

Penetración de los materiales bituminosos

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la consistencia de los materiales bituminosos de naturaleza sólida o semi-sólida utilizados en construcción de carreteras, en los cuales el único o principal componente sea un betún o una brea de alquitrán.

1.2 La penetración se define como la distancia, expresada en décimas de milímetro, que penetra verticalmente en el material una aguja normalizada, en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Normalmente, el ensayo se realiza a 25 °C, durante un tiempo de 5 s y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 g, aunque pueden emplearse otras condiciones previamente definidas.

1.3 Los aparatos y el procedimiento descrito en esta norma son de aplicación general a productos bituminosos con una penetración máxima de 350; en el apartado 3.3.6 se indican el material y procedimiento para penetraciones hasta 500.

2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

2.1 **Penetrómetro.** El aparato para la medida de las penetraciones se denomina penetrómetro y, en esencia, estará constituido por un mecanismo que permita el movimiento vertical sin rozamiento apreciable, de un vástago o soporte móvil al que se pueda fijar firmemente por su parte inferior la aguja de penetración y que permita, además, la colocación sobre el mismo de diferentes cargas suplementarias; el aparato deberá estar calibrado para dar directamente la lectura en unidades de penetración, según el apartado 1.2. La masa del vástago o soporte mó-

vil será de $47,5 \pm 0,05$ g (Nota 1) y la masa total del conjunto móvil formado por el vástago juntamente con la aguja, de $50,0 \pm 0,05$ g. Se deberá disponer igualmente de masas individuales suplementarias de $50,0 \pm 0,05$ g y $100,0 \pm 0,05$ g para obtener otras cargas totales móviles, de acuerdo con las condiciones del ensayo. El penetrómetro deberá ir provisto, además, de una base de apoyo para la colocación del recipiente con la muestra, de forma plana y que forme un ángulo de 90° con el sistema móvil, así como de un nivel de burbuja y tornillos de nivelación.

Nota 1. Este vástago se deberá poder separar fácilmente del conjunto del penetrómetro para verificar, y en su caso ajustar, correctamente su masa.

2.2 **Aguja de penetración.** La aguja (figura 1) será de acero inoxidable endurecido y templado, tipo A-1b, según la norma ISO 688/XIII (ASTM Grado 440 o similar), con una dureza Rockwell C54 a C60, medida por el ensayo ISO R/80; tendrá unos 50 mm de larga y entre 1,00 y 1,02 mm de diámetro, con uno de sus extremos simétricamente aguzado hasta formar un cono de ángulo comprendido entre 8° 40' y 9° 40' en toda su longitud, y cuyo eje sea coaxial con el 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 0,2 mm. Después de dada la conicidad, se corta su punta para formar un cono truncado, cuya base tenga un diámetro comprendido entre 0,14 y 0,16 mm y esté situada en un plano perpendicular al eje de la aguja, con una tolerancia máxima de 2° y con sus bordes vivos y libres de rebabas. La textura de la superficie cónica, medida según la norma ISO/R 468 (American National Standard B-46.1), deberá tener una

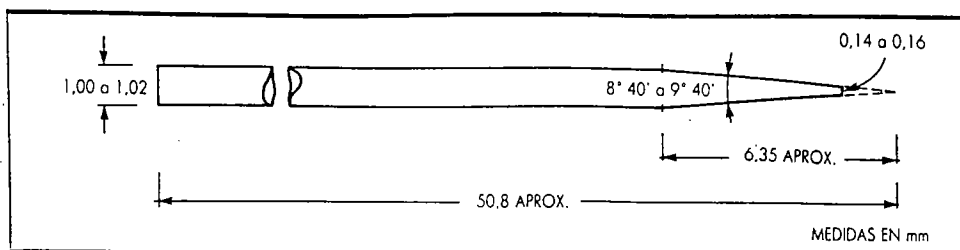


FIGURA 1. Aguja para el ensayo de penetración.

rugosidad media superficial comprendida entre 0,2 y 0,3 μm . La aguja irá montada rígida y coaxialmente en un casquillo cilíndrico, de latón o acero inoxidable, de $3,2 \pm 0,05$ mm de diámetro y 38 ± 1 mm de largo, debiendo quedar una longitud libre de aguja entre 40 y 45 mm. El descentramiento, o distancia máxima al eje del casquillo, desde cualquier punto de la superficie de la aguja, incluida su punta, no excederá de 1 mm. 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 autorizándose la repetición de una misma identificación hasta pasados tres años.

Nota 2. Las agujas que cumplan los requisitos de control exigidos en este apartado deberán hacerlo constar así en su correspondiente certificado.

2.3 Recipiente para la muestra. Los recipientes para el ensayo de las muestras serán de metal o vidrio, de forma cilíndrica y fondo plano, y con las siguientes dimensiones interiores:

	DIAMETRO (mm)	PROFUNDIDAD (mm)
PENETRACION HASTA 200	55	35
PENETRACION ENTRE 200 Y 350	70	45

2.4 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 l y provisto de un dispositivo capaz de mantener la temperatura especificada para el ensayo con una variación de $\pm 0,1$ °C. El baño irá equipado con una plancha soporte perforada, colocada a una distancia no menor de 50 mm del fondo y mayor de 100 mm del nivel superior del líquido en el baño. Si la penetración se va a realizar en el mismo baño de agua, éste deberá disponer, además, de una robusta plataforma para soportar el penetrómetro. Para los ensayos de penetración a bajas temperaturas pueden utilizarse salmueras como líquido del baño.

2.5 Baño auxiliar. El ensayo de penetración puede realizarse igualmente en un baño de agua auxiliar, metálico, de vidrio o plástico, y capaz de proporcionar una base firme y estable a los recipientes para las muestras, impidiendo, además, cualquier oscilación o basculamiento de los mismos durante el ensayo. Su capacidad será de unos 2 l y tendrá la suficiente profundidad para permitir que los recipientes con las muestras queden completamente sumergidos.

2.6 Dispositivo medidor de tiempos

2.6.1 Control de la precisión. La precisión de los instrumentos utilizados para medir la duración de los tiempos de carga deberá comprobarse inmediatamente antes de cada ensayo.

2.6.2 Penetrómetros manuales. Cuando se emplee este tipo de penetrómetro, el tiempo de ensayo se podrá medir mediante un reloj eléctrico, un cronómetro u otro instrumento cualquiera graduado en 0,1 s o menos, y que tenga una exactitud de $\pm 0,1$ s en un intervalo de 60 s. Se puede utilizar igualmente un contador sonoro de tiempos que emita una señal cada 0,5 s, y en el que la cuenta de 11 señales equivalga a un tiempo total de $5 \pm 0,1$ s.

2.6.3 Penetrómetros automáticos. En estos aparatos, el dispositivo medidor de tiempo estará calibrado para proporcionar el tiempo del ensayo con una exactitud de $\pm 0,1$ s.

2.7 Termómetros. Para controlar las temperaturas del ensayo en el baño de agua, se dispondrá de termómetros de mercurio con varilla de vidrio, de inmersión total, y con las siguientes características principales:

TEMPERATURA DEL ENSAYO (°C)	REFERENCIA ASTM	ESCALA (°C)	GRADUA- CION (°C)	LONG. TOTAL (mm)	ERROR MAX. (°C)
25	17C	19 a 27	0,1	275	0,1
0 y 4	63C	-8 a 32	0,1	379	0,1
46	64C	25 a 55	0,1	379	0,1

Nota 3. Para las restantes características de los termómetros, puede consultarse la especificación americana ASTM E-1. Los termómetros utilizados en el baño de agua deberán ser calibrados como máximo cada seis meses, pudiéndose emplear los métodos ASTM E-11 o ISO/386.

3 PROCEDIMIENTO

3.1 Preparación de la muestra

3.1.1 Se tomarán las precauciones que sean necesarias para asegurar que la muestra para ensayo sea verdaderamente representativa de la muestra existente en el laboratorio, la cual deberá presentar aspecto homogéneo y no estar contaminada.

3.1.2 De la muestra para el laboratorio se tomarán mediante una espátula caliente unos 400 a 500 g de material, que se reúnen en un recipiente

apropiado (Nota 4), el cual se calienta cuidadosamente y por una sola vez en una estufa o baño de aire, agitando frecuentemente para evitar los sobrecalentamientos locales y homogeneizar el material, hasta que alcance la suficiente fluidez para permitir su vertido en los recipientes para muestra. Las temperaturas de calentamiento no podrán exceder a las temperaturas del punto de reblandecimiento anillo y bola de cada material en más de 90 °C, si se trata de un betún, o de 60 °C, en el caso de un alquitrán. En cualquier caso, el tiempo total de calentamiento del material no excederá de 30 minutos, evitándose en todo momento la inclusión de burbujas de aire.

Nota 4. Si el tamaño del recipiente con la muestra no es excesivamente grande, puede calentarse éste directamente en una estufa y con calor suave hasta que esté suficientemente fluido para verterlo, y, después de homogeneizar con una varilla o termómetro, proceder al llenado directo de los recipientes para muestra, como se indica en el apartado 3.1.3.

3.1.3 A continuación se llena el recipiente para la muestra, calentado a una temperatura análoga a la del material, hasta una altura que, medida a la temperatura del ensayo, sea superior al menos en 10 mm a la penetración supuesta. Se prepararán un total de dos recipientes por cada muestra y ensayo de iguales características.

3.1.4 Después de llenados los recipientes, se cubren con un vaso de vidrio invertido de dimensiones apropiadas para protegerlos del polvo y permitir la eliminación de posibles burbujas de aire, y se dejan enfriar al aire a una temperatura entre 15 y 30 °C, durante un período de tiempo comprendido entre 1 y 1,5 horas si se emplean los recipientes pequeños, y entre 1,5 y 2 horas si se utilizan los de mayor tamaño. Finalmente se sumergen los recipientes en el baño de agua a la temperatura especificada, manteniéndolos sumergidos hasta el ensayo los mismos períodos de tiempo prescritos anteriormente para su enfriamiento.

3.2 Condiciones del ensayo. Las condiciones normalizadas del ensayo son, respectivamente, de 25 °C, 100 g y 5 s para la temperatura, la carga y el tiempo de duración de la misma. Sin embargo, para estudios especiales se pueden emplear otras condiciones, como por ejemplo:

TEMPERATURA (°C)	CARGA (g)	TIEMPO (s)
0	200	60
4	200	60
25	100	25
25	50	5
46,1	50	5

Cuando las condiciones del ensayo no se mencionan expresamente se entenderá que éstas se refieren a las normalizadas, debiéndose especificar claramente en los demás casos las condiciones especiales a emplear.

Nota 5. Los datos de precisión indicados en el apartado 5 se refieren únicamente a las condiciones normalizadas.

3.3 Ejecución del ensayo

3.3.1 Primeramente se comprueba que el vástago soporte de la aguja se encuentra perfectamente limpio y seco, sin restos de agua ni sustancias extrañas y desliza de forma suave y sin rozamientos sobre su guía. La aguja de penetración se limpia con tolueno u otro disolvente apropiado y se seca con un paño limpio, fijándola a continuación firmemente en su soporte. Salvo que se especifique otra carga, se coloca la masa suplementaria de 50 g sobre el vástago para obtener la masa móvil total de $100 \pm 0,1$ g.

3.3.2 El ensayo de penetración puede realizarse directamente en el baño de agua, colocando entonces el penetrómetro sobre la plataforma que para este fin debe llevar el baño, y sobre la base del penetrómetro el recipiente con la muestra, que debe quedar completamente sumergido (Nota 6). La penetración puede igualmente llevarse a cabo en el baño auxiliar, colocado sobre la base del penetrómetro, conectándolo directamente al baño de agua mediante un sistema de alimentación en circuito cerrado, que mantenga constante la temperatura de ambos baños. El recipiente con la muestra se sumerge ahora en el baño auxiliar, debiendo quedar también completamente sumergido.

Nota 6. Si el ensayo se realiza para un arbitraje, las penetraciones a temperaturas diferentes a la normalizada se realizarán directamente en el baño de agua.

3.3.3 Cuando no se disponga de un sistema de alimentación como el descrito en el apartado anterior, la penetración puede también realizarse fuera del baño de agua, mediante un pequeño baño auxiliar de unos 400 cm³, de fondo plano y suficiente profundidad (Nota 7), el cual deberá mantenerse sumergido en el baño de agua juntamente con las muestras hasta el instante de la realización del ensayo. El recipiente con la muestra se pasa entonces a este baño pequeño, se cubre completamente con agua, a la temperatura de ensayo, procedente del baño de agua, y el conjunto se sitúa sobre la base del penetrómetro.

Nota 7. Puede ser conveniente dotar a este baño con tres pies soportes, así como un sistema que proporcione un apoyo con tres puntos de contacto al recipiente para la muestra.

3.3.4 En cualquier caso, y una vez transcurridos los tiempos de inmersión que se prescriben en el

apartado 3.1.4, se aproxima cuidadosamente la aguja del penetrómetro hasta que su punta toque justamente la superficie de la muestra, pero sin penetrar en la misma, lo que se facilita aproximando la aguja y su imagen reflejada mediante una lámpara auxiliar convenientemente colocada. Se anota o pone a cero la lectura del penetrómetro y se dispara seguidamente el mecanismo liberador de la aguja durante el tiempo especificado. Finalmente se lee y anota la distancia, expresada en décimas de milímetro, que ha penetrado la aguja en la muestra. En el caso de que el recipiente con la muestra se mueva durante la penetración, se anula el resultado. Cuando se utilice el baño pequeño auxiliar, el conjunto del recipiente y el baño se devolverán al baño de agua hasta que se vaya a efectuar la penetración siguiente. Igualmente, si la penetración no se ha realizado en 2 minutos, se devuelven el conjunto del recipiente y el baño al baño de agua, y se opera con una pareja distinta.

3.3.5 Se realizarán al menos tres penetraciones en cada recipiente, en diferentes puntos de la superficie de la muestra y separados, como mínimo, 10 mm entre sí y de las paredes del recipiente. Después de cada penetración, se desmonta y saca la aguja y se limpia cuidadosamente con el disolvente elegido, secándola a continuación con un trapo limpio y seco. Cuando las penetraciones obtenidas sean de valor superior a 200, las agujas no se sacarán después de cada penetración hasta haber completado el número de éstas.

3.3.6 Los aparatos y procedimiento descrito anteriormente son de aplicación general para materiales con penetraciones de valor hasta 350. El método, sin embargo, puede ser ampliado hasta valores de la penetración de 500 utilizando un recipiente para la muestra de 60 mm de profundidad como mínimo y una cantidad de muestra que no exceda, a efectos de temperatura, los 125 ml. La aguja a emplear deberá cumplir igualmente los requisitos de calidad, dimensiones y masa exigidas en el apartado 2.2, excepto que su longitud libre será como mínimo de 50 mm (Nota 8).

Nota 8. Puede observarse un valor aproximado de la penetración de estos materiales utilizando el recipiente convencional de 70 mm de diámetro, la aguja normalizada en 2.2 y una carga móvil total de 50 g. La penetración buscada se calcula entonces multiplicando el valor obtenido en estas condiciones por $\sqrt{2}$, o sea:

$$\text{Penetración (100 g)} = \text{Penetración (50 g)} \times 1.414$$

En estos casos, el resultado se debe expresar como aproximado, indicando el procedimiento de obtención.

4 RESULTADOS

4.1 El resultado del ensayo será la media, aproximada a una unidad, de tres penetraciones cuyos

valores no difieren en más de las siguientes cantidades:

PENETRACION	0 A 49	50 A 140	150 A 249	MAYOR DE 249
DIFERENCIA MAXIMA ENTRE VALORES EXTREMOS	2	4	6	8

4.2 Si se excede la tolerancia anterior, se repite el ensayo utilizando el segundo recipiente como muestra previamente preparado. Si se excediera de nuevo la correspondiente tolerancia, se anulan los resultados obtenidos y se procede a la realización de un nuevo ensayo.

5 PRECISION

5.1 Para juzgar la aceptabilidad de los resultados, se seguirán los siguientes criterios (95 % de probabilidad):

5.2 Repetibilidad. Los ensayos realizados por duplicado por un mismo operador y equipo en tiempos diferentes y sobre una misma muestra, se considerarán sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades (ensayos a 25 °C):

- Betunes asfálticos con penetración menor de 50: 1 unidad.
- Betunes asfálticos con penetración igual o mayor de 50: 3 % del valor medio.
- Breas de alquitrán (*): 15 % del valor medio.

5.3 Reproducibilidad. Los ensayos realizados por distintos operadores en diferentes laboratorios y sobre una misma muestra, se considerarán sospechosos si difieren en más de las siguientes cantidades (ensayos a 25 °C):

- Betunes asfálticos con penetración menor de 50: 4 unidades.
- Betunes asfálticos con penetración igual o mayor de 50: 8 % del valor medio.
- Breas de alquitrán (*): 4 unidades.

(*) Las estimaciones de precisión de las breas de alquitrán se basan en dos materiales con penetraciones de 7 y 24, por lo que no se pueden aplicar a productos más duros o más blandos.

Nota 9. Los valores de precisión indicados anteriormente se han obtenido multiplicando los estimadores de las desviaciones típicas de las poblaciones que se indican a continuación, por $2\sqrt{2}$

Material bituminoso (Ensayos a 25 °C)	ESTIMADOR DE DESVIACION TÍPICA	
	En un laboratorio	Entre laboratorios
Betunes asfálticos con penetración menor de 50	0,35 unidades	1,4 unidades
Betunes asfálticos con penetración igual o mayor de 50	1,1 % del valor medio	2,8 % del valor medio
Breas de alquitrán	5,2 % del valor medio	1,4 unidades

Estos son los estimadores de precisión anteriores pasados en los siguientes datos:

	Betunes de de penetración < 50	Betunes de de penetración ≥ 50	Breas de alquitrán
Muestras	2	7	2
Laboratorios	16	27	19
Repeticiones por muestra	3	3	3
Grados de libertad:			
En laboratorio	32	185	38
Entre laboratorios	14	89	17

6 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

ASTM D 5-73 (1978) «Test Method for Penetration of Bituminous Materials».

AASHTO T 49-74 «Penetration of Bituminous Materials».

IP 49/76 «Penetration of Bitumen» (ST-E-1).

UNE 7-013 «Determinación de la penetración de los materiales bituminosos».

RILEM. Proyecto de Recomendación BM-4 (1983).