

## **Densidad y huecos en mezclas bituminosas compactadas**

### **1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION**

**1.1** Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la densidad relativa aparente y de los porcentajes de huecos en las mezclas bituminosas compactadas. El método es aplicable a cualquier tipo de mezcla, bien sea fabricada en moldes convencionales o procedente de testigos extraídos de un pavimento.

**1.2** La densidad relativa aparente es la relación, a una temperatura especificada, entre la masa en el aire de un volumen dado de un material permeable (volumen aparente, incluyendo los huecos accesibles y no accesibles) y la masa, a la misma temperatura, de un volumen igual de agua destilada.

**1.3** Los porcentajes de huecos que se determinan en esta norma, huecos en mezcla, huecos en áridos y huecos rellenos de ligante, se calculan a partir de las proporciones en que intervienen en la mezcla los distintos componentes, áridos, polvo mineral y ligante, y sus respectivas densidades relativas obtenidas según las normas NLT-122, NLT-153, NLT-155 y NLT-167.

**1.4** En esta norma se describen tres procedimientos para la determinación de la densidad relativa. En el primero, de aplicación general a todas las mezclas, el volumen aparente se obtiene a partir de la muestra recubierta con parafina. En el segundo, de aplicación solamente a las mezclas cerradas o prácticamente no absorbentes, este volumen se determina a partir de la muestra saturada y con su superficie seca. En el tercer procedimiento el volumen se determina por medida geométrica de la probeta y es de aplicación a las mezclas muy abiertas o porosas.

### **2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS**

**2.1 Balanza.** Una balanza de capacidad adecuada y con la sensibilidad suficiente para poder obtener la densidad relativa con, al menos, cuatro cifras exactas, o sea, tres decimales exactos como mínimo para estos materiales. Estará equipada con un dis-

positivo que permita la determinación de masas en muestras sumergidas (Nota 1).

**Nota 1.** Siendo la densidad relativa el cociente entre la masa de la muestra en el aire y la masa de agua equivalente a su volumen —obtenido ésta por diferencia entre la masa en el aire y la masa sumergida—, la necesidad de obtener el cociente con cuatro cifras exactas obliga a que tanto el dividendo como el divisor tengan, como mínimo también, cuatro cifras exactas.

**2.2 Baño de agua.** Para la determinación de las masas de muestras sumergidas, se utilizará un baño de tamaño adecuado provisto de rebosadero para mantener constante el nivel de agua.

**2.3 Cestillos.** Para la operación de pesar las muestras sumergidas, se utilizarán cestillos de alambre, de malla y tamaño adecuados a las muestras que se manejen, y suficientemente rígidos para que no se deformen.

**2.4 Parafina.**

### **3 PREPARACION DE LA MUESTRA**

**3.1** Las muestras pueden ser probetas fabricadas en moldes o testigos extraídos de un pavimento por medio de sonda, sierra o cualquier otro procedimiento adecuado. En todos los casos, se deben tomar las precauciones necesarias para evitar cualquier deformación, agrietamiento o deterioro en las muestras que puedan alterar las condiciones iniciales del material.

**3.2 Dimensiones de las muestras.** El diámetro de la probeta o testigo en las muestras cilíndricas, o la longitud de las caras en las muestras serradas deben ser, por lo menos, cuatro veces el tamaño máximo del árido. Igualmente, el espesor de las muestras no debe ser inferior a vez y media ese mismo tamaño máximo.

**3.3** Las muestras se limpiarán de cualquier material extraño y ajeno a las mismas, como productos de imprimación o adherencia, materiales de cimentación, tierra, papel, etc., reservándolas hasta el momento del ensayo apoyadas sobre una superficie plana y en una atmósfera limpia y seca.

**3.4** Si la muestra está constituida por dos o más capas de pavimento, se pueden separar serrándolas o por otro procedimiento adecuado, tomando las precauciones necesarias indicadas en el Apartado 3.1.

## 4 DETERMINACION DE LA DENSIDAD RELATIVA

### 4.1 Procedimiento con la muestra recubierta de parafina.

**4.1.1 Masa de la muestra, en el aire.** Después de dejar la muestra al aire a temperatura ambiente una hora como mínimo, se pesa con precisión  $\pm 0,1$  g, para obtener su masa. Se designa este valor por A.

**4.1.2 Masa de muestra recubierta de parafina, en el aire.** Se recubre a continuación toda la superficie de la muestra con una capa de parafina fundida, de espesor suficiente para asegurar el cierre de todos los huecos superficiales. La muestra recubierta se deja enfriar al aire durante unos 30 minutos y se determina su masa,  $\pm 0,1$  g, en la balanza. Se designa este valor por D (Notas 2 y 3).

**Nota 2.** La aplicación de la parafina debe efectuarse enfriando previamente la muestra a una temperatura de 4 ó 5 °C durante 30 minutos y sumergiéndola seguidamente en parafina fundida (de 6 a 8 °C por encima de su punto de fusión). Si quedan huecos sin parafinar, se retocan estos puntos con un pincel mojado en parafina.

**Nota 3.** En el caso de que se necesite la muestra para otros ensayos que requieran la eliminación de la película de parafina, se puede recubrir la muestra con polvos de talco, previamente al parafinado.

**4.1.3 Masa de la muestra recubierta de parafina, en el agua.** La muestra se pesa,  $\pm 0,1$  g, sumergida en el baño de agua, suspendiéndola dentro del cestillo, del dispositivo que para este fin lleva la balanza. Se designa este valor por E.

**4.1.4 Densidad relativa de la parafina.** Si no se conoce, se determina la densidad relativa a 25 °C de la parafina empleada. Se designa este valor por F.

**4.1.5 Correcciones por humedad.** Siempre que se advierta o sospeche la existencia de humedad en la muestra —testigos recientemente extraídos o serrados, manipulaciones por limpieza u otra causa cualquiera—, se debe proceder bien a un secado previo de la muestra o a una determinación, en una porción reservada para este fin, del contenido de agua de la misma. En el primer caso, antes de proceder como se refiere en el Apartado 4.1.1, se puede secar la muestra en una estufa hasta pesada constante, regulando convenientemente la temperatura para evitar deformaciones que puedan alterar las condiciones iniciales del material; en el segundo caso, se puede seguir el procedimiento de arrastre con disolvente descrito en la norma NLT-123, empleando unos 500 g de muestra y 200 cm<sup>3</sup> de disolvente, y corrigiendo entonces, si fuera preciso, las

pesadas A, D y E en la cuantía pertinente (Notas 4 y 5).

**Nota 4.** Cuando se trate de muestras bituminosas resistentes al calor, e secado en estufa se puede hacer a unos 110 °C (suele ser suficiente entre 15 y 24 horas).

**Nota 5.** Los procedimientos de secado en estufa y arrastre con disolvente dan resultados incorrectos de humedad cuando la muestra contiene productos volátiles.

**4.1.6 Resultados.** La densidad relativa se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$\text{Densidad relativa aparente (probeta parafinada)} = \frac{A}{D - E - \frac{D - A}{F}}$$

donde:

A = masa en gramos de la muestra seca, pesada en aire.

D = masa en gramos de la muestra seca parafinada, pesada en aire.

E = masa en gramos de la muestra seca parafinada, pesada en agua.

F = densidad relativa de la parafina, a 25 °C.

**4.1.7 Precisión.** Las determinaciones por duplicado realizadas por un mismo operador no deberán diferir en más de 0,02 unidades.

### 4.2 Procedimiento con la muestra saturada superficie seca

**4.2.1 Masa de la muestra, en el agua.** Se sumerge la muestra en la baño de agua a 25 °C durante 4 ó 5 minutos y se determina a continuación su masa,  $\pm 0,1$  g, sumergida, suspendiéndola del dispositivo que para este fin debe llevar la balanza. Se designa este valor por C.

**4.2.2 Masa de la muestra saturada superficie seca, en el aire.** Se seca a continuación rápidamente la superficie de la muestra con un paño absorbente, hasta eliminar la película superficial de agua, y se pesa,  $\pm 0,1$  g, inmediatamente después en el aire. Se designa este valor por B.

**4.2.3 Masa de la muestra seca, en el aire.** Se seca la muestra en la estufa hasta pesada constante (ver Nota 4), siguiendo, si es necesario, lo descrito en el Apartado 4.1.5. Una vez seca, se deja al aire a temperatura ambiente durante una hora al menos y se pesa,  $\pm 0,1$  g, después en el aire. Se designa este valor por A (Nota 6).

**Nota 6.** Cuando se tenga la seguridad de que la muestra esté inicialmente seca, puede realizarse entonces la primera pesada de ésta en el aire, para seguir posteriormente con las pesadas sumergidas y saturada superficie seca.

**4.2.4 Resultados.** La densidad relativa se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$\text{Densidad relativa aparente (Superficie saturada seca)} = \frac{A}{B - C}$$

donde:

A = masa en gramos de la muestra seca, pesada en aire.

B = masa en gramos de la muestra saturada superficie seca, pesada en aire.

C = masa en gramos de la muestra saturada, pesada en agua.

**4.2.5 Precisión.** Las determinaciones por duplicado realizadas por un mismo operador no deberán diferir en más de 0,035 unidades.

### 4.3 Procedimiento por medida geométrica del volumen aparente

**4.3.1 Masa de la muestra, en el aire.** Después de mantener la muestra al aire a temperatura ambiente una hora como mínimo, se pesa la misma con precisión de  $\pm 0,1$  g, para obtener su masa. Se designa este valor por «A».

### 4.3.2 Determinación del volumen de la muestra

**4.3.2.1 Probetas o testigos cilíndricos.** Con el pie de rey o calibrador se efectúan cuatro medidas ( $\pm 0,1$  mm), según los planos de dos diámetros perpendiculares, de la altura de la muestra. Se promedian los cuatro valores obtenidos y se designa el resultado por «h». Como diámetro de la muestra se toma el valor del diámetro nominal del molde en que se fabricó la probeta y el resultado de promediar el valor obtenido en dos mediciones sobre los diámetros perpendiculares si es el caso de testigo extraído del pavimento. Se designa por «d».

**4.3.2.2 Probetas o testigos de forma paralelepípedica ortogonal.** Con el pie de rey u otro instrumento de medida adecuado a las dimensiones de muestra, se efectúan las medidas, con precisión de 0,1 % respecto a la dimensión mayor, de las  $3 \times 4$  aristas del paralelepípedo, correspondientes a la longitud, anchura y espesor del mismo. Se promedian los cuatro valores de las aristas homólogas y se designa cada uno de estos tres obtenidos como «l», «a», y «e».

**4.3.3 Resultados.** La densidad relativa aparente determinada por medida geométrica del volumen de la muestra se calcula, aplicando las expresiones siguientes según cada caso concreto.

$$\text{Densidad relativa aparente (probeta o testigo cilíndrico)} = \frac{A}{\pi \left( \frac{d}{2} \right)^2 \cdot h}$$

$$\text{Densidad relativa aparente (probeta o testigo paralelepípedo)} = \frac{A}{l \cdot a \cdot e}$$

donde:

A = Masa en g de la muestra seca pesada en aire

d = diámetro de la muestra, en cm

h = altura de la muestra, en cm

l, a, e = longitud, anchura y espesor de la muestra, en cm.

**4.3.4 Precisión.** No se han establecido valores para la precisión del ensayo (Nota 7).

**Nota 7.** La determinación del volumen por medida geométrica en muestras testigos extraídos del pavimento puede resultar en valores con errores de importancia si la geometría de los mismos —cilindro o paralelepípedo— no presenta una regularidad aceptable en las aristas y superficies que deben ser nitidas y uniformes.

## 5 DETERMINACIONES DE LOS HUECOS

### 5.1 Consideraciones generales y datos previos.

En una mezcla asfáltica formada por una serie de componentes ponderales, la masa total, M, vale:

$$M = m_1 + m_2 + m_3 + \dots$$

siendo  $m_1, m_2, m_3$ , etc., las masas individuales de cada componente, áridos gruesos, áridos finos, polvo mineral, ligante, etc. Como generalmente la composición de la mezcla se expresa por los porcentajes de cada componente respecto al total de la misma, tendremos también:

$$100 = T_1 + T_2 + T_3 + \dots$$

siendo  $T_1, T_2, T_3$ , etc., los tantos por ciento de cada componente respecto a la mezcla total, existiendo entre ambas expresiones las relaciones:

$$m_1 = \frac{M}{100} T_1; \quad m_2 = \frac{M}{100} T_2; \quad m_3 = \frac{M}{100} T_3; \quad \text{etc.}$$

### 5.2 Densidad relativa de la mezcla de áridos.

Con objeto de facilitar los cálculos de huecos, se determina el valor de esta densidad, cuya expresión teórica es el cociente entre la suma de las masas de todos los componentes áridos de la mezcla, y la suma de las masas de volúmenes, respectivos, iguales de agua. Teniendo en cuenta las relaciones 5.1, se obtiene para esta densidad la expresión:

$$D_a = \frac{100}{\frac{T_1}{d_1} + \frac{T_2}{d_2} + \frac{T_3}{d_3} + \dots}$$

siendo  $T_1, T_2, T_3$ , etc., los tantos por ciento de cada árido sobre el total de áridos de la mezcla, y  $d_1, d_2$ ,

$d_3$ , etc., las densidades relativas aparentes de estos mismos áridos.

**5.3 Densidad máxima teórica de las mezclas compactadas.** Teóricamente esta densidad es la que se obtendría si al compactar una mezcla asfáltica se consiguiera una masa formada por áridos y ligante en la que no existiesen huecos. Partiendo de una expresión teórica análoga a la de la densidad de la mezcla de áridos, pero incluyendo además las masas de ligante, se obtiene para esta densidad el valor:

$$D_{\text{máx}} = \frac{100}{\frac{T_1}{d_1} + \frac{T_2}{d_2} + \dots + \frac{T_b}{d_b}}$$

en la que  $T_1, T_2, \dots$  y  $T_b$  son los porcentajes respecto al total de la mezcla de cada uno de los componentes áridos y ligante, y  $d_1, d_2, \dots, d_b$  sus respectivas densidades relativas aparentes. Empleando la densidad,  $D_a$ , de la mezcla de áridos:

$$D_{\text{máx}} = \frac{100}{\frac{T_a}{D_a} + \frac{T_b}{d_b}}$$

siendo  $T_a$  y  $T_b$  los porcentajes sobre mezcla total de los áridos y ligante, y  $D_a$  y  $d_b$  sus respectivas densidades relativas.

**5.4 Tanto por ciento de huecos en las mezclas compactadas.** Los huecos de una mezcla compactada representan la diferencia entre el volumen aparente de la mezcla y el volumen teórico ocupado por el betún y los áridos. Esta diferencia, por unidad de volumen aparente, es equivalente a la expresión

$1 - \frac{D_p}{D_{\text{máx}}}$ , siendo  $D_p$  la densidad relativa aparente de la mezcla compactada. El tanto por ciento de huecos en la mezcla, % H, valdrá, por consiguiente:

$$\% H = \left( 1 - \frac{D_p}{D_{\text{máx}}} \right) 100$$

**5.5 Tanto por ciento de huecos en los áridos compactados.** Los huecos en los áridos compactados representan la diferencia entre el volumen apa-

rente de la mezcla compactada y el volumen teórico ocupado por los áridos compactados en dicha mezcla. El tanto por ciento de huecos en los áridos, % H A, será, por consiguiente:

$$\% H A = \left( 1 - \frac{100 - T_b}{100} \cdot \frac{D_p}{D_a} \right) 100$$

siendo  $T_b, D_p$  y  $D_a$ , respectivamente, el tanto por ciento de ligante sobre mezcla, la densidad relativa aparente de la mezcla y la densidad relativa de la mezcla de áridos.

**5.6 Tanto por ciento de huecos en los áridos, rellenos de ligante.** Los huecos en los áridos rellenos de ligante representan la diferencia entre el volumen total de huecos en los áridos y el volumen de huecos en la mezcla; su porcentaje expresa la fracción del volumen total de huecos en los áridos ocupada por el ligante. Llamando % H R a este tanto por ciento, su expresión será:

$$\% H R = \left( 1 - \frac{\% H}{\% H A} \right) 100$$

## 6 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

ASTM D 1188-88. «Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Compacted Bituminous Mixtures Using Paraffin-Coated Specimens».

ASTM D 2726-88 «Test Method for Bulk Specific Gravity of Compacted Bituminous Mixtures Using Saturated Surface-Dry Specimens».

ASTM D 3203-88 «Test Method for Percent Air Voids in Compacted Dense and Bituminous Paving Mixtures».

## 7 NORMAS PARA CONSULTA

NLT-122 «Densidad y densidad relativa de los materiales bituminosos».

NLT-153 «Densidad relativa y absorción de áridos gruesos».

NLT-155 «Densidad relativa del filler, cementos y materiales similares».

NLT-167 «Densidad relativa de los áridos en aceite de parafina».

NLT-123 «Agua en los materiales bituminosos».