

## EFFECTO DEL CALOR Y DEL AIRE SOBRE EL ASFALTO EN LÁMINA DELGADA Y ROTATORIA

INV E – 720 – 13

### 1 OBJETO

- 1.1 Este método de ensayo se emplea para medir el efecto del calor y del aire sobre una lámina delgada de materiales asfálticos semisólidos en movimiento. Los efectos de este procedimiento se determinan a partir de la medición de ciertas propiedades del asfalto, antes y después del ensayo.
- 1.2 Esta norma reemplaza la norma INV E–720–07.

### 2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Una película de material asfáltico en movimiento es calentada durante 85 minutos en un horno a 163° C (325° F). Los efectos del calor y del aire sobre el material se determinan a partir de los cambios en los valores de los ensayos físicos efectuados antes y después del tratamiento en el horno. Se proporciona un procedimiento opcional para determinar el cambio de masa de la muestra.
- 2.2 Se han desarrollado valores de precisión para este método de ensayo, para la viscosidad a 60° C (140° F), la ductilidad a 15.6° C (60° F) y el cambio de masa.

### 3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1 Este método de ensayo indica el cambio aproximado que sufren las propiedades del asfalto durante el proceso convencional de mezclado en caliente a una temperatura del orden de 150° C (302° F), mediante la determinación de la viscosidad y otras medidas reológicas. El ensayo produce un residuo que se aproxima a la condición del asfalto cuando se incorpora en el pavimento. Si la temperatura de mezclado difiere apreciablemente de 150° C (302° F), se presentará un efecto mayor o menor sobre las propiedades del asfalto. El ensayo se emplea, también, para determinar el cambio de masa del cemento asfáltico, el cual es una medida de la presencia de productos volátiles.

## 4 EQUIPO

**4.1** *Horno* – Deberá ser eléctrico, de pared doble del tipo de convección. Sus dimensiones interiores deberán ser: 381 mm (15") de altura, 483 mm (19") de ancho (incluida la cámara impelente) y  $445 \pm 13$  mm ( $17 \frac{1}{2}'' \pm \frac{1}{2}''$ ) de profundidad (con la puerta cerrada). La puerta deberá tener una ventana simétricamente localizada con dimensiones de 305 a 330 mm (12 a 13") de ancho, por 203 a 229 mm (8 a 9") de alto. La ventana deberá tener dos hojas de vidrio resistentes al calor, separadas mediante un espacio con aire, y deberá permitir una vista sin obstrucciones del interior del horno. El tope del elemento superior de calefacción se debe hallar a  $25 \pm 3$  mm ( $1 \pm 1/8''$ ) por debajo del piso del horno.

**4.1.1** El horno deberá estar ventilado en el fondo y en la parte superior. Los respiraderos del fondo deberán estar localizados simétricamente para suministrar aire alrededor de los elementos calefactores y deberán tener un área libre de  $15.0 \pm 0.7 \text{ cm}^2$  ( $2.31 \pm 0.11 \text{ pulg}^2$ ). Los respiraderos superiores también deberán estar dispuestos simétricamente y tener un área libre de  $9.3 \pm 0.45 \text{ cm}^2$  ( $1.45 \pm 0.07 \text{ pulg}^2$ ).

**4.1.2** El horno deberá tener una cámara de aire continua alrededor de sus paredes y techo, de 38.1 mm ( $1 \frac{1}{2}''$ ) de ancha. En un punto medio a lo ancho del horno y con su eje a 152.4 mm (6") de la cara frontal del disco portamuestras, va colocado un ventilador circular, con caja en forma de jaula de ardilla, de 133 mm ( $5 \frac{1}{4}''$ ) de diámetro externo y 73 mm ( $2 \frac{7}{8}''$ ) de ancho, movido por un motor externo a 1725 rpm. La jaula de ardilla se deberá instalar de manera que el ventilador gire en dirección opuesta a sus aspas. Al girar el ventilador, impulsa el aire en sentido descendente; éste asciende luego por la cámara de aire de las paredes y vuelve a ser expulsado hacia el interior del horno a través del ventilador. Las Figuras 720 - 1 y 720 - 2 muestran detalles de este sistema de circulación.

**4.1.3** El horno deberá estar equipado con un termostato de control, que pueda mantener la temperatura a  $163^\circ \text{ C}$  ( $325^\circ \text{ F}$ ) con una precisión de  $\pm 1.0^\circ \text{ C}$  ( $1.8^\circ \text{ F}$ ). El elemento sensor del termostato se deberá colocar en un punto que permita que el horno mantenga el control de la temperatura como se establece en la presente norma.

**4.1.4** El termómetro se deberá colgar o fijar a un soporte en el techo, a unos 50.8 mm (2") de su pared derecha y a la mitad de su profundidad, con

su bulbo a la altura del eje del disco portamuestras  $\pm 25.4$  mm ( $\pm 1"$ ). Con el horno precalentado a la temperatura de ensayo, los controles para el calentamiento deberán tener capacidad suficiente para llevar de nuevo el horno a dicha temperatura dentro de un período máximo de 10 minutos, una vez que éste sea cargado completamente con las muestras de ensayo.

- 4.1.5** El horno deberá estar provisto de un portamuestras circular, colocado verticalmente, de 304.8 mm (12") de diámetro (Ver Figura 720 - 2). El portamuestras deberá estar provisto de orificios circulares con flejes para sostener firmemente ocho recipientes de vidrio en posición horizontal (Ver Figura 720 - 3). Mediante un motor, el portamuestras debe girar alrededor de un eje de 19 mm ( $\frac{3}{4}"$ ) de diámetro, a una velocidad uniforme de  $15 \pm 0.2$  rpm.
- 4.1.6** El horno debe estar provisto de un insuflador de aire caliente, que lanza un chorro en el interior de cada uno de los recipientes, cuando éstos pasan por el punto más bajo de su recorrido circular. El aire sale a través de una boquilla de 1.016 mm (0.04") de diámetro después de un recorrido a lo largo de un tubo de cobre de 7.6 m (25") de largo y de 8 mm ( $\frac{5}{16}"$ ) de diámetro exterior, arrollado en espiral en un plano sobre el suelo del horno y conectado exteriormente a una fuente regulada de aire fresco, seco y libre de polvo.

*Nota 1: Un gel de solución de sílice activada, tratado con un indicador, es un desecador satisfactorio para mantener el aire seco.*

- 4.2** *Medidor del caudal de aire* – Puede ser de cualquier tipo adecuado, capaz de medir con precisión un caudal de aire de 4000 ml/min. El medidor debe estar ubicado en un nivel inferior en relación con los dispositivos de regulación y en uno superior en relación con la espiral de cobre, y debe estar posicionado de manera que se mantenga aproximadamente a la temperatura ambiente. El flujo de aire se debe calibrar periódicamente usando un medidor de volumen de gas que utiliza un principio mecánico (wet-test meter) u otro método de desplazamiento. La calibración se basa en el caudal a la salida del tubo de cobre y se debe realizar a temperatura ambiente y con el horno apagado.

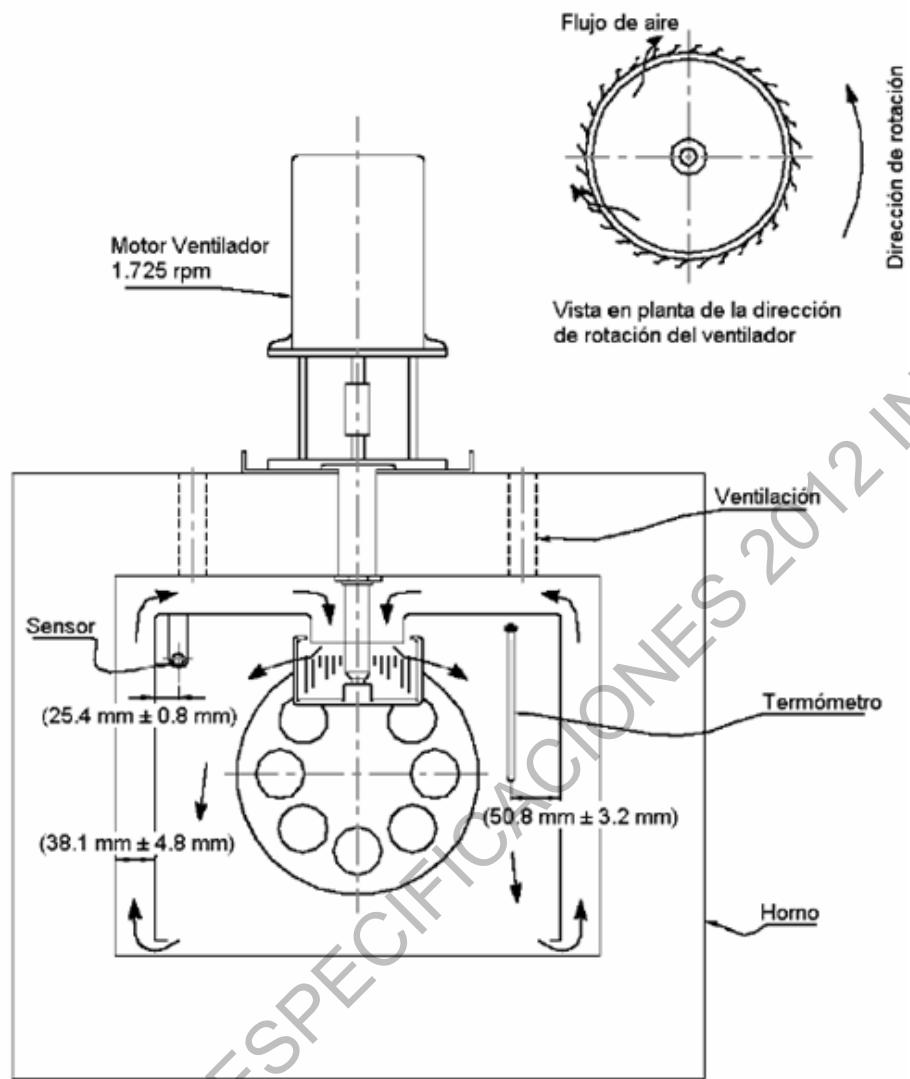


Figura 720 - 1. Esquema frontal del flujo de aire

**4.3 Termómetro** – Termómetro para medir pérdida por calentamiento, con las siguientes características:

| REFERENCIA ASTM | ESCALA °C | INMERSIÓN mm | GRADUACIÓN °C | ERROR MÁXIMO °C |
|-----------------|-----------|--------------|---------------|-----------------|
| 13C             | 155 a 170 | total        | 0.5           | 0.5             |

**4.3.1** Con el fin de reducir el riesgo de rotura, el termómetro se deberá encapsular parcial o totalmente en un estuche de polímero transparente de 0.25 mm (0.01") de espesor máximo. Si se usa el estuche, se deberá instalar de manera que tenga un contacto

sustancial con el termómetro, y éste deberá ser recalibrado tras la instalación del estuche.

- 4.3.2** En lugar del termómetro, se puede instalar un sistema electrónico de medición de la temperatura, que cumpla los siguientes requisitos:

**4.3.2.1** Que sea un termómetro de resistencia de platino (PRT) grado A de 3 o 4 hilos, conforme con la especificación ASTM E 1137. El sensor se deberá montar en la misma posición y orientación que el termómetro de ensayo que reemplaza.

**4.3.2.2** Su respuesta térmica no debe diferir en más de 30 % de la del termómetro convencional. La respuesta térmica es el tiempo requerido para lograr el 95 % de respuesta a un cambio de temperatura, partiendo de la del aire al ambiente y terminando a cualquier temperatura conveniente entre 165 y 170° C. La norma ASTM E 644 presenta guías para determinar el tiempo de respuesta térmica.

**4.3.2.3** El circuito de medida electrónica debe incluir una pantalla para lectura digital, con una resolución de 0.1° C o mejor.

**4.3.2.4** El sensor y el circuito se deben calibrar y verificar como una sola unidad, y de acuerdo con la trazabilidad del NIST (*National Institute Standards and Technology*). El sistema se debe calibrar antes de ponerlo en servicio y se deberá verificar al menos una vez al año. La norma ASTM E 644 presenta una guía para la calibración. La verificación se debe adelantar con el horno equilibrado a la temperatura normal de trabajo, con el sensor de verificación en contacto con el del equipo de ensayo. Si la diferencia entre los dos excede de 0.2° C, la verificación se debe considerar fallida y, entonces, se deberá recalibrar el sistema.

- 4.4** *Recipientes* – Los recipientes dentro de los cuales se ensaya la muestra, deberán ser de vidrio resistente al calor, y sus dimensiones deben ser las mostradas en la Figura 720 - 3.

- 4.5** *Estante enfriador* – Construido de lámina metálica de estaño, aluminio o acero, que permita colocar los recipientes contenedores de las muestras para que se enfríen en posición horizontal y en un mismo plano. Su construcción debe permitir el flujo libre de aire alrededor de cada recipiente, con una luz

mínima de 25 mm (1") tanto entre recipientes como con respecto a cualquier otra superficie sólida.

## 5 PREPARACIÓN DEL HORNO

- 5.1 Se ajusta la salida de la boquilla de aire caliente, para que quede a 6.35 mm ( $\frac{1}{4}$ ") de la boca del recipiente de vidrio para la muestra. La boquilla se debe ubicar de manera que el chorro de aire salga horizontalmente e incida sobre el centro de la boca del recipiente a su paso frente a él.
- 5.2 Se coloca el termómetro con el extremo de su bulbo a una altura de  $\pm$  25.4 mm (1") del plano imaginario que pasa por el eje del portamuestras.
- 5.3 Se nivela el horno, para que los ejes de los recipientes de vidrio queden horizontales cuando estén en posición en el portamuestras.
- 5.4 Se precalienta el horno durante un mínimo de 16 horas antes del ensayo, con todos los controles graduados en la posición correcta de funcionamiento. El control térmico se debe ajustar de modo que después de cargar el horno con todas las muestras y el aire insuflado, alcance de nuevo la temperatura de  $163 \pm 0.5^\circ\text{C}$  ( $325 \pm 1.0^\circ\text{F}$ ) dentro de un período de 10 min, como se indica en el numeral 4.1.4.

*Nota 2: Debido a que la presencia de los recipientes afecta la distribución de la temperatura dentro del horno, éste deberá contener recipientes durante el proceso de ajuste de la temperatura. Para tal efecto, se pueden emplear recipientes vacíos.*

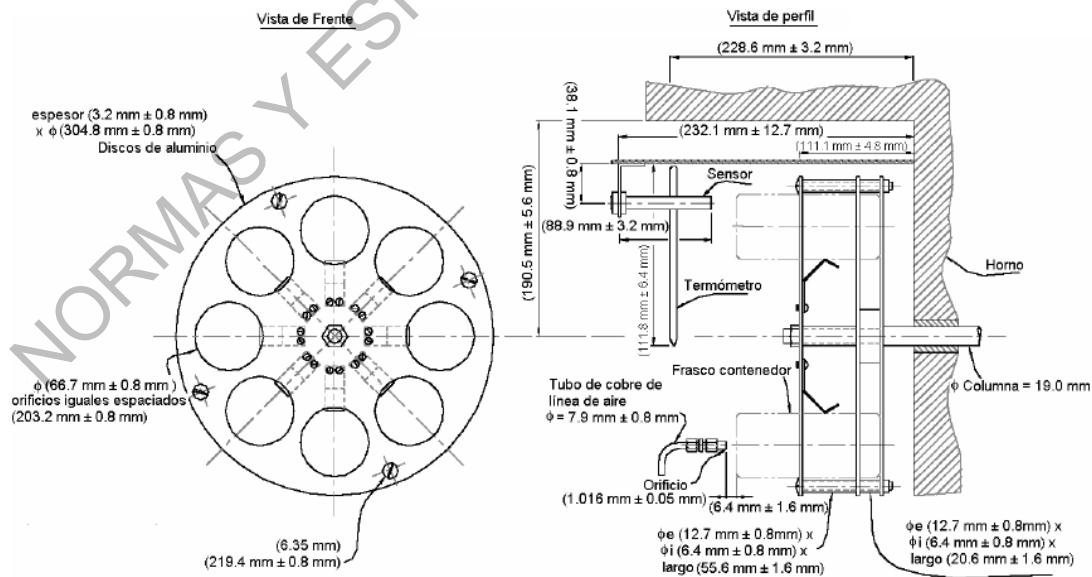


Figura 720 - 2. Portamuestras circular

## 6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** La muestra recibida se debe hallar exenta de agua. Se calienta dentro de su recipiente con la tapa apenas ajustada, en un horno a una temperatura que no excede de 163° C (325° F), durante el tiempo mínimo necesario para asegurar que la muestra esté completamente fluida. Se agita manualmente, evitando incorporar burbujas de aire.
- 6.2** Se vierten  $35 \pm 0.5$  g de la muestra dentro de cada uno de los recipientes de vidrio que sean necesarios hasta completar la cantidad material suficiente para los ensayos de caracterización que se deben efectuar sobre el residuo. Para ensayos de referencia, se requieren ocho recipientes de vidrio.
- 6.3** Inmediatamente después de verter la muestra dentro del recipiente, se coloca éste en posición horizontal y se rota lentamente hasta completar al menos un giro completo, buscando un pre-cubrimiento de su superficie cilíndrica. El pre-cubrimiento del extremo abierto del recipiente no es necesario y se debe evitar que el asfalto salga del recipiente durante esta operación. Se coloca el recipiente horizontalmente en un estante limpio y seco libre de corrientes de aire y a temperatura ambiente, lejos de hornos y otras fuentes de calor.

*Nota 3: Con ciertos ligantes, resulta imposible el pre-cubrimiento completo de los recipientes.*

*Nota 4: Para obtener la máxima precisión en la determinación de la pérdida de masa, el estante de enfriamiento se debe ubicar en un lugar con la misma temperatura y humedad ambiente que la balanza utilizada para pesar los recipientes. El problema se puede minimizar montando una fuente de iones pasivos en la pantalla que protege la balanza contra las corrientes de aire.*

*Nota 5: La electricidad estática puede producir medidas inestables de masa, en parte, debido a las características de los recipientes de vidrio.*

- 6.3.1** Se permite que los recipientes se enfríen en el estante, durante un lapso comprendido entre 60 y 180 min.
- 6.3.2** Cuando se deseé hallar el cambio de masa, se deben usar dos recipientes para su determinación. La masa de ellos se mide, luego del enfriamiento, en una balanza analítica con una resolución de 0.001 g o mejor. Los recipientes se colocan por separado de manera vertical en la balanza y se anota la masa con la resolución máxima de ésta.
- 6.4** Con el horno a la temperatura de ensayo y el flujo de aire regulado a  $4000 \pm 200$  ml/min, se colocan los recipientes que contienen el asfalto en el disco portamuestras, de manera que éste quede balanceado, completando los espacios no ocupados del portamuestras con recipientes vacíos. Se cierra la

puerta del horno y se hace girar el portamuestras a una tasa de  $15 \pm 0.2$  rpm. Se mantienen las muestras en el horno con el flujo de aire y el portamuestras girando durante 85 minutos. La temperatura de ensayo de  $163 \pm 0.5^\circ\text{C}$  ( $325 \pm 1^\circ\text{F}$ ), se debe alcanzar dentro de los primeros 10 minutos; si esto no se logra, se debe anular la prueba.

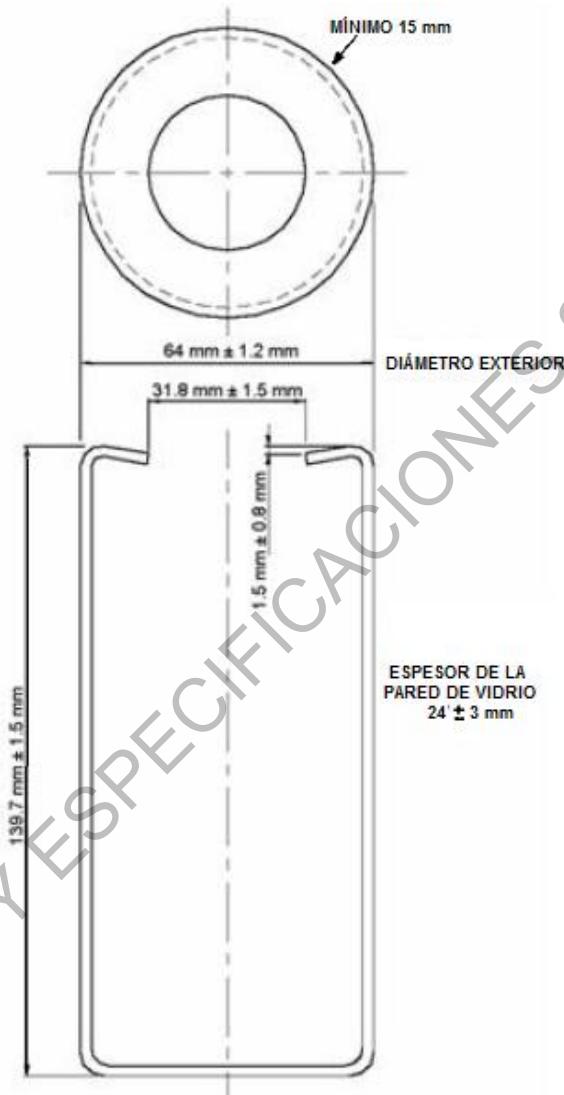


Figura 720 - 3. Recipiente para la muestra

- 6.5** Al término del período de ensayo, se sacan del horno los recipientes destinados a establecer el cambio de masa y se colocan horizontalmente en el estante (Figura 720 - 4). En seguida, se retiran los recipientes restantes, de uno en uno, y se transfiere su contenido a otro recipiente de mayor tamaño cuya capacidad sea, por lo menos, superior en un 30 % al volumen total esperado de residuo. La transferencia se debe realizar vertiendo primero todo asfalto

que fluya libremente y, luego, raspando tanto residuo remanente como sea posible. La puerta del horno debe permanecer cerrada mientras se remueve el residuo de cada recipiente, con el interruptor en posición de encendido, y con los cilindros restantes girando en el portamuestras. No deberán transcurrir más de 5 minutos entre la remoción del primer recipiente y la del último.

*Nota 6: Se puede usar cualquier técnica o herramienta de raspado, mientras permita remover al menos el 90 % del residuo de los recipientes. Para este propósito, se ha determinado que el raspado es más efectivo en sentido circunferencial que en sentido longitudinal.*



Figura 720 - 4. Recipientes sobre el estante

- 6.6 Luego de removidos los residuos de los recipientes de vidrio, se agita suavemente el recipiente que los contiene para lograr su homogeneidad, con el debido cuidado para impedir la entrada de aire. Los ensayos sobre el residuo se deben efectuar dentro de las 72 horas siguientes a la ejecución del ensayo de lámina asfáltica delgada en movimiento.
- 6.7 Si se está determinando el cambio de masa, se permite que los recipientes donde se encuentran las muestras destinadas a su determinación se enfrién sobre el estante durante un lapso de 60 a 180 min. En seguida, se obtiene la masa de cada recipiente, colocándolo en posición vertical sobre una balanza analítica con resolución de 0.001 g o mejor. Se debe anotar si alguna de las muestras se salió de su recipiente.

*Nota 7: Algunos laboratorios han informado que las muestras fluyen de los recipientes durante el ensayo. Si ello ocurre, se deben verificar la nivelación del horno y las dimensiones del recipiente. Los recipientes con bocas muy pequeñas parecen más susceptibles a este problema. Se debe descartar el uso de cualquier recipiente cuyas dimensiones no satisfagan los requisitos de esta norma.*

*Nota 8: Para mejorar la precisión en la determinación del cambio de masa, los recipientes destinados a ello se deben manejar con guantes limpios o pinzas. Su traslado a la balanza se deberá hacer con las pinzas, para prevenir contaminaciones y cambios de temperatura que puedan alterar el valor medido de masa.*

## 7 INFORME

- 7.1** Los resultados del ensayo se deben expresar en función de los cambios físicos que han tenido lugar en la muestra. Los valores correspondientes se obtendrán mediante ensayos apropiados, según las normas INV, sobre el material antes y después de la ejecución del ensayo del asfalto en lámina delgada y rotatoria.
- 7.2** Si se determinó el cambio de masa, se reporta como el promedio del cambio encontrado en los dos recipientes, expresado como porcentaje respecto de la masa inicial, con aproximación a 0.001 %. La pérdida de masa se debe reportar como un número negativo, mientras la ganancia de masa se informará como un número positivo.

*Nota 9: En este ensayo se puede obtener pérdida o ganancia de masa. Durante el ensayo, los componentes volátiles se evaporan (produciendo una disminución en la masa), mientras que el oxígeno reacciona con la muestra (causando un aumento en la masa). El efecto combinado determina si la muestra tiene una ganancia o una pérdida de masa. Es así como muestras con muy bajo porcentaje de componentes volátiles presentan usualmente una ganancia de masa, en tanto que muestras con alto porcentaje de componentes volátiles suelen exhibir una pérdida de masa.*

## 8 PRECISIÓN Y SESGO

- 8.1** *Precisión* – El criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados de viscosidad a una temperatura de 60° C (140° F) y de ductilidad a 15.6° C (60° F), en el residuo después del ensayo en el horno de lámina asfáltica delgada en movimiento, se muestran en la Tabla 720 - 1.
- 8.1.1** Los valores dados en la columna 2 de la tabla corresponden a la desviación estándar (normal) que ha sido encontrada apropiada para los materiales y condiciones de ensayo descritos en la primera columna.
- 8.1.2** Los valores dados en la columna 3 son los límites que no deben ser excedidos por la diferencia de los resultados entre dos ensayos.
- 8.1.3** Los valores de la columna 4 corresponden a los coeficientes de variación que han sido encontrados apropiados para los materiales y condiciones de ensayo descritos en la primera columna.

Tabla 720 - 1. Precisión del ensayo sobre el residuo

| MÉTODOS DE ENSAYO   | DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s) | RANGO ACEPTABLE DE 2 RESULTADOS (d2s) | COEFICIENTE DE VARIACIÓN (% DEL PROMEDIO) (1s%) | RANGO ACEPTABLE DE 2 RESULTADOS (% DEL PROMEDIO) (d2s%) |
|---|--------------------------|---------------------------------------|---|---|
| Precisión de un solo operador<br>Viscosidad a 60°C (140°F)<br>Ductilidad a 15.6°C (60°F) <sup>A</sup> | -<br>3                   | -<br>9                                | 2.3<br>-  | 6.5<br>-  |
| Precisión varios laboratorios<br>Viscosidad a 60°C (140°F)<br>Ductilidad a 15.6°C (60°F) <sup>A</sup> | -<br>6                   | -<br>16                               | 4.2<br>-  | 11.9<br>-   |

<sup>A</sup> Se basan en el análisis de información de resultados de ensayo de 16 laboratorios sobre 2 tipos de asfaltos en un rango de 13 a 30 cm.

- 8.1.4** Los valores dados en la columna 5, son los límites que no deben ser excedidos por la diferencia entre los resultados de dos ensayos adecuadamente realizados, expresados como porcentaje de su valor medio.
- 8.2** La precisión para la determinación de los valores de pérdida de masa se ha estimado a partir del análisis de datos que representan unas 5900 repeticiones de este ensayo. El análisis indica que la desviación estándar (1s) se puede expresar en función del cambio de masa (X), de acuerdo con las ecuaciones que se presentan en la Tabla 720 - 2.

Tabla 720 - 2. Relaciones entre la desviación estándar y el cambio de masa

| CAMBIO DE MASA (X) | DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)<br>UN SOLO OPERADOR | DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)<br>VARIOS LABORATORIOS |
|--------------------|--|---|
| Si X ≤ - 0.1 %     | $1s = 0.013 - 0.070X$                        | $1s = 0.020 - 0.200X$                           |
| Si X > - 0.1 %     | $1s = 0.020$                                 | $1s = 0.040$                                    |

**8.3** El límite de confianza de 95 % para el rango aceptable de dos resultados ( $d_{2s}$ ), se determina multiplicando la desviación estándar ( $1s$ ) por un factor de 2.83.

**8.4** *Sesgo* – Este método no tiene sesgo, por cuanto los valores determinados están definidos en términos del método de ensayo.

## **9 NORMAS DE REFERENCIA**

ASTM D 2872 – 04

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAIS