

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE ROTURA DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN DIRECTA (TD)

INV E – 722 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Este método de ensayo permite determinar la deformación y la tensión de falla de ligantes asfálticos mediante un ensayo de tracción directa. Se puede utilizar para ensayar tanto asfaltos originales como envejecidos mediante los métodos INV E-720, ensayo de película delgada rotatoria o INV E-751, de envejecimiento acelerado en cámara a presión (PAV). El equipo de ensayo está diseñado para un rango de temperatura de + 6 a - 36° C.
- 1.2** Este método está limitado a ligantes asfálticos que contengan material con partículas de dimensiones menores a 250 µm.
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E-722-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** *Ligante asfáltico* – Cemento asfáltico, producido a partir de petróleo, con o sin la adición de modificadores orgánicos con partículas de tamaño menor a 250 µm.
- 2.2** *Frágil* – Tipo de falla en un ensayo de tracción directa, donde la curva tensión-deformación es esencialmente lineal hasta el punto de falla, la que se produce por rotura súbita del material sin una reducción apreciable de la sección transversal.
- 2.3** *Frágil-dúctil* – Tipo de falla en un ensayo de tracción directa, donde la curva tensión-deformación es curvilínea y la falla se produce por rotura súbita del material. Sólo se produce una pequeña reducción de la sección transversal de la probeta antes de la rotura.
- 2.4** *Dúctil* – Tipo de falla en un ensayo de tracción directa, donde el material no llega a la rotura, sino que falla por fluencia a grandes niveles de deformación.

- 2.5** *Deformación de tracción* – Deformación axial resultante de la aplicación de una carga de tracción, que se calcula como el cambio de la longitud efectiva de la probeta causada por la aplicación de la carga de tracción, dividida por la longitud efectiva original, antes de aplicar la carga.
- 2.6** *Tensión de tracción* – Tensión axial resultante de la aplicación de una carga de tracción, calculada como la carga de tracción dividida por el área original de la sección transversal de la probeta.
- 2.7** *Falla* – Punto en el cual la carga de tensión alcanza un valor máximo a medida que la probeta es sometida a tracción a una velocidad de deformación constante.
- 2.8** *Tensión de falla* – Tensión de tracción en la probeta cuando la carga alcanza un valor máximo durante el procedimiento de ensayo.
- 2.9** *Deformación de falla* – La deformación de tracción correspondiente a la tensión de falla.
- 2.10** *Sección calibrada o nominal* – Parte central de la probeta en la cual la sección transversal no varía longitudinalmente. La geometría de la sección calibrada tiene 18 mm de largo (ver Figura 722 - 1).
- 2.11** *Longitud corregida efectiva* – Para las probetas usadas en este ensayo, la longitud corregida efectiva, L_e , ha sido determinada como 33.8 mm. Esta es una longitud de calibración efectiva, que representa la parte de la probeta que contribuye en mayor grado a la deformación.

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** Este ensayo describe el procedimiento usado para medir la tensión y la deformación de falla de una probeta de ligante asfáltico sometida a un ensayo de tracción a velocidad de deformación constante. Las probetas se preparan vaciando ligante asfáltico caliente en un molde adecuado. Se usan dos terminales plásticos para mantener adherida la probeta durante el ensayo y transferirle el esfuerzo de tracción desde la máquina de ensayo.
- 3.2** Este ensayo fue desarrollado para ligantes asfálticos a temperaturas en las que exhiben falla frágil o frágil-dúctil. Una falla frágil o frágil-dúctil se produce con una fractura en la probeta, en oposición a una falla dúctil en la cual la probeta

simplemente se alarga sin fracturarse. Este ensayo no es aplicable a temperaturas donde la falla sea por fluencia dúctil.

- 3.3** Un transductor de desplazamiento mide el alargamiento de la probeta al ser tirada en tracción a una tasa constante de 1 mm/min. Se monitorea la carga desarrollada durante el ensayo y cuando ella alcanza un máximo, la deformación y el esfuerzo de tensión en la probeta se reportan como la deformación de falla y la tensión de falla, respectivamente.

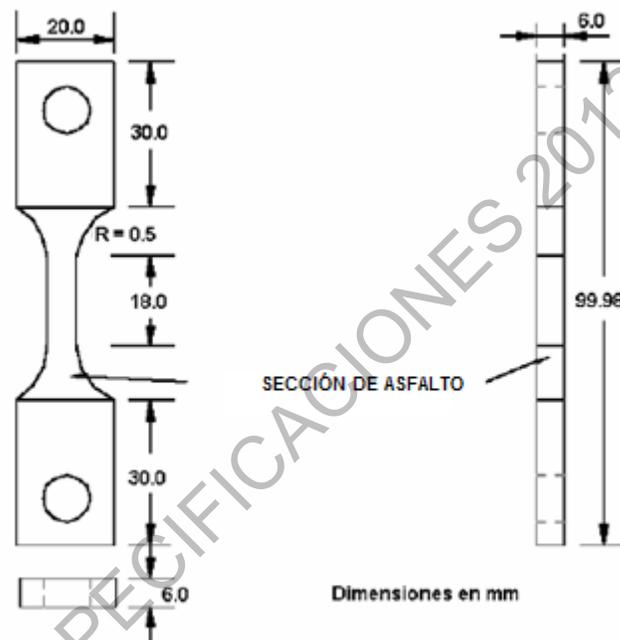


Figura 722 - 1. Geometría del espécimen para el ensayo de tracción directa

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** La tensión en la falla se usa en un modelo mecánico de agrietamiento de un pavimento, para computar el agrietamiento crítico a causa de una baja temperatura. El procedimiento para calcular la temperatura crítica de agrietamiento se describe en la norma ASTM D 6521. La temperatura crítica de agrietamiento se usa, entonces, para especificar la calidad a baja temperatura del ligante asfáltico de acuerdo con la especificación ASTM D 6373.
- 4.2** El ensayo está diseñado para medir la resistencia del ligante asfáltico a la temperatura crítica de agrietamiento. El ligante asfáltico tiene una habilidad limitada para resistir la tensión sin agrietarse a bajas temperaturas.

- 4.3** Para la evaluación de un ligante asfáltico de acuerdo con la especificación ASTM D 6373, se usa una tasa de elongación de 1 mm/min y la temperatura de ensayo se escoge en la Tabla 1 de la misma especificación, de acuerdo con el grado asfáltico que corresponda. Es posible usar otras tasas de elongación y temperaturas para ensayar los ligantes asfálticos.

5 EQUIPO

- 5.1** *Sistema de ensayo de tracción directa (Figura 722 - 2)* – El sistema de ensayo de tracción directa consiste en: 1) una máquina de tracción de carga de desplazamiento controlado de circuito cerrado de regeneración; 2) un sistema de sujeción de la probeta; 3) un baño líquido o cámara aislada, que permita un control uniforme, preciso y exacto de la temperatura durante el acondicionamiento y ensayo de la probeta; 4) dispositivos de medición y registro de carga en tiempo real; 5) dispositivos de medición y registro de elongación en tiempo real; 6) dispositivos de medición y registro de temperatura en tiempo real; y 7) dispositivos de registro y despliegue de datos en tiempo real. El sistema tendrá una unidad electromecánica o servohidráulica capaz de aplicar y medir fuerzas de tracción y compresión de al menos 500 N y un recorrido de 20 mm (0.78"). La rigidez del sistema será de al menos 3 MN/m, incluyendo la celda de carga y las mordazas. La unidad contará con un transductor para medir y controlar la separación de las sujeciones y proveer información para el control de la deformación, con una resolución de desplazamiento de 1.0 μm . El sistema será capaz de controlar la velocidad de elongación con una precisión de, al menos, 1% con respecto a la velocidad de elongación especificada de la probeta, usando la información proveniente de un transductor de desplazamiento montado entre los terminales de carga o de un extensómetro sin contacto que mida la elongación de la probeta.

5.1.1 *Máquina de carga de tracción equipada con control de temperatura* –

Una máquina de carga de tracción con un marco de carga de desplazamiento controlado, capaz de producir al menos 500 N. El marco de carga debe estar montado sobre una mesa. El sistema de sujeción (mordazas y placas) estará sumergido completamente bajo el líquido del baño (si se usa un sistema de baño líquido), a una profundidad mínima 25 mm bajo la superficie del fluido enfriador. La carga se producirá tirando directamente en tracción en el mismo plano de la probeta. La distancia entre los puntos de carga del marco de carga (entre las mordazas de carga) debe permitir acomodar las probetas con un largo total (incluyendo los terminales) de al menos

100 mm, (ver Figura 722 - 1). Si se utiliza un sistema enfriado por aire, el marco de carga debe estar equipado con 2 columnas con una luz suficiente entre ellas como para que pueda ser ubicada en dicho espacio una cámara aislada de control térmico.



Figura 722 - 2. Sistema para el ensayo de tracción directa: (a) molde y espécimen; (b) equipo de ensayo

5.1.2 Sistema de sujeción de la probeta – El sistema de sujeción debe producir un auto-alineamiento de la carga de ensayo uniaxial y permitir la inserción de los terminales de la probeta descritos en el numeral 5.1.2.1, y estar diseñado de manera que las probetas puedan ser montadas fácilmente en la máquina. El sistema debe incluir 2 mordazas. Cada mordaza debe incluir una chaveta especial que irá montada rígidamente a las platinas de carga de la máquina de ensayo. La Figura 722 - 3 muestra una configuración típica de una mordaza y una chaveta de carga. Una mordaza debe estar fija y permanecer inmóvil durante el ensayo, mientras que la otra se desplaza a la tasa de deformación especificada.

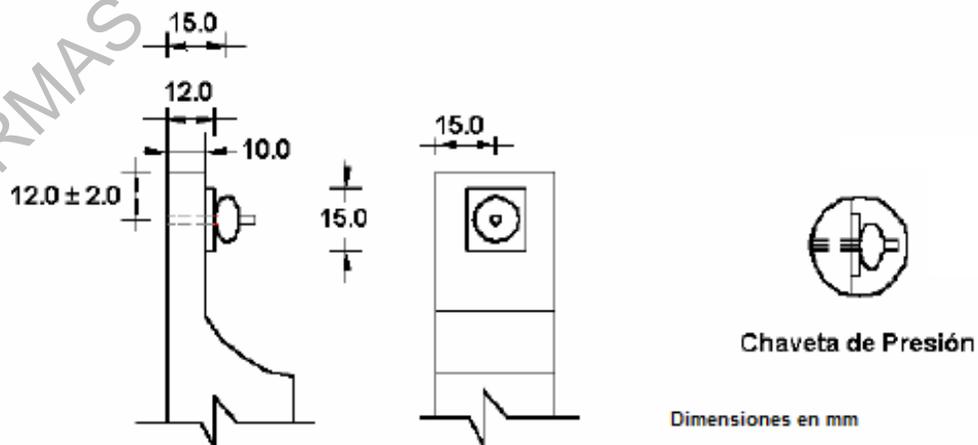
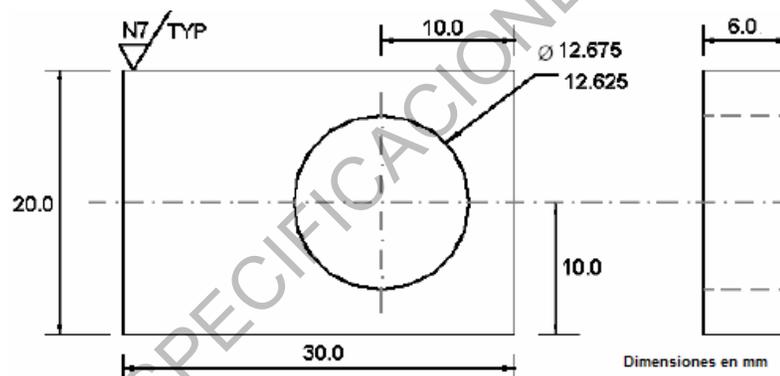


Figura 722 - 3. Ensamblaje típico de mordazas y chaveta de presión para la prueba de tracción directa

5.1.2.1 *Terminales para la aplicación de carga a las probetas* – Los terminales de la probeta deben ser fabricados en material G-10 fenólico, con un coeficiente de expansión térmica lineal similar al asfalto ($0,00006 \text{ mm/mm/ } ^\circ \text{C}$) y de dimensiones como las que se indican en las Figuras 722 - 4, 722 - 5 y 722 - 6. Deben estar adheridos a ambos extremos de la probeta para transferir la carga de tracción al ligante asfáltico. Cada uno de estos terminales contendrá un agujero preciso trabajado a máquina, revestido con un anillo de acero inoxidable 304. El diámetro del agujero revestido será de $10 \pm 0.05 \text{ mm}$. La sujeción de la muestra se efectúa a través de la adhesión entre el ligante asfáltico y el terminal. Cada terminal se montará sobre una chaveta especialmente torneada, la que es parte del sistema de sujeción. El espécimen se monta sobre las mordazas, ubicando los terminales en la máquina de ensayo de forma que se ajusten sobre las chavetas y queden separados contra la cara de las mordazas. La igualdad entre los coeficientes de expansión del ligante y de los terminales es necesaria para reducir los esfuerzos de contracción térmica en la interfaz, los cuales pueden causar fallas de adhesión.

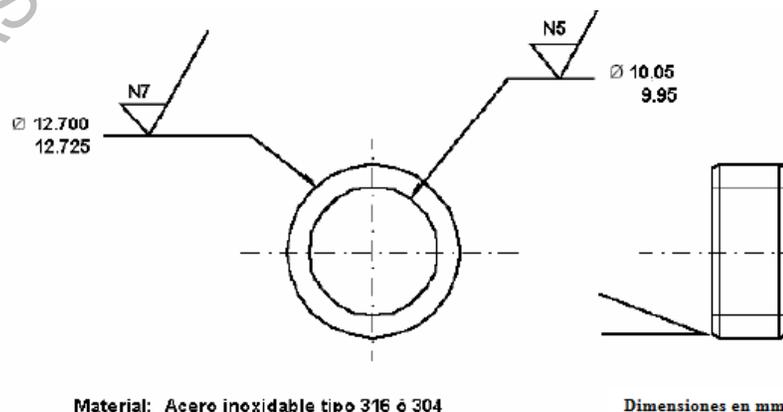
5.1.3 *Cámara de ensayo para control de temperatura y ensayo* – La cámara de control de temperatura tendrá suficiente espacio para almacenar al menos 8 probetas. El rango de control de temperatura para la cámara de enfriamiento, sin muestras asfálticas, en todos sus puntos interiores debe ser de $+ 6$ a $- 36^\circ \text{C}$, con una estabilidad de temperatura de $\pm 0.1^\circ \text{C}$, como mínimo. Al colocar una probeta a temperatura ambiente dentro de la cámara de enfriamiento se produce una fluctuación de la temperatura. Esta fluctuación, medida como la diferencia de temperatura entre las mordazas con respecto a la temperatura especificada de ensayo, debe ser menor que $\pm 0.2^\circ \text{C}$. Sin embargo, durante el ensayo, el gradiente de temperatura entre las mordazas no excederá $\pm 0.1^\circ \text{C}$. La temperatura se medirá mediante un sensor de resistencia térmica (PRTD) de platino (calibrado a 8 temperaturas en un rango de $+ 6$ a $- 36^\circ \text{C}$), ubicado dentro de la cámara en la proximidad del área de ensayo. Si se utiliza un sistema de enfriamiento por aire, se puede usar un enfriador mecánico o nitrógeno líquido para enfriar la cámara. Debe tener un sistema deshumidificador con una capacidad tal, que se elimine la formación de escarcha en el interior de la cámara, en la probeta y en cualquier componente del ensayo. La cámara tendrá la capacidad suficiente para almacenar al menos 8 probetas sobre una repisa, la cual debe estar térmicamente aislada de

las paredes y del piso de la cámara, de manera que el calor conducido desde las paredes y el piso no afecte la temperatura de las probetas. Si se usa un sistema de enfriamiento por aire, la cámara estará equipada con una puerta frontal para el mantenimiento y propósitos de normalización, además de una puerta de acceso que permita al operador insertar su antebrazo y su mano con el fin de ubicar las probetas sobre la repisa para acondicionamiento o sobre las mordazas para el ensayo. La puerta de acceso debe estar diseñada para que los cambios de temperatura en la cámara sean de $\pm 0.2^\circ \text{C}$ cuando el operador introduzca y saque sus manos de la cámara. Debe haber acceso visual al interior de la cámara para permitir el montaje apropiado de las muestras y el monitoreo del ensayo. La deformación de la probeta se mide con un láser óptico. El uso del láser requiere que haya ventanas de vidrio óptico en los dos lados de la cámara de temperatura, de manera que el rayo de láser pueda pasar a través de la cámara sin distorsión del haz.



- Notas: 1. Material: G10 Fenolico
2. Ver esquema de anillo metálico y del ensamble entre ambos (figura 4)

Figura 722 - 4. Terminal para el ensayo de tracción directa



Material: Acero inoxidable tipo 316 ó 304

Figura 722 - 5. Anillo para terminal

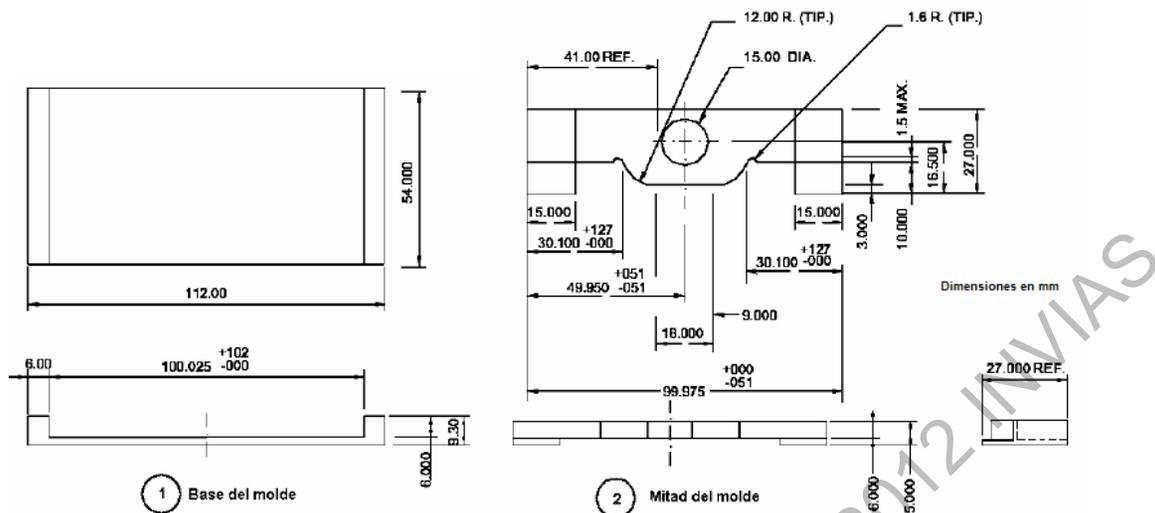


Figura 722 - 6. Molde para especímenes del ensayo de tracción directa

- 5.1.4** Si se usa un líquido como medio de enfriamiento, se recomienda el uso de una mezcla de 42 % de polvo de acetato de potasio y 58 % de agua desionizada (porcentajes en masa). No se deben usar alcoholes, ya que se ha encontrado que fragilizan los ligantes asfálticos, es decir, afectan sus propiedades de falla en presencia de tensión.

Nota 1: El acetato de potasio se encuentra comercialmente en forma de una mezcla fluida anticongelante, compuesta aproximadamente de un 50 % de acetato de potasio y 50 % de agua desionizada. Si se adquiere esta mezcla comercial, la combinación de 42 % y 58 % mencionada se puede lograr añadiendo a la mezcla agua desionizada o destilada hasta que la densidad obtenida a 25° C sea de $1.2375 \pm 0.0025 \text{ g/cm}^3$. La densidad se puede medir usando un hidrómetro adecuado.

- 5.1.5** *Dispositivos de medición y registro de carga* – La carga se medirá con una celda de carga, de 500 N de capacidad mínima y sensibilidad de 0.1 N. La celda de carga se debe calibrar al menos una vez al año, de acuerdo con la norma ASTM E 4. La carga y la deformación deben ser monitoreadas con el sistema de adquisición de datos (SAD), de manera que se puedan registrar con una precisión del 1 % respecto de la carga y el alargamiento de falla, respectivamente. Una vez que se inicia el ensayo, el SAD debe ser capaz de detectar el momento en el cual la carga comienza a cambiar como resultado del alargamiento de la probeta. Esto se logra monitoreando la señal de la celda de carga durante el tiempo. El instante en que se produce un cambio en la señal de carga equivalente a $2 \pm 0,3 \text{ N}$ (umbral de carga), indica el tiempo en el que la lectura en el transductor de desplazamiento se hace cero. El SAD registra el instante en que se obtiene la máxima carga, y la elongación de falla se calcula como la elongación acumulada desde la

lectura cero hasta la correspondiente a dicha carga máxima. Una vez que el ensayo ha finalizado, el dispositivo mostrará la deformación en la falla. Usualmente, la carga máxima varía entre 10 y 250 N, dependiendo de la temperatura de ensayo, grado, envejecimiento y origen del ligante asfáltico. La tensión y la deformación unitaria se deben registrar con aproximación a 0.1.

5.1.6 *Dispositivos de medición y registro de la elongación* – La elongación de la probeta se medirá mediante la separación de las mordazas, con un transductor de desplazamiento. El transductor debe medir y controlar la separación de las mordazas y, además, suministrar la retroalimentación para el control de la velocidad de elongación, con una resolución de desplazamiento de 1.0 μm .

5.1.6.1 Si el componente de adquisición de datos consiste en un computador compatible con el dispositivo, tendrá tres canales A/D; uno para la carga, uno para la elongación y otro para la temperatura. Los datos se almacenan en formato ASCII.

5.1.6.2 *Pantalla o despliegue de la curva tensión-deformación* – El sistema de registro y despliegue de datos será capaz de mostrar una curva tensión–deformación, en unidades de tensión MPa vs. porcentaje de deformación. Esto se puede llevar a cabo usando la pantalla de video de la computadora o un registrador de x–y. Si se utiliza un registrador, las unidades pueden estar en voltios pero, en este caso, el archivo de ensayo contendrá el factor de calibración en MPa/voltios y % de deformación/voltios, para ambos ejes x–y.

5.2 *Moldes para probetas* – Fabricados en aluminio, con las dimensiones especificadas en la Figura 722 - 6. Para prevenir que el asfalto se adhiera a las paredes del molde y a la placa posterior se requieren un agente desmoldante y un papel revestido de silicona, (descritos en los numerales 6.2 y 6.3).

5.3 *Placas para almacenamiento de las probetas* – Cuando se usa un sistema enfriado por aire, se requieren placas de plástico acrílico, teflón, u otro plástico, para transferir y almacenar las probetas de ensayo en la cámara enfriada por aire.

5.4 *Termómetro calibrado* – Un termómetro de mercurio, de rango adecuado y con subdivisiones de 0.1° C, para verificar el transductor de temperatura. Un

termómetro adecuado es el ASTM 133C, cuyas características básicas son las siguientes: rango -38 a $+2^{\circ}$ C; divisiones 0.1° C; longitud 379 mm; inmersión 76 mm. Alternativamente, se puede emplear para verificar la temperatura del baño un sensor de resistencia térmica (RTD) con una exactitud mayor o igual a $\pm 0.03^{\circ}$ C.

- 5.5 *Congelador* – Capaz de mantener una temperatura de $-15 \pm 5^{\circ}$ C. El congelador sólo se requiere cuando se usa un sistema de enfriamiento por aire.
- 5.6 *Horno* – De convección y ventilación forzada, capaz de alcanzar y mantener una temperatura de $160 \pm 5^{\circ}$ C para el calentamiento de la muestra de asfalto.

6 REACTIVOS Y MATERIALES

- 6.1 *Fluido para el baño líquido* – Requerido para el control de temperatura en sistemas equipados con baño líquido de enfriamiento. Se requiere una mezcla acuosa de 42 % en peso de acetato de potasio en polvo y 58 % de agua desionizada. Los alcoholes no están permitidos, pues afectan las propiedades de falla de todos los asfaltos.
- 6.2 *Agente desmoldante* – Mezcla de 20 g de glicerina y 20 g de talco, para lubricar las paredes de los moldes de aluminio y facilitar el desmolde de la probeta. Las proporciones se deben ajustar hasta que se logre una consistencia de mantequilla de maní.
- 6.3 *Papel de desmolde* – Un papel revestido con teflón por ambos lados, con un espesor mínimo de revestimiento de $0.3 \mu\text{m}$. También se pueden emplear papeles cubiertos con silicona, aunque se ha establecido que ellos reducen las propiedades de falla de algunos ligantes asfálticos.
- 6.4 *Solvente* – Solvente mineral o desengrasante en un rociador, formulado para limpieza de asfalto, para limpiar los moldes, terminales y placas. Es necesaria una limpieza final con un trapo saturado con acetona o un papel absorbente, para asegurar una adhesión adecuada entre el ligante asfáltico y los terminales.
- 6.5 *Paños* – Paños de algodón para limpiar los moldes, terminales y planchas.

7 PELIGROS

- 7.1** Se deben observar procedimientos de seguridad normales de laboratorio al manejar ligantes asfálticos calientes y preparar las muestras para ensayos; mientras que se requieren procedimientos de seguridad especiales cuando se limpie con solventes o desengrasantes.

8 MUESTREO Y PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES DE ENSAYO

- 8.1** *Preparación de las muestras de ensayo* – Si se va a ensayar asfalto original, las muestras se obtienen de acuerdo con la norma INV E-701. Se ajusta el baño de enfriamiento a la temperatura deseada y se espera hasta que se estabilice a dicha temperatura $\pm 0.1^\circ\text{C}$.

- 8.1.1** Se calienta el ligante asfáltico para elaborar la probeta hasta que esté suficientemente fluido. Este calentamiento remueve las asociaciones moleculares reversibles (endurecimiento estérico) que ocurren durante el almacenamiento normal a temperatura ambiente.

Nota 2: Se recomiendan temperaturas mínimas de vertido que produzcan una consistencia equivalente al aceite de motor SAE 10W30 a temperatura ambiente (de fácil vertido, pero no excesivamente fluido). Se debe evitar el calentamiento de ligantes asfálticos a temperaturas superiores a 165°C ; sin embargo, con algunos asfaltos modificados o ligantes envejecidos, pueden requerirse temperaturas de vertido por encima de 165°C . No se deben usar temperaturas por encima de 180°C a menos que sea absolutamente necesario para que el asfalto alcance la fluidez suficiente. En todos los casos, el tiempo de calentamiento deberá ser minimizado. Durante el calentamiento, la muestra se debe cubrir y agitar ocasionalmente para asegurar la homogeneidad. Se debe proceder con cuidado durante la agitación, para evitar que queden burbujas de aire atrapadas dentro del asfalto.

- 8.2** Se cubren las superficies de las dos paredes laterales del molde con el agente desmoldante. El desmoldante se aplica de forma que produzca una capa delgada y uniforme sobre la superficie del metal, de modo que ninguna parte del metal quede expuesta. Se coloca una lámina precortada de papel de desmolde sobre la placa base del molde. Se desliza una plancha lateral sobre la placa base (sobre el papel de desmolde). Se coloca los terminales dentro de ambos extremos del molde. Se desliza la otra placa lateral sobre la placa base para completar el ensamblaje del molde. Se introducen los moldes y los terminales ensamblados en un baño de arena colocado en un horno mantenido a la misma temperatura a la cual se calentó el asfalto, por un período de 7 ± 2 min, al término del cual se retiran del horno el baño de arena y los moldes para verter el asfalto dentro de éstos, como se indica en el numeral siguiente. Si los moldes se dejan en el horno por más de 9 minutos, se

afectarán las propiedades desmoldantes de la glicerina y el talco. El baño de arena requiere ser precalentado a la temperatura requerida, antes de colocar los moldes dentro de él.

- 8.3** Se retiran el molde y el baño de arena del horno y se colocan sobre una superficie plana. Se vierte el ligante asfáltico caliente dentro del molde, partiendo desde un extremo de la cavidad y terminando en el otro extremo, en una sola pasada. El asfalto se debe verter en forma de un chorro continuo para evitar la entrada de burbujas de aire o vacíos. La operación de vertido se completa tan rápidamente como sea posible para evitar cualquier caída excesiva de temperatura en el ligante. Se debe detener el vertido cuando el asfalto esté ligeramente sobre el borde superior de las paredes del molde. Este exceso de asfalto tiene por finalidad permitir la contracción del producto a medida que el espécimen se enfría a temperatura ambiente.

Nota 3: Las investigaciones sugieren que los resultados más consistentes sobre tensiones de falla (coeficientes de variación menores de 10 %) se obtienen calentando los moldes en el horno dentro de un baño de arena. Se puede colocar una hoja de papel aluminio o una pieza de tela sobre el baño, para evitar que la arena ingrese en el molde y en el espécimen. Solamente se deben calentar y llenar dos moldes al mismo tiempo. Se ha encontrado que si se llenan más moldes simultáneamente, el asfalto se enfría excesivamente dando lugar a especímenes de geometría inconsistente.

- 8.4** Una vez vertido el asfalto, se permite su endurecimiento dentro del baño de arena por 5 ± 1 min. En seguida, se remueven los moldes del baño de arena y se permite su enfriamiento durante un lapso de 30 a 60 min. No se debe enfriar rápidamente la probeta forzándola a alcanzar la temperatura ambiente (25° C o menor).
- 8.5** Tan pronto como la muestra se haya enfriado a temperatura ambiente, se enrasa la probeta y se retira el exceso de ligante con una espátula o cuchillo caliente a unos 165° C, de modo que el ligante quede a ras con el borde superior del molde. Se debe tener cuidado durante esta operación, para que el ligante no sea forzado fuera del molde y evitar así que se dañe la unión entre el ligante y los terminales. La probeta se debe enrasar de una manera consistente, pasando la espátula o cuchillo caliente a lo largo del eje de la muestra en forma pareja, a ras con la superficie del molde. Después del enrase, se remueven todos los restos de ligante de los orificios o ranuras de los terminales y se deja enfriar la probeta a temperatura ambiente por 10 a 15 min.

- 8.6** *Procedimiento de desmolde del espécimen:*

8.6.1 Previo al desmolde, se colocan 2 placas laterales de un molde de aluminio sin uso (ver Figura 722 - 6) dentro del baño enfriador o

cámara de aire y se las deja enfriar hasta la temperatura de ensayo. Se deben usar estas placas laterales como portadoras para transferir la probeta de ensayo hasta el baño o cámara.

- 8.6.2** Además, se prepara una placa base para transferir las probetas, de la siguiente manera: se pone una placa base sin usar (Figura 722 - 6) invertida sobre la plataforma de trabajo, con el fin de formar una placa de transferencia. Se colocan dos papeles de desmolde de modo que se traslapen a lo largo y que cubran la superficie de la placa de transferencia.
- 8.6.3** Se desmolda la probeta, deslizándola suavemente con las dos placas laterales del molde, hacia un borde de la placa base, hasta que la mitad de la placa lateral más próxima al borde lo haya cruzado. Se gira la placa lateral sobresaliente hacia abajo, usando una presión suave y se desmolda ese lado.
- 8.6.4** Se coloca nuevamente en su lugar la placa recién liberada y ahora se deslizan la probeta y las dos placas laterales (una aún adherida y la otra desmoldada pero re-ensamblada) hacia el borde opuesto y se repite el procedimiento de desmolde indicado en el numeral 8.6.3.
- 8.6.5** A continuación, se repite el procedimiento de desmolde descrito en el numeral 8.6.3, con la diferencia que ahora se remueve completamente una placa lateral, y se monta suavemente en ese lado de la probeta una de las placas laterales enfriadas en la cámara o en el baño.
- 8.6.6** Posteriormente, se desmolda la otra placa lateral, reemplazándola por aquella enfriada en la cámara de aire o baño líquido.
- 8.6.7** En este punto, el ensamble de la muestra y el molde se deben ver exactamente como la muestra enrasada antes de desmoldar, excepto que las dos placas laterales han sido reemplazadas por placas frías (ambientadas en la cámara o baño de ensayo antes de iniciar el proceso de desmolde).
- 8.6.8** En seguida, se invierte el ensamble de la probeta fría y el molde, tomando el molde por el centro entre el pulgar y el dedo índice de cada mano. Se coloca el molde ensamblado invertido sobre la placa de transferencia, de modo que se forme una cruz, es decir, el molde ensamblado debe quedar perpendicular a la placa base de transferencia cubierta con papeles de desmolde.

- 8.6.9** Se remueve suavemente la placa base del espécimen invertido, deslizándola y descansando sobre la placa de transferencia. El papel de desmolde del fondo del espécimen queda ahora expuesto. Se sostienen las dos placas laterales, con el fin de asegurar el espécimen mientras se remueve suavemente el papel desmoldante.
- 8.6.10** Se transporta la placa base de transferencia con la probeta invertida pero expuesta, hasta la cámara de ensayo o baño. Inmediatamente, se pone el espécimen (a lo largo, con las dos placas laterales frías) dentro del baño enfriador o la cámara, sobre una de las bandejas.
- 8.6.11** Se remueven las dos placas laterales después de un período de 2 min de enfriamiento. Algunos asfaltos más blandos pueden requerir más de 2 min de enfriamiento antes de remover las placas laterales.
- 8.6.12** A continuación, se suelta la probeta recién liberada en el baño de ensayo o en la cámara, de modo que la cara enrasada quede hacia arriba. Siempre se deben ensayar las probetas con la cara de enrasado hacia arriba. La placa base de transferencia, cubierta con los papeles de teflón, nunca debe ser puesta en el baño. No es necesario medir las dimensiones del espécimen después de desmoldar, ya que las tolerancias dimensionales son controladas con exactitud en el proceso de moldeo.

Nota 4: Se debe minimizar la distorsión de la probeta durante el desmolde. La variabilidad en las propiedades de falla se incrementa si se ensayan probetas distorsionadas (ya sea dobladas a lo largo del eje de carga o en forma perpendicular al mismo). Una probeta distorsionada produce valores de falla menores.

9 CALIBRACIÓN Y NORMALIZACIÓN

- 9.1** Se debe verificar la calibración del transductor de desplazamiento, de la celda de carga y del transductor de temperatura.

Nota 5: La calibración, en general, es realizada por un servicio de calibración externo. La verificación de la calibración, la normalización del sistema, y los controles de calidad, pueden ser realizados por el fabricante, otros servicios externos o por personal del laboratorio, empleando los procedimientos descritos a continuación.

- 9.1.1** *Verificación de la celda de carga y del transductor de desplazamiento* – Para verificar la operación de la celda de carga y del transductor de desplazamiento se usará una columna especialmente diseñada. La columna de verificación debe tener un índice de elasticidad de aproximadamente 135 N/mm y soportar una carga de 500 N sin

dañarse. La columna de verificación debe ser suministrada por el fabricante del sistema de tracción directa, con sus características de tensión-deformación. El fabricante entregará un certificado con cada columna de verificación, lo cual garantiza el seguimiento del equipo usado para determinar las características tensión-deformación de la columna. Se debe verificar la calibración de la celda de carga y el transductor de desplazamiento al menos cada seis meses, y cuando las mediciones sean dudosas.

- 9.1.2** *Verificación de la tasa de elongación* – La tasa de elongación se verifica usando la columna de verificación descrita en el numeral 9.1.1. Para realizar la verificación, se grafica la tasa de elongación en función del tiempo transcurrido. El gráfico resultante deberá ser una línea recta con una pendiente de 1.00 mm/min.

Nota 6: Las medidas se deben hacer a $-18 \pm 0.1^\circ \text{C}$. Se debe esperar 10 min para que la columna de verificación alcance el equilibrio térmico.

- 9.1.3** *Detector de temperatura* – El detector de temperatura se debe calibrar al menos semestralmente, comparando la salida del sensor de resistencia térmica (RTD) con el registro de un termómetro de mercurio en vidrio calibrado. Alternamente, para verificar la temperatura del baño resulta también aceptable un termómetro digital con trazabilidad de alta precisión NIST, con una exactitud igual o superior a $\pm 0.03^\circ \text{C}$. El termómetro o el RTD se colocan en la cámara de ambiente controlado y el RTD se sostiene en contacto íntimo con el bulbo del termómetro. Cuando el termómetro y el RTD hayan alcanzado el equilibrio, se comparan las lecturas. Si la temperatura indicada por el detector térmico no concuerda con la del termómetro de mercurio dentro de $\pm 0.1^\circ \text{C}$, se aplica una corrección apropiada a la temperatura indicada por el RTD o, de lo contrario, se adelanta otra calibración o una operación de mantenimiento.

10 ACONDICIONAMIENTO DEL ESPÉCIMEN

- 10.1** Se ajusta el baño enfriador a la temperatura de ensayo deseada y se espera hasta que se estabilice dentro de $\pm 0,1^\circ \text{C}$ de dicha temperatura.
- 10.2** Se acondicionan los especímenes en el baño enfriador o cámara a la temperatura de ensayo por 60 ± 5 min. Se deben planificar los tiempos de cada actividad, para evitar variabilidad en el ensayo debido al endurecimiento físico.

11 PROCEDIMIENTO

- 11.1** Se preparan seis especímenes de ensayo de acuerdo con la Sección 8.
- 11.2** Usando unas pinzas, Se monta el espécimen sobre el marco de carga haciendo calzar los orificios de los terminales en las chavetas de carga del marco de carga. Si los orificios no encajan con las chavetas, se monta una de las chavetas con un extremo de la muestra y se ajusta el marco de carga manualmente hasta que el otro extremo de la probeta calce dentro de su lugar como es debido. Se verifica el ajuste de la probeta moviendo las pinzas suavemente sobre los terminales en cada uno de los extremos de la muestra.
- 11.3** Una vez que el espécimen se encuentre sobre las chavetas de carga, se elimina la holgura entre él y las chavetas de carga.
- 11.3.1** Para instrumentos con remoción automática de la holgura, el software comienza el ensayo automáticamente luego del ajuste a ceros de la deformación. En este caso, no es necesario ningún accionamiento manual. El software del ensayo monitorea automáticamente la carga, el cero de deformación, y comienza el ensayo cuando la carga alcanza un valor de 2 ± 0.3 N.
- 11.3.2** Para instrumentos con remoción manual de la holgura o si se usa la puesta a punto del ensayo vertical de una cámara de ensayo de enfriamiento por aire, entonces la holgura se debe eliminar manualmente, manipulando el control de ajuste fino. Se ajusta en la dirección que produzca tensión (estiramiento del espécimen) hasta producir una carga de 2 ± 0.3 N.
- 11.3.2.1** Una vez llevado a cabo lo anterior, se verifican nuevamente los ajustes del espécimen con las pinzas para evitar cualquier lectura errónea de carga.
- 11.3.2.2** Se repite el procedimiento de carga manual descrito arriba hasta obtener de nuevo una carga de 2 ± 0.3 N.
- 11.4** Se ajusta la tasa de deformación a 3 %/min (para permitir una tasa de elongación de 1 mm/min), si es que el software no la tiene pre-ajustada.
- 11.5** Luego de que se fracture el espécimen o de que la elongación alcance 10 %, lo que ocurra primero, se detiene el ensayo y se remueve el espécimen o las partes de él.

- 11.6** La deformación de falla es fácilmente identificable como la deformación para la máxima carga cuando la falla es por fractura (quiebre de la pieza en dos partes, Figura 722 - 7). Sin embargo, cuando la probeta no se fractura pero alcanza una tensión máxima y fluye sin fracturarse, la deformación de falla se considera como aquella correspondiente a la tensión máxima. No se debe continuar el ensayo más allá del 10 % de deformación y, simplemente, se registra la deformación de falla como “mayor que 10 %”.

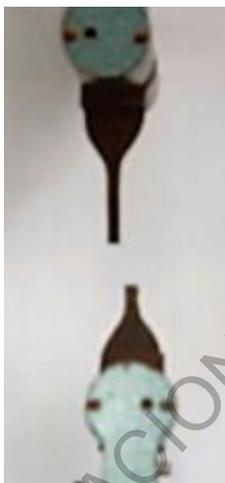


Figura 722 - 7. Especímen fallado por fractura

Nota 7: Si el ligante se puede alargar 10 % sin sufrir fractura, cumple los requerimientos de la especificación

- 11.7** Se anotan la carga de falla y la deformación en el instante de la falla. Si la probeta falla en la sección del cuello, se registra la falla pero, además, se anota que falló en esa sección. Si la probeta no falla por fractura al 10 % de elongación, se anota la carga al 10 % de elongación y el hecho de que la probeta no se fracturó.

Nota 8: Aunque la falla es aceptable en toda la sección de ensayo (los 18 mm donde la sección transversal es constante), idealmente ella debiera ocurrir en el centro de cada probeta. La localización de la falla y la consistencia o repetibilidad de los datos de falla están directamente relacionadas con la rectitud, el cuidado con que se preparan las probetas y la manera como se montan antes de ensayo.

- 11.8** Se repiten los pasos 11.2 a 11.7 con los otros 5 especímenes.

- 11.9** Luego de terminado el ensayo, se descartan las porciones del asfalto ensayado y se limpian los terminales con solvente y frotándolos con un paño suave. Después de frotar los terminales, se debe usar una solución de jabón detergente para remover cualquier partícula de aceite o residuo dejado por el limpiador. Alternativamente, se puede usar un desgrasante en atomizador. Se

limpian los terminales completamente. Cualquier película de grasa que permanezca sobre el área de unión puede crear una debilidad que cause fallas de adherencia.

12 CÁLCULOS

12.1 Para cada resultado de ensayo, se calcula la tensión de falla dividiendo la carga de falla por el área original de la sección transversal de la probeta de ensayo (6 × 6 mm) como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\sigma_f = \frac{P_f}{A} \quad [722.1]$$

Donde: σ_f : Tensión de falla, MPa;

P_f : Carga de falla, N;

A : Área original de la sección transversal, m^2 .

Nota 9: Para las probetas usadas en este ensayo, $A = 36 \times 10^{-6} m^2$.

12.2 Para cada resultado de ensayo, se calcula la deformación unitaria de falla dividiendo la elongación por la longitud original, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\epsilon_f = \frac{\delta_f}{L_e} \quad [722.2]$$

Donde: ϵ_f : Deformación de falla, mm/mm;

δ_f : Elongación de falla, mm;

L_e : Longitud efectiva, mm.

Nota 10: Para las probetas usadas en este ensayo, la longitud efectiva calibrada, L_e , ha sido determinada en 33.8 mm.

12.3 Se descartan los dos resultados de ensayo con las menores tensiones de falla. Si hay más de dos resultados con la misma tensión de falla pero con diferentes deformaciones a la falla, se descarta el resultado con la menor deformación.

12.4 Se calculan el promedio y la desviación estándar de la tensión y la deformación de falla con los cuatro resultados restantes.

13 INFORME

13.1 Se reporta la siguiente información:

13.1.1 Identificación de la muestra.

13.1.2 Fecha y hora del ensayo.

13.1.3 Temperatura de ensayo, redondeada a 0.1° C.

13.1.4 Tasa de deformación, redondeada a 0.01 mm/min.

13.1.5 Deformación unitaria promedio de falla y desviación estándar, redondeadas a 0.01 %.

13.1.6 Tensión promedio de falla y desviación estándar, redondeadas a 0.01 MPa.

13.1.7 Carga máxima aproximada a 1.0 N.

13.1.8 Tipo de fractura observada (fractura o no fractura, cuello o u otro lugar de la muestra).

14 PRECISIÓN Y SESGO

14.1 *Precisión* – La precisión de este método se está determinando en un estudio entre laboratorios y aún no hay datos conclusivos. Sin embargo, con fines únicamente informativos, se mencionan los datos preliminares obtenidos por 70 operadores para determinar la repetibilidad del ensayo, utilizando un asfalto convencional de grado PG 67–22, según la clasificación SHRP:

PROPIEDAD	COEFICIENTE DE VARIACIÓN, %	RANGO ACEPTABLE ENTRE DOS RESULTADOS, %
Tensión de falla, MPa	8.5	24.1
Deformación a la falla, %	22.8	63.84

- 14.2 Sesgo** – No hay valores de referencia aceptables para las propiedades determinadas en este ensayo, razón por la cual no se puede establecer el sesgo.

15 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 6723–12

ANEXO A (Informativo)

PROCEDIMIENTO PARA SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO POR AIRE FORZADO

- A.1** Después de 60 ± 10 min, se monta la probeta sobre las chavetas usando la puerta de acceso manual de la cámara, de tal manera que la cara posterior del terminal esté centrada sobre la chaveta de montaje. No se debe abrir la puerta de la cámara para manipular o montar la probeta, ya que esto produce excesivas fluctuaciones de temperatura, lo cual retrasa la estabilización y conduce a historias térmicas variables. Se manipulan las probetas con guantes quirúrgicos de caucho para proteger los dedos del operador y minimizar el calentamiento de la probeta. La probeta se debe manipular tocando sólo los terminales, sin tocar el ligante asfáltico.

Nota A.1: Las corrientes de aire del ventilador de circulación pueden causar que los terminales se muevan después de haber sido colocados sobre las chavetas de montaje. Una goma de silicona o una arandela de espuma, que se mantenga flexible a la temperatura de ensayo, ayudará a fijar el terminal contra la cara de la mordaza. Es importante que el terminal esté centrado en la chaveta (parejo contra la cara de la mordaza) con el fin de que la carga sea aplicada axialmente en el centro de la probeta. Se puede cortar una arandela de goma de silicona o de espuma, utilizando un perforador de corcho. La arandela debe tener entre 5 y 10 mm de espesor, con un diámetro exterior de, aproximadamente, 10 mm. Su diámetro interior debe ser suficiente para proveer un contacto sobre una porción de 5 mm de la chaveta. La arandela debe deslizar fácilmente sobre la chaveta, entregando sólo la fuerza necesaria para sujetar el terminal en su lugar durante el ensayo.

- A.2** Se selecciona la velocidad de deformación deseada y se carga la probeta hasta la falla. Se selecciona una tasa de deformación que entregue una velocidad de elongación de la sección efectiva, de 1.00 ± 0.01 mm/min, cuando se ensaya de acuerdo a la especificación Superpave (ASTM D 6373). Si una probeta falla fuera del área efectiva de la muestra (de cuello a cuello), se descarta el ensayo.

- A.3** *Procedimiento alternativo de carga* – Se aplica una precarga a la probeta de ensayo, montándola como se describió previamente y aplicando una elongación suficiente para desarrollar una carga de 1 a 2 N; esto puede reducir la variabilidad del ensayo. Tan pronto se alcance la carga de 1 a 2 N, se detiene el movimiento de la platina y se permite la relajación de la carga hasta que deje de ser detectable. El tiempo requerido para relajar la carga dependerá de la rigidez de la probeta. Una vez que la carga se ha relajado, se continúa el ensayo como se describe en el numeral 11.4.

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS