

**LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES**

**PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS**

**TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas**

**CAPÍTULO: 002. Viscosidad Dinámica de Cementos y Residuos Asfálticos**

**A. CONTENIDO**

Este Manual describe el procedimiento de prueba para determinar la viscosidad dinámica de los cementos asfálticos o residuos de la destilación de emulsiones y asfaltos rebajados, a que se refiere la Norma N·CMT·4·05·001, *Calidad de Materiales Asfálticos*, en muestras tomadas conforme al Manual M·MMP·4·05·001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

**B. OBJETIVO DE LA PRUEBA**

Esta prueba permite determinar la consistencia de los materiales asfálticos mediante sus características de flujo a una temperatura de 60°C (140°F). Es aplicable a materiales asfálticos que tengan una viscosidad de 4,2 a 20 000 Pa·s (42 a 200 000 P).

La prueba consiste en determinar el tiempo que tardan en pasar 20 mL del material por probar a través de un tubo capilar al vacío, bajo condiciones de presión y temperatura preestablecidas, corregido por el factor de calibración del viscosímetro.

**C. REFERENCIAS**

Este Manual se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Calidad de Materiales Asfálticos .....	N·CMT·4·05·001
Muestreo de Materiales Asfálticos .....	M·MMP·4·05·001
Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos .....	M·MMP·4·05·010
Destilación de Emulsiones Asfálticas .....	M·MMP·4·05·012
Destilación de Asfaltos Rebajados .....	M·MMP·4·05·021

**D. EQUIPO Y MATERIALES**

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes. Todos los materiales por emplear serán de alta calidad, considerando siempre la fecha de su caducidad.

**D.1. VISCOSÍMETRO**

De tipo capilar, cilíndrico, hecho de vidrio de borosilicato templado. Puede ser de los siguientes tipos:

### D.1.1. Viscosímetro capilar de vacío del Instituto del Asfalto (AIVV)

Como el mostrado en la Figura 1 de este Manual y que cumpla con las características establecidas en la Tabla 1. Contará con bulbos de medición (B, C y D) localizados en el brazo (M) del viscosímetro, el cual es un capilar de vidrio perforado de precisión. Los bulbos serán segmentos capilares y estarán separados por marcas para cronometraje (F, G, H, I). Además el viscosímetro contará con un soporte que lo mantenga en posición vertical cuando se coloque en el baño. Este soporte se puede conseguir comercialmente; sin embargo, es posible fabricar uno, taladrando dos orificios en un tapón N°11 de hule, de 22 y 8 mm respectivamente, con una distancia de centro a centro de los orificios de 25 mm. Se hace una ranura entre ambos orificios y también entre el orificio de 8 mm y la orilla del tapón. Cuando se coloca en un orificio de 51 mm (2") en la cubierta del baño, el tapón mantiene al viscosímetro en su lugar.

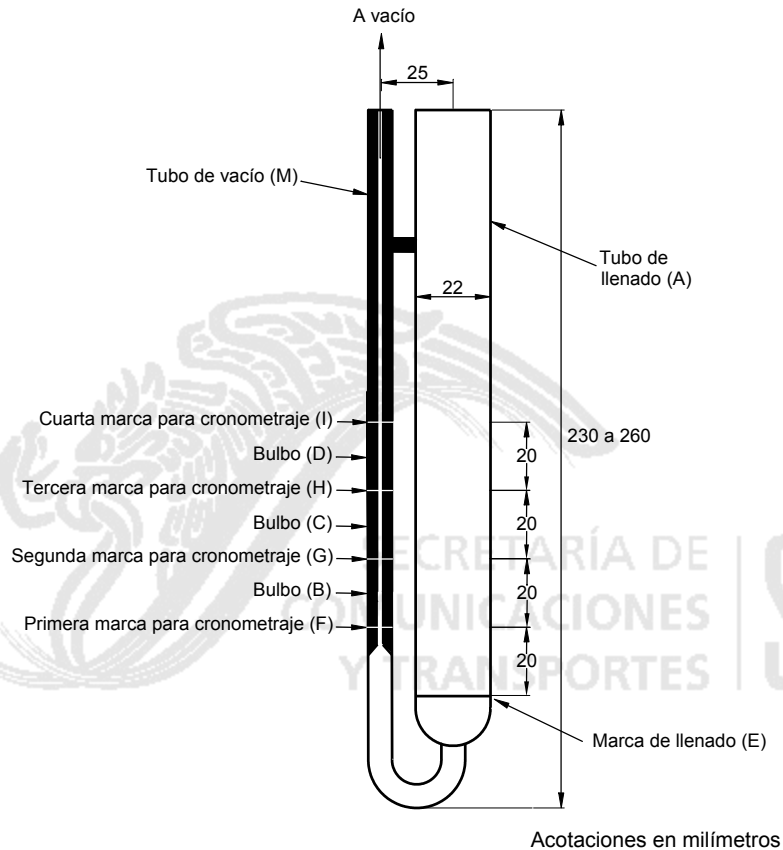


FIGURA 1. Viscosímetro capilar de vacío del Instituto del Asfalto (AIVV)

### D.1.2. Viscosímetro de vacío Koppers modificado (MKVV)

Como el mostrado en la Figura 2 de este Manual y que cumpla con las características establecidas en la Tabla 2. Consistirá en un tubo de llenado (A) y un tubo de vidrio perforado capilar de vacío de precisión (M), unidos por una junta de borosilicato (N), con un filo estándar 24/40. Los bulbos de medición (B, C, y D), serán segmentos capilares de 20 mm de longitud, separados por marcas para cronometraje (F, G, H, I).

Además contará con un soporte que lo mantenga en posición vertical cuando se coloque en el baño. Este soporte se puede conseguir comercialmente, sin embargo es posible fabricar uno, taladrando un orificio de 28 mm en el centro de un tapón N°11 de hule y cortando al tapón entre el orificio y la orilla. Cuando se coloca en un orificio de 51 mm (2") en la cubierta del baño, el tapón mantiene al viscosímetro en su lugar.

**TABLA 1.- Tamaños de viscosímetros estándar, radio capilar, factores de calibración aproximados (*K*) y rangos de viscosidad para viscosímetros capilares de vacío del Instituto del Asfalto(AIVV)**

Tamaño nominal	Radio capilar mm	Factor de calibración aproximado ( <i>K</i> ) <sup>[1]</sup> vacío de 300 mm Hg Pa (P/s)			Rango de viscosidad dinámica, $\eta$ <sup>[2]</sup> Pa·s (P)
		Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D	
25	0,125	0,2 (2)	0,1 (1)	0,07 (0,7)	4,2 a 80 (42 a 800)
50	0,25	0,8 (8)	0,4 (4)	0,3 (3)	18 a 320 (180 a 3 200)
100	0,50	3,2 (32)	1,6 (16)	1 (10)	60 a 1 280 (600 a 12 800)
200	1,0	12,8 (128)	6,4 (64)	4 (40)	240 a 5 200 (2 400 a 52 000)
400	2,0	50 (500)	25 (250)	16 (160)	960 a 20 000 (9 600 a 200 000)
400R <sup>[3]</sup>	2,0	50 (500)	25 (250)	16 (160)	960 a 14000 (9 600 a 140 000)
800R <sup>[3]</sup>	4,0	200 (2 000)	100 (1 000)	64 (640)	3 800 a 580 000 (38 000 a 5 800 000)

[1] Los factores de calibración exactos se obtendrán con viscosidad estándar.

[2] Los rangos de viscosidad corresponden a tiempos de llenado de 60 y 400 s. En ocasiones especiales se pueden utilizar tiempos de flujo mayores, incluso superiores a 1 000 s.

[3] En estos casos se tienen marcas adicionales a 5 y 10 mm arriba de la marca para cronometraje F (ver Figura 1), para diseños especiales de asfaltos en cubiertas. Así, el rango de viscosidad máxima medible se incrementa respecto a aquel que utiliza al factor de calibración del bulbo B.

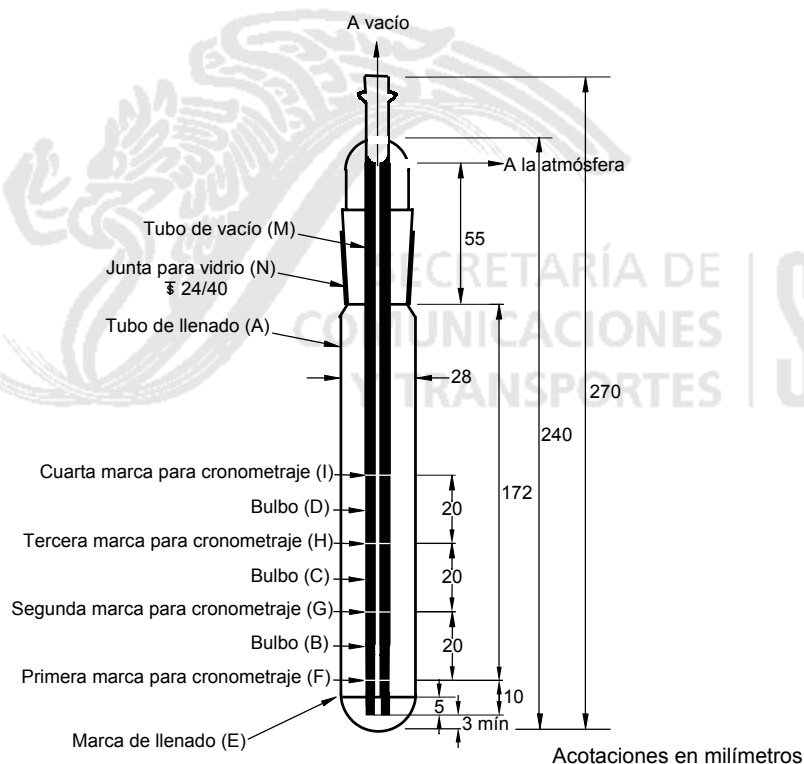


FIGURA 2.- Viscosímetro capilar de vacío Koppers modificado (MKVV)

## D.2. TERMÓMETROS

De inmersión total, con escala que abarque de 0 a 150°C y aproximación de 0,2°C.

**TABLA 2.- Tamaños de viscosímetros estándar, radio capilar, factores de calibración aproximados ( $K$ ), y rangos de viscosidad para viscosímetros capilares de vacío Koppers modificados (MKVV)**

Tamaño nominal	Radio capilar mm	Factor de calibración aproximado ( $K$ ) <sup>[1]</sup> vacío de 300 mm Hg Pa (P/s)			Rango de viscosidad dinámica, $\eta$ <sup>[2]</sup> Pa·s (P)
		Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D	
25	0,125	0,2 (2)	0,1 (1)	0,07 (0,7)	4,2 a 80 (42 a 800)
50	0,25	0,8 (8)	0,4 (4)	0,3 (3)	18 a 320 (180 a 3 200)
100	0,50	3,2 (32)	1,6 (16)	1 (10)	60 a 1 280 (600 a 12 800)
200	1,0	12,8 (128)	6,4 (64)	4 (40)	240 a 5 200 (2 400 a 52 000)
400	2,0	50 (500)	25 (250)	16 (160)	960 a 20 000 (9 600 a 200 000)

[1] Los factores de calibración exactos se obtendrán con viscosidad estándar.

[2] Los rangos de viscosidad corresponden a tiempos de llenado de 60 y 400 s. En ocasiones especiales se pueden utilizar tiempos de flujo mayores, incluso superiores a 1 000 s.

### D.3. BAÑO

- Con las dimensiones adecuadas para que la marca para cronometraje superior de los viscosímetros, pueda ubicarse por lo menos a 20 mm por debajo de la superficie del líquido del baño.
- Que permita observar en todo momento tanto el viscosímetro como el termómetro.
- Que forme parte integral del viscosímetro o que cuente con un soporte firme para este último.

### D.4. SISTEMA DE VACÍO

- Que tenga un sistema general como el que se muestra esquemáticamente en la Figura 3 de este Manual.
- Capaz de mantener un nivel de vacío de hasta 300 mm Hg con aproximación de  $\pm 0,5$  mm Hg.
- A base de tubos de vidrio con un diámetro interior de 6,35 mm ( $\frac{1}{4}$ "), con juntas herméticas entre los tubos que garanticen que no se pierda el vacío.
- Que cuente con un manómetro de mercurio con un extremo abierto, con aproximación de 1 mm Hg y una bomba de vacío.

### D.5. CRONÓMETROS

Dos cronómetros, con aproximación de 0,1 s y precisión de  $\pm 0,05\%$ .

### D.6. LÍQUIDO PARA LLENAR EL BAÑO

Agua destilada.

## E. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra de prueba, según se trate de cemento asfáltico, del residuo de la prueba de película delgada o del residuo asfáltico obtenido por destilación de una emulsión o de un asfalto rebajado, se prepara como se indica a continuación:

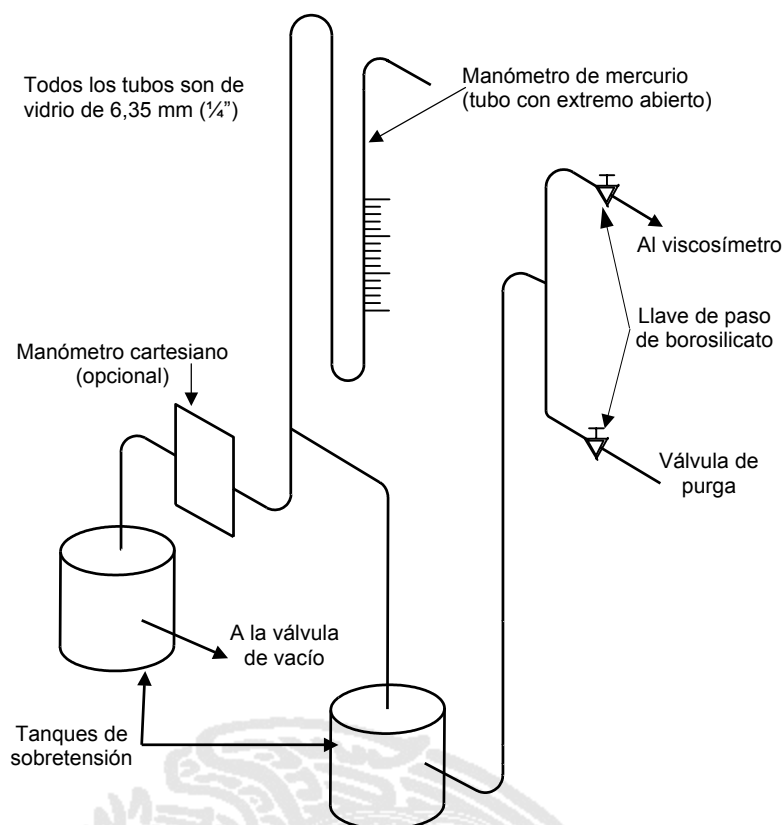


FIGURA 3.- Sistema de vacío sugerido para viscosímetros capilares de vacío

### E.1. MUESTRA DE CEMENTO ASFÁLTICO

- E.1.1.** Se calienta la muestra en un recipiente apropiado, agitándola ocasionalmente para evitar el sobrecalentamiento local y distribuir el calor uniformemente, hasta que adquiera la fluidez suficiente que facilite su vaciado.
- E.1.2.** Se vacían 20 mL de la muestra en un contenedor adecuado y se calienta hasta alcanzar una temperatura de  $135 \pm 5,5^{\circ}\text{C}$  ( $275 \pm 10^{\circ}\text{F}$ ), agitándola ocasionalmente para evitar el sobrecalentamiento local, distribuir el calor uniformemente y evitar que quede aire atrapado.

### E.2. RESIDUO DE LA PRUEBA DE PELÍCULA DELGADA

El residuo de la prueba de película delgada, según se indica en el Manual M-MMP-4-05-010, *Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos*, se prepara colocando las charolas sobre las placas de asbesto-cemento; después se acomoda el conjunto sobre la plataforma circular, se introduce en el horno, que estará a una temperatura de  $163^{\circ}\text{C}$  y se hace girar la plataforma a una velocidad de 5 a 6 rpm durante 15 min. Hecho esto, se sacan las charolas del horno y se vierte su contenido en una sola de ellas con ayuda de una espátula, agitándolo para homogeneizarlo. Hecho lo anterior se procede como se indica en el Inciso E.1.2. de este Manual.

### E.3. MUESTRA DEL RESIDUO POR DESTILACIÓN DE UNA EMULSIÓN ASFÁLTICA

Inmediatamente después de obtener el residuo por destilación de la emulsión asfáltica mediante el procedimiento de prueba indicado en el Manual M-MMP-4-05-012, *Destilación de Emulsiones Asfálticas*, se destapa el alambique utilizado en esa prueba, se homogeneiza su contenido con la espátula, se toma una muestra de prueba de aproximadamente 20 mL en un contenedor

apropiado, vertiendo el residuo a través de la malla N°50 y se procede como se indica en el Inciso E.1.2. de este Manual.

#### E.4. MUESTRA DEL RESIDUO POR DESTILACIÓN DE UN ASFALTO REBAJADO

Inmediatamente después de obtener el residuo por destilación del asfalto rebajado mediante el procedimiento de prueba indicado en el Manual M-MMP-4-05-021, *Destilación de Asfaltos Rebajados* y tan pronto como deje de vaporizar en la cápsula metálica utilizada en esa prueba, se homogeneiza con la espátula, se toma una muestra de prueba de aproximadamente 20 mL en un contenedor apropiado y se procede como se indica en el Inciso E.1.2. de este Manual.

### F. DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD DINÁMICA

#### F.1. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

##### F.1.1. Calibración del viscosímetro de vacío por medio de viscosidad estándar

F.1.1.1. Se calibrará mediante un aceite de viscosidad estándar cuando en la muestra de prueba se esperen las viscosidades dinámicas aproximadas señaladas en la Tabla 3 de este Manual.

**TABLA 3.- Viscosidades estándar de aceites utilizados para la calibración de los viscosímetros**

Viscosidad estándar	Viscosidad dinámica aproximada, $\eta$ Pa·s (P)	
	A 20°C (68°F)	A 38°C (100°F)
N 30 000	150 (1 500)	24 (240)
N 190 000	800 (8000)	160 (1600)
S 30 000	---	24 (240)

F.1.1.2. Se selecciona de la Tabla 3 de este Manual, un aceite de viscosidad estándar que tenga un tiempo mínimo de flujo de 60 s a la temperatura de calibración.

F.1.1.3. Se carga un viscosímetro limpio y seco con el aceite estándar hasta  $\pm 2$  mm de la línea de llenado E (ver las Figuras 1 y 2 de este Manual).

F.1.1.4. Se coloca el viscosímetro cargado en el baño, manteniendo la temperatura de calibración con aproximación de  $\pm 0,01^\circ\text{C}$  ( $\pm 0,02^\circ\text{F}$ ).

F.1.1.5. Se establece un vacío de  $300 \pm 0,5$  mm de Hg en el sistema de vacío y se conecta éste al viscosímetro con la llave de paso cerrada en la línea que va a este último.

F.1.1.6. Después de que el viscosímetro ha estado en el baño por  $30 \pm 5$  min, se inicia el flujo del aceite estándar abriendo la llave de paso en la línea que va al sistema de vacío.

F.1.1.7. Se mide el tiempo requerido para que la orilla principal del menisco, es decir, la parte superior visible del mismo, pase entre las marcas F y G, con aproximación de 0,1 s. Utilizando otro cronómetro, se mide el tiempo requerido para que la orilla principal del menisco pase entre las marcas para cronometraje G y H, con aproximación de 1 s. Si el instrumento contiene marcas para cronometraje adicionales, se determina de la misma manera el tiempo de flujo para cada bulbo sucesivo.

F.1.1.8. Se calcula el factor de calibración  $K$ , para cada bulbo como sigue:

$$K = \frac{\eta_e}{t}$$

Donde:

$K$  = Factor de calibración del bulbo (a 300 mm Hg), (Pa)

$\eta_e$  = Viscosidad dinámica del aceite de viscosidad estándar a la temperatura de calibración, (Pa·s)

$t$  = Tiempo de flujo, (s)

**F.1.1.9.** Se repite el procedimiento de calibración utilizando la misma viscosidad estándar u otra viscosidad estándar distinta.

**F.1.1.10.** Se calcula y registra el promedio del factor de calibración  $K$  para cada bulbo. Los resultados obtenidos en las dos determinaciones no deben variar más del 2% respecto a su promedio, en caso contrario se repetirá el procedimiento hasta que esto se cumpla.

**F.1.1.11.** Es importante hacer notar que los factores de calibración del bulbo son independientes de la temperatura.

#### **F.1.2. Calibración del viscosímetro de vacío por medio del viscosímetro de vacío estándar**

**F.1.2.1.** Se elige cualquier material asfáltico que tenga un tiempo de flujo de al menos 60 s y se selecciona un viscosímetro estándar con factores de calibración de bulbo ( $K$ ) conocidos.

**F.1.2.2.** Se monta el viscosímetro estándar junto con el viscosímetro que va a ser calibrado en el mismo baño a 60°C (140°F) y se determinan los tiempos de flujo del material asfáltico de acuerdo con el procedimiento descrito en la Fracción F.2. de este Manual.

**F.1.2.3.** Se calcula el factor de calibración  $K_1$  para cada bulbo, como sigue:

$$K_1 = \frac{K_2 \times t_2}{t_1}$$

Donde:

$K_1$  = Factor de calibración del bulbo del viscosímetro que se está calibrando, (Pa)

$K_2$  = Factor de calibración del bulbo del viscosímetro estándar, (Pa)

$t_1$  = Tiempo de flujo del bulbo del viscosímetro que se está calibrando, (s)

$t_2$  = Tiempo de flujo del bulbo del viscosímetro estándar, (s)

### **F.2. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA**

El procedimiento de prueba varía ligeramente según el tipo de viscosímetro que se utilice, por lo que, además de lo indicado a continuación, es necesario considerar las características particulares de los viscosímetros señaladas en la Fracción D.1. de este Manual.

**F.2.1.** Se mantiene el baño a  $60 \pm 0,01^\circ\text{C}$  ( $140 \pm 0,02^\circ\text{F}$ ), aplicando, en su caso, las correcciones necesarias en todas las lecturas del termómetro.

**F.2.2.** Se selecciona un viscosímetro limpio y seco, que dé un tiempo de flujo mayor de 60 s y se precalienta a  $135 \pm 5,5^\circ\text{C}$  ( $275 \pm 10^\circ\text{F}$ ).

- F.2.3.** Se carga el viscosímetro vertiendo la muestra preparada a  $\pm 2$  mm de la línea de llenado E (ver Figuras 1 y 2 de este Manual).
- F.2.4.** Se coloca el viscosímetro cargado en un horno o un baño, mantenidos a  $135 \pm 5,5^{\circ}\text{C}$  ( $275 \pm 10^{\circ}\text{F}$ ) por un período de  $10 \pm 2$  min, para eliminar la mayor parte de las burbujas de aire atrapadas.
- F.2.5.** Se retira el viscosímetro del horno o del baño y, en un tiempo no mayor de 5 min, se inserta el viscosímetro en un soporte y se coloca verticalmente en el baño, de tal manera que la marca para cronometraje superior, esté al menos 20 mm por debajo de la superficie del líquido del baño.
- F.2.6.** Se establece un vacío de  $300 \pm 0,5$  mm Hg en el sistema de vacío y se conecta éste al viscosímetro con la llave de paso cerrada.
- F.2.7.** Después de que el viscosímetro ha estado en el baño por  $30 \pm 5$  min, se inicia el flujo del material asfáltico abriendo la llave de paso en la línea que va al sistema de vacío.
- F.2.8.** Se mide el tiempo requerido para que la orilla principal del menisco pase entre dos marcas para cronometraje sucesivas, que es el tiempo de flujo. Se reporta el primer tiempo de flujo que sea mayor de 60 s entre dos marcas para cronometraje sucesivas, registrando la letra de identificación de estas últimas.
- F.2.9.** Una vez completada la prueba, se deja drenar el viscosímetro para después limpiarlo perfectamente enjuagándolo varias veces con un solvente apropiado completamente miscible con la muestra, seguido por un solvente totalmente volátil. Posteriormente se seca el viscosímetro pasando por él una corriente lenta de aire seco filtrado durante 2 min, o hasta que la última marca de solvente desaparezca.

## G. CÁLCULOS Y RESULTADOS

- G.1.** Se selecciona el factor de calibración ( $K$ ) que corresponda al par de marcas para cronometraje utilizadas para la determinación del tiempo de flujo. Se calcula la viscosidad mediante la siguiente ecuación:

$$\eta = K \times t$$

Donde:

$\eta$  = Viscosidad dinámica, (Pa·s)

$K$  = Factor de calibración seleccionado, (Pa)

$t$  = Tiempo de flujo, (s)

- G.2.** La viscosidad dinámica se reportará con una aproximación al milésimo, anotando además, la temperatura de prueba y la presión de vacío utilizada.

## H. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observan las siguientes precauciones:

- H.1.** Sumergir los termómetros de tal forma que sólo la columna de mercurio este cubierta por el agua y el resto del tallo y la cámara de expansión estén expuestos a la temperatura del laboratorio y a la presión ambiental, ya que en caso contrario podrían obtenerse mediciones inexactas y tendrían que hacerse correcciones.
- H.2.** Verificar que el viscosímetro esté calibrado de acuerdo con lo establecido en la Fracción F.1. de este Manual.



- H.3.** Limpiar periódicamente el viscosímetro con una solución limpiadora de ácido crómico para remover depósitos orgánicos, enjuagándolo completamente con agua destilada y acetona, y secándolo con aire seco y limpio. Se puede preparar solución limpiadora de ácido crómico, adicionando con las precauciones normales, 800 mL de ácido sulfúrico concentrado a una solución de 92 g de dicromato de sodio en 458 mL de agua. Es aceptable el uso de soluciones limpiadoras de ácido sulfúrico comercial similar. El uso de soluciones limpiadoras alcalinas puede producir un cambio en la calibración del viscosímetro, por lo que no son recomendables.
- H.4.** Cuidar que la variación de temperatura en la muestra durante las calibraciones y las pruebas, esté dentro de la tolerancia indicada.

