

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 = 10⁻² St), 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 = 10⁻² P).

- 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 mm^2/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, mm^2/s^2 (cSt/s);

t: Tiempo de flujo, s.

9 INFORME

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

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

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.

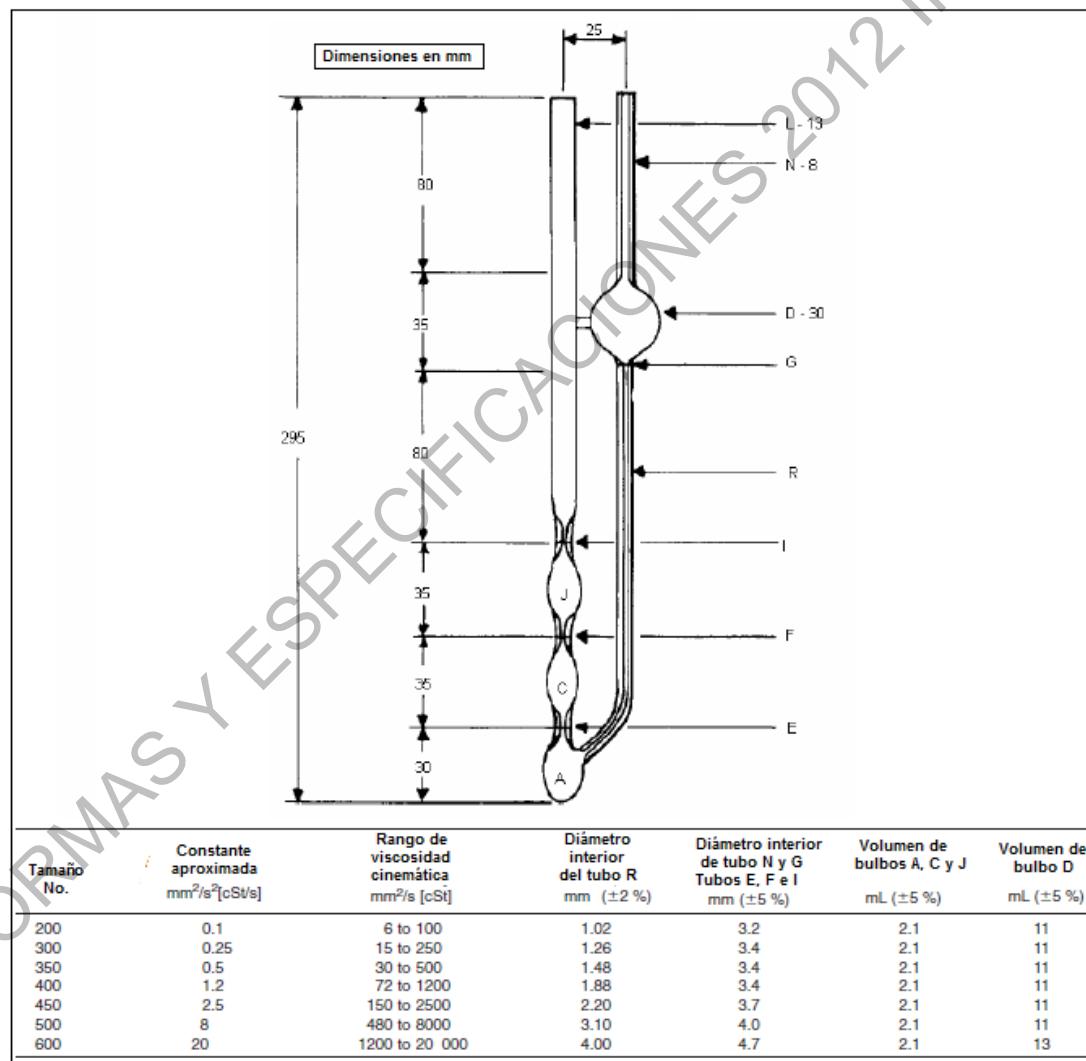


Figura 715B - 1. Viscosímetro Cannon- Fenske para líquidos opacos y transparentes

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.

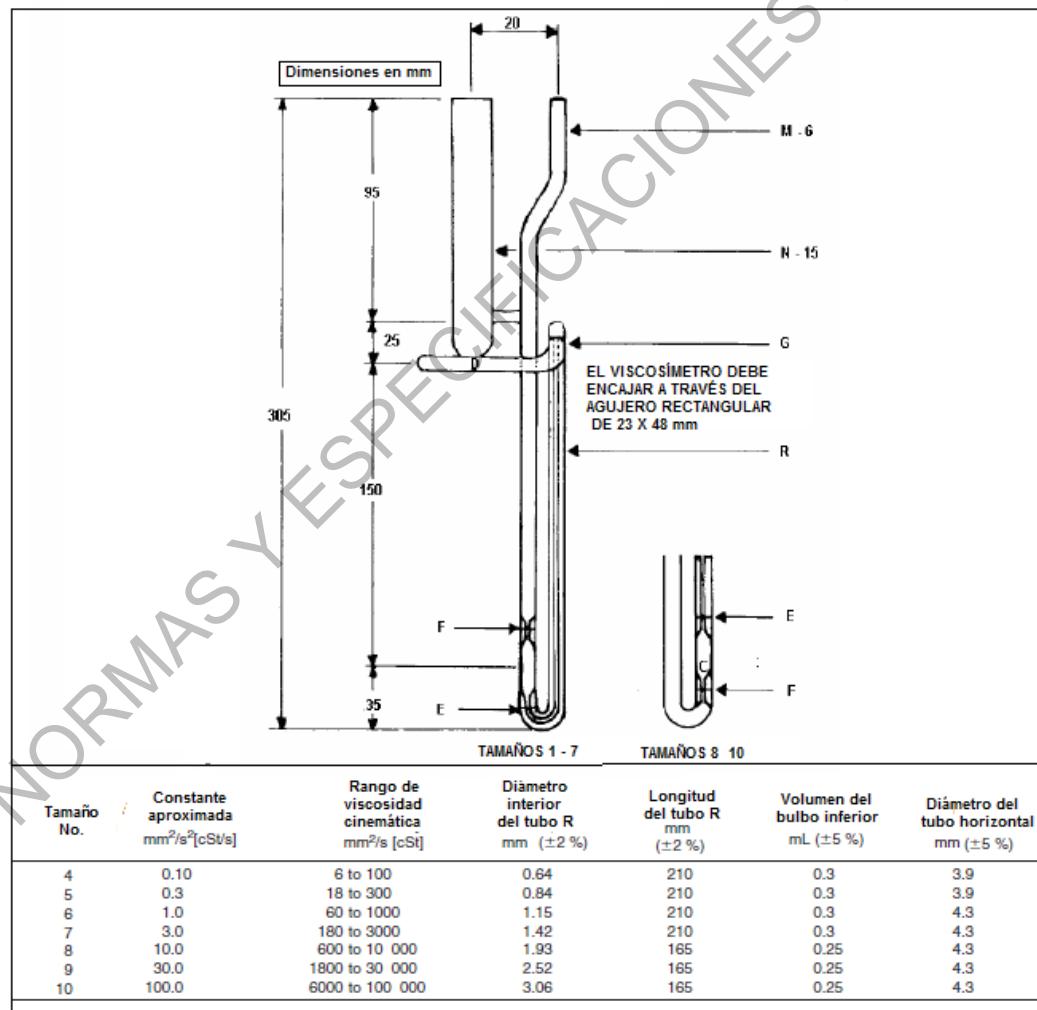


Figura 715B - 2. Viscosímetro de brazo transversal Zeitfuchs para líquidos transparentes y opacos

- 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.

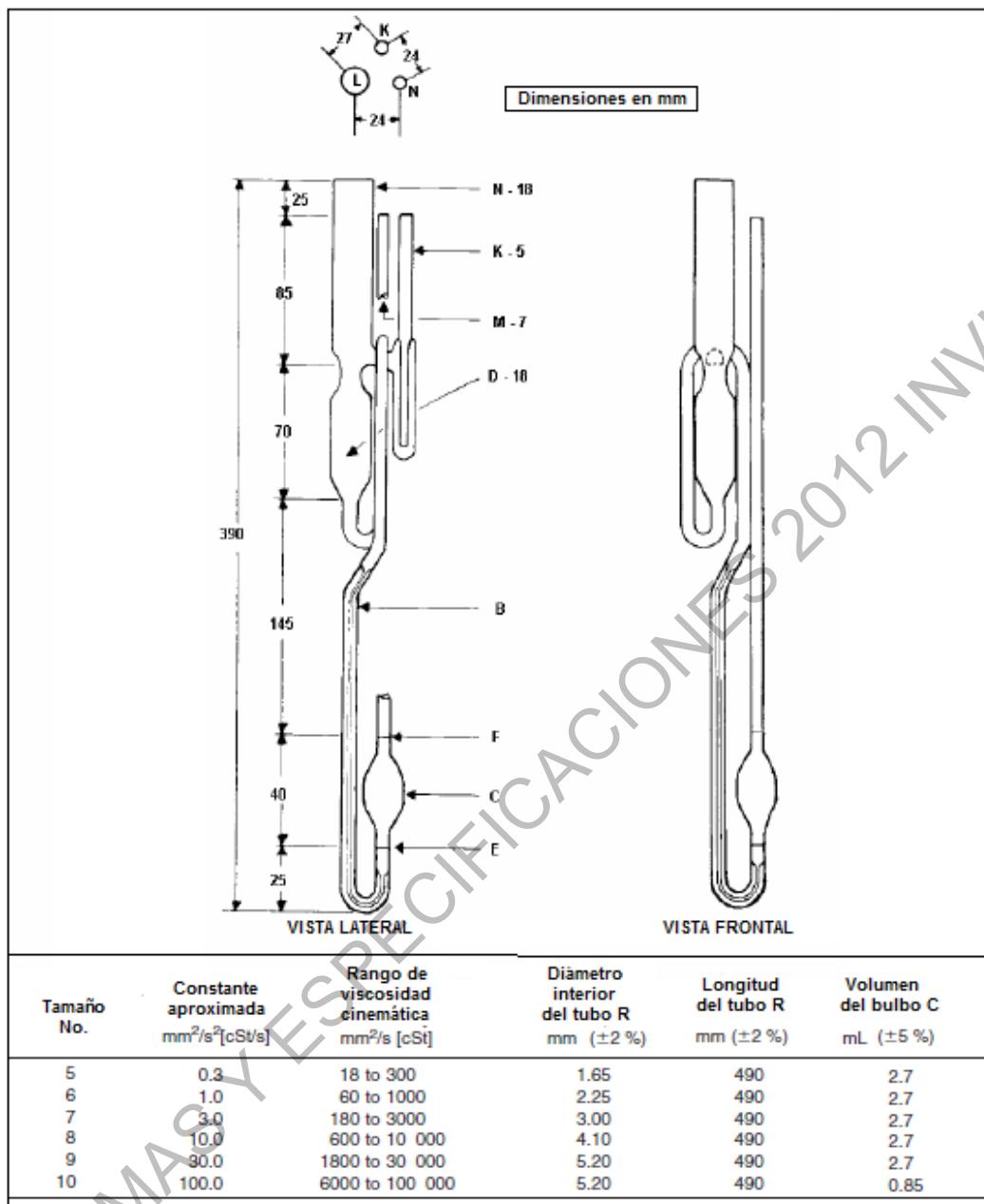


Figura 715B - 3. Viscosímetro de flujo invertido tipo Lantz-Zeitfuchs para líquidos opacos

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. Despues 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 descansen 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.

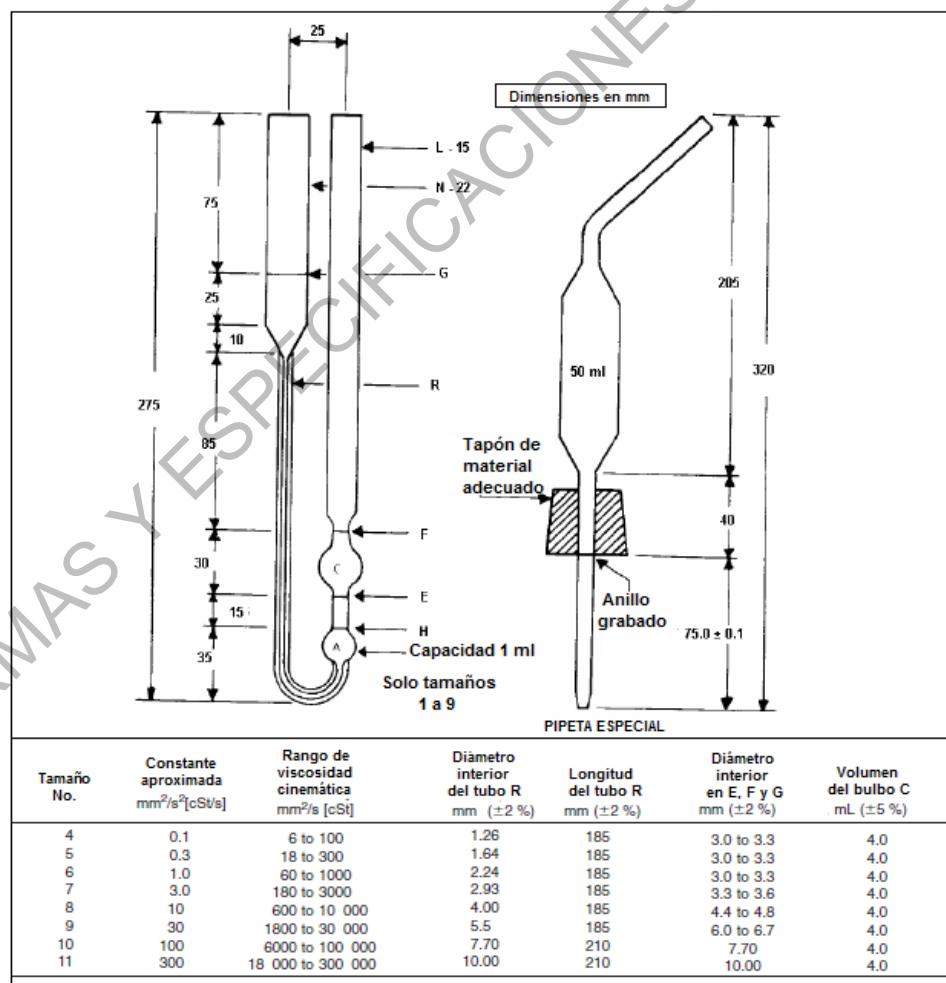


Figura 715B - 4. Viscosímetro BS/IP/RF de tubo en U y de flujo invertido para líquidos opacos

- 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 , 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: C_2 : Constante de calibración en el laboratorio de ensayo;
- C_1 : Constante de calibración en el laboratorio de calibración;
- g_2 : Aceleración de la gravedad en el laboratorio de ensayo;
- g_1 : 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):

$$C_1 = (t_2 \times C_2) / t_1$$

[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 $\pm 0.02^\circ C$, 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 $0.01^\circ C$ ($0.02^\circ F$).
- 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 $0^\circ C$ ($32^\circ F$). 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.