

LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES

PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 055. Prueba de Esfuerzo-Deformación-Recuperación Múltiple (MSCR)

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento para la determinación de la respuesta elástica y la fluencia relativa de cementos asfálticos según su grado de desempeño (PG) mediante la prueba esfuerzo-deformación-recuperación múltiple (MSCR, por sus siglas en inglés, *Multiple Stress Creep Recovery*), a que se refiere la Norma N·CMT·4·05·004, *Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG)*, realizada en el residuo de la prueba de pérdida por calentamiento de película de asfalto en movimiento rotatorio.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite determinar la respuesta elástica y la fluencia relativa de una muestra de cemento asfáltico, producto del residuo de la prueba de pérdida por calentamiento de película de asfalto en movimiento rotatorio, que se somete a un determinado número de ciclos esfuerzo-deformación-recuperación múltiple (MSCR) utilizando un reómetro de corte dinámico. En cada ciclo, se aplica a la muestra un esfuerzo constante a una temperatura determinada seleccionada según el grado de desempeño (PG) del cemento asfáltico por probar, durante 1 s para provocar su deformación por torsión (periodo de carga) y dejando que ésta se recupere durante 9 s sin inducirle ningún tipo de esfuerzo (periodo de recuperación), por lo que cada ciclo esfuerzo-deformación-recuperación dura en total 10 s. La respuesta elástica y la fluencia relativa se determinan después de haber efectuado consecutivamente 20 ciclos con un esfuerzo de 0,1 kPa (0,001 kg/cm²) y 10 ciclos con un esfuerzo de 3,2 kPa (0,0326 kg/cm²).

C. REFERENCIAS

Son referencias de este Manual, la Norma N·CMT·4·05·004, *Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG)*, la norma ASTM D2872-12e1, *Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test)* publicada por la ASTM International en el año 2012 y la norma IEC 60751, *Industrial Platinum Resistance Thermometers and Platinum Temperature Sensors*, publicada por la International Electrotechnical Commission en 2008, en Ginebra, Suiza.

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. REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO

Integrado con:

D.1.1. Plato base

Metálico, con superficie pulida y con las dimensiones adecuadas para sostener los platos de prueba que se empleen, como el mostrado en la Figura 1 de este Manual.

D.1.2. Platos de prueba

Dos, de acero o aluminio de forma cilíndrica, con superficies lisas pulidas, con diámetro de $25 \pm 0,05$ mm y espesor de al menos 1,5 mm, como los mostrados en la Figura 1 de este Manual. Preferentemente tendrán una pestaña o anillo en su perímetro para facilitar el recorte de la muestra y mejorar la repetibilidad de la prueba.

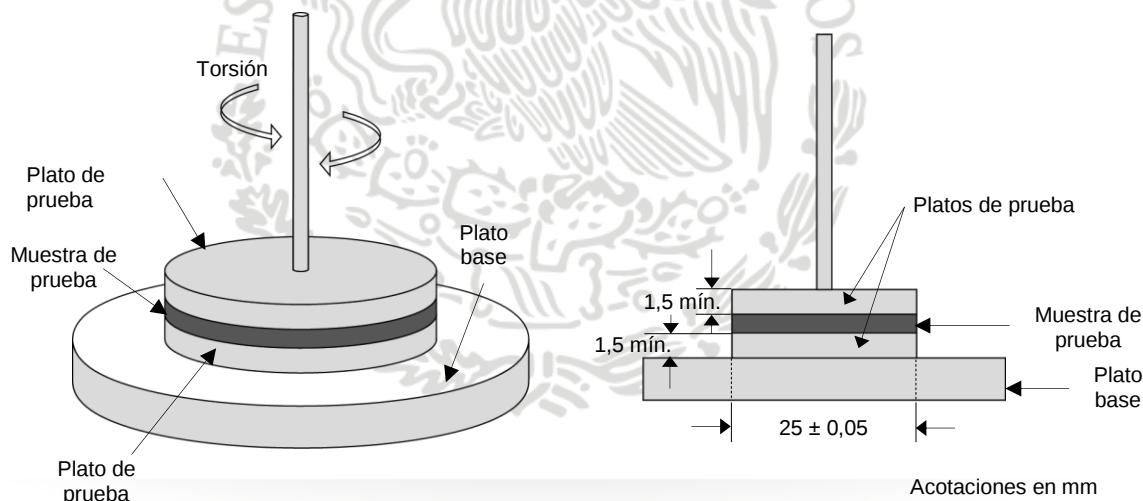


FIGURA 1.- Plato base y platos de prueba

D.1.3. Sistema de calentamiento

Formado con:

D.1.3.1. Calentador

Capaz de calentar los platos de prueba a la temperatura de prueba y mantener la temperatura de la muestra con una tolerancia de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, mediante el empleo de un gas o un líquido, tal como el nitrógeno o el agua. Si se utiliza agua como agente regulador de la temperatura, se contará con un secador para prevenir la condensación de la humedad en los platos y los demás aditamentos, con las dimensiones adecuadas para contener los platos a que se refieren los Incisos D.1.1. y D.1.2. de este Manual y minimizar los gradientes térmicos.

D.1.3.2. Detector de temperatura

De resistencia térmica capaz de medir la temperatura de los platos base y de prueba dentro de un rango de 4 a 88°C y aproximación de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, Clase A o equivalente, que cumpla con la norma IEC 60751, *Industrial Platinum Resistance Thermometers and Platinum Temperature Sensors*. Estará en contacto con el plato base, para medir en forma continua la temperatura en su entorno durante el montaje de la muestra, su acondicionamiento y la ejecución de la prueba. Este detector se calibrará como una unidad integral con su respectivo medidor o circuito electrónico.

D.1.3.3. Controlador de temperatura

Capaz de interactuar con el calentador para mantener la temperatura de prueba de la muestra con una tolerancia de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

D.1.3.4. Pantalla térmica

Capaz de aislar el entorno de los platos base y de prueba, formando así una cámara ambiental que contribuya a mantener la temperatura de prueba en la muestra.

D.1.4. Dispositivo de carga

Capaz de aplicar una carga de torsión oscilatoria sinusoidal bajo la modalidad de esfuerzo controlado dentro del rango de 0,1 a 3,2 kPa (0,001 a 0,0326 kg/cm²), con una frecuencia de $10 \pm 0,1$ rad/s; si se utilizan frecuencias distintas, éstas tendrán una tolerancia de $\pm 1\%$.

D.1.5. Sistema de control y registro de datos

Que cuente con los dispositivos necesarios para medir y controlar la temperatura, la frecuencia, el ángulo de giro y el momento de torsión, con una aproximación en sus mediciones del 1%.

Además, para cada ciclo y durante todo el tiempo que dure la prueba, el sistema será capaz de calcular y registrar el esfuerzo y la deformación de la muestra, al menos a cada 0,10 s para el periodo de carga y al menos a cada 0,45 s para el periodo de recuperación, de tal manera que se registren explícitamente los datos justo en el primer segundo y el décimo segundo. Los resultados se registrarán para cada ciclo esfuerzo-deformación-recuperación y de manera acumulativa considerando todos los ciclos realizados durante la prueba. Cuando el equipo no pueda realizar el registro exactamente en el tiempo de inicio y fin de cada ciclo, se podrán hacer extrapolaciones considerando que la tolerancia máxima para el periodo de carga será de 0,10 s y para el periodo de recuperación de 0,50 s.

D.2. TERMÓMETRO DE REFERENCIA

Calibrado de acuerdo con los patrones de referencia del *National Institute of Standards and Technology* (NIST), cuyo detector tenga un espesor o diámetro no mayor de 1 mm. Podrá ser alguno de los siguientes:

- Termómetro líquido en vidrio de inmersión parcial, con un rango 0 a 88°C y aproximación de 0,1°C, con lectura del punto de hielo.
- Termómetro digital con un dispositivo termométrico o detector resistivo con una precisión de $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$ y aproximación de 0,01°C.

D.3. MOLDE PARA FORMAR LA MUESTRA

De ser necesario, será de silicón con una cavidad cilíndrica regular con un diámetro de aproximadamente 18 mm y una profundidad de al menos 2 mm que permita formar una pastilla con la muestra de cemento asfáltico.

D.4. HERRAMIENTA PARA RECORTAR LAS MUESTRAS

Metálica, con una punta afilada, de 4 mm de ancho como mínimo, para recortar el excedente de cemento asfáltico desde la periferia de la muestra a fin de producir una cara lisa paralela y coincidente con los bordes de los platos de prueba.

D.5. HORNO

Provisto de termostato que mantenga temperaturas hasta de 180°C, con aproximación de $\pm 2^\circ\text{C}$.

D.6. PIPETA

De vidrio. Con capacidad suficiente para contener 10 g del cemento asfáltico por probar.

D.7. MATERIAL DE LIMPIEZA

Consistente en paños de tela, toallas de papel, algodón o cualquier otro material que pueda servir para limpiar los platos de prueba sin dejar residuos o marcas sobre su superficie.

D.8. SOLVENTES DE LIMPIEZA

Podrán utilizarse aceites minerales o tolueno, así como solventes orgánicos como heptano, acetona o alcohol etílico, que no dejen residuos sobre las superficies de los platos de prueba.

D.9. AGITADOR

Varilla de vidrio con extremos semiesféricos.

E. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

La calibración del equipo se realizará por lo menos cada 6 meses, considerando lo siguiente:

E.1. CALIBRACIÓN POR TEMPERATURA

Los gradientes térmicos dentro del reómetro pueden ocasionar diferencias entre las mediciones de la temperatura de la muestra de prueba y la temperatura indicada por el termómetro del reómetro. Cuando estas diferencias están fuera de la tolerancia de $\pm 0,1^\circ\text{C}$, es necesario hacer una medición directa de la temperatura entre los platos de prueba utilizando un espécimen y un detector térmico de referencia. Para verificar las mediciones de temperatura se procede como sigue:

- E.1.1.** Se prepara un espécimen de cemento asfáltico o de silicón siguiendo el procedimiento descrito en la Cláusula G. de este Manual; dicho espécimen se utilizará únicamente para verificar las mediciones de temperatura, ya que las mediciones de corte dinámico no son válidas cuando el termómetro de referencia se inserta dentro de la muestra.
- E.1.2.** Se coloca el espécimen entre los platos, se inserta en él el termómetro de referencia y se registra la temperatura del espécimen.
- E.1.3.** Se ajusta la temperatura en los platos base y de prueba a 58°C y se espera hasta que llegue al equilibrio térmico, lo cual sucede cuando las diferencias entre las temperaturas registradas por el detector de temperatura no varíen en más de 0,1°C por un periodo de 5 min; hecho esto, se toma la lectura inicial del detector de temperatura y con el termómetro de referencia la temperatura del espécimen. Se aumenta la temperatura en los platos base y de prueba en incrementos no mayores de 6°C y se repiten las mediciones hasta alcanzar 85°C.
- E.1.4.** Utilizando las mediciones resultantes, se obtiene la diferencia entre las temperaturas obtenidas con el detector de temperatura y el termómetro de referencia insertado en el espécimen. Es de esperar que la diferencia entre las mediciones no sea constante y varíe con los incrementos de temperatura.

E.1.5. Si las mediciones a que se refiere el Inciso anterior varían en más de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, se ajustará el detector de temperatura de tal forma que la lectura de la temperatura de prueba coincida con la que se obtiene con el termómetro de referencia en el espécimen colocado entre los dos platos.

E.1.6. El detector de temperatura puede ser calibrado por el proveedor del equipo. En tal caso se puede verificar la calibración comparando la lectura del detector de temperatura contra la del termómetro de referencia, 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 $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

E.2. CALIBRACIÓN POR CARGA

El dispositivo de carga se calibrará de acuerdo con las instrucciones del fabricante del equipo.

E.3. VERIFICACIÓN DE TODO EL SISTEMA DE PRUEBA

Para verificar la calibración de todo el sistema, se pueden utilizar fluidos con características viscoelásticas similares a los cementos asfálticos. Se pueden utilizar fluidos con módulo complejo y ángulo de fase conocidos dentro del rango de mediciones de las pruebas; sin embargo, ya que los fluidos de referencia no tienen la misma sensibilidad a la temperatura que los cementos asfálticos, se tendrá cuidado en la interpretación de los resultados obtenidos de dichos fluidos. No es recomendable tratar de verificar individualmente los detectores de carga o giro mediante un fluido de referencia.

F. PREPARACIÓN DEL EQUIPO

Previo al inicio de la prueba se prepara el equipo de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, considerando lo siguiente:

F.1. Se inspeccionan las superficies y orillas de los platos de prueba para descartar que existan marcas profundas, bordes redondeados o hendidos. Se limpian y secan cuidadosamente las superficies de los platos de prueba, para garantizar una adherencia uniforme y firme de la muestra durante su montaje. Se montan firmemente los platos en su sitio cuidando que sean paralelos entre sí.

F.2. Se selecciona la temperatura de prueba de acuerdo con el tipo de cemento asfáltico por probar según la Norma N-CMT-4-05-004, *Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG)*. Se calientan los platos base y de prueba hasta que su temperatura se estabilice con la indicada para la prueba $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$, lo cual sucede cuando las diferencias entre las temperaturas registradas por el detector de temperatura no varíen en más de $0,1^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 5 min.

F.3. Una vez que los platos de prueba están a la temperatura de prueba, se cierra el espacio entre estos hasta llegar al “nivel cero”, es decir, al momento en que ambos platos se toquen.

- En el caso que se utilice un reómetro con ajuste manual, esto se consigue girando el plato de prueba móvil hasta que toque al plato de prueba fijo, es decir, cuando el plato de prueba 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 para descontarla de lecturas posteriores.
- En el caso que se utilice un reómetro con un dispositivo de fuerza normal, se cierra el espacio entre los platos de prueba hasta que se toquen y la fuerza normal sea aproximadamente nula, fijando en ese momento el “nivel cero”.
- Cuando el reómetro cuente con un ajuste automático del espacio entre los platos de prueba, el “nivel cero” se fijará conforme a lo indicado por el fabricante.

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 $\pm 12^{\circ}\text{C}$ respecto a la temperatura a la que fue fijado dicho nivel.

F.4. Una vez fijado el “nivel cero”, se separan los platos hasta que se tenga una distancia no menor de 1,05 mm.

F.5. El equipo se ajusta al modo de control de esfuerzos.

G. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La preparación de la muestra de cemento asfáltico según su grado de desempeño (PG), producto del residuo de la prueba de pérdida por calentamiento de película de asfalto en movimiento rotatorio, ejecutada como se indica en la norma ASTM D2872-12e1, *Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test)*, se realiza de la siguiente manera:

G.1. La muestra de cemento asfáltico se coloca en un recipiente y se calienta en un horno hasta que sea lo suficientemente fluida, se agita continuamente para homogeneizar su temperatura y evitar sobrecalentamientos locales, cuidando que la temperatura alcanzada no sea mayor de 160°C y que no se formen burbujas de aire. Es recomendable minimizar el tiempo y la temperatura de calentamiento para evitar el endurecimiento de la muestra. En ningún caso se podrán utilizar los platos de prueba para calentar la muestra.

G.2. Una vez que la muestra haya alcanzado la fluidez necesaria, se coloca en los platos de prueba previamente preparados como se indica en la Cláusula F. de este Manual, mediante alguno de los siguientes procedimientos:

G.2.1. Vertido de la muestra directamente sobre los platos de prueba

G.2.1.1. Una vez separados los platos de prueba como se indica en la Fracción F.4. de este Manual, sobre el plato de prueba inferior, se vacía la muestra en forma continua sobre su centro cubriéndolo hasta 2 mm antes de llegar a su borde. El vaciado se hace vertiendo la muestra desde aproximadamente 15 a 25 mm por encima del plato de prueba, para lo cual se podrá utilizar una pipeta.

G.2.1.2. Si el reómetro permite desmontar uno o ambos platos de prueba para facilitar el vaciado, después de verter el cemento asfáltico en el plato inferior, se montarán nuevamente en el reómetro, considerando que sólo es permitido desmontar los platos del aparato si el equipo está equipado para retirarlos y reinstalarlos sin afectar el “nivel cero” previamente establecido.

G.2.2. Formando una pastilla mediante el empleo de un molde de silicón

G.2.2.1. De la muestra calentada a la que se refiere la Fracción G.1. de este Manual, se toma una porción de aproximadamente 10 g, cantidad ligeramente mayor al volumen necesario para llenar el molde de silicón.

G.2.2.2. El molde de silicón se coloca sobre una superficie plana dentro del laboratorio y se llena con el cemento asfáltico hasta formar una pastilla con un espesor aproximado de 1 mm, la cual se deja enfriar a temperatura ambiente.

G.2.2.3. En el caso de cementos asfálticos suaves, para acelerar el enfriamiento de la muestra se puede introducir el molde en una cámara refrigerante el tiempo mínimo indispensable para facilitar su desmolde, que normalmente es menor de 5 min. En tal

caso la prueba se realizará en un tiempo no mayor a 4 h después de haber formado la pastilla de cemento asfáltico.

- G.2.2.4.** Una vez separados los platos de prueba como se indica en la Fracción F.4. de este Manual, sobre uno de ellos se desmolda la pastilla, verificando que al momento de colocarla, su superficie quede centrada en el plato.
- G.2.2.5.** Si el reómetro permite desmontar uno o ambos platos de prueba para facilitar el desmolde de la pastilla, se montarán nuevamente en el reómetro, considerando que sólo es permitido desmontar los platos del aparato si el equipo está equipado para retirarlos y reinstalarlos sin afectar el “nivel cero” previamente establecido.
- G.3.** Una vez que la muestra se ha colocado de acuerdo con lo indicado en la Fracción anterior, los platos de prueba se acercan entre sí para presionarla, hasta que la distancia entre ellos sea de 1,05 mm.
- G.4.** Utilizando la herramienta para recorte previamente calentada se recorta cuidadosamente el exceso de material de la muestra que sobresale del perímetro de los platos de prueba.
- G.5.** Se reduce el espacio entre los platos en 0,05 mm, para alcanzar la distancia seleccionada para la prueba de 1 mm; lo que causará un pequeño abultamiento de la muestra en su periferia.
- G.6.** Finalmente se ajusta el controlador de temperatura del reómetro a la temperatura de prueba seleccionada de acuerdo con el tipo de cemento asfáltico por probar según la Norma N-CMT-4-05-004, *Calidad de Cementos Asfálticos según su Grado de Desempeño (PG)*, hasta alcanzar el equilibrio térmico entre los platos de prueba y la muestra, lo cual sucede cuando las diferencias entre las temperaturas registradas por el detector de temperatura no varíen en más de 0,1°C por un periodo de 5 min.

H. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA

Una vez que el equipo y la muestra han sido preparados como se indica en las Cláusulas F. y G. de este Manual, respectivamente, la muestra se somete a 30 ciclos continuos de esfuerzo-deformación-recuperación, como se indica a continuación:

- H.1.** Se realizan 20 ciclos de esfuerzo-deformación-recuperación, cada uno con un esfuerzo constante de 0,1 kPa (0,001 kg/cm²) durante 1 s y un periodo de recuperación de 9 s sin que se aplique esfuerzo alguno. Los primeros 10 ciclos servirán para el acondicionamiento de la muestra y los 10 ciclos restantes servirán para el registro de datos.
- H.2.** Inmediatamente después se realizan 10 ciclos de esfuerzo-deformación-recuperación, cada uno con un esfuerzo constante de 3,2 kPa (0,0326 kg/cm²) durante 1 s y un periodo de recuperación de 9 s sin que se aplique esfuerzo alguno. Para cada uno de los 10 ciclos, se registra:
- La deformación unitaria al inicio del periodo de carga (ϵ_0), adimensional;
 - la deformación unitaria al final del periodo de carga (ϵ_c), adimensional, y
 - la deformación unitaria al final del periodo de recuperación (ϵ_r), adimensional.
- H.3.** No podrán darse pausas entre ciclos, por lo que la prueba se tiene que ejecutar considerando los 30 ciclos realizados de manera continua y bajo las condiciones de esfuerzo controlado especificadas en esta Cláusula. La prueba tendrá una duración total de 300 s (5 min).

I. CÁLCULOS Y RESULTADOS

I.1. Para cada uno de los 10 ciclos a los que se refiere la Fracción H.2. de este Manual, se calcula y registra:

I.1.1. La deformación unitaria ajustada al final del periodo de carga (ε_{1i}), utilizando la siguiente expresión:

$$\varepsilon_{1i} = \varepsilon_{ci} - \varepsilon_{0i}$$

Donde:

ε_{1i} = Deformación unitaria ajustada al final del periodo de carga del ciclo i , (adimensional)

ε_{ci} = Deformación unitaria al final del periodo de carga del ciclo i , (adimensional)

ε_{0i} = Deformación unitaria inicial al comienzo del periodo de carga del ciclo i , (adimensional)

I.1.2. La deformación unitaria ajustada al final del periodo de recuperación (ε_{10i}), utilizando la siguiente expresión:

$$\varepsilon_{10i} = \varepsilon_{ri} - \varepsilon_{0i}$$

Donde:

ε_{10i} = Deformación unitaria ajustada al final del periodo de recuperación del ciclo i , (adimensional)

ε_{ri} = Deformación unitaria al final del periodo de recuperación del ciclo i , (adimensional)

ε_{0i} = Deformación unitaria inicial al comienzo del periodo de carga del ciclo i , (adimensional)

I.1.3. La respuesta elástica a 3,2 kPa (0,0326 kg/cm²), mediante la siguiente expresión:

$$RE_i = \frac{(\varepsilon_{1i} - \varepsilon_{10i})}{\varepsilon_{1i}} \times 100(\%)$$

Donde:

RE_i = Respuesta elástica a 3,2 kPa del ciclo i , (%).

ε_{1i} = Deformación ajustada al final del periodo de carga del ciclo i , (adimensional)

ε_{10i} = Deformación ajustada al final del periodo de recuperación del ciclo i , (adimensional)

I.1.4. La fluencia relativa a 3,2 kPa (0,0326 kg/cm²), que corresponde al cociente de la deformación permanente entre el esfuerzo aplicado, mediante alguna de las siguientes expresiones:

I.1.4.1. Cuando la respuesta elástica a 3,2 kPa (0,0326 kg/cm²), a que se refiere el Inciso anterior es mayor de cero, entonces la fluencia relativa se calcula mediante la siguiente expresión:

$$J_{mr_i} = \frac{\varepsilon_{10i}}{3,2}$$

Donde:

J_{nr_i} = Fluencia relativa del ciclo i , (kPa^{-1})

ε_{10_i} = Deformación ajustada al final del periodo de recuperación del ciclo i , (adimensional)

- I.1.4.2.** Cuando la respuesta elástica a 3,2 kPa ($0,0326 \text{ kg/cm}^2$), a que se refiere el Inciso anterior es igual que cero:

$$J_{nr_i} = \frac{\varepsilon_{1_i}}{3,2}$$

Donde:

J_{nr_i} = Fluencia relativa del ciclo i , (kPa^{-1})

ε_{1_i} = Deformación ajustada al final del periodo de carga del ciclo i , (adimensional)

- I.2.** Se reporta la respuesta elástica del cemento asfáltico a 3,2 kPa ($0,0326 \text{ kg/cm}^2$), que corresponde al promedio de las respuestas elásticas en cada ciclo, determinada con la siguiente expresión:

$$RE = \frac{\sum_{i=1}^{10} RE_i}{10}$$

Donde:

RE = Respuesta elástica promedio del cemento asfáltico a 3,2 kPa, (%)

RE_i = Respuesta elástica a 3,2 kPa del ciclo i , (%)

- I.3.** Se reporta la fluencia relativa del cemento asfáltico a 3,2 kPa ($0,0326 \text{ kg/cm}^2$), que corresponde al promedio de las fluencias relativas en cada ciclo, mediante la siguiente expresión:

$$J_{nr} = \frac{\sum_{i=1}^{10} J_{nr_i}}{10}$$

Donde:

J_{nr} = Fluencia relativa del cemento asfáltico a 3,2 kPa, (kPa^{-1})

J_{nr_i} = Fluencia relativa a 3,2 kPa del ciclo i , (kPa^{-1})

- I.4.** Además de lo indicado en las dos Fracciones anteriores, se reporta:

- Nombre y número o designación de la prueba;
- operador o laboratorista;
- identificación de la muestra;
- fecha y hora en la que se realizó la prueba;
- la temperatura de prueba en $^{\circ}\text{C}$ con aproximación de un décimo;
- el tipo de cemento asfáltico probado indicando su grado de desempeño (PG);

- por cada ciclo esfuerzo-deformación-recuperación y de manera acumulativa considerando todos los ciclos realizados durante la prueba a cada 0,10 s al menos para el periodo de carga y a cada 0,45 s al menos para el periodo de recuperación, la temperatura, el esfuerzo y la deformación por torsión, desde el primero hasta el décimo segundo de cada ciclo; así como la hora en la que se realizó cada uno de los ciclos, indicando explícitamente los datos del primero y décimo segundo de cada ciclo; y
- los archivos electrónicos generados por el equipo de prueba utilizados para las determinaciones, así como las gráficas o tablas utilizadas para el cálculo y reporte de los resultados.

J. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

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

- J.1.** Realizar la prueba en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpia y libre de corrientes de aire, de cambios de temperatura y de partículas que provoquen la contaminación de las muestras de prueba.
- J.2.** Verificar que el equipo esté calibrado de acuerdo con las instrucciones del fabricante y considerando lo indicado en la Cláusula E. de este Manual.
- J.3.** Que todo el equipo esté perfectamente limpio, para que al hacer la prueba la muestra no se mezcle con agentes extraños y se altere el resultado.
- J.4.** Que el “nivel cero” correspondiente al espacio entre los platos de prueba se fije correctamente, a fin de evitar errores significativos en los resultados obtenidos.
- J.5.** Que los platos de prueba se encuentren limpios y secos para garantizar una adherencia uniforme y firme de la muestra.
- J.6.** Cuidar que el recorte de la muestra al montarla entre los platos se haga con la mayor exactitud posible, ya que una pequeña variación en el diámetro de la muestra puede alterar significativamente el resultado de la prueba.

SCT

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA
DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS
AV. COYOACÁN 1895
COL. ACACIAS
CIUDAD DE MÉXICO, 03240
WWW.GOB.MX/SCT

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
NUEVA YORK 115, 4o PISO
COL. NÁPOLES
CIUDAD DE MÉXICO, 03810
WWW.IMT.MX
NORMAS@IMT.MX