

## Determinación del módulo resiliente, en mezclas bituminosas, mediante ensayo de compresión diametral

### 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para determinar el módulo resiliente de mezclas bituminosas fabricadas en el laboratorio o provenientes de testigos extraídos del pavimento.

1.2 En el ensayo, una probeta cilíndrica de la mezcla se somete a una carga cíclica de compresión según un plano diametral y vertical de aquélla, midiéndose la deformación horizontal producida. El ciclo de carga se compone de un pulso de amplitud y duración establecida, seguido de un tiempo de relajación. Los datos de deformación obtenidos, junto con los de la carga aplicada, y el del coeficiente de Poisson definido en función de la temperatura de ensayo, son las magnitudes que intervienen en la determinación de los valores del módulo resiliente.

1.3 Los resultados del ensayo se pueden utilizar tanto para el proyecto y control de mezclas bituminosas, como para el dimensionamiento de firmes.

### 2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

2.1 **Máquina de ensayo.** Una máquina de ensayo que pueda aplicar pulsos de carga de amplitud, frecuencia y duración determinados (Nota 1).

**Nota 1.** Se ha comprobado que el equipo más conveniente es el formado por una máquina servohidráulica y un generador de funciones. También cabe utilizar otros equipos comerciales como, p. ej., máquinas neumáticas. Sin embargo, estas últimas pueden resultar de insuficiente carga para ensayar probetas de mayores dimensiones o temperaturas más bajas.

2.2 **Dispositivo de instalación de la probeta.** Este dispositivo constará de cuatro elementos: dos barras a través de las que se aplica la carga a la probeta, y dos tiras sobre las que se fijan los sensores de deformación.

Las dos barras serán metálicas y tendrán una longitud igual o mayor que la altura de la probeta. Una de sus superficies será cóncava con radio de curvatura igual al radio nominal de la probeta. El ancho de las mismas será de 13 mm o de 19 mm, dependiendo del radio de la probeta. Los bordes estarán redondeados para evitar un posible corte de la probeta durante el ensayo. Para probetas de textura

rugosa se interpondrá una membrana de goma entre la barra y la probeta.

Las dos tiras tendrán una longitud mayor que la altura de la probeta y bastante para poder adaptar en sus extremos algún dispositivo al que fijar los sensores de deformación. Estas tiras serán de aluminio, zinc u otro metal ligero y estarán diseñadas para que puedan ser adheridas, en toda su superficie de contacto, a dos generatrices opuestas de la probeta.

### 2.3 Sistema de medida y toma de datos

2.3.1 **Célula de carga electrónica** que satisfaga los requisitos que se especifican para las medidas de carga de ensayo.

2.3.2 **Sensores de deformación.** Los sensores de deformación para medir la deformación horizontal de la probeta serán adecuados para efectuar las medidas con una precisión mínima de 0,25  $\mu\text{m}$ . Pueden ser de tipo LVDT o extensómetros.

2.3.3 **Equipo de toma de datos.** El equipo que se utilice para realizar las lecturas de los sensores y registrar los resultados podrá efectuar un número de lecturas por segundo suficiente para obtener información sobre los ciclos de carga y de deformación con frecuencia de hasta 1 Hz. Es apropiado un sistema de lectura automático compuesto por un ordenador y una tarjeta de conversión analógica-digital que introduzca en la conversión un error menor o igual que la precisión de lectura de los sensores utilizados.

2.4 **Sistema de control de temperatura.** Se dispondrá de una cámara o recinto que permita alojar la probeta y los dispositivos de instalación de la misma, y que mantenga la temperatura de ensayo que se especifique con una variación máxima de  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

### 3 PROCEDIMIENTO

3.1 Las probetas fabricadas por triplicado en el laboratorio lo serán de acuerdo con el procedimiento que se describe en la norma NLT-159, o en cual-

quier otro método de ensayo aceptado. Serán probetas cilíndricas que cumplan lo siguiente:

TAMAÑO MÁXIMO DEL ARIDO EN MEZCLA (mm)	DIMENSIONES PROBETA (mm)	
	ALTURA	DIAMETRO
25	$\geq 50$	$\geq 100$
40	$\geq 75$	$\geq 150$

TABLA 1.

**3.2** Los testigos extraídos de firmes deben presentar superficies planas y paralelas y sus dimensiones estarán conformes con lo especificado en el apartado 3.1 de esta norma.

**3.3** Se determina, a efectos de información complementaria, la densidad relativa de las probetas siguiendo el método de ensayo descrito en la norma NLT-168.

**3.4** Las dos tiras metálicas, diseñadas según los requisitos referidos en el apartado 2.2, se adhieren a la probeta con un adhesivo de forma que queden situadas en dos generatrices opuestas de la probeta definiendo un plano diametral de la misma (Nota 2).

**Nota 2.** Como adhesivo se puede usar un resina epoxi. El secado de esta resina requiere mantener la probeta en contacto con los elementos a pegar durante al menos 72 horas, en un ambiente con temperatura no menor de 15 °C. Las superficies a unir deben estar limpias, exentas de grasa o de cualquier marca de identificación de la probeta.

**3.5** Se introducen las probetas en el recinto con temperatura regulada y se mantienen a la temperatura prevista de ensayo durante 24 horas como mínimo, previas a éste. Temperaturas de ensayo típicas son: 5, 25, 40 y 60 °C.

**3.6** Se coloca la probeta en el equipo con el que se van a aplicar los ciclos de carga y se disponen las dos barras metálicas con la cara cóncava en contacto con la superficie curva de la probeta, una en su parte superior, y la otra en la inferior de forma que estén paralelas entre sí y centradas en el plano diametral vertical de la probeta, que sea a su vez perpendicular al plano del dispositivo de sujeción de los sensores de deformación. Se sitúan los sensores de deformación sobre el dispositivo de sujeción (figura 1). La instalación se realiza dentro del recinto o cámara termostregulada (apartado 2.4). Una vez concluida la instalación de la probeta, se espera el tiempo necesario para que en todos los elementos de apoyo, sensores de deformación y probeta se resta-

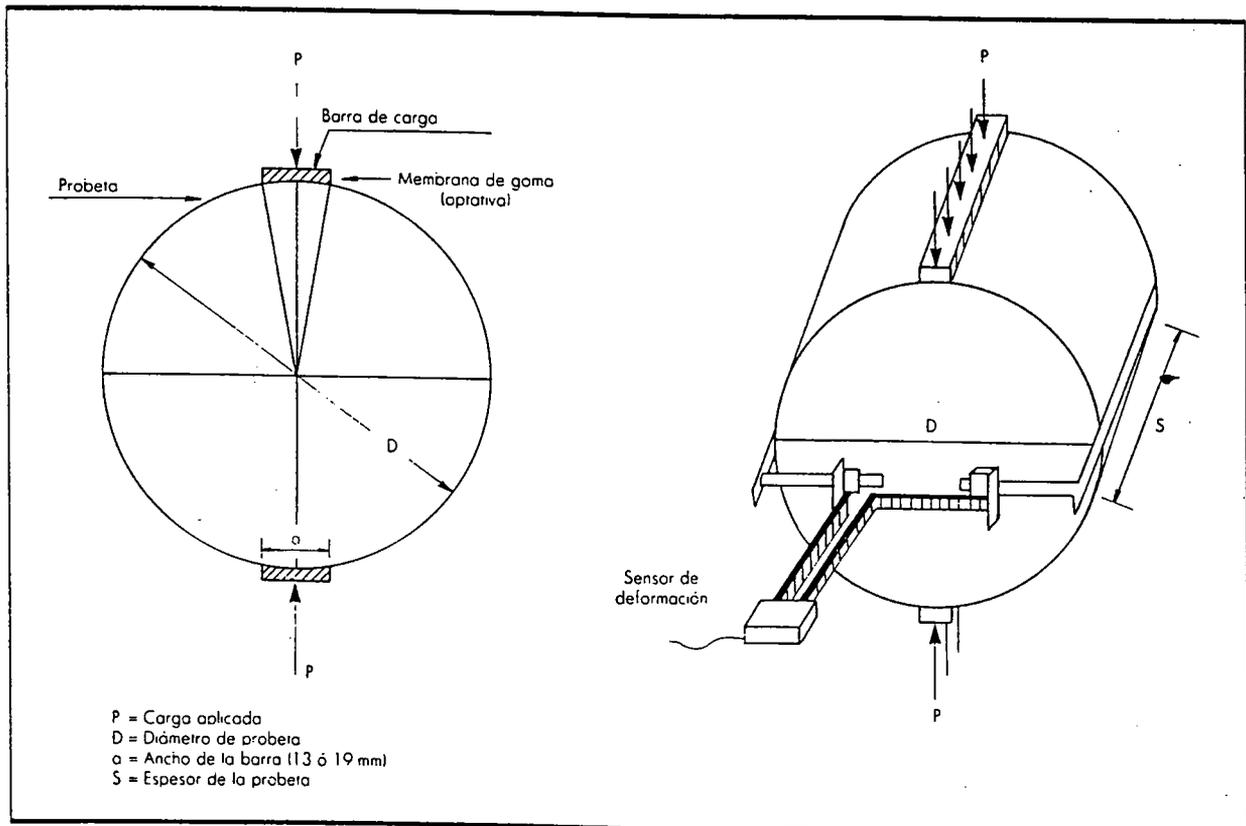


FIGURA 1. Ensayo de compresión diametral y montaje del aparato.

blezca la temperatura especificada de ensayo. Llegado este punto, se ajusta y equilibra el sistema electrónico implicado.

**3.7** Concluido el montaje o instalación de la probeta y de los sensores de deformación, y estabilizado el sistema, se aplican 50 ciclos de preacondicionamiento con el fin de obtener una deformación resiliente estable. Los ciclos de preacondicionamiento estarán formados por pulsos de carga seguidos, alternativamente, de tiempos de relajación, al igual que los ciclos de ensayos propiamente dichos, que se refieren en el siguiente apartado 3.8.

**3.8** Seguidamente se aplican los ciclos de carga a la probeta de ensayo. Estos ciclos estarán constituidos por pulsos de carga de amplitud y duración prefijados, seguidos por un tiempo de relajación, asimismo previamente definido. En cada probeta, de las tres fabricadas, se realiza el ensayo con tres frecuencias de carga: 0,33, 0,5 y 1 Hz, con duración del pulso de carga de 0,3, 0,2 y 0,1 segundos, respectivamente. La amplitud del pulso de carga estará comprendida entre el 10 y el 50 % de la resistencia a tracción del material que se ensaya (Nota 3).

**Nota 3.** La resistencia a tracción se puede determinar con el ensayo destructivo de resistencia a compresión diametral (ensayo brasileño) descrito en la norma NLT-346.

**3.9** Se procede al registro de las funciones de carga y deformación. Estas funciones se definen, en cada ciclo considerado, por los valores obtenidos en la lectura de un número de puntos equidistantes en el tiempo, y que corresponden a un ciclo completo. El número de puntos a leer, por ciclo, debe ser el adecuado para obtener una buena información de los picos de carga y de deformación. Unos 1.000 puntos por ciclo pueden ser suficientes. La lectura se realiza en los canales correspondientes a la carga, deformación-1 y deformación-2, siendo estas últimas las lecturas correspondientes a los dos sensores de deformación horizontal utilizados. Estas lecturas se efectúan, p. ej., en los ciclos 1, 12, 24, 36 y 48 después del preacondicionamiento, terminadas las cuales se da por concluido el ensayo.

Cada probeta se ensaya a las tres frecuencias del ciclo de carga (0,33, 0,5 y 1 Hz) anteriormente indicadas. Si el ensayo se dispone a diferentes temperaturas, amplitudes de carga, frecuencia, etc., se ensaya, cada probeta, primero a la temperatura más baja, al tiempo de carga más corto y a la menor amplitud de carga de los previstos, siguiendo posteriormente con el ensayo en condiciones progresivamente más severas, para evitar daños iniciales a la probeta que pudieran afectar a las subsiguientes determinaciones.

## 4 RESULTADOS E INTERPRETACION DE LOS MISMOS

**4.1** De las funciones de carga y de deformación obtenidas se determinan, por cálculo, dos valores del módulo resiliente: El primero se calcula en función de la deformación producida en la probeta en el instante en que termina la aplicación del pulso de carga, y recibe la denominación de **deformación resiliente instantánea**; el segundo se calcula utilizando la deformación producida en la probeta al término del período de reposo que sigue al pulso de carga y se define como **deformación resiliente total**. En la figura 2 se representan, como ejemplo típico, las funciones de carga y deformación, así como los valores correspondientes a las deformaciones instantánea y total.

**4.2** Se calcula la media de las funciones deformación-1 y deformación-2 para obtener una única función de deformación horizontal,  $D = D(t)$ .

**4.3** Se calcula el máximo y el mínimo de la función de carga,  $P = P(t)$ . A partir de estos valores, por diferencia, se obtiene la amplitud del pulso de carga aplicado,  $P$ .

**4.4** La deformación resiliente instantánea es el valor que corresponde a la función  $D(t)$  para el instante  $t_1$ , en el que termine la aplicación del pulso de carga.

**4.5** La deformación resiliente total es el valor que corresponde a la función  $D(t)$  para el instante  $t_T$ , en el que termine la aplicación del ciclo de la carga.

**4.6** Los módulos resiliente instantáneo y resiliente total se resuelven con las siguientes expresiones:

$$E_1 = \frac{P(n + 0,27)}{s D_1}$$

y

$$E_T = \frac{P(n + 0,27)}{s D_T}$$

donde,  $E_1$  y  $E_T$  = módulos resiliente instantáneo y resiliente total, en MPa.

$$1 \text{ MPa} = \frac{1 \text{ N}}{\text{mm}^2}$$

$P$  = amplitud del pulso de carga, en N.

$n$  = coeficiente de Poisson (Nota 4).

$s$  = espesor de la probeta, en mm.

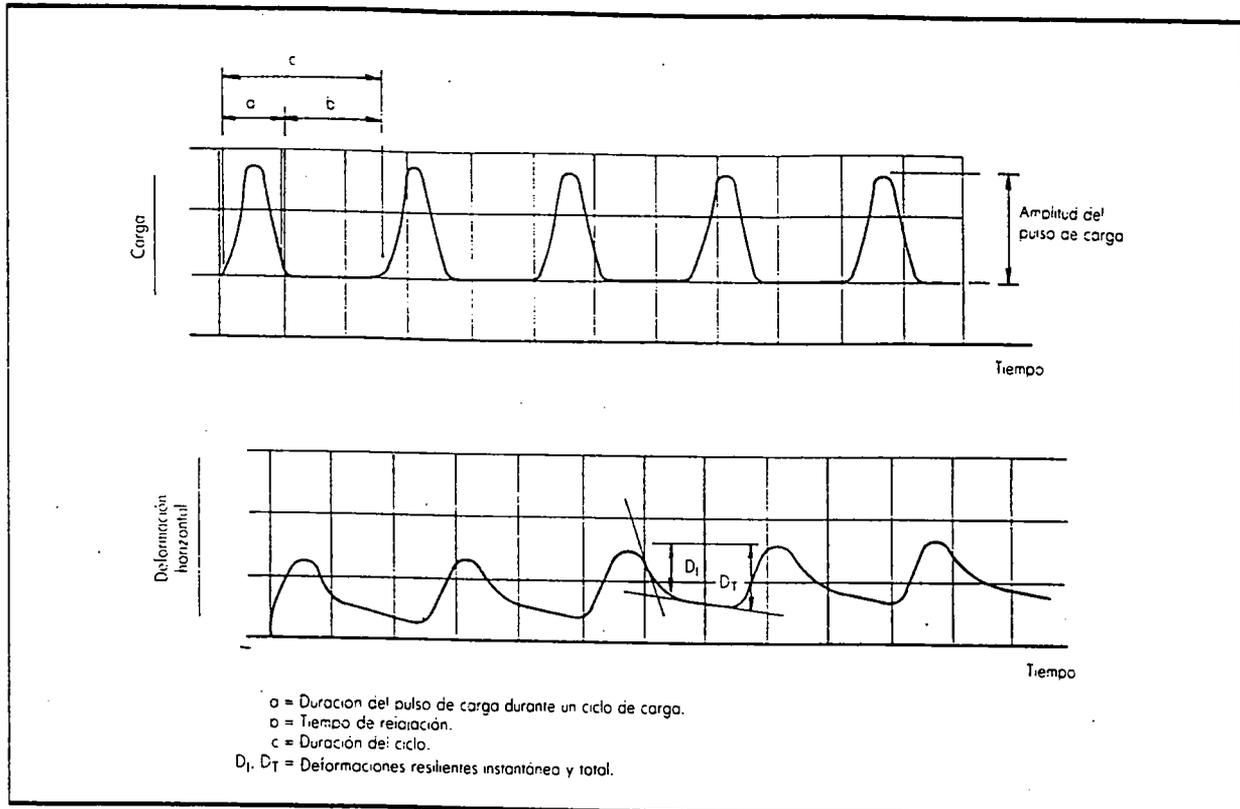


FIGURA 2. Funciones de carga y de deformación vs tiempo (ensayo de compresión diametral repetida)

$D_i$  = deformación resiliente instantánea, en mm.  
 $D_T$  = deformación resiliente total, en mm.

4.7 Se calcula, para cada uno de los módulos instantáneo y total, la media de las cinco determinaciones efectuadas y, para cada una de las tres probetas, los valores medios obtenidos para las tres frecuencias (1, 0,5, y 0,33 Hz) del ciclo de carga.

**Nota 4.** Valores del coeficiente de Poisson (mezclas bituminosas), en función de la temperatura de ensayo, a emplear en el cálculo de los módulos  $E_i$  y  $E_T$ :

TEMPERATURA °C	- 10	+ 5	+ 20	+ 40
COEF. POISSON, $\nu$	0,20	0,25	0,35	0,40

## 5 PRECISION

5.1 No se ha establecido la precisión del método

## 6 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

ASTM D 4123-82 (87) «Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures»

## 7 NORMAS PARA CONSULTA

NLT-159 «Resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall».

NLT-168 «Densidad y huecos en las mezclas bituminosas compactadas».

NLT-346 «Resistencia a compresión diametral (ensayo brasileño) de mezclas bituminosas».