

## Dosificación y ensayo de mezclas de suelo-betún

### 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la absorción de agua, entumecimiento y características de extrusión, de los suelos compactados o mezclas de áridos y suelo, conteniendo como aglomerante materiales bituminosos de consistencia líquida.

1.2 El método está destinado a la valoración de los efectos del agua sobre estas mezclas, aunque puede igualmente emplearse para estudiar la acción del agua sobre suelos naturales y mezclas árido-suelo.

1.3 Mediante este ensayo, se puede determinar el contenido óptimo del material bituminoso necesario para estabilizar un suelo o una mezcla de áridos y suelo, ensayando series de probetas con contenidos diferentes de estos aglomerantes.

### 2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

2.1 **Mezcladora mecánica.** Cualquier tipo de mezcladora mecánica capaz de producir una mezcla íntima y homogénea de suelo, agua y ligante bituminoso. Deberá estar provista de velocidades rápida y lenta.

2.2 **Conjunto de compactación.** El conjunto de los aparatos de compactación, que se detalla en las figuras 1 y 2, está compuesto de las siguientes partes (Nota 1):

2.2.1 **Molde de compactación.** Está formado por un cilindro de acero endurecido de  $50,800 \pm 0,025$  mm de diámetro interior, 133,35 mm de longitud y un diámetro exterior de 63,5 mm como mínimo. Deberá disponerse de algún dispositivo para proteger el borde superior del molde y regular la altura de caída, durante la precompactación.

2.2.2 **Pistones de compactación.** Dos pistones para la compactación, terminados ambos en caras circulares de  $50,724 \pm 0,025$  mm de diámetro y con longitudes de 139,70 mm y 63,50 mm, respectivamente.

2.2.3 **Precompactador.** Está formado por una hoja de acero continuada en una varilla alojada en un mango de madera. Su longitud total es de 368,30 mm; 152,40 mm y 9,52 mm la longitud y diámetro de la varilla, y 34,92 mm el diámetro del mango de madera. La hoja propiamente dicha, de forma plana, tendrá 216,10 mm de longitud, una anchura junto al mango de 34,92 mm y 47,62 mm

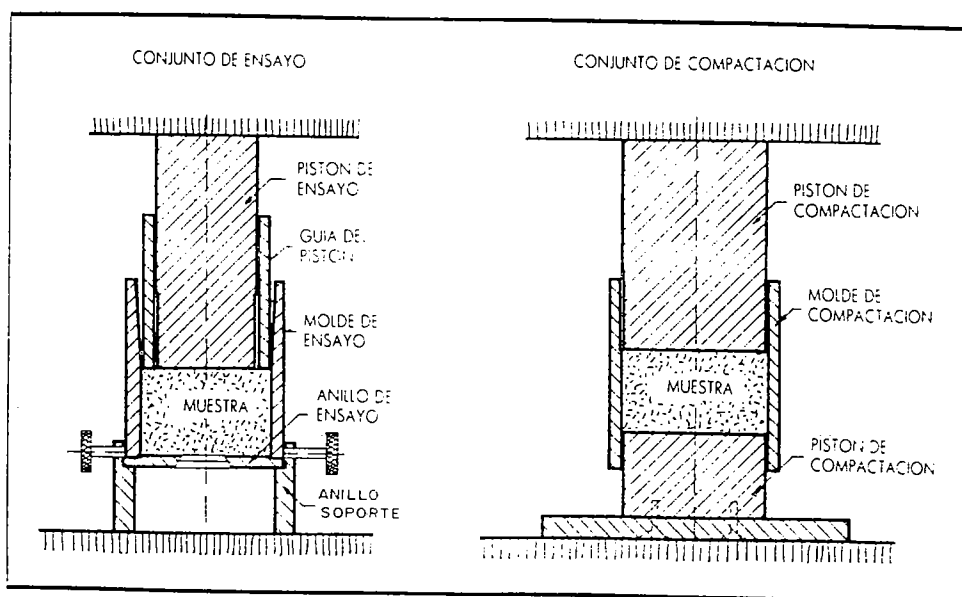


FIGURA 1. Conjuntos de ensayo y compactación.

en su extremo libre. Su espesor es de 15,88 mm desde el borde del mango hasta una longitud de 165,10 mm, terminando en una zona más delgada de 6,35 mm de espesor y 51 mm de longitud y con su extremo redondeado. La masa total de precompactador será de unos 1.200 gramos aproximadamente.

**2.3 Aparatos de absorción de agua.** Están formados por una cubeta de fondo plano, de unos 51 mm de profundidad, de un material resistente a la corrosión, y una cámara húmeda capaz de mantener una temperatura entre 18 y 27 °C con una humedad relativa mínima del 90 %

**2.4 Conjunto de extrusión.** Este conjunto, que se detalla despiezado en las figuras 1 y 3, está formado por las siguientes partes (Nota 1):

**2.4.1 Molde de ensayo.** Es un cilindro recto de acero endurecido, de 114,30 mm de longitud y 76 mm de diámetro exterior. Interiormente está formado por una superficie troncocónica y otra cilíndrica, con un diámetro en la boca superior de  $52,58 \pm 0,25$  mm, que se va estrechando a lo largo del molde hasta un valor mínimo de  $51,308 \pm 0,025$  mm, a una distancia de 57,15 mm de la boca inferior.

**2.4.2 Pistón de ensayo.** Está formado por un doble cilindro coaxial macizo, de acero endurecido para herramientas, con una longitud total de 152,40 mm. El cilindro mayor tendrá un diámetro de  $31,750 \pm 0,127$  mm y una longitud de 102 mm, y el cilindro menor, que es el pistón de ensayo propiamente dicho, será de  $28,575 \pm 0,025$  mm de diámetro y 51 mm de largo.

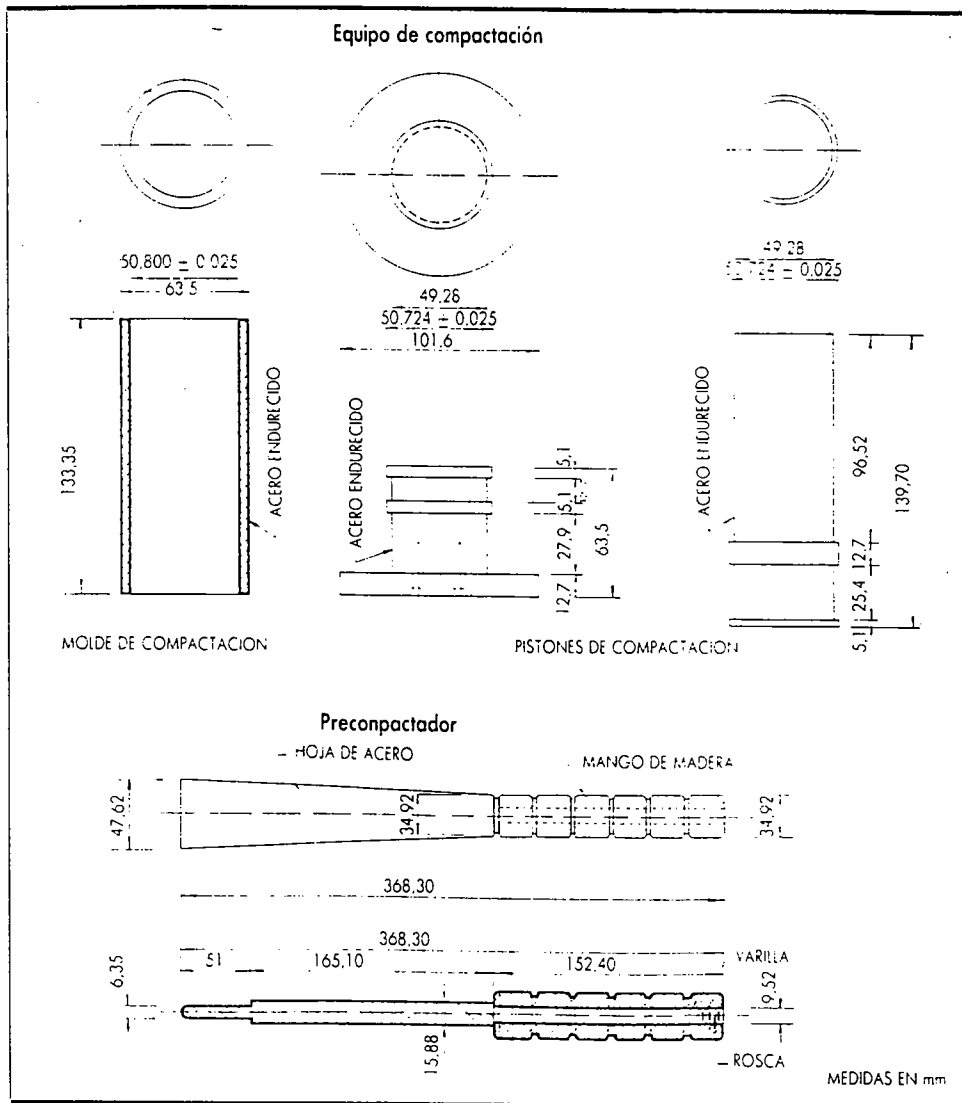


FIGURA 2. Equipo de compactación y precompactado.

**2.4.3 Guía del pistón de ensayo.** Es un cilindro hueco de acero, con diámetro exterior de  $51,054 \pm 0,127$  mm, diámetro interior de  $32,131 \pm 0,127$  mm y 102 mm de longitud.

**2.4.4 Anillo de ensayo.** Está formado por un disco anular fabricado con acero endurecido para he-

rramientas, de 6,35 mm de espesor, con un orificio central cilíndrico de  $28,575 \pm 0,025$  mm de diámetro y 1,587 mm de altura, seguido de otro troncocónico de un ángulo aproximado de 30 grados. Coaxialmente con el orificio central, por su parte superior, irá un resalte circular de  $51,257 \pm 0,025$  mm de diámetro y 1,27 mm de altura.

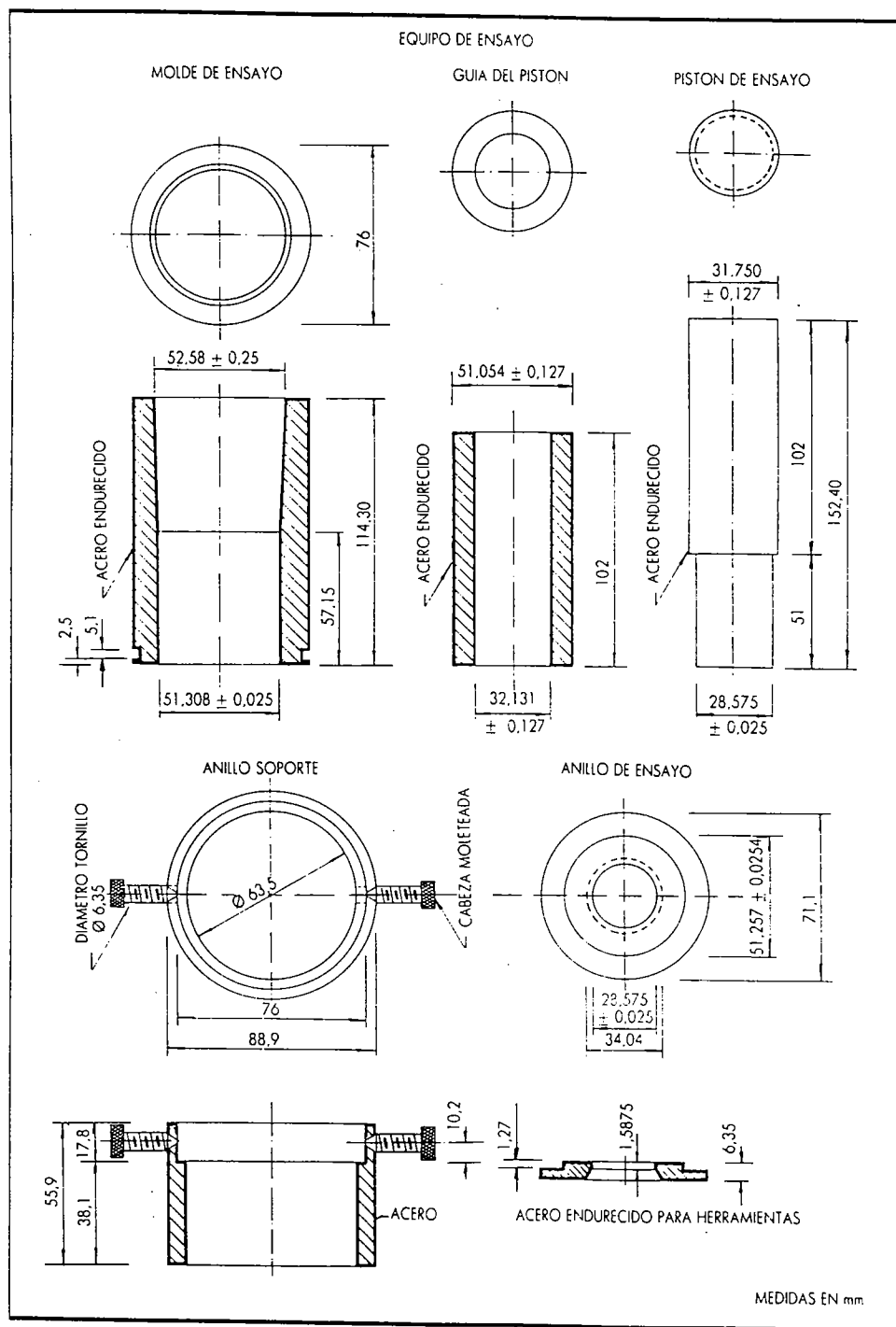


FIGURA 3. Aparatos de extrusión.

**2.4.5 Anillo soporte.** Del tipo Hubbard-Field o equivalente, adecuado para su función de poder soportar el conjunto del aparato de extrusión durante el ensayo de carga.

**2.5 Prensa.** De unos 45 kN (4.500 kgf aproximadamente) de capacidad y capaz de aplicar la carga a una velocidad uniforme de 25 mm/min. Deberá estar provista de medidor continuo de carga e indicador de carga máxima.

**2.6 Estufa.** Capaz para una temperatura de  $60 \pm 3$  °C y de dimensiones apropiadas.

**2.7 Medidor de probetas.** Cualquier dispositivo capaz de medir las alturas y diámetros de las probetas, con una precisión de 0,25 mm.

**2.8 Aparato para determinación de agua.** Se empleará el descrito en la norma NLT-123 «Agua en los materiales bituminosos».

**2.9 Balanzas.** Una balanza de 2.000 g de capacidad y 0,5 g de sensibilidad y otra balanza de 500 g de capacidad y 0,05 g de sensibilidad.

**2.10 Tamices.** Un tamiz 5 UNE y otro tamiz 2 UNE.

**2.11 Recipientes para muestras.** Serán metálicos y provistos de tapas bien ajustadas para guardar las mezclas y probetas.

**2.12 Material general.** Cazos, termómetros, espátulas, etc.

**2.13 Materiales bituminosos.** Los productos bituminosos a emplear en este ensayo pueden ser emulsiones, betunes fluidificados, alquitranes o cualquier otro material bituminoso de consistencia líquida de los tipos y grados que se especifiquen.

**2.14 Agua destilada.** Se utilizará con exclusividad agua destilada en la preparación de las mezclas y en el ensayo de absorción.

**2.15 Xileno.** Para la determinación de la humedad del suelo según la norma NLT-123, se utilizará xileno.

**Nota 1.** Los diámetros interiores de todas las piezas de los aparatos de compactación y extrusión, así como el diámetro del pistón de ensayo, deberán ser revisados periódicamente para comprobar que sus medidas se ajustan a los valores y tolerancias especificados en esta norma.

### 3 PREPARACION DEL SUELO

**3.1** El suelo secado al aire se pulveriza cuidadosamente para separar sus partículas, evitando el redu-

cirlos de tamaño, y se tamiza por el tamiz 5 UNE, anotando el porcentaje retenido. A continuación la fracción que ha pasado el tamiz 5 UNE se tamiza por el tamiz 2 UNE, pulverizando y deshaciendo con cuidado los grumos de suelo que pudieran quedar retenidos sobre este tamiz. Finalmente, se mezclan íntimamente la fracción retenida entre los tamices 5 UNE y 2 UNE con la que ha pasado el tamiz 2 UNE. El suelo resultante se guarda en recipientes herméticamente cerrados.

**3.2** Todos los ensayos de absorción de agua, entumecimiento y extrusión se realizarán con la muestra anteriormente preparada de tamaño inferior al tamiz 5 UNE.

### 4 CONTENIDO DE HUMEDAD Y MASA DE SUELO SECO

**4.1** Se determina la humedad higroscópica del suelo secado al aire sobre una muestra de 100 g, ensayada siguiendo la arma NLT-123 y utilizando xileno. La humedad se calcula por la expresión:

$$H_s = \frac{V}{100 - V} \times 100$$

siendo:

$H_s$  = contenido de humedad, en tanto por ciento de suelo seco.

$V$  = volumen de agua recogido en el ensayo en  $\text{cm}^3$ .

**4.2** Se calcula la cantidad de suelo seco que hay en una determinada muestra de suelo secado al aire, por la expresión:

$$M = \frac{M_a}{100 + H} \times 100$$

siendo:

$M$  = masa calculada de suelo seco, en g.

$M_a$  = masa de suelo secada al aire, en g.

$H_s$  = humedad calculada del suelo (4.1), en tanto por ciento.

### 5 PREPARACION DE LAS MEZCLAS

**5.1 Alquitranes, betunes fluidificados y otros materiales bituminosos de consistencia líquida.**

**5.1.1** Si se necesitan preparar muestras de suelo con cantidades adicionales de agua, se pesarán porciones de unos 1.000 g (calculado sobre suelo seco), de la muestra de suelo preparada según el apartado 3, en función del número de probetas a fabricar.

Cada porción así pesada se vierte en el recipiente mezclador, añadiendo la cantidad necesaria de agua destilada, calculada sobre la base de suelo seco y descontando la humedad presente en la muestra, distribuyéndola sobre el suelo mientras se remueve éste con ayuda de una espátula. A continuación se pone en marcha el aparato mezclador durante un tiempo efectivo de 5 minutos, descontando los tiempos en los que hubiera que parar la mezcladora por necesitarse rascar las paredes del recipiente o las paletas. Finalizado el mezclado, la mezcla de suelo y agua se reserva durante un tiempo de 16 a 24 horas antes de utilizarse, guardándola en recipientes herméticamente cerrados.

**5.1.2** Se coloca una porción de la mezcla de suelo y agua ya curada y de unos 1.000 g (calculada sobre suelo seco), en el recipiente de la mezcladora, se practica una depresión en su centro y se añade la cantidad especificada de material bituminoso, mezclando a continuación con la espátula ligeramente. Se monta el recipiente en la mezcladora y se realiza seguidamente el mezclado durante 5 minutos, parando la mezcladora cuando sea necesario limpiar o rascar las paletas o el recipiente. Si es necesario, se puede efectuar un amasado adicional a mano durante otros 5 minutos, con un mazo recubierto de goma en su punta. La mezcla terminada se reserva en un recipiente metálico herméticamente cerrado durante 4 horas, aunque las probetas deben fabricarse dentro del mismo día de preparación de la mezcla.

**5.2 Emulsiones asfálticas.** Se pesan porciones de unos 1.000 g (calculadas sobre suelo seco), de muestra de suelo preparado según el apartado 3, a tenor del número de probetas que se necesiten, que se colocan en el recipiente de la mezcladora y se pone ésta en marcha lenta, mientras se añade la cantidad necesaria de agua destilada. El tiempo total de mezclado será de 5 minutos, deteniendo la mezcladora cuando sea necesario para rascar o limpiar las paletas o el recipiente, sin descontar estos tiempos muertos. A continuación se añade la cantidad especificada de emulsión al suelo humedecido, continuando la operación de mezclado por un tiempo mínimo de 5 minutos y un máximo de 10, hasta que se observe visualmente una mezcla homogénea. Finalmente, el total de la mezcla se coloca en un recipiente de poca altura y tarado previamente, dejándola evaporar al aire hasta que alcance la humedad necesaria y removiendo frecuentemente para evitar la formación de costras.

**Nota 2.** En algunos suelos existe una cierta tendencia durante el secado a la formación de terrones, por lo que es necesario tomar ciertas medidas para mejorar su manejabilidad y uniformidad durante la compactación. En estos casos, cuando la consistencia de la mezcla ya lo permita, se corta ésta con una espátula en secciones cúbicas de unos

2 cm de arista, que se moverán frecuentemente durante el secado; cuando se haya alcanzado en la mezcla un grado de humedad inmediatamente inferior a la consistencia del límite plástico del suelo, se pasan los cubos a la mezcladora y se mezclan a una velocidad lenta, hasta conseguir una masa granular uniforme. La mezcla se coloca entonces en un recipiente de poca altura tarado, donde se deja evaporar al aire hasta que alcance la humedad deseada, removiendo a intervalos para evitar la formación de costras.

**5.3 Contenido de humedad de la mezcla.** Se determina el contenido de humedad de las mezclas ya preparadas ensayando una muestra de 100 g, según la norma NLT-123 y empleando xileno. La humedad se calcula por la expresión (Nota 3):

$$H_m = \frac{100 + B}{100 - V} \times V$$

siendo:

$H_m$  = contenido de humedad de la mezcla, en tanto por ciento respecto a suelo seco.

$B$  = material bituminoso añadido, excluida el agua, en tanto por ciento respecto a suelo seco.

$V$  = agua total recogida en el ensayo, en  $\text{cm}^3$ .

**5.4** Si el contenido de humedad hallado no difiere del especificado en un valor superior a 0,15, puede continuarse el ensayo con la mezcla; en caso contrario, la mezcla se desecha debiendo procederse a la fabricación de una nueva mezcla.

**Nota 3.** Al estar expresados los porcentajes de material bituminoso y humedad sobre la base 100 de suelo seco, se tendrá para los componentes de una mezcla:

Suelo seco	100
Material bituminoso añadido (sin agua)	$B$
Humedad de la mezcla (higroscópica más añadida)	$H_m$
Mezcla total	$100 + B + H_m$

Como se toman 100 g de mezcla para el ensayo, se cumplirá la relación (admitiendo para el agua una densidad relativa igual a 1):

$$\frac{100}{V} = \frac{100 + B + H_m}{H_m}$$

## 6 FABRICACION DE LAS PROBETAS

**6.1** Se prepararán un mínimo de tres probetas por ensayo, tomando como resultado del mismo el valor medio de las probetas ensayadas.

**6.2** Se pesarán cantidades de la mezcla suelo-betún suficientes para obtener, una vez compactadas, probetas de 50.8 mm de diámetro y  $50,8 \pm 1$  mm de altura.

**6.3** Se introduce el pistón corto de compactación aproximadamente unos 25 mm por el fondo del molde de compactación, sujetándolo convenientemente en esa posición durante la compactación inicial. Se vierte a continuación en el molde la cantidad pesada de la mezcla de suelo-betún que corresponda a una probeta.

**6.4** Se compacta inicialmente la mezcla dejando caer sobre ella el precompactador 25 veces desde una altura de 152 mm, medida desde el fondo de la probeta, girándolo sucesivamente después de cada caída. A continuación se coloca el pistón largo de compactación sobre la mezcla en el molde y se lleva el conjunto a la prensa.

**6.5** La compactación final se obtiene comprimiendo la mezcla a una velocidad de carga constante de 25 mm/min, hasta una carga final de 26,675 kN (2.722 kgf), manteniendo esta carga final durante 2 minutos. Una vez compactada la mezcla, se saca la probeta del molde, se marca su cara superior en la compactación, se pesa y se calculan, midiéndolos, los valores medios de su altura y diámetro. Deberá rechazarse toda probeta que no se ajuste a la altura especificada de  $50,8 \pm 1$  mm. Con los datos obtenidos se calcula el volumen de la probeta, en  $\text{cm}^3$ .

**6.6 Densidad de las probetas.** Se calcula la densidad de cada probeta referida a su masa calculada de suelo seco y a la medida de su volumen, admitiendo que no se ha producido ningún cambio en el contenido de humedad durante la compactación.

**6.6.1** La masa de suelo seco de la probeta se obtiene a partir de la expresión (Nota 4):

$$M = \frac{M_p}{100 + B + H_m} \times 100$$

siendo:

$H_m$  = contenido de humedad de la mezcla (5.3), en tanto por ciento respecto a suelo seco.

$B$  = material bituminoso añadido, excluida el agua, en tanto por ciento respecto a suelo seco.

$M_p$  = masa total de la probeta, en g.

$M$  = masa calculada de suelo seco de la probeta, en g.

**6.6.2** A partir del valor de la masa seca y del volumen obtenido en 6.5, se calcula la densidad de la probeta por la expresión:

$$D = \frac{M}{V}$$

donde:

$M$  = masa calculada de suelo seco, en g.

$V$  = volumen medido de la probeta, en  $\text{cm}^3$ .

$D$  = densidad de la probeta, en  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

**Nota 4.** Siendo las masas de agua y material bituminoso, respectivamente, en la probeta:

$$\frac{M \times H_m}{100} \text{ y } \frac{M \times B}{100}$$

se tendrá para la masa total de la probeta  $M_p$ :

$$M_p = M + \frac{M \times H_m}{100} + \frac{M \times B}{100}$$

## 7 CURADO DE LAS PROBETAS

**7.1** Mientras no se especifique lo contrario, las mezclas fabricadas con emulsión bituminosa se curarán previamente a la realización de los ensayos de absorción de agua, entumecimiento y extrusión.

**7.1.1** Las probetas se curan en una estufa regulada a la temperatura de  $60 \pm 3$  °C, hasta que se haya eliminado de un 80 a 90 % (mientras no se especifique lo contrario) de la humedad de compactación, determinando este punto en una probeta elegida como de control de las tres fabricadas. Una vez finalizado el período de cura, se anotarán la masa, altura media y diámetro de cada probeta.

**7.1.2** La probeta elegida como de control se saca de la estufa y se mantiene en un desecador durante 30 minutos como mínimo, hasta que alcance la temperatura ambiente. Al mismo tiempo, se sacarán también las restantes probetas homólogas, que se guardarán igualmente en otro desecador análogo, para asegurar el mismo grado de desecación.

**7.1.3** Toda la operación de curado deberá realizarse en una jornada continuada de laboratorio; cuando esto no sea factible, deberán sacarse todas las probetas de la estufa y guardarlas en recipientes sellados para evitar cualquier pérdida posterior de humedad.

**7.2** Las muestras de suelo-betún y suelo-alquitrán pueden ensayarse curadas, sin curar o por ambos procedimientos. Si se especifica el curado, éste se realizará como se expone a continuación, antes de la realización de los ensayos de absorción de agua, entumecimiento y extrusión.

**7.2.1** Las probetas se curarán en una estufa regulada a la temperatura de  $60 \pm 3$  °C hasta pesada constante, definida cuando se obtiene una pérdida de masa inferior a 0,3 g después de un período de calentamiento en la estufa de 6 horas. Para esta determinación se elegirá una probeta de la serie homóloga como probeta de control.

**7.2.2** El período de curado durará de 40 a 42 horas, finalizado el cual se sacan las probetas de la estufa y se enfrían en un desecador por un tiempo mínimo de 30 minutos, hasta que alcancen la temperatura ambiente, pesando a continuación la probeta de control. Se colocan entonces de nuevo todas las probetas en la estufa durante 6 horas, pasándolas otra vez al desecador durante otros 30 minutos y pesando igualmente al final la probeta de control. Repetir completo este proceso de calentamiento de 6 horas, seguido de enfriamiento, hasta pesada constante de la probeta de control, según 7.2.1. Si hubiera que interrumpir, por finalizar la jornada de trabajo, algún proceso de 6 horas, se sacarán las probetas de la estufa y reservarán en desecador hasta la jornada siguiente.

**7.2.3** Alcanzada la pesada constante en la probeta de control, se sacarán las restantes probetas homólogas del desecador, midiendo y anotando la masa, altura media y diámetro de cada una.

## 8 ENSAYOS DE ABSORCIÓN DE AGUA Y ENTUMECIMIENTO

**8.1** El ensayo de absorción de agua se realizará en una cámara húmeda, a una temperatura entre 18 y 27 °C y con una humedad relativa mínima del 90 %.

**8.2** Las probetas se colocarán apoyando su cara inferior en la compactación directamente sobre el fondo plano de una cubeta de dimensiones apropiadas, en la que se echa agua destilada hasta una altura, que deberá mantenerse durante todo el ensayo, de 25 mm, medidos sobre el fondo común de todas las probetas. La duración del ensayo será de 7 días, transcurridos los cuales se sacan las probetas, se seca rápidamente el agua de su superficie y se pesan, midiendo además los diámetros medios de sus caras inferiores sumergidas.

**8.3 Absorción de agua.** Se calcula el agua absorbida por la probeta mediante la expresión:

$$\% \text{ absorción de agua} = \frac{M_2 - M_1}{M} \times 100$$

siendo:

$M_1$  = masa de la probeta antes del ensayo.

$M_2$  = masa de la probeta después del ensayo.

$M$  = masa calculada de suelo seco de la probeta.

**8.4 Entumecimiento.** Se calcula el entumecimiento de la probeta por la expresión:

$$\% \text{ entumecimiento} = \frac{D_2^3 - D_1^3}{D_1^3} \times 100$$

siendo:

$D_1$  = diámetro de la probeta antes del ensayo.

$D_2$  = diámetro medio del fondo de la probeta después del ensayo.

## 9 ENSAYO DE EXTRUSION

**9.1** El ensayo se realiza a temperatura ambiente, con las probetas que han sido sometidas al ensayo de absorción de agua.

**9.2** Se monta el conjunto del anillo soporte, anillo de ensayo y molde de ensayo, como se detalla en la figura 1. Una vez sacada la probeta de la cámara húmeda, pesada y medida como se indica en el apartado 8.2, se coloca dentro del molde, colocando igualmente su cara inferior hacia abajo; la probeta se introduce por la boca ancha del molde, deslizando a todo lo largo del mismo hasta apoyarla suavemente sobre el anillo de ensayo, pudiéndose ayudar para esta operación con el pistón de compactación. Se monta la guía del pistón y el pistón de ensayo, que se apoyan sobre la cara superior de la probeta.

**9.3** El conjunto de compactación se coloca centrado entre los platos de la prensa y se aplica la carga a la probeta a una velocidad constante de 25 mm/min. Se define el valor de la extrusión como la carga máxima resistida por la probeta en el momento de la rotura.

## 10 RESULTADOS

**10.1** Se informarán los siguientes resultados, obtenidos calculando el valor medio de tres probetas ensayadas:

**10.1.1** Absorción de agua, en % (8.3).

**10.1.2** Entumecimiento, en % (8.4).

**10.1.3** Extrusión, expresada como la carga máxima en N resistida por la probeta (9.3).

**10.1.4** Otros resultados que puedan especificarse.

## 11 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

ASTM D 915-61 (Revalidada en 1978) «Soil-Bituminous Mixtures, Texting».

## 12 NORMA PARA CONSULTA

NLT-123 «Agua en los materiales bituminosos».