

## PENETRACIÓN DE LOS MATERIALES BITUMINOSOS

INV E – 706 – 13

### 1 OBJETO

---

- 1.1** Esta norma se refiere a la determinación de la consistencia de los materiales bituminosos sólidos o semisólidos en los cuales el único o el principal componente es un asfalto.
- 1.2** Esta norma reemplaza la norma INV E-706-07.

### 2 DEFINICIONES

---

- 2.1** *Penetración* – Consistencia de un material bituminoso expresada por medio de la distancia, en décimas de milímetro, hasta la cual penetra verticalmente una aguja normalizada en el material en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Normalmente, el ensayo se realiza a 25° C, (77° F) durante un tiempo de 5 segundos y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 g; aunque se pueden emplear otras condiciones previamente definidas.

### 3 RESUMEN DEL MÉTODO

---

- 3.1** Se derrite una muestra del producto bituminoso (si al inicio se encontraba a temperatura ambiente) y se deja enfriar de manera controlada. Posteriormente, empleando un penetrómetro con una aguja normalizada se penetra la muestra bajo unas condiciones especificadas.

### 4 IMPORTANCIA Y USO

---

- 4.1** El ensayo de penetración se usa para medir la consistencia de los productos bituminosos a la temperatura de ensayo. Altos valores de penetración indican consistencias más blandas.
- 4.2** En la norma INV-E-801 se presenta un método para calcular la viscosidad dinámica de un cemento asfáltico a 25° C, a partir de los resultados del ensayo de penetración

## 5 EQUIPO

**5.1** *Penetrómetro (Figura 706 - 1)* – El aparato para la medida de las penetraciones se denomina penetrómetro y, en esencia, está constituido por un mecanismo que permite el movimiento vertical sin rozamiento apreciable de un vástago o soporte móvil al cual se pueda fijar firmemente por su parte inferior, la aguja de penetración. La masa del vástago será de  $47.5 \pm 0.05$  g, y la masa total del conjunto móvil formado por el vástago con la aguja, de  $50.0 \pm 0.05$  g. Se deberá disponer, igualmente, de pesas individuales suplementarias de  $50.0 \pm 0.05$  g y  $100.0 \pm 0.05$  g para obtener otras cargas totales de 100 g y 200 g, según lo requieran las condiciones del ensayo. El penetrómetro deberá estar provisto, además, de una base plana de apoyo para la colocación del recipiente con la muestra, que forme un ángulo de 90 grados con el sistema móvil, así como de un nivel y tornillos de nivelación. El vástago se deberá poder separar fácilmente del conjunto del penetrómetro para verificar y ajustar correctamente su peso. El dispositivo indicador de la penetración de la aguja dentro de la muestra deberá permitir una lectura con aproximación a 0.1 mm

**5.1.1** El nivel del penetrómetro deberá ser verificado anualmente con un nivel manual.



Figura 706 - 1. Penetrómetro

**5.2** *Aguja de penetración:*

**5.2.1** La aguja (Figura 706 - 2) debe ser de acero inoxidable endurecido y templado, (grado 440 C ó equivalente), con una dureza Rockwell HRC

54 a HRC 60. La aguja estándar tiene unos 50 mm (2") de longitud, mientras la aguja larga tiene unos 60 mm (2.4") de longitud. El diámetro de todas las agujas debe estar entre 1.00 y 1.02 mm (0.039 a 0.040"). Uno de los extremos de cualquier aguja debe estar simétricamente ahusado hasta formar un cono de ángulo comprendido entre 8.7° y 9.7° en toda la longitud del cono. El eje del cono debe ser coaxial con el cuerpo recto de la aguja. La variación total axial entre las intersecciones de las superficies del cono y del cilindro, medida como proyección sobre el eje de simetría de la aguja, no deberá exceder de 0.02 mm (0.008"). Después de dada la conicidad, la punta está cortada para formar un tronco de cono, cuya base debe tener un diámetro comprendido entre 0.14 y 0.16 mm (0.0055 y 0.0063"), y debe estar situado en un plano perpendicular al eje de la aguja, con una tolerancia máxima de 2°. Todo el tronco de cono deberá tener bordes filosos y libres de rebabas. Al medir la textura de la superficie troncocónica según la norma American National Standard B-46.1, su rugosidad media superficial deberá estar comprendida entre 0.2 y 0.3  $\mu\text{m}$  (8 a 12  $\mu\text{m}$ ). La rugosidad superficial del eje de la aguja debe estar entre 0.025 y 0.125  $\mu\text{m}$  (1 a 5  $\mu\text{m}$ ). La aguja irá montada rígida y coaxialmente en un casquillo cilíndrico, de latón o acero inoxidable, de  $3.2 \pm 0.05$  mm ( $0.126 \pm 0.002$ ) de diámetro y  $38 \pm 1$  mm ( $1.5 \pm 0.04$ ) de largo, debiendo quedar una longitud libre de aguja estándar entre 40 y 45 mm (1.57 a 1.77") y de 50 a 55 mm (1.97 a 2.17") para la aguja larga. La excentricidad, o distancia máxima al eje del casquillo, desde cualquier punto de la superficie de la aguja, incluida su punta, no excederá de 1 mm (0.04"). La masa total del conjunto casquillo-aguja será de  $2.5 \pm 0.05$  g, permitiéndose para su ajuste un pequeño agujero o rebaje sobre el casquillo; igualmente, irá grabada sobre éste la identificación individual de la aguja. No se autoriza que el fabricante repita la misma identificación hasta pasados 3 años.

- 5.2.2** Se debe demostrar que las agujas usadas para verificar el cumplimiento de especificaciones por parte de los productos bituminosos satisfacen los requisitos indicados en el numeral 5.2.1.

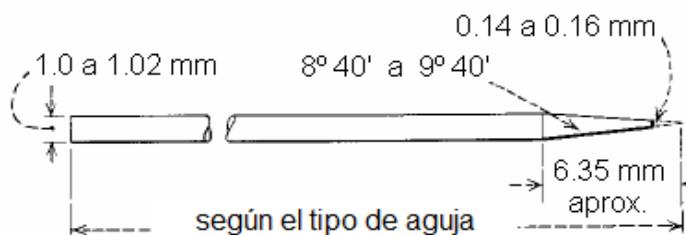


Figura 706 - 2. Aguja para ensayo de penetración

- 5.3 Recipiente para la muestra** – Los recipientes para las muestras serán de metal o vidrio, de forma cilíndrica y fondo plano, y con las siguientes dimensiones interiores:

PENETRACIÓN DEL PRODUCTO BITUMINOSO (0.1 mm)	DIÁMETRO (mm)	ALTURA INTERIOR (mm)
Menor de 40	33 – 50	8 - 16
Menor de 200	55	35
Entre 200 y 350	55 – 75	45 - 70
Entre 350 y 500	55	70

*Nota 1: Para ensayos de referencia de productos de penetración menor de 40, se deberá usar el recipiente de 55 mm de diámetro por 35 mm de altura interior.*

- 5.4 Baño de agua** – Para la inmersión de los recipientes con las muestras, se dispondrá de un baño de agua con una capacidad mínima de 10 litros y provisto de un dispositivo capaz de mantener una temperatura de  $25 \pm 0.1^\circ \text{C}$  ( $77 \pm 0.2^\circ \text{ F}$ ). El baño irá equipado con una placa de soporte perforada, colocada a una distancia no menor de 50 mm del fondo, ni menor de 100 mm del nivel superior del líquido en el baño. Si el ensayo de penetración se va a realizar en el mismo baño de agua, éste deberá disponer, además, de una plataforma resistente para soportar el penetrómetro. Cuando se requiera realizar ensayos de penetración a bajas temperaturas, se puede utilizar salmuera como líquido del baño.

*Nota 2: Se recomienda agua destilada para el baño. Se debe evitar la contaminación del agua del baño por agentes superficiales activos, agentes residuales u otros agentes químicos, pues su presencia puede afectar los valores de penetración.*

- 5.5 Recipiente de transferencia** – Si se emplea, deberá tener una capacidad mínima de 350 ml y la altura suficiente para contener la cantidad de agua necesaria para cubrir el recipiente de mayor tamaño para la muestra. Deberá contener algún elemento que garantice un apoyo firme y sin oscilaciones al recipiente para la muestra. Al efecto, resulta apropiada una pequeña plataforma apoyada en tres patas y con tres puntos de contacto con el recipiente.
- 5.6 Dispositivo para medir el tiempo** – Cuando se empleen penetrómetros de operación manual, el tiempo del ensayo se deberá medir mediante un reloj eléctrico, un cronómetro u otro instrumento cualquiera graduado en 0.1 segundos o menos, y que tenga una exactitud de  $\pm 0.1 \text{ s}$  en un intervalo de 60

segundos. Se puede utilizar, igualmente, un contador sonoro que emita una señal cada 0.5 segundos, y en el que la cuenta de 11 señales equivalga a un tiempo total de  $5 \pm 0.1$  s. Si el penetrómetro es automático, el dispositivo medidor de tiempo estará calibrado para proporcionar el tiempo del ensayo con exactitud de  $\pm 0.1$  s.

- 5.7 Termómetros** – Para controlar las temperaturas del ensayo en el baño de agua se dispondrá de termómetros de mercurio con vástago de vidrio, de inmersión total, con subdivisiones y escala máxima de error de  $0.1^\circ$  C o cualquier otro dispositivo que mida temperaturas con igual precisión, exactitud y sensibilidad. Deben cumplir con las siguientes características principales:

REFERENCIA ASTM	RANGO
17 C o 17 F	19 a $27^\circ$ C (66 a $80^\circ$ F)
63 C o 63 F	-8 a $32^\circ$ C (18 a $89^\circ$ F)
64 C o 64 F	25 a $55^\circ$ C (77 a $131^\circ$ F)

*Nota 3: Los termómetros utilizados en el baño de agua deberán ser calibrados como máximo cada seis meses, pudiéndose emplear para ello el método ASTM E- 77.*

## 6 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYO

- 6.1** Si la muestra no presenta una consistencia suficientemente fluida cuando se recibe, se deberá calentar cuidadosamente agitándola para evitar sobrecalentamientos locales y para homogeneizar el material, hasta que alcance la fluidez que permita su vertido en el recipiente para la muestra. En ningún caso, la temperatura de calentamiento deberá exceder a la prevista para el punto de ablandamiento (norma INV E-712) en más de  $90^\circ$  C ( $195^\circ$  F). El tiempo total de calentamiento deberá ser el mínimo necesario para asegurar la fluidez del producto. Durante el proceso, se deberá agitar continuamente para garantizar la homogeneidad de la muestra. Se deberá evitar la formación de burbujas de aire.
- 6.2** Se vierte la muestra dentro del recipiente adecuado hasta una altura tal, que cuando se enfríe a la temperatura de ensayo, el espesor de la muestra sea, al menos, 120 % la profundidad hasta la cual se espera que penetre la aguja. Se deben preparar porciones separadas para cada variación prevista en las condiciones de ensayo. Si el recipiente para la muestra tiene menos de 65 mm de diámetro y se espera que la penetración sea mayor de 200, se deben

preparar tres porciones separadas para cada variación en las condiciones de ensayo.

*Nota 4: Si se dispone de suficiente material, se recomienda llenar el recipiente hasta cerca del borde.*

- 6.3** Se permite que la muestra se enfríe al aire a una temperatura entre 15 y 30° C por un período entre 45 minutos y 1 ½ hora para el recipiente pequeño (33 x 16 mm o menos), de 1 a 1 ½ hora para el de tamaño medio (55 x 35 mm), y entre 1 ½ y 2 horas para el grande. A continuación, se colocan las muestras (junto con el recipiente de transferencia si éste se utiliza) en el baño de agua a la temperatura prescrita para el ensayo. Se permite que el recipiente pequeño permanezca allí entre 45 minutos y 1 ½ hora, el mediano entre 1 y 1 ½ hora, y el grande entre 1 ½ y 2 horas.

*Nota 5: Si las condiciones lo justifican, resulta apropiado proteger los recipientes con las muestras contra el polvo, con una cobertura holgada. Un vaso de precipitados tipo Griffin resulta adecuado.*

## 7 CONDICIONES DE ENSAYO

- 7.1** Las condiciones normalizadas del ensayo son, respectivamente, de 25° C (77° F), 100 g y 5 segundos para la temperatura, la carga y el tiempo de duración de la misma. Sin embargo, se admite emplear otras condiciones de ensayo (las cuales se deben registrar en el informe), como por ejemplo:

TEMPERATURA, ° C (° F)	CARGA, g	TIEMPO, s
0 (32)	200	60
4 (39.2)	200	60
45 (113)	50	5
46.1 (115)	50	5

## 8 PROCEDIMIENTO

- 8.1** Primero se comprueba que el vástago soporte de la aguja se encuentre perfectamente limpio y seco, y que se deslice en forma suave y sin rozamiento sobre su guía. La aguja de penetración se limpia con tolueno u otro disolvente apropiado y se seca con un paño limpio, fijándola firmemente en su soporte. Salvo que se especifique otra carga, se coloca el peso suplementario de 50 g sobre el vástago, para obtener la masa móvil total de 100 ± 0.1 g. Si se espera que la penetración sea mayor de 350, se usará la aguja larga; en los demás caso se usará la estándar.

- 8.2** El ensayo de penetración se puede realizar directamente en el baño de agua, colocando el penetrómetro sobre la plataforma que para este fin debe tener el baño, y sobre la base del penetrómetro el recipiente con la muestra, el cual debe quedar completamente sumergido. Si el ensayo no se va a realizar con el penetrómetro dentro del baño, entonces se coloca el recipiente con la muestra dentro del recipiente de transferencia, de manera que aquel quede cubierto completamente con agua a la temperatura de ensayo y, en seguida, se ubica el recipiente de transferencia sobre la base del penetrómetro (Figura 706 - 3).



Figura 706 - 3. Recipiente con la muestra dentro del recipiente de transferencia

- 8.3** Se verifica que el penetrómetro se encuentre nivelado.
- 8.4** Se verifica que el lector digital o la aguja del penetrómetro se encuentren en cero. Se aproxima la aguja del penetrómetro hasta que su punta toque justamente la superficie de la muestra, sin que penetre, lo cual se facilita aproximando la aguja y su imagen reflejada mediante una lámpara auxiliar, convenientemente colocada (nota 6). Se suelta el mecanismo que libera la aguja durante el tiempo especificado. Finalmente, se lee y anota la distancia, expresada en décimas de milímetro, que haya penetrado la aguja en la muestra (Figura 706 - 4). Si el recipiente con la muestra se mueve durante la penetración, se anula el resultado.

*Nota 6: Se recomienda emplear una fuente luminosa mediante tubo de polimetilmacrilato.*

- 8.5** Se deberán realizar al menos tres penetraciones en cada recipiente, sobre diferentes puntos de la superficie separados, como mínimo, 10 mm (3/8") entre sí y de las paredes del recipiente. Si se ha utilizado el recipiente de transferencia, el conjunto del recipiente y el baño, se retornarán al baño

principal hasta cuando se vaya a efectuar la penetración siguiente. Después de cada penetración, se desmonta y saca la aguja y se limpia cuidadosamente con un trapo limpio y seco. Cuando las penetraciones obtenidas sean mayores de 200, se usarán al menos tres agujas, dejándolas en la muestra hasta que las tres determinaciones se hayan completado. Si el recipiente para la muestra tiene menos de 65 mm de diámetro y se espera que la penetración sea mayor de 200, la prueba se hace en tres recipientes (preparados como se indica en el numeral 6.2), a razón de una penetración en cada recipiente.

*Nota 7: Si el recipiente para la muestra tiene menos de 65 mm de diámetro y se espera que la penetración sea mayor de 200, a menudo no es posible colocar el soporte de la aguja para una tercera determinación sin golpear las otras dos agujas que están dentro de la muestra. Para los ensayos rutinarios se acepta usar un solo recipiente, moviendo las dos primeras agujas el espacio que sea necesario, siempre y cuando la diferencia entre la mayor y la menor penetración no exceda el valor especificado en el numeral 9.1.*

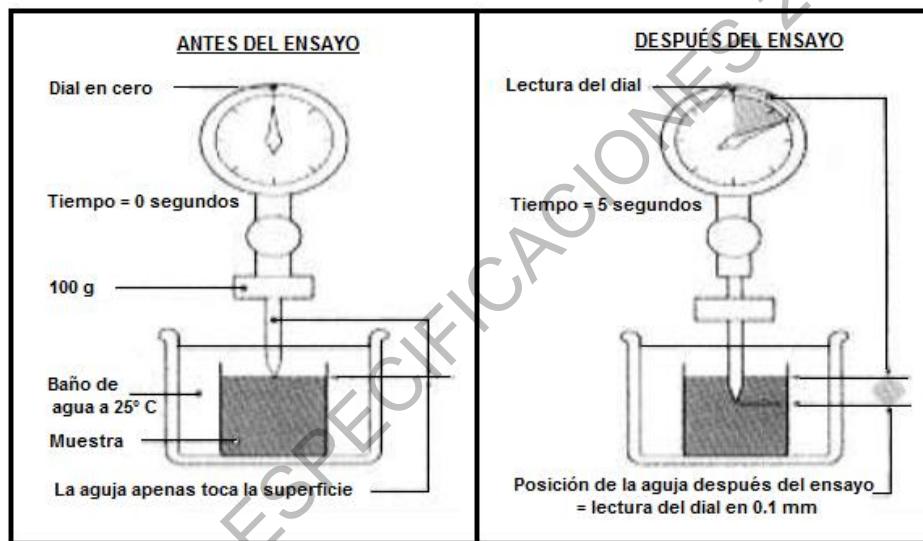


Figura 706 - 4. Esquema del ensayo de penetración

## 9 INFORME

**9.1** El resultado del ensayo será el promedio de tres penetraciones cuyos valores no difieran en más de las siguientes cantidades:

PENETRACIÓN (0.1 mm)	0 a 49	50 a 149	50 a 149	250 y 500
DIFERENCIA MÁXIMA ENTRE VALORES EXTREMOS	2	4	12	20

- 9.2** Si se excede la tolerancia se anulan los resultados obtenidos y se procederá a la realización de un nuevo ensayo.

## 10 PRECISIÓN Y SESGO

- 10.1** *Precisión* – Los estimativos de precisión se desarrollaron a partir de una base de datos que representaban, aproximadamente, 16 000 repeticiones de ensayos de penetración a 25° C y 4000 repeticiones de ensayos a 4° C. Los materiales provenían de destilación directa y de mezclas de asfaltos con penetraciones entre 29 y 286 (medidas a 25° C). El análisis de los datos indica que la precisión del ensayo se puede describir con las siguientes ecuaciones, donde “x” es el resultado del ensayo de penetración y  $\sigma$  es la desviación estándar de los resultados de los ensayos:

PRECISIÓN DE UN SOLO OPERARIO A 25° C	Si $x < 60$ ; $\sigma = 0.8$ Si $x > 60$ ; $\sigma = 0.8 + 0.03(x - 60)$
PRECISIÓN ENTRE VARIOS LABORATORIOS A 25°	Si $x < 60$ ; $\sigma = 2.5$ Si $x > 60$ ; $\sigma = 2.5 + 0.05(x - 60)$
PRECISIÓN DE UN SOLO OPERARIO A 4° C	$\sigma = 0.8 + 0.02x$
PRECISIÓN ENTRE VARIOS LABORATORIOS A 4° C	$\sigma = 2.5 + 0.08x$

- 10.1.1** El rango aceptable de dos resultados (95 % de confiabilidad) se puede determinar multiplicando la desviación estándar estimada por 2.83 y redondeando al número entero más cercano.
- 10.2** *Sesgo* – Este método no tiene sesgo, por cuanto los valores se determinan solamente en los términos del método de ensayo.

## 11 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 5 – 06