

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

PARTE: **2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS**

TÍTULO: 07. Pinturas para Recubrimiento de Estructuras

CAPÍTULO: 007. Viscosidad de Pinturas para Recubrimiento de Estructuras

A. CONTENIDO

Este Manual describe los procedimientos para determinar la viscosidad por los métodos de la copa Ford y del viscosímetro Brookfield, de las pinturas que se utilicen como primarios o acabados, de uno o dos componentes, a que se refiere la Norma N-CMT-2-07, *Pinturas para Recubrimiento de Estructuras*, en muestras tomadas conforme al Manual M-MMP-2-07-001, *Muestreo de Pinturas para Recubrimiento de Estructuras*.

B. OBJETIVO DE LAS PRUEBAS

Estas pruebas permiten determinar la resistencia que presenta una pintura al flujo, bajo condiciones de temperatura y humedad determinadas, con el fin de verificar que su consistencia sea la adecuada para su aplicación. La primera prueba consiste en correlacionar el tiempo que tarda una muestra de pintura en fluir a través del orificio de una copa Ford, con la viscosidad cinemática; mientras que la segunda prueba consiste en la medición directa de la viscosidad dinámica de una pintura mediante un viscosímetro Brookfield.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con la Norma N-CMT-2-07, *Pinturas para Recubrimiento de Estructuras* y el Manual M-MMP-2-07-001, *Muestreo de Pinturas para Recubrimiento de Estructuras*.

D. EQUIPO

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones óptimas para su uso, calibrado, limpio, completo en todas sus partes y sin desgaste que pueda alterar significativamente los resultados de las pruebas.

D.1. VISCOSÍMETRO COPA FORD

Copas Ford para viscosidad, fabricadas con materiales resistentes a la corrosión y a los solventes, con orificios N° 2, 3 y 4, ensambladas como unidades completas, como se muestra en la Figura 1 de este Manual.

D.2. VISCOSÍMETRO BROOKFIELD

Que tenga un rotor del número 4, que sea capaz de girar por lo menos a 60, 30, 12 y 6 rpm. También podrá emplearse un viscosímetro con velocidades de 20, 10, 4 y 2 rpm, siempre y cuando se efectúe un ajuste proporcional en el tiempo requerido para completar la prueba.

Pueden emplearse viscosímetros digitales, en los que se obtienen las lecturas de viscosidad directamente, como se ilustra en la Figura 2 de este Manual.

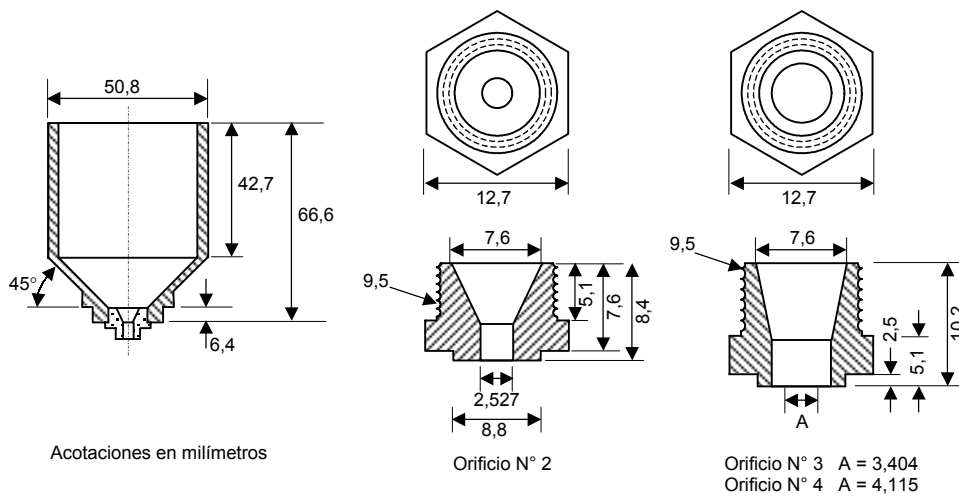


FIGURA 1.- Copa Ford para viscosidad y orificios

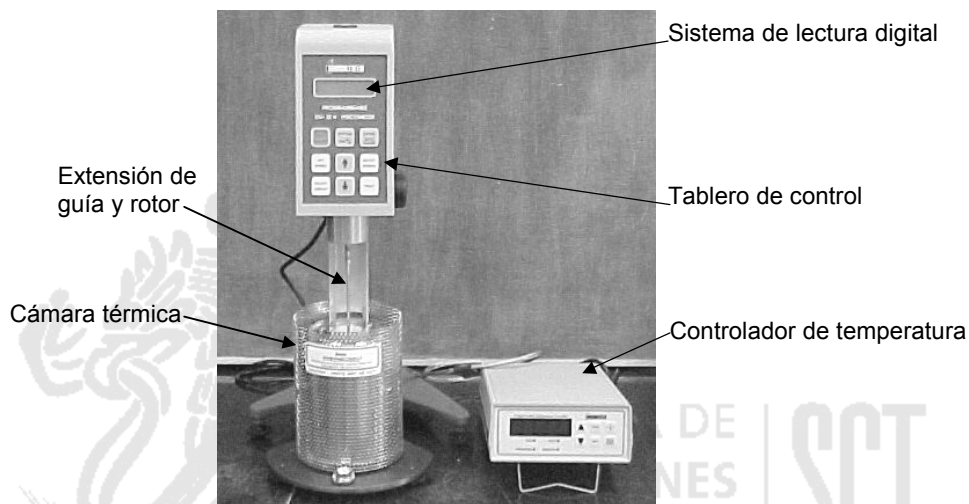


FIGURA 2.- Viscosímetro digital Brookfield

D.3. CRONÓMETRO

Con aproximación mínima de 0,2 s.

D.4. PARRILLA

Para calentamiento, con placa de *pyroceram* o *teflón*, de aproximadamente 150 mm de ancho por 150 mm de largo, para temperatura máxima de aproximadamente $500 \pm 10^\circ\text{C}$.

D.5. TERMÓMETRO METÁLICO

Con carátula de aproximadamente 45 mm de diámetro, vástago de 200 mm y rango de 0 a 50°C .

D.6. TERMÓMETRO DE INMERSIÓN TOTAL

Con rango de 0 a 50°C .

D.7. VASOS DE PRECIPITADO

De vidrio *Pyrex*, de 600 cm^3 .

D.8. ESPÁTULA O PALA

De madera o acero inoxidable, con las dimensiones adecuadas.

E. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La preparación de la muestra de pintura, obtenida según se establece en el Manual M-MMP-2-07-001, *Muestreo de Pinturas para Recubrimiento de Estructuras*, se hace de la siguiente manera:

E.1. PINTURAS DE UN COMPONENTE

Se agita vigorosamente la muestra por probar con una espátula o pala durante 5 a 10 min para homogeneizarla y se toma la cantidad necesaria para la prueba, cuidando que no se formen burbujas o se contamine con materiales extraños. Inmediatamente después de homogeneizada, la muestra de prueba se dejará en reposo durante 2 min antes de realizarle la prueba.

E.2. PINTURAS DE DOS COMPONENTES

Se hace la mezcla de los componentes previamente homogeneizados, de acuerdo con la proporción y orden de incorporación que se especifique en la ficha técnica que proporcione el fabricante. Esta mezcla permanecerá en reposo durante 15 a 30 min para permitir la reacción de sus componentes y finalmente se homogeneiza para tomar la cantidad de pintura necesaria para la prueba, cuidando que no se formen burbujas o se contamine con materiales extraños. Inmediatamente después de homogeneizada, la muestra de prueba se dejará en reposo durante 2 min antes de realizarle la prueba.

F. DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD CON COPA FORD

Este método de prueba es adecuado para determinar la viscosidad de las pinturas delgadas o de baja viscosidad, mediante la determinación del tiempo requerido para que un volumen determinado de pintura contenido en la copa fluya por gravedad a través del orificio.

F.1. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

Previo al inicio de la prueba, la copa Ford para viscosidad se calibrará con un aceite de viscosidad cinemática estandarizada conocida, de la siguiente manera:

F.1.1. Dependiendo del rango de viscosidad que se espere en la pintura de prueba, se selecciona el orificio de la copa y el aceite de calibración que se va a utilizar empleando los valores indicados en la Tabla 1 de este Manual. En dicha Tabla se muestran las viscosidades estándar a $25 \pm 0,1^\circ\text{C}$ típicas de aceites de calibración, aunque también se pueden utilizar otros aceites diferentes, si se conoce su viscosidad cinemática en mm^2/s . Tomando en cuenta estos datos se determina el tiempo de flujo con aproximación de 0,2 s, aplicando el procedimiento descrito en la Fracción F.2. de este Manual.

TABLA 1.- Viscosidades estandarizadas de aceites utilizados para la calibración de las copas Ford

Unidades en mm^2/s *

Número de orificio de la copa Ford	Rango de viscosidad esperada en la muestra de prueba	Viscosidad estandarizada (ν_c) de aceites de calibración, a 25°C
2	25 a 120	35
3	20 a 220	120
4	70 a 370	120

* $1\text{mm}^2/\text{s} = 1 \text{ cSt}$ (centistoke)

F.1.2. Se calcula la viscosidad cinemática a partir del tiempo de flujo del aceite de calibración, utilizando las siguientes fórmulas:

- Para orificio N°2 $\nu_c = - 0,007 t^2 + 2,388 t - 57,008$
- Para orificio N°3 $\nu_c = 2,314 t - 15,2$
- Para orificio N°4 $\nu_c = 3,846 t - 17,3$

Donde:

t = Tiempo de flujo del aceite de calibración, (s)

v_c = Viscosidad cinemática calculada mediante la copa Ford para el aceite de calibración, ($\mu\text{m}^2/\text{s}$)

- F.1.3.** Se verifica que el porcentaje de variación de la viscosidad obtenida con la copa respecto al estándar, sea de $\pm 10\%$ como máximo, ya que en el caso contrario no se debe usar este método. Dicho porcentaje de variación se calcula con la siguiente expresión:

$$\% \text{ de variación} = \left(\frac{v_e - v_c}{v_e} \right) \times 100$$

Donde:

v_e = Viscosidad estandarizada del aceite de calibración (de la Tabla 1), ($\mu\text{m}^2/\text{s}$)

v_c tiene el significado indicado en el Inciso anterior.

- F.1.4.** Utilizando la Figura 3 de este Manual, se determina la diferencia en por ciento, del tiempo medido con la copa Ford y el del tiempo correspondiente al aceite de calibración estándar utilizado, de acuerdo con la Tabla 1, para aplicarla como porcentaje de corrección.

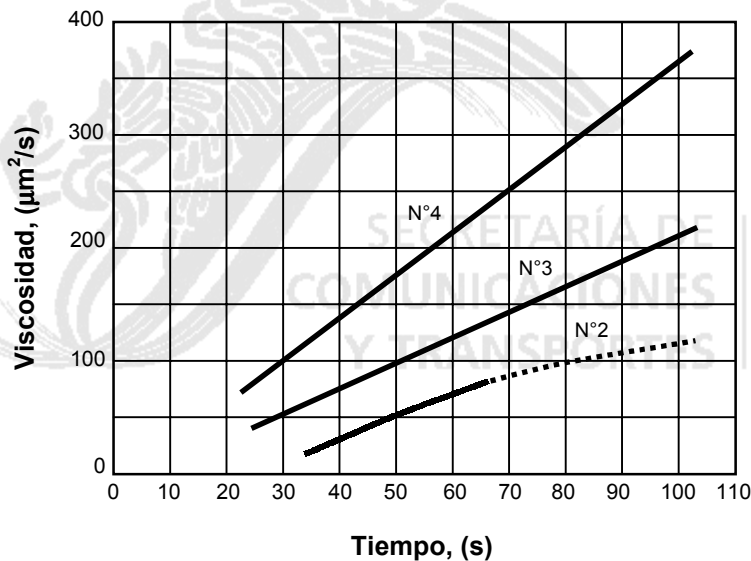


FIGURA 3.- Curvas de viscosidades aproximadas para copa Ford

F.2. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

Una vez seleccionado el orificio a utilizar y calibrada la copa Ford, como se establece en la Fracción F.1. de este Manual, se verifica que el laboratorio esté bien ventilado, con temperatura entre 25 y 28°C y una humedad relativa de $50 \pm 5\%$, evitando el polvo y corrientes de aire y se procede de la siguiente manera:

- F.2.1.** Se tapa el orificio con el dedo índice y se llena la copa con la pintura de prueba hasta el borde, cuidando que no se derrame ni se forme un menisco. Posteriormente se retira el dedo y se mide el tiempo en s, desde que se inicia el flujo hasta que se interrumpe por primera vez, registrándose el valor obtenido.

- F.2.2.** Se efectúa esta determinación por duplicado. La diferencia máxima permitida en los resultados no debe exceder en $\pm 3\%$, de lo contrario, se realizará una nueva determinación hasta que se cumpla lo anterior.

F.3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Se reporta como resultado de la prueba, en $\mu\text{m}^2/\text{s}$, el promedio de las dos determinaciones efectuadas. Además, el reporte incluirá el tiempo de los flujos de las pinturas para el orificio utilizado, en s con aproximación a dos décimos.

F.4. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

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

- F.4.1.** Realizar la prueba en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire, de cambios de temperatura y de partículas que provoquen la contaminación de las muestras de prueba.
- F.4.2.** Verificar que las condiciones de temperatura y humedad en el laboratorio al momento de realizar la prueba sean las indicadas en la Fracción F.2. de este Manual.
- F.4.3.** En pinturas de dos componentes, cuidar que la preparación de la pintura se realice de acuerdo con lo indicado en la Fracción E.2. de este Manual.
- F.4.4.** Verificar que el equipo esté calibrado de acuerdo con lo establecido en la Fracción F.1. de este Manual. Si por alguna razón, el orificio se ha quitado de la copa, será necesario calibrarla nuevamente antes de usarla.
- F.4.5.** Cuidar que todo el equipo esté perfectamente limpio, para que al hacer la prueba la pintura no se mezcle con agentes extraños y se altere el resultado. Se cuidará de manera especial la limpieza del orificio y se evitará la formación de película en las paredes interiores de la copa. Después de cada determinación, la copa se debe limpiar utilizando un disolvente apropiado y un cepillo suave o estopa.
- F.4.6.** Para evitar errores en los resultados, no probar muestras que presenten inestabilidad o no hayan sido incorporadas u homogeneizadas totalmente.

G. DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD BROOKFIELD (VISCOSIDAD DINÁMICA)

Esta prueba se emplea particularmente en pinturas con características de alta resistencia al flujo, consideradas de alta viscosidad, con características plásticas, pseudoplásticas o tixotrópicas, que es la propiedad de presentar una falsa consistencia o viscosidad, que al ser agitada pasa al estado líquido y que puede volver al estado anterior cuando se le deja en reposo.

G.1. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

Previo al inicio de la prueba, el viscosímetro Brookfield se calibrará con un aceite de viscosidad estandarizada a 25°C , cercana a la viscosidad esperada. Para el caso de las pinturas para recubrimiento de estructuras, la viscosidad esperada estará comprendida entre 0,5 y 5 Pa·s (entre 5 y 50 P [Poises]).

- G.1.1.** Se coloca el aceite de calibración en un recipiente apropiado donde se introduce, despacio y con cuidado el rotor del viscosímetro hasta que ajuste perfectamente. Posteriormente se mantiene el aceite y el rotor a la temperatura y humedad de prueba, establecidas en la Fracción F.2. de este Manual, durante aproximadamente 1 h para que se uniforme.

- G.1.2.** Se hace funcionar el viscosímetro y se registra la lectura de la escala después de 10 s, a una temperatura de $25 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$. La lectura de la viscosidad obtenida, expresada en Pa-s, debe ser igual a la del aceite de calibración. En caso contrario, se efectuará el ajuste necesario al equipo, de acuerdo con la marca y a las indicaciones técnicas del fabricante, repitiéndose el procedimiento de calibración hasta cumplir con lo anterior.

G.2. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

Una vez calibrado el viscosímetro Brookfield, como se establece en la Fracción G.1. de este Manual, se verifica que el laboratorio esté bien ventilado, con temperatura entre 25 y 28°C y una humedad relativa de $50 \pm 5\%$, evitando el polvo y corrientes de aire y se procede de la siguiente manera:

- G.2.1.** Se usará un rotor N°4 para la prueba, por lo que será necesario vaciar la muestra de prueba a un recipiente de 600 cm^3 . Se ajusta el rotor introduciéndolo despacio y con cuidado hasta que esté sumergido a la profundidad indicada; entonces se mueve el recipiente en un plano horizontal hasta que el rotor esté localizado aproximadamente en el centro del recipiente.
- G.2.2.** Se hace funcionar el viscosímetro a una velocidad de 6 rpm y se registra la lectura de la escala después de que se haya uniformado la velocidad, lo cual se logra después de 10 s. Se aumenta la velocidad a 12, 30 y 60 rpm, tomando lecturas para cada velocidad después de 10 s.
- G.2.3.** Después de que se ha hecho la lectura correspondiente a 60 rpm, se disminuye la velocidad a 30, 12 y 6 rpm y para cada velocidad se registra la lectura de la escala después de 10 s. Después de que se ha tomado la última lectura, se detiene el viscosímetro y se deja reposar la muestra de prueba durante 2 min. Transcurrido este tiempo se pone a funcionar el viscosímetro nuevamente a 6 rpm y se registra la lectura de la escala después de 10 s. Las lecturas se hacen directamente en la escala del equipo.

G.3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Se reporta como resultado de esta prueba, en Pa-s, las lecturas observadas en el viscosímetro en el orden en que se hicieron, es decir a 6, 12, 30, 60, 30, 12 y 6 rpm. Además, el reporte debe incluir la viscosidad a 6 rpm obtenida después de 2 min de reposo.

G.4. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

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

- G.4.1.** Realizar la prueba en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire, de cambios de temperatura y de partículas que provoquen la contaminación de las muestras de prueba.
- G.4.2.** Verificar que las condiciones de temperatura y humedad en el laboratorio, al momento de realizar la prueba, sean las indicadas en la Fracción G.2. de este Manual.
- G.4.3.** En pinturas de dos componentes, cuidar que la preparación de la pintura se realice de acuerdo con lo indicado en la Fracción E.2. de este Manual.
- G.4.4.** Verificar que el equipo esté calibrado de acuerdo con lo establecido en la Fracción G.1. de este Manual.
- G.4.5.** Cuidar que todo el equipo esté perfectamente limpio, para que al hacer la prueba la pintura no se mezcle con agentes extraños y se altere el resultado. Se cuidará de manera especial la limpieza del rotor. Después de cada determinación, el equipo se limpiará utilizando una estopa impregnada con un disolvente apropiado.