

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

PARTE: **4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS**

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 025. Módulo Reológico de Corte Dinámico

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento de prueba para la determinación del módulo reológico de corte dinámico y el ángulo fase de los cementos asfálticos según su grado de desempeño (PG), a los que se refiere la Norma N·CMT·4·05·004, *Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG)*, en el residuo de la prueba de la película delgada o para determinar las propiedades reológicas de muestras tomadas conforme al Manual M·MMP·4·05·001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite determinar el módulo reológico de corte dinámico y el ángulo fase, como propiedades viscoelásticas lineales de un cemento asfáltico, sometiendo una muestra a esfuerzos de torsión utilizando un reómetro dinámico de corte. Es aplicable a cementos asfálticos con módulos de corte dinámico de 0,1 a 1 000 kPa, los que se obtienen en forma típica entre 4 y 88 °C.

C. REFERENCIAS

Son referencias de este Manual, la norma ASTM E220-19, *Standard Test Method for Calibration of Thermocouples by Comparison Techniques*, publicada por la *American Society for Testing and Materials* y la norma ISO/IEC 17025, *Testing and Calibration Laboratories*, publicada en EUA, en 2019.

Además, este Manual se complementa con la siguiente:

NORMA Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG)	N·CMT·4·05·004
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
Envejecimiento Acelerado del Cemento Asfáltico en Vasija de Envejecimiento a Presión (PAV)	M·MMP·4·05·028

D. EQUIPO

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes.

D.1. SISTEMA DE PRUEBA DEL REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO (DSR)

Como el mostrado en la Figura 1 de este Manual, que cuente con:

D.1.1. Plato base

Metálico, de forma cilíndrica, con superficie pulida, con las dimensiones adecuadas para sostener los platos de prueba que se empleen, como el mostrado en la Figura 1 de este Manual. En algunos reómetros este plato puede ser plano.

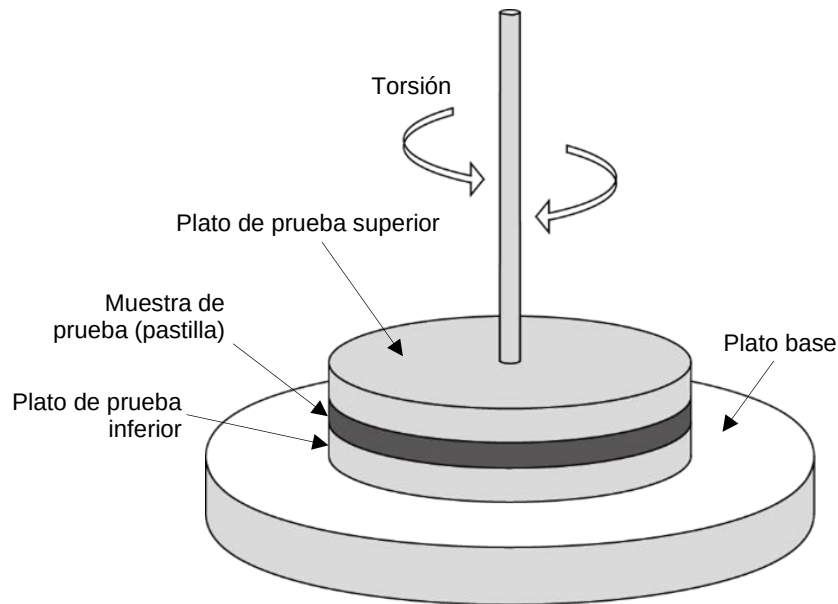


FIGURA 1.- Plato base y de prueba superior e inferior

D.1.2. Platos de prueba superior e inferior

De acero o aluminio, de forma cilíndrica, con superficies lisas pulidas, como los mostrados en la Figura 2 de este Manual, con los diámetros nominales que se indican a continuación:

D.1.2.1. Cuando se realiza la prueba a una temperatura menor de 40 °C, cada uno con diámetro nominal de $8 \pm 0,02$ mm y espesor de al menos 1,5 mm.

D.1.2.2. Para temperaturas iguales a 40 °C o mayores, con diámetro nominal de $25 \pm 0,05$ mm y espesor de al menos 1,5 mm.

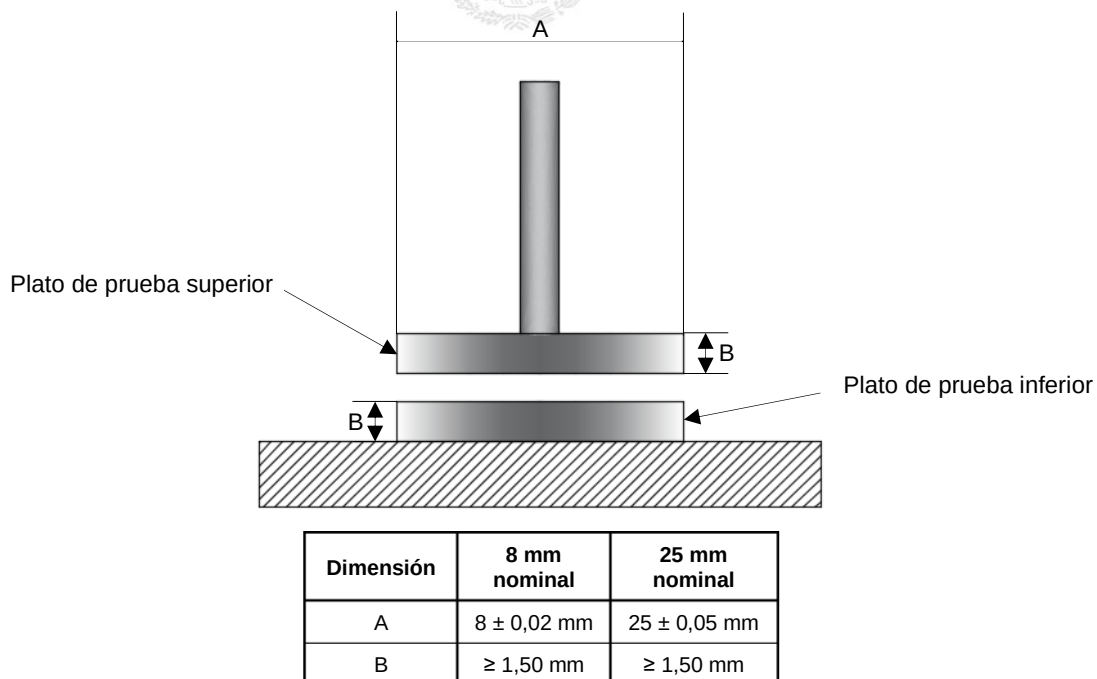


FIGURA 2.- Dimensiones nominales de los platos de prueba

D.1.3. Cámara ambiental

Capaz de controlar la temperatura de la muestra de prueba; el medio empleado para el calentamiento o enfriamiento de la muestra será tal que no afecte las propiedades del cemento asfáltico. La temperatura en la cámara será controlada mediante la circulación de un fluido tal como el nitrógeno o el agua, o una celda tipo *peltier* de estado sólido. Si se utiliza suministro de aire externo, se contará con un secador para evitar la condensación de la humedad en los platos y los demás aditamentos, además de evitar la formación de hielo si se está trabajando a temperaturas bajo cero. Tendrá las dimensiones adecuadas para contener los platos de prueba superior e inferior a que se refiere el Inciso D.1.2. de este Manual y para minimizar los gradientes térmicos. Que cuente con:

D.1.3.1. Controlador de temperatura

Capaz de mantener la temperatura de la muestra de prueba a la temperatura de prueba, con resolución de $\pm 0,1$ °C, para todo el rango de temperaturas.

D.1.3.2. Termómetro interno

Termómetro de resistencia térmica, de platino (clase A) o equivalente, que cumpla con la norma ASTM E220-19, *Standard Test Method for Calibration of Thermocouples by Comparison Techniques*, con rango de 4 a 88 °C y resolución de 0,1 °C. El termómetro interno estará montado dentro de la cámara ambiental en contacto directo con el plato de prueba inferior y el plato base para controlar en forma continua la temperatura en la cámara durante el montaje de la muestra de prueba, su acondicionamiento y la prueba. El termómetro interno se calibrará como una unidad integral con su respectivo medidor o circuito electrónico.

D.1.4. Dispositivo de carga

Capaz de proporcionar una carga oscilatoria sinusoidal de esfuerzo o deformación controlados, con una frecuencia de $10 \pm 0,1$ rad/s; si se utilizan frecuencias distintas, estas tendrán una precisión de ± 1 %.

D.1.5. Sistema de control y registro de datos

Que cuente con los dispositivos necesarios para registrar la temperatura, la frecuencia, el ángulo de giro y la fuerza o deformación por torsión. Dichos dispositivos cumplirán con una resolución de al menos 1 %.

D.2. MOLDE PARA FORMAR LA MUESTRA DE PRUEBA

De ser necesario, será de silicón, que tenga un diámetro aproximadamente igual al diámetro de los platos de prueba utilizados y un espesor mínimo aproximado de 5 mm que permita formar una pastilla con la muestra de prueba del cemento asfáltico.

D.3. DISPOSITIVO PARA RECORTAR LA MUESTRA DE PRUEBA

Con punta afilada, de 4 mm de ancho como mínimo, adecuada para recortar el exceso de cemento asfáltico para producir una cara lisa en la muestra de prueba que sea paralela y coincida con el diámetro exterior de las placas superior e inferior.

D.4. TERMÓMETRO DE REFERENCIA

Para comprobar el termómetro portátil, capaz de medir la temperatura de prueba de 0 a 88 °C y resolución de 0,05 °C. Podrá ser alguno de los siguientes, siempre y cuando se calibren de acuerdo con la norma ISO/IEC 17025, *Testing and Calibration Laboratories*:

- Termómetro líquido en vidrio de inmersión parcial.
- Termómetro termistor.

D.5. TERMÓMETRO PORTÁTIL

Para comprobar la temperatura de la muestra de prueba. Consiste en un detector de resistencia con capacidad nominal de 100 ohms a 25 °C, integrado con un circuito electrónico asociado y lectura digital. Con una resolución de $\pm 0,01$ °C y un espesor de 2 mm o menor, de manera que pueda ser insertado entre los platos superior e inferior.

D.6. BALANZA

Digital, con capacidad mínima de 400 g y una resolución de 0,01 g.

D.7. MICRÓMETRO

Con indicador analógico o digital, con un alcance de medición de 30 mm y resolución de 0,01 mm.

D.8. HERRAMIENTAS Y MATERIALES AUXILIARES

- Paño de algodón, para limpiar las placas superior e inferior.
- Varilla de vidrio con diámetro de 4 a 5 mm.
- Espátula.

D.9. SOLVENTES

A base de alcohol, para eliminar los residuos de las placas metálicas.

D.10. COMPUESTO ANTI-DESLIZANTE

De ser necesario, lubricante que garantice el contacto total entre las placas.

D.11. FLUIDO DE REFERENCIA

De polímero orgánico con una viscosidad de 270 Pa·s a 64 °C.

E. CONTROL Y AJUSTE DEL EQUIPO

El control y ajuste del equipo se realizará por lo menos cada 12 meses y su verificación por lo menos cada 6 meses. Los elementos que requieren control o ajuste son los siguientes:

E.1. CONTROL DEL DIÁMETRO DE LA PLACA

Se mide el diámetro de los platos de prueba con una precisión de 0,02 mm, en 3 ubicaciones diferentes con una separación aproximada de 120° y se obtiene el promedio. Se registran las mediciones, de tal manera que estén claramente identificadas y relacionadas con los platos respectivos.

E.2. AJUSTE DEL TERMÓMETRO PORTÁTIL

Se comprueba el termómetro portátil utilizando el termómetro de referencia. Se coloca el termómetro de referencia en contacto con el detector del termómetro portátil y se colocan en un baño de agua con control de temperatura, agitando constantemente el agua. Posteriormente se obtienen las mediciones con ambos termómetros a las temperaturas de prueba que se utilizarán, permitiendo que el baño alcance el equilibrio térmico en cada temperatura. El equilibrio térmico se logra cuando tras 3 lecturas sucesivas a intervalos de 1 min, la temperatura varía $\pm 0,02$ °C. La diferencia entre las dos lecturas es el ajuste de temperatura que se aplica al termómetro portátil.

E.3. AJUSTE DEL TERMÓMETRO INTERNO

- E.3.1.** Se ajusta la temperatura en la cámara ambiental a la mínima que se utilizará para la prueba y se espera hasta que llegue al equilibrio; hecho esto, se toma la lectura inicial del termómetro interno y la temperatura de la muestra de prueba que se coloca entre los platos, medida con el termómetro portátil. Se aumenta la temperatura en incrementos no mayores de 6 °C y se repiten las mediciones hasta cubrir el rango de temperaturas de prueba.
- E.3.2.** Si las mediciones a que se refiere el Inciso anterior varían en más de $\pm 0,1$ °C, se ajustará el termómetro interno de tal forma que la lectura de la temperatura de prueba coincida con la que se obtiene del termómetro de referencia en el espécimen colocado entre los dos platos.
- E.3.3.** El termómetro interno se calibra por el proveedor del equipo. Se puede comprobar comparando la lectura del termómetro con la de un termómetro de mercurio de inmersión parcial con un rango apropiado que esté calibrado, uniéndolos mediante una banda de hule y sumergiéndolos en un baño de agua en movimiento puesto a temperatura constante con una variación no mayor de $\pm 0,1$ °C.

E.4. COMPROBACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE TODO EL SISTEMA DE PRUEBA

- E.4.1.** Para comprobar el funcionamiento de todo el sistema, se utiliza el fluido de referencia indicado en la Fracción D.11. de este Manual. Se pueden utilizar otros fluidos con módulo complejo y ángulo fase conocidos dentro del rango de mediciones de la prueba; sin embargo, ya que los fluidos de referencia no tienen la misma sensibilidad a la temperatura que los cementos asfálticos, se pondrá especial atención en la interpretación de los resultados obtenidos de dichos fluidos, revisando que los valores del módulo complejo y el ángulo fase sean los indicados por el fabricante.
- E.4.2.** Al comprobar el torque transductor con un fluido de referencia, la medida de la viscosidad compleja del fluido de referencia en el reómetro estará dentro del 3 % de la viscosidad capilar que reporta el fabricante. La viscosidad compleja es el cociente del módulo complejo (G^*) entre la frecuencia angular (ω), en rad/s.

F. PREPARACIÓN DEL EQUIPO

Se prepara el sistema de prueba de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del equipo, considerando lo siguiente:

- F.1.** Se limpian y secan cuidadosamente las superficies de los platos metálicos, para garantizar una adherencia uniforme y firme de la muestra de prueba durante su montaje.
- F.2.** Se montan los platos y sus accesorios en su sitio y se ajustan firmemente.
- F.3.** Se selecciona la temperatura de prueba de acuerdo con el tipo del cemento asfáltico por probar, al que se refiere la Norma N-CMT-4-05-004, *Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG)*, a menos que se desee utilizar otro considerando las recomendaciones indicadas en el proyecto o establecidas por la Secretaría. Se calienta el reómetro hasta que se estabilice su temperatura a la de prueba $\pm 0,1$ °C.
- F.4.** Una vez que los platos estén a la temperatura de prueba o, si esta se va a realizar en un rango de temperaturas dichos platos estén a la temperatura correspondiente a la mitad del rango, se cierra el espacio entre los platos hasta llegar al “nivel cero” girando manualmente el plato móvil

hasta que toque al plato fijo, es decir, cuando el plato móvil deje de girar completamente; hecho lo anterior, se ajusta la lectura del micrómetro en ceros o, si esto no es posible, se toma la lectura inicial del micrómetro. En el caso que se utilice un reómetro con un dispositivo de fuerza normal, se cierra el espacio entre los platos hasta que se toquen y se fija entonces el “nivel cero” cuando la fuerza normal es aproximadamente nula. El soporte, los detectores y demás accesorios en el reómetro, pueden sufrir cambios volumétricos por temperatura, lo que puede ocasionar que se modifique el “nivel cero” previamente fijado; sin embargo, no es necesario hacer ajustes siempre y cuando las mediciones se hagan en un rango de ± 12 °C respecto a la temperatura a la que fue fijado dicho nivel. En el caso que se pueda ajustar automáticamente, se siguen las instrucciones del fabricante del sistema.

- F.5. Una vez fijado el “nivel cero”, se separan los platos hasta que se tenga una distancia de $1 \pm 0,05$ mm en el caso de especímenes de 25 mm de diámetro, o una distancia de $2 \pm 0,10$ mm para especímenes de 8 mm de diámetro.
- F.6. Posteriormente, se calientan los platos con el fin de promover la adhesión entre el cemento asfáltico y los platos de prueba.
- F.7. Los platos de 25 mm se calientan a la temperatura de prueba. Si se realizan pruebas en un rango de temperaturas, el plato se calienta a la menor temperatura de prueba de la muestra.
- F.8. Los platos de 8 mm se calientan a una temperatura entre 34 y 46 °C.

G. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La preparación de la muestra de cemento asfáltico, ya sea producto del residuo de la prueba de película delgada, ejecutada como se indica en los Manuales M-MMP-4-05-010, *Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos* o el residuo después del envejecimiento en horno a presión (PAV) como se indica en el M-MMP-4-05-028, *Envejecimiento Acelerado del Cemento Asfáltico en Vasija de Envejecimiento a Presión (PAV)*, o de una muestra obtenida según se establece en el Manual M-MMP-4-05-001, *Muestreo de Materiales Asfálticos*, se hace de la siguiente manera:

- G.1. De la muestra se toma una muestra de prueba ligeramente mayor al volumen necesario para llenar el molde de silicón (aproximadamente 10 g) y se le aplica el calor indispensable para fluidificarla, agitándola continuamente para homogeneizar su temperatura y evitar sobrecalentamientos locales, cuidando que la temperatura alcanzada no sea mayor de 163 °C para una muestra de prueba envejecida o no mayor de 130 °C para muestras no envejecidas. Se tendrá la precaución de que no se formen burbujas de aire. Es recomendable minimizar el tiempo y la temperatura de calentamiento para evitar el endurecimiento de la muestra de prueba.
- G.2. Si los platos no se encuentran montados en su sitio, se limpian y secan cuidadosamente para garantizar una adherencia uniforme y firme de la muestra de prueba. Se introducen los platos en la cámara ambiental del reómetro previamente calentada a 45 °C, aproximadamente, hasta que alcancen dicha temperatura; esto producirá el calor suficiente para que la muestra de prueba se adhiera adecuadamente a los platos en el momento de presionarla para su ajuste en ellos. En caso de que los platos se encuentren colocados en su sitio y a la temperatura aquí indicada, se procederá directamente con lo señalado en la siguiente Fracción.
- G.3. Del reómetro previamente preparado como se indica en la Cláusula F. de este Manual, se retira el plato superior o inferior, según su caso. Sobre el plato inferior montado o fuera del reómetro, según el tipo de aparato, se vacía la muestra de prueba sobre su centro y en forma continua, cubriéndolo hasta 2 mm antes del borde de este. El vaciado se hace vertiendo la muestra de prueba desde aproximadamente 15 a 25 mm por encima del plato, pudiendo utilizar una jeringa o gotero. Se deja reposar el plato hasta que la muestra de prueba endurezca y se monta nuevamente el plato inferior o el superior en el reómetro.

- G.4.** Si se prefiere utilizar un vaciado directo, se vacía la muestra de prueba en uno de los platos inferior o superior sobre su centro usando un movimiento de torsión, pudiendo utilizar una varilla, espátula o herramienta similar.
- G.5.** Si como alternativa a lo señalado en la Fracción anterior, se prefiere utilizar el molde de silicón, se vacía en él la muestra de prueba para formar una pastilla con un espesor aproximado de 1,5 veces la distancia seleccionada entre los platos para la prueba, que puede ser de 1 mm si se utiliza un plato oscilatorio de 25 mm de diámetro, o de 2 mm si dicho plato es de 8 mm de diámetro. Se deja enfriar la muestra de prueba a temperatura ambiente, se retira el plato superior o el inferior de la cámara ambiental, según sea el caso, se desmolda la muestra de prueba (pastilla) y se centra en dicho plato para montarlo nuevamente en el reómetro inmediatamente. En el caso de asfaltos suaves, para acelerar el enfriamiento de la muestra de prueba se puede introducir el molde en una cámara refrigerante el tiempo mínimo indispensable para facilitar el desmolde, que normalmente es menor de 5 min. Una vez que la muestra de prueba es vaciada en el molde de silicón, la prueba se realizará dentro de un período máximo de 4 h.
- G.6.** Se acercan entre sí los platos con la muestra de prueba montada en el reómetro para presionar la muestra entre ellos, hasta que la distancia sea la seleccionada en la prueba más 0,05 mm para los platos de 25 mm o más 0,10 mm para los platos de 8 mm.
- G.7.** Se recorta cuidadosamente el exceso de la muestra de prueba que sobresale del perímetro del plato superior, utilizando una herramienta con filo y previamente calentada.
- G.8.** Una vez que se ha terminado de recortar la muestra de prueba, se reduce 0,05 mm el espacio entre los platos de 25 mm de diámetro y 0,10 mm para los platos de 8 mm, para alcanzar la distancia seleccionada para la prueba; esto causará un pequeño abultamiento de la muestra de prueba en su periferia.

H. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE PRUEBA

- H.1.** Cuando se opera en el modo de deformación controlada, la prueba se hace considerando lo siguiente:
- H.1.1.** Cuando la prueba se ejecuta para comprobar los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-05-004, *Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG)*, la deformación angular unitaria inducida será de 10 ± 2 %. De preferencia se utilizará un reómetro que controle la deformación en forma automática, sin la necesidad de intervención del operador.
- H.1.2.** Si la prueba se realiza con un fin distinto al indicado en el Inciso anterior, la deformación se determina de acuerdo con el valor del módulo complejo esperado y se controla dentro del rango correspondiente al 20 % del valor obtenido mediante la siguiente expresión:

$$\gamma = \frac{12}{(G^*)^{0,29}}$$

Donde:

γ = Deformación al cortante, (%)

G^* = Módulo complejo esperado, (kPa)

- H.2.** Cuando se opera en el modo de esfuerzo controlado, la prueba se hace considerando lo siguiente:
- H.2.1.** Cuando la prueba se ejecuta para comprobar los requisitos de calidad establecidos en la Norma N-CMT-4-05-004, *Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG)*, el esfuerzo cortante aplicado será de $0,22 \pm 0,04$ kPa. De preferencia se utilizará un reómetro que controle el nivel de esfuerzos en forma automática, sin la necesidad de intervención del operador.

- H.2.2.** Si la prueba se realiza con un fin distinto al indicado en el Inciso anterior, el nivel de esfuerzos cortantes por aplicar se determina de acuerdo con el valor del módulo complejo esperado y se controla dentro del rango correspondiente al 20 % del valor calculado mediante la siguiente expresión:

$$\tau = 0,12 \times (G^*)^{0,71}$$

Donde:

τ = Esfuerzo cortante, (kPa)

G^* = Módulo complejo esperado, (kPa)

- H.3.** Para comprobar los requisitos de calidad en el ligante original, al residuo de RTFO y al residuo de PAV, se ejecuta la prueba a deformación controlada y se seleccionan los valores de deformación objetivo establecidos en la Tabla 1 de este Manual.

TABLA 1.- 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	5 000 G^* / sen δ	1	0,8 a 1,2

I. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

- I.1.** Una vez que el equipo y la muestra de prueba han sido preparados, se calienta la muestra de prueba utilizando la cámara ambiental hasta alcanzar la temperatura de prueba indicada en la Tabla 2 de la Norma N-CMT-4-05-004, *Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG)* $\pm 0,1$ °C. Se fija el controlador de temperatura al nivel de prueba deseado, incluyendo, en su caso, las mediciones a que se refiere la Fracción E.1. de este Manual. La prueba se iniciará cuando se haya mantenido la temperatura de prueba en un rango de $\pm 0,1$ °C por 10 min al menos.
- I.2.** Una vez alcanzada la temperatura de prueba como se indica en la Fracción anterior, se aplican a la muestra de prueba 10 ciclos de deformación de valor objetivo que se obtiene de la Tabla 1 de este Manual, a una frecuencia de 10 rad/s. Hecho lo anterior, se aplican otros 10 ciclos en las mismas condiciones y se registran las lecturas correspondientes. Es importante que se inicie la segunda fase de la prueba lo más pronto posible después de terminada la primera. Cuando se efectúen pruebas a diferentes temperaturas con la misma muestra de prueba, estas se harán de tal forma que el tiempo entre prueba y prueba sea mínimo, con objeto de evitar el endurecimiento de la muestra de prueba por efecto de las asociaciones moleculares, lo que puede provocar el incremento del valor del módulo complejo; el tiempo total de prueba no será mayor de 4 h.
- I.3.** Con las lecturas registradas automáticamente, mediante el sistema de control y registro de datos del reómetro, al procesarlas el aparato obtiene el módulo complejo (G^*) y el ángulo fase (δ). Se pueden efectuar varias mediciones con la misma muestra de prueba para comprobar que haya sido preparada adecuadamente, pero teniendo cuidado que no se desprege la muestra de prueba de los platos o se fracture, ya que esto provocaría que disminuya el valor del módulo complejo. Algunos cementos asfálticos muestran una disminución del módulo complejo al practicárseles pruebas múltiples. Es importante que, si se efectúan pruebas utilizando más de una temperatura, se inicie con la temperatura más baja para los platos de 25 mm y con la temperatura más alta para los platos de 8 mm.

J. CÁLCULOS Y RESULTADOS

- J.1.** Se calcula el módulo reológico de corte dinámico, dividiendo el módulo complejo entre el seno del ángulo fase ($G^*/\sin \delta$), obtenidos de las lecturas proporcionadas por el sistema de control y registro de datos del reómetro.
- J.2.** Se reporta como resultado de esta prueba, el valor del módulo reológico de corte dinámico en kPa y el ángulo fase (δ) en grados ($^\circ$), ambos con aproximación de un décimo.
- J.3.** Tanto para cementos asfálticos sin modificar como modificados, el módulo complejo (G^*) y el ángulo fase (δ) decrecen con el aumento en el porcentaje de deformación unitaria. Se puede obtener una gráfica como la que se muestra en la Figura 3 de este Manual, incrementando gradualmente el valor del esfuerzo o la amplitud de la deformación. Aunque no es necesario elaborar gráficas como esta durante la prueba, son de utilidad para obtener los límites de la región en que el cemento asfáltico muestra un comportamiento viscoelástico lineal, que se observa en los valores pequeños de deformación, donde el módulo complejo es relativamente independiente de la deformación por cortante, es decir, que el valor del módulo complejo varía entre el 95 y el 100 % del valor correspondiente a una deformación “cero”. La extensión de esta región de comportamiento lineal varía con la magnitud del módulo complejo.
- J.4.** El esfuerzo por cortante varía desde cero en el centro de los platos hasta un valor máximo en su perímetro y es calculado a partir del esfuerzo de torsión, aplicado o medido, o de la deformación, aplicada o medida y de la geometría del espécimen de prueba.

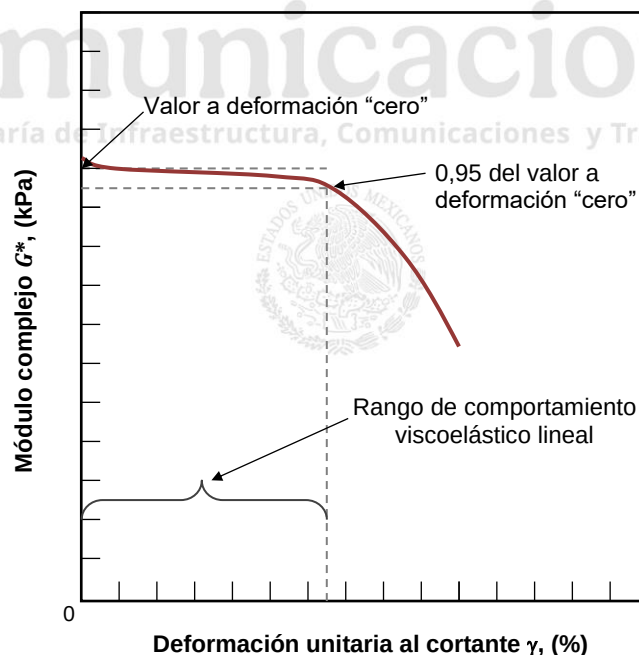


FIGURA 3.- Ejemplo de una gráfica para definir los límites del comportamiento viscoelástico lineal de un cemento asfáltico

- J.5.** Además del resultado de la prueba, en el reporte se incluye:
- J.5.1.** El módulo complejo obtenido de las lecturas proporcionadas por el sistema de control y registro de datos del reómetro, en kPa, con resolución de un milésimo.
- J.5.2.** El diámetro de los platos utilizados en mm con resolución de un décimo y la separación entre platos con resolución de un $1 \mu\text{m}$.
- J.5.3.** La temperatura de prueba en $^\circ\text{C}$ con resolución de un décimo.

- J.5.4.** Si se corrigió la temperatura del equipo de acuerdo con el control o ajuste del equipo, se corrige la temperatura de prueba en la misma proporción, en °C, con una resolución a un décimo.
- J.5.5.** La frecuencia de prueba en rad/s, con resolución de un décimo.
- J.5.6.** La amplitud de la deformación unitaria en %, con resolución de un centésimo, o el esfuerzo de torsión en mN·m con resolución a la unidad.
- J.5.7.** La descripción completa del material probado incluyendo su código de identificación, tipo de recipiente de almacenaje y origen, entre otros.
- J.5.8.** La descripción general del equipo utilizado, especificando si es un reómetro de esfuerzo constante o de deformación constante e incluyendo modelo, tipo de cámara ambiental y demás información relevante para la descripción del aparato.
- J.5.9.** Los valores de deformación o de esfuerzo que se hayan utilizado, para determinar que la prueba se ha desarrollado dentro de la región lineal a que se refiere la Fracción J.3. de este Manual.
- J.5.10.** Cuando la prueba se ha realizado en el rango de comportamiento viscoelástico no lineal, se reportará el módulo complejo correspondiente a la deformación o al esfuerzo utilizado, indicando en el reporte que las condiciones de prueba estuvieron fuera de la región lineal.

K. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

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

- 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.
- Comprobar que el equipo esté calibrado de acuerdo con las instrucciones del fabricante y considerando lo indicado en la Cláusula E. de este Manual.
- Que todo el equipo esté perfectamente limpio para que, al hacer la prueba, la muestra de prueba no se mezcle con agentes extraños y se altere el resultado.
- Comprobar que siempre se fluidifique totalmente la muestra de prueba antes de montarla entre los platos, ya que la estructura que se desarrolla durante su almacenaje puede provocar que se sobrestime su módulo complejo hasta en un 50 %.
- Cuidar que el recorte de la muestra de prueba al montarla entre los platos se haga con la mayor exactitud posible, ya que una pequeña variación en el diámetro de la muestra de prueba puede alterar significativamente el resultado de la prueba.
- Cuidar que cuando se vayan a realizar pruebas a distintas temperaturas con la misma muestra, el tiempo total de prueba no sea mayor de 4 h, para que los valores obtenidos sean confiables.
- Cuidar que cuando se vayan a realizar mediciones múltiples a la misma muestra de prueba, no se despegue dicha muestra de prueba de los platos o se fracture, para que los valores obtenidos sean confiables.
- Inspeccionar las superficies de los platos y de presentar bordes dentados o marcas profundas, descartarlos.

Comunicaciones

Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes



SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA
Dirección General de Servicios Técnicos
Av. Coyoacán 1895
Col. Acacias, Benito Juárez, 03240
Ciudad de México
www.gob.mx/sct



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
Km 12+000, Carretera Estatal No. 431
"El Colorado-Galindo", San Fandila,
Pedro Escobedo, 76703, Querétaro
<https://normas.imt.mx>
normas@imt.mx