

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.

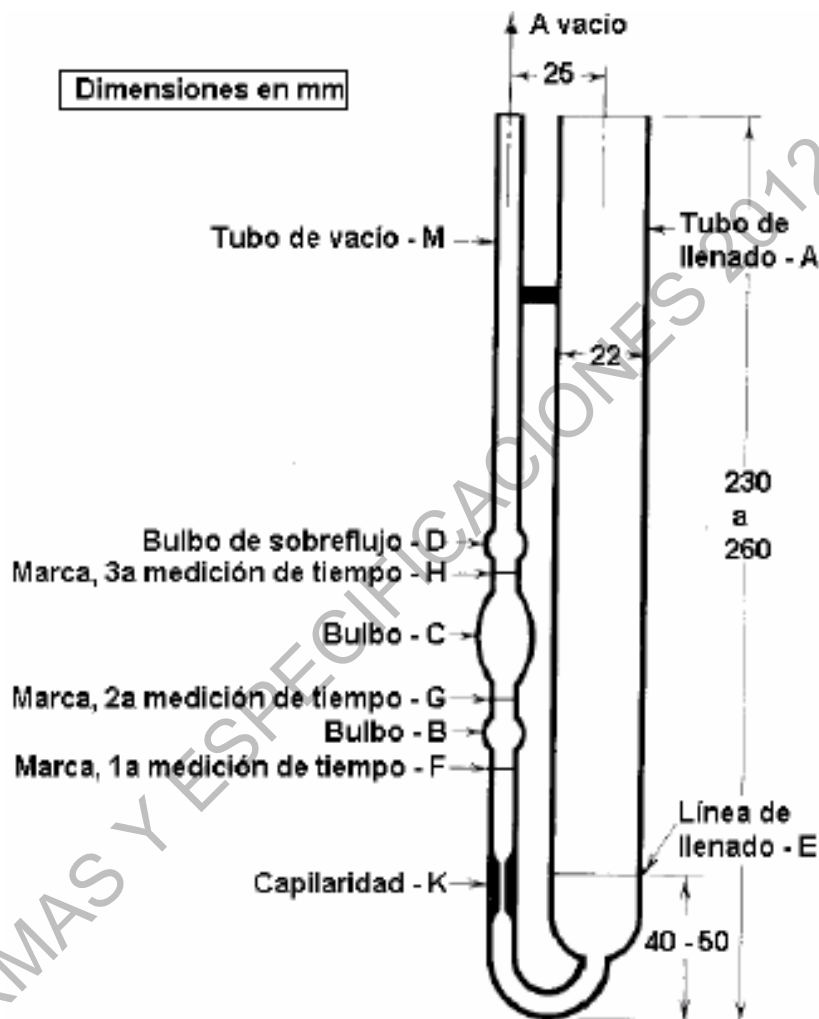


Figura 716 - 1. Viscosímetro capilar de vacío Cannon - Manning (CMVV)

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 μm (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.

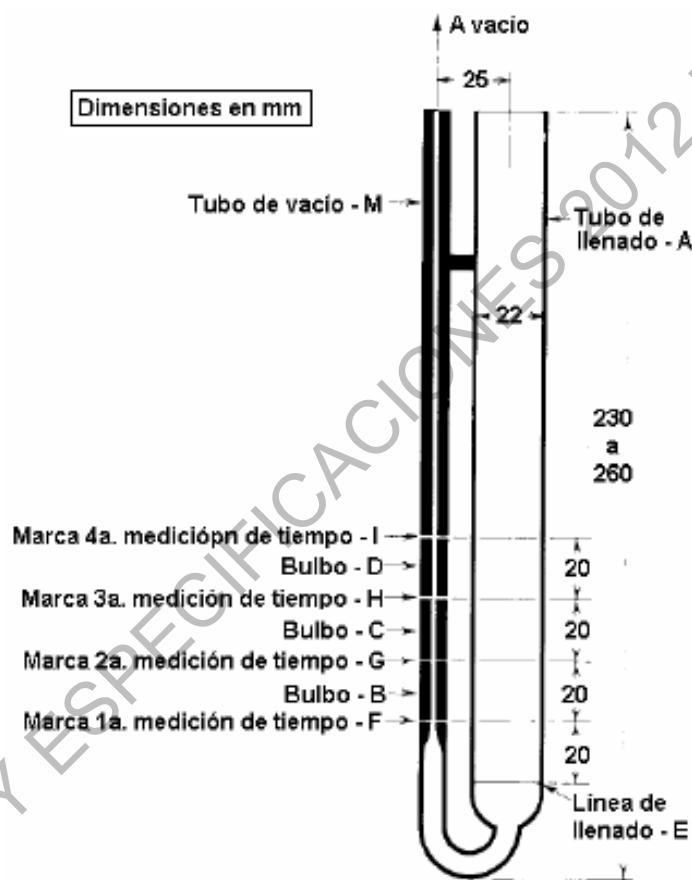


Figura 716 - 2. Viscosímetro capilar de vacío del Instituto del Asfalto (AIVV)

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.

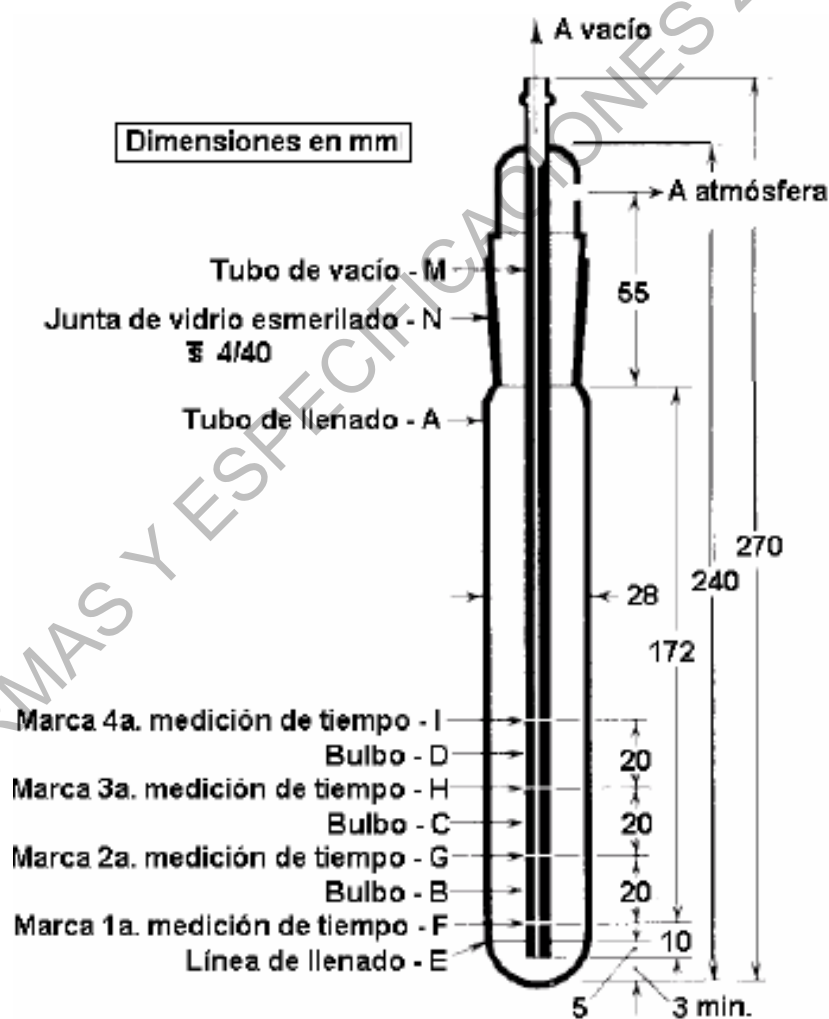


Figura 716 - 3. Viscosímetro capilar de vacío Koppers Modificado (MKVV)

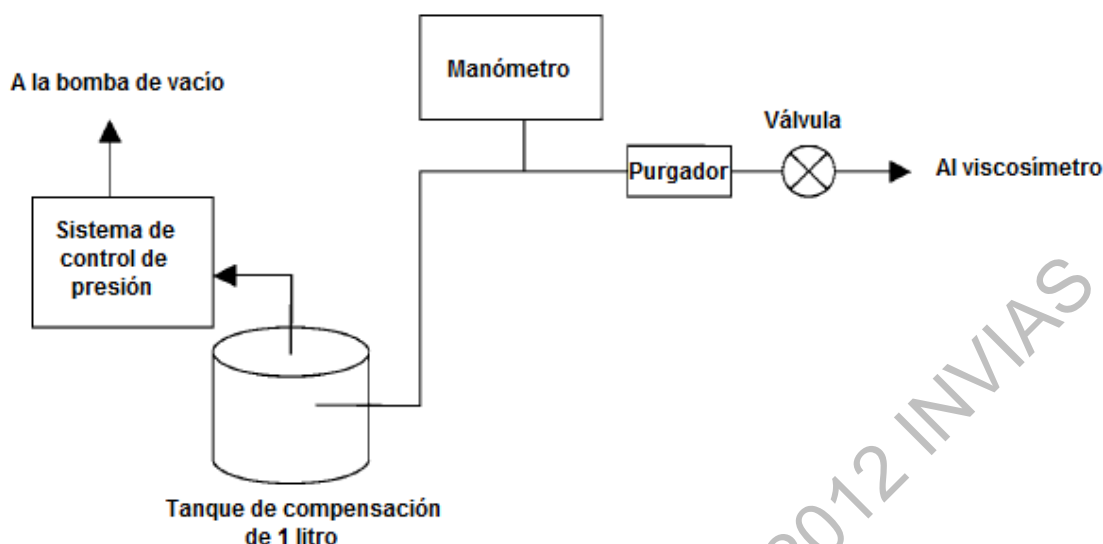


Figura 716 - 4. Sistema sugerido de vacío para viscosímetros capilares de vacío

- 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 contienen 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 $\pm 0.01^\circ \text{C}$ ($\pm 0.02^\circ \text{F}$).

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 al 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:
- K_1 : Constante del bulbo del viscosímetro que se está calibrando;
 - t_1 : Tiempo de flujo con aproximación a 0.1 s, en el bulbo del viscosímetro que se está calibrando;
 - K_2 : Constante del bulbo del viscosímetro normalizado;

t_2 : 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	