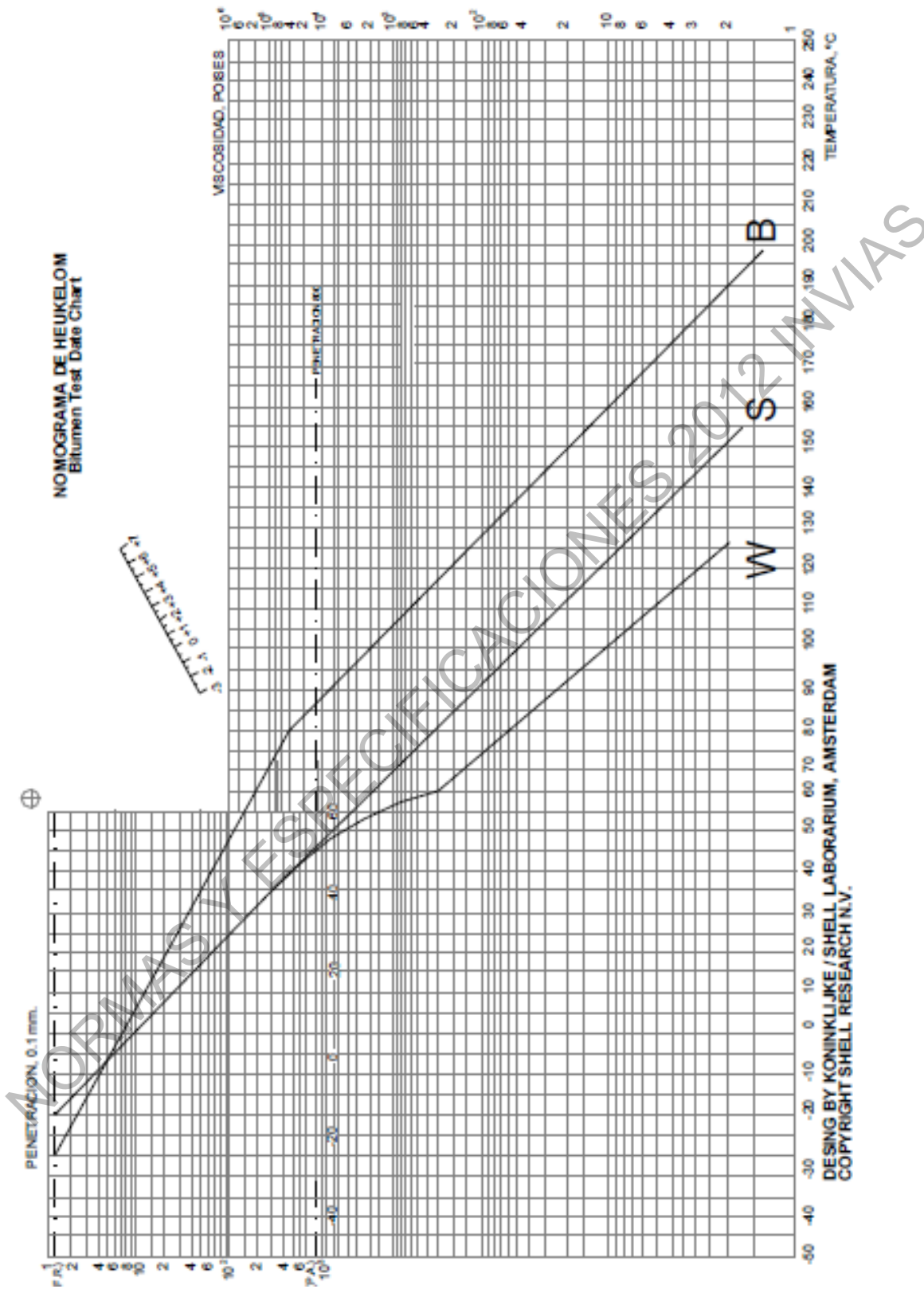


Figura 753 - 3. Representación de las clases de cemento asfáltico en el nomograma de Heukelom

