

## Resistencia a la deformación plástica de las mezclas bituminosas mediante la pista de ensayo de laboratorio

### 1 OBJETO, FUNDAMENTO Y CAMPO DE APLICACIÓN

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para determinar la resistencia a la deformación plástica de una mezcla bituminosa, tanto en el caso de proyecto de mezclas en el laboratorio como en el de testigos procedentes de pavimentos.

1.2 El ensayo consiste en someter una probeta de la mezcla bituminosa (Nota 1), al paso alternativo de una rueda en condiciones determinadas de presión y temperatura, midiéndose periódicamente la profundidad de la deformación producida.

1.3 Este procedimiento es aplicable principalmente a las mezclas bituminosas fabricadas en caliente y destinadas a trabajar en condiciones severas de tráfico y clima, aunque variando las condiciones del ensayo puede también ser de utilidad en otros tipos de mezclas.

**Nota 1.** Los moldes, y las probetas, que se detallan en esta norma son de forma prismática, aunque el procedimiento general de ensayo puede tener aplicación o probetas de otras formas, siempre que se satisfagan convenientemente algunos requisitos como tamaño mínimo, fijación, etc.

### 2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

2.1 **Conjunto de compactación.** Está formado por el molde, el collarín y los cuatro angulares,

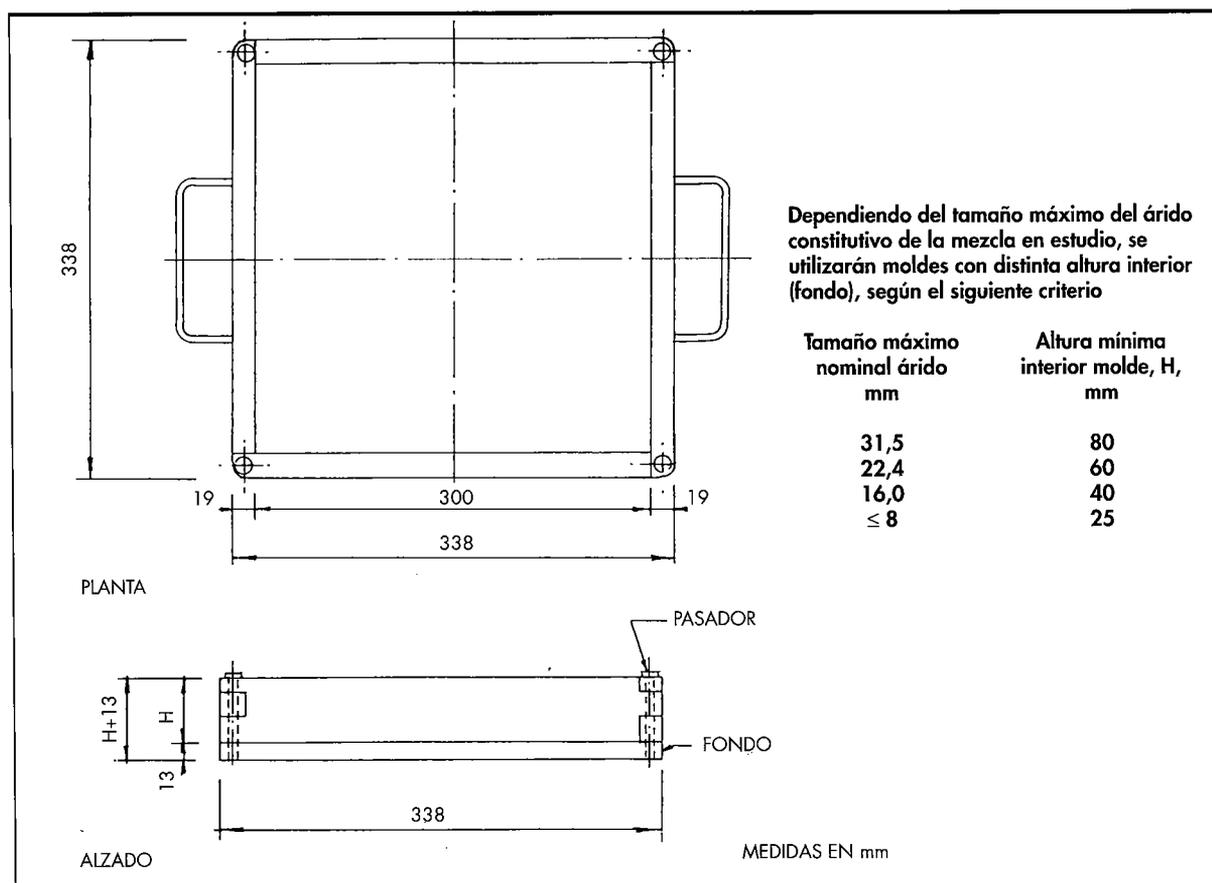


FIGURA 1. Molde.

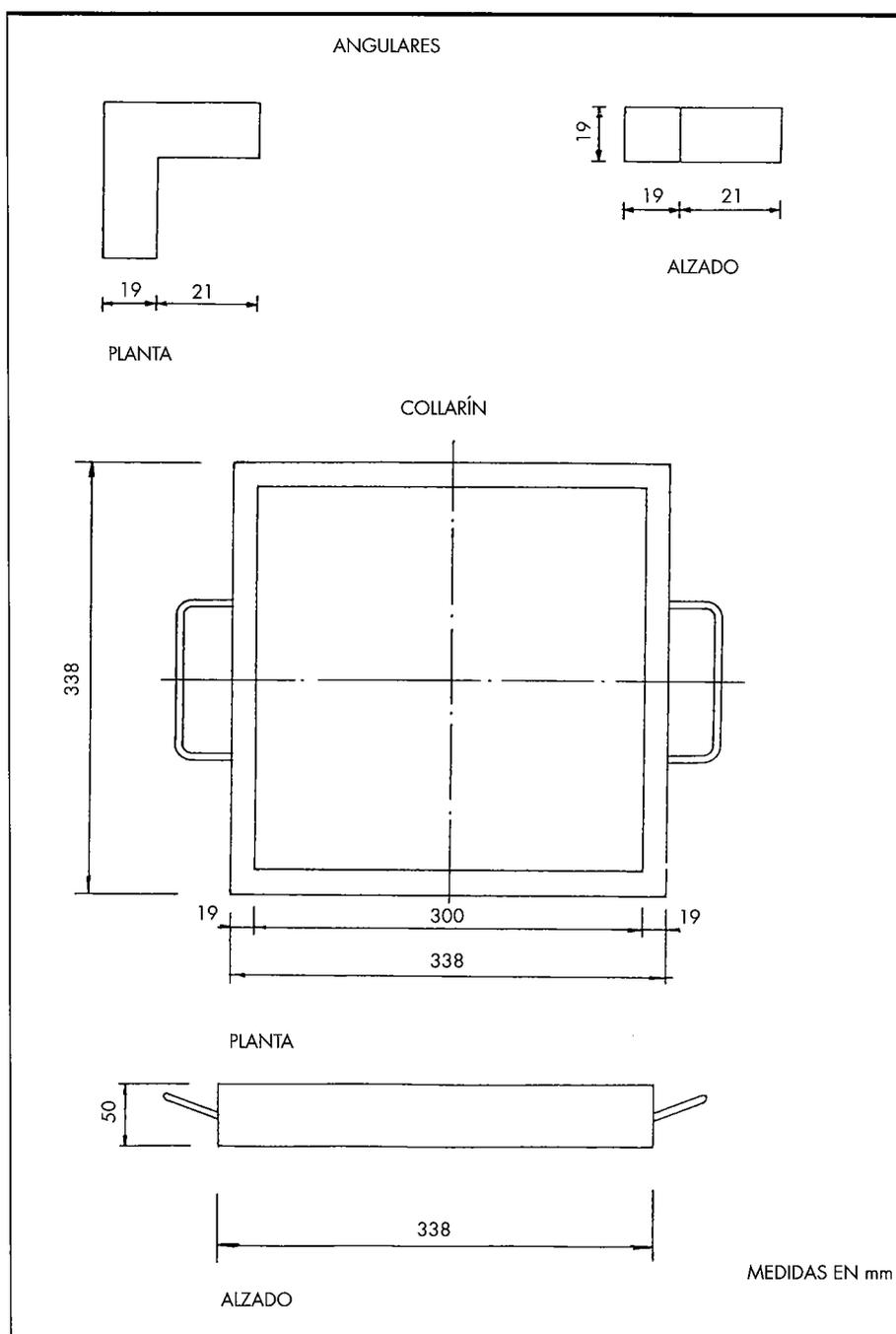


FIGURA 2. Angulares y collarín.

construidos en acero y con la forma y dimensiones que se detallan en las figuras 1 y 2.

**2.2 Base de compactación.** Esta base está formada por una pieza prismática de hormigón de (60 x 60 x 20) cm como mínimo, apoyada en una de sus caras mayores sobre un dispositivo de anclaje con amortiguación. Su forma y dimensiones están indicadas en la figura 3.

**2.3 Elemento compactador.** La compactación de la mezcla dentro de los moldes se realiza mediante una placa de acero sobre la que van montados dos vibradores iguales, cuyas excéntricas, de 9,5 kg de masa y girando a la velocidad de unos 314 rad/s (3.000 rpm), proporcionen en cada uno una fuerza centrífuga de 3 kN, (300 kgf), y dispuestos ambos de forma que sus excéntricas giren hacia el centro de la placa. Su forma y dimensiones se indican en la figura 4.

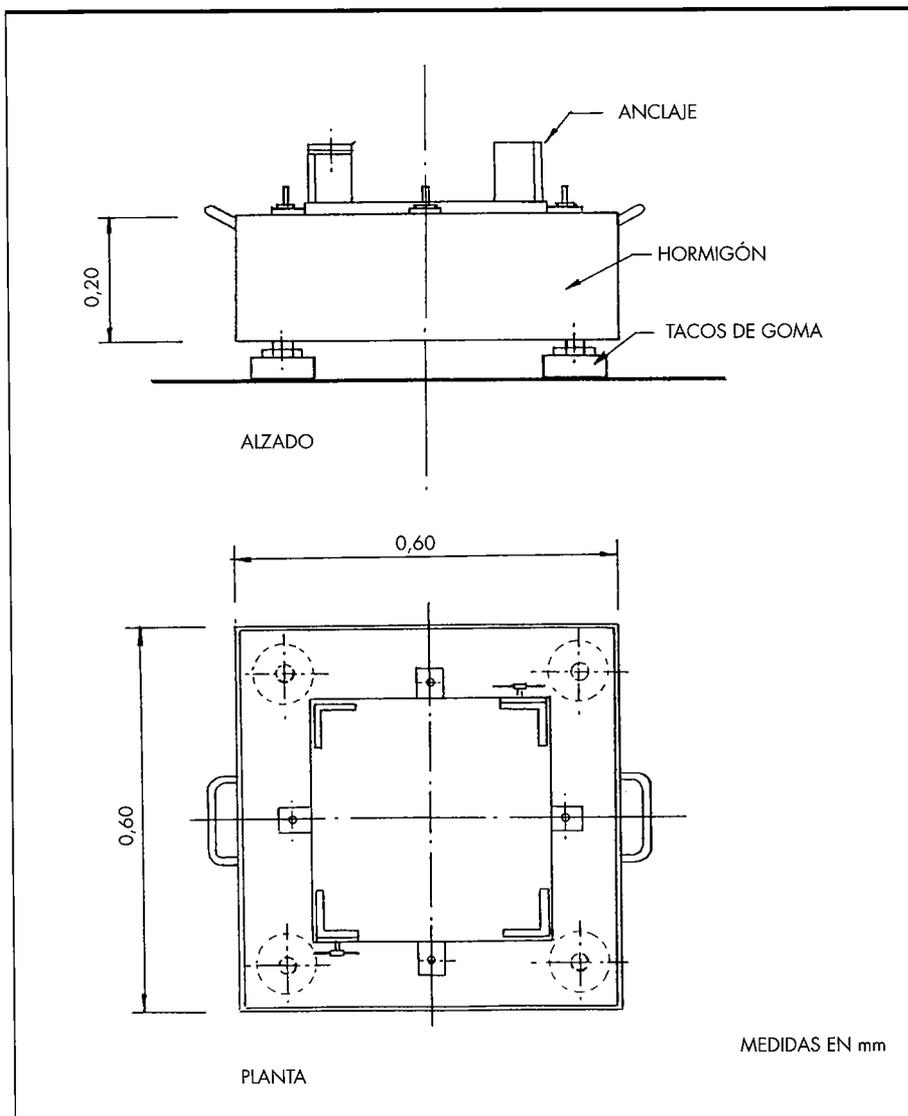


FIGURA 3. Base de compactación.

**Nota 2.** Los vibradores tipo WACKER-WERKE AR 2/3/380, de fuerza centrífuga variable entre 0 y 3 kN, son adecuados trabajando a su máxima potencia.

**2.4 Utensilios de extensión y enrase.** Con el objeto de lograr una distribución uniforme y homogénea de la mezcla en el molde así como un correcto enrasado, se dispondrá de los útiles con la forma y dimensiones que se detallan en la figura 5.

**2.5 Máquina de ensayo.** La máquina para el ensayo en pista de laboratorio, cuya forma y dimensiones fundamentales se indican en las figuras 6 y 7, consiste en esencia en un carrito móvil de forma rectangular, soportado en cuatro puntos por un sistema horizontal - vertical de ruedas metálicas provistas de cojinetes de bolas, capaces de deslizarse sobre unos perfiles de apoyo

en forma de L. El carrito irá unido mediante una excéntrica a un motorreductor que produce, al estar en funcionamiento, un movimiento alternativo horizontal de vaivén. Por encima de este carrito va situada la rueda de ensayo, montada en un brazo sustentador formado por una pareja de perfiles en L, brazo que en uno de sus extremos va unido mediante un cojinete horizontal a un soporte rígido de la máquina y el otro extremo libre y provisto de un dispositivo para colocar las pesas que producen las diferentes cargas sobre la rueda. El carrito móvil dispondrá de los elementos necesarios para la sujeción al mismo de la probeta de ensayo, llevando en uno de sus lados una superficie de medida que permita, mediante un micrómetro de esfera, solidario con la rueda de ensayo, u otro sistema de medida transductor de

desplazamiento, la lectura de las deformaciones verticales que se produzcan en la probeta durante el ensayo. El micrómetro tendrá un recorrido mínimo de 20 mm y graduado en 0,1 mm. Además, deberá ir provisto del dispositivo de frenado del desplazamiento máximo del vástago. La rueda de ensayo será metálica y dotada de una banda de

rodadura de goma maciza de 5 cm de ancho y 2 cm de espesor, con una dureza de 80 en la escala Dunlop. El mecanismo de arrastre del carretón móvil estará diseñado para permitir una frecuencia del movimiento de vaivén de  $(42 \pm 1)$  pasadas por minuto y un recorrido en cada sentido de  $(23 \pm 0,5)$  cm.

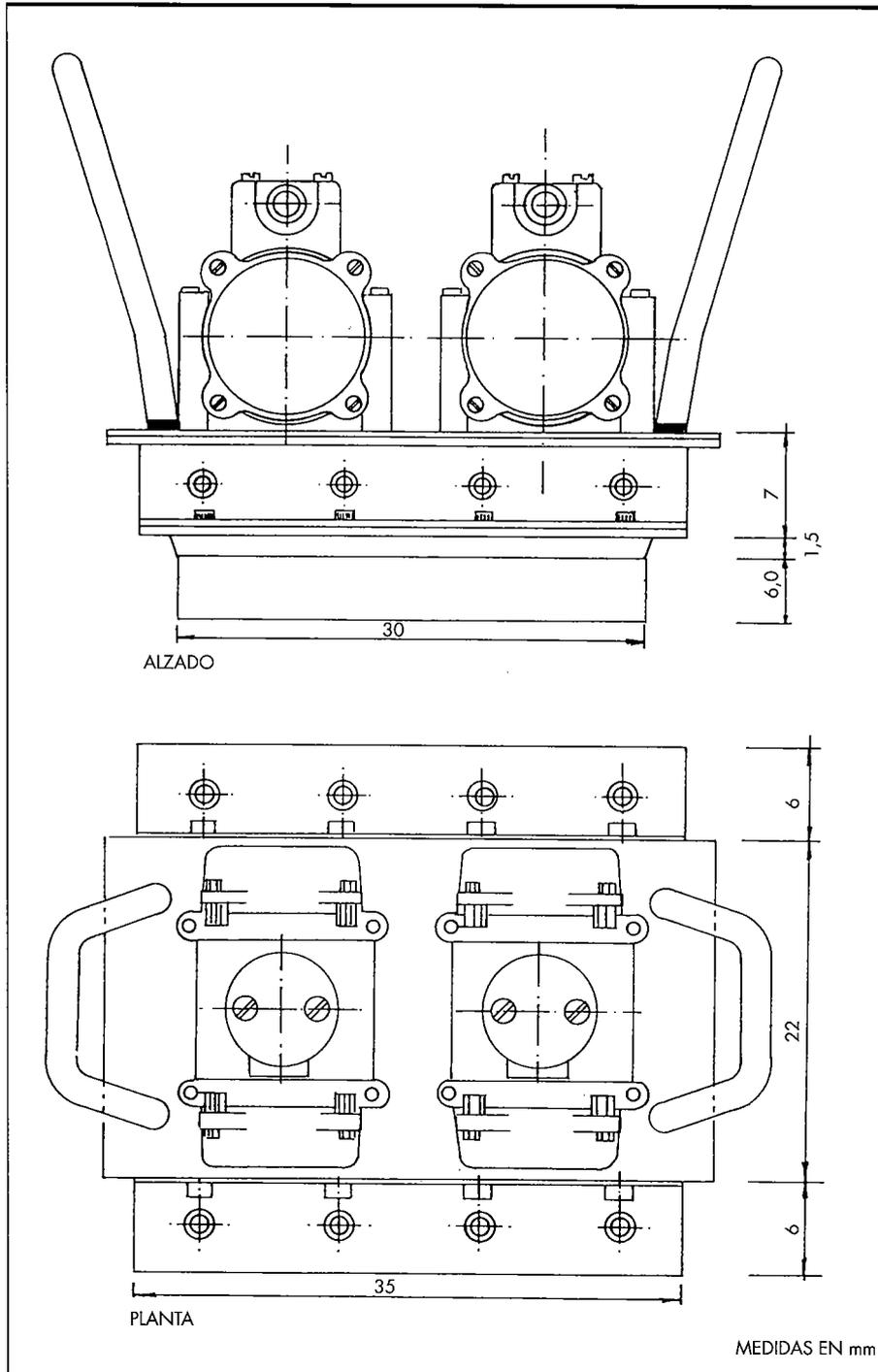


FIGURA 4. Elemento compactador.

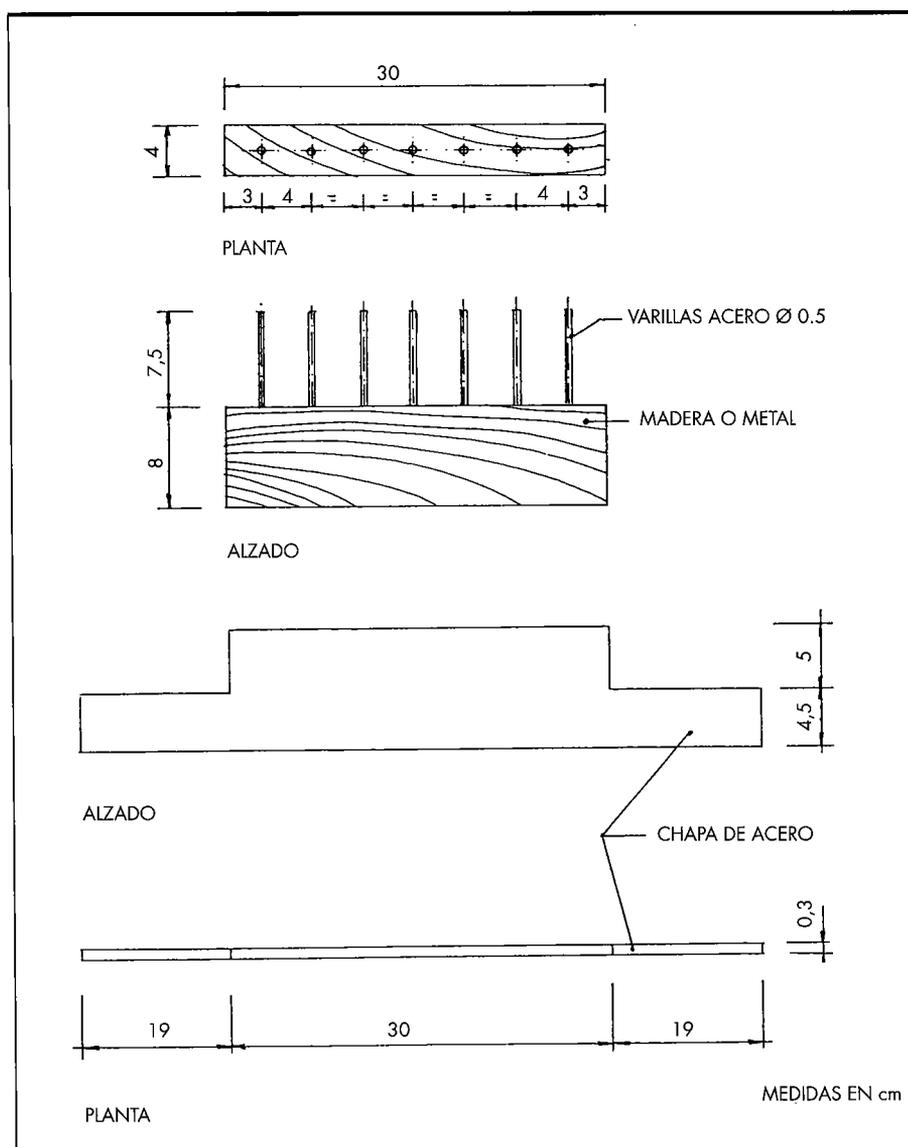


FIGURA 5. Utensilios de extensión y enrase.

**2.6 Cámara termostática.** Para lograr que la temperatura sea constante durante el ensayo, se dispondrá de una cámara que permita alojar la máquina y mantener la temperatura durante todo el ensayo con una variación máxima de  $\pm 1$  °C. Un modelo apropiado puede ser el fabricado con perfiles metálicos y paneles aislantes, con la forma y dimensiones que se sugieren en la figura 8. En uno de sus frentes llevará una ventana abatible acristalada para permitir la lectura durante el ensayo del micrómetro y de la temperatura. En uno de sus lados va situada la puerta de acceso de la máquina, para la colocación y retirada de la probeta. En el interior irá colocado el elemento calefactor, con termostato regulable desde el exterior, y dos ventiladores, uno situado detrás de dicho elemento

y el otro en posición lateral, con su eje perpendicular al del primero para una mejor homogeneización de la temperatura en el interior de la cámara.

**2.7 Estufa.** Para el calentamiento de los áridos, material bituminoso y moldes, se dispondrá de una o más estufas adecuadas, provistas de termostato que mantenga las temperaturas especificadas con un error menor de 3 °C.

**2.8 Mezcladora.** Es preferible que la operación de mezclado de los materiales se realice en una mezcladora mecánica, pudiendo utilizarse cualquier tipo siempre que sea de la capacidad adecuada y permita mantener la temperatura de la mezcla dentro de los límites exigidos. Podrá, ade-

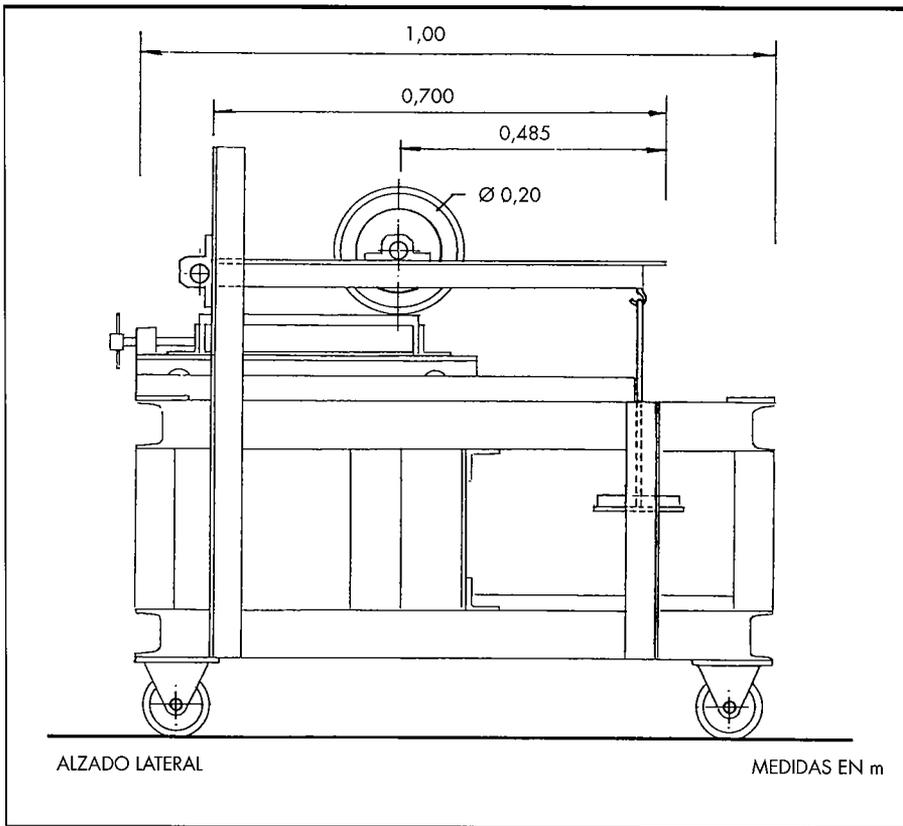


FIGURA 6. Máquina de ensayo.

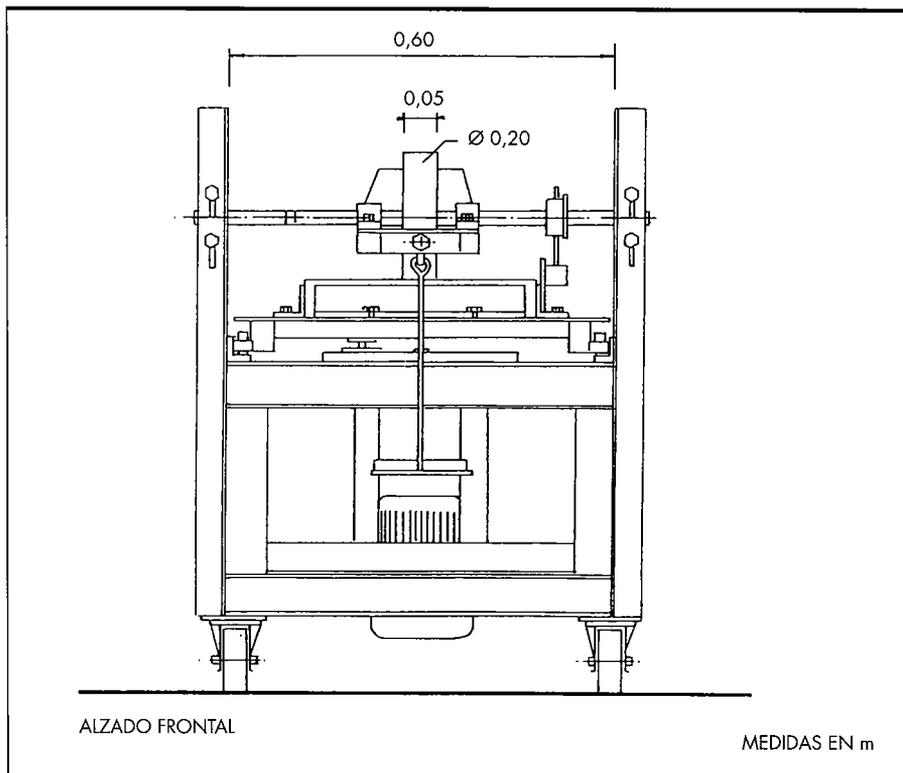


FIGURA 7. Máquina de ensayo.

más, producir una mezcla uniformemente cubierta y homogénea en el tiempo prescrito, sin alteraciones en la granulometría y permitirá un vertido correcto de la mezcla fabricada. Si el mezclado se realiza manualmente, se empleará un recipiente de tamaño adecuado, tomando las precauciones necesarias para evitar los sobrecalentamientos locales.

**2.9 Termómetros.** Para las medidas de las temperaturas de los áridos, ligante y mezcla bituminosa, se emplearán termómetros con escala de 0 a 200 °C y sensibilidad mínima de 3 °C.

**2.10 Balanzas.** Para pesar los áridos se utilizarán balanzas con campo de pesada suficiente y una sensibilidad mínima de 5 g. Para la pesada del polvo mineral y del ligante bituminoso se dispondrá de balanzas de sensibilidad igual o menor de 1 g.

**2.11 Material general.** Bandejas, cazos, espátulas, cogedores curvos, guantes, etc.

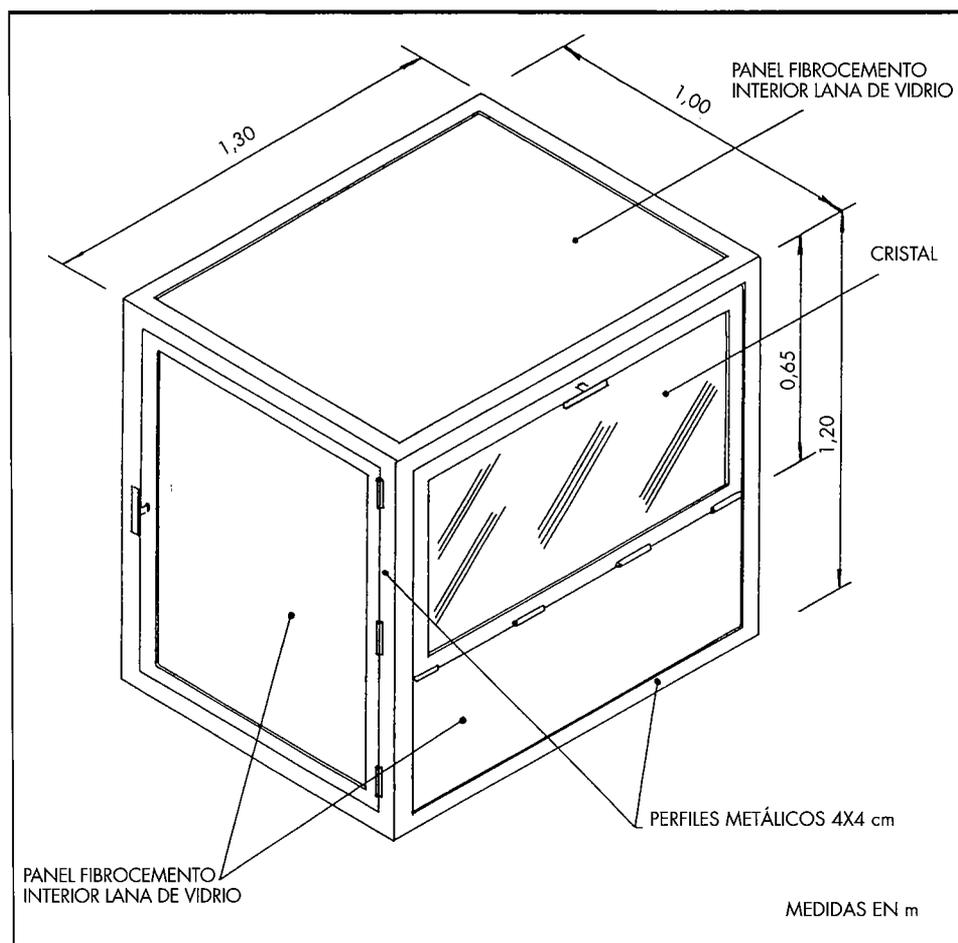
### 3 PROCEDIMIENTO

#### 3.1 Fabricación de las probetas

**3.1.1 Número de probetas.** Se fabricarán para cada ensayo un mínimo de tres probetas, por cada variable (contenido de ligante, temperatura, presión de contacto, etc.) que se desee estudiar.

**3.1.2 Masa de las probetas.** La cantidad de mezcla necesaria para cada probeta se calculará a partir de los valores correspondientes al volumen del molde y a la densidad relativa Marshall de la mezcla, para cuya aplicación se seguirán los siguientes criterios:

- En mezclas densas y semidensas (tráficos pesado y medio), se tomará para la densidad de la probeta el 97 % como mínimo, de la Marshall correspondiente.
- En las restantes mezclas, el cálculo se basará en el 95 % de la densidad Marshall.



**FIGURA 8.** Cámara de termostatación.

**3.1.3 Preparación de los áridos.** Las distintas fracciones que compongan la mezcla de áridos se secan completamente en estufa a una temperatura entre 105 y 110 °C.

**3.1.4 Temperaturas de mezcla y compactación.** Para la mezcla y compactación de las probetas, las temperaturas elegidas estarán en función de la viscosidad del ligante. En el caso de emplear un betún asfáltico, estas viscosidades serán de  $(170 \pm 20)$  cSt [(85 ± 10 SSF)] en el proceso de mezcla y de  $(280 \pm 30)$  cSt [(140 ± 15 SSF)] en el de compactación.

**3.1.5 Fabricación de la mezcla.** Se pesan sucesivamente en un recipiente de tara conocida las cantidades de cada fracción de áridos necesarias para la fabricación de una probeta, según los criterios expuestos en el apartado 3.1.2. La masa total de áridos se calienta a continuación en la estufa a una temperatura unos 30 °C superior a la determinada para el mezclado según 3.1.4, calentando simultáneamente el ligante a la temperatura necesaria según este mismo apartado. Cuando ambos materiales estén a sus respectivas temperaturas, se transfieren los áridos al recipiente de mezcla y se realiza un primer mezclado en seco a efectos de homogeneización; cuando los áridos hayan alcanzado la temperatura de mezclado prescrita en el apartado 3.1.4, se añade rápidamente la cantidad necesaria de ligante (Nota 3), realizando seguidamente la mezcla hasta conseguir un mezclado completo y homogéneo, no debiéndose emplear en esta operación más de dos minutos.

**Nota 3.** El ligante no deberá mantenerse a su temperatura de mezcla más de una hora.

**3.1.6 Compactación de las mezclas.** El molde y el collarín se calentarán en la estufa a una temperatura unos 15 °C superior a la de compactación. Una vez calientes, se coloca el molde sobre la base de compactación en su anclaje y se monta el collarín. Se transfiere a continuación la mezcla ya preparada al molde, a una temperatura como mínimo de 10 °C superior a la de compactación, evitando las segregaciones del material y se distribuye uniformemente y enrasa con los útiles correspondientes. Sobre la mezcla ya nivelada se coloca el elemento compactador y se realiza una compactación inicial de 75 s de duración, acabada la cual se desmonta el collarín, que se sustituye por los cuatro angulares colocados en los vértices del molde. A continuación se completa el proceso de compactación mediante otros 3 periodos de 75 s cada uno, realizados girando, en el mismo sentido y sucesivamente, el elemento compactador 90 grados respecto a la posición inicial. La

compactación puede aceptarse como correcta siempre que la altura de la probeta esté dentro de  $\pm 2$  mm respecto a los bordes del molde para probetas de espesor  $\leq 50$  mm, y del 5% de tal espesor para probetas con espesor  $\geq 50$  mm. Una vez finalizada la compactación, se deja enfriar la mezcla a temperatura ambiente durante un periodo entre 12 y 24 horas, antes de ensayarla.

**3.1.7 Determinación de la densidad.** Si se desea comprobar la densidad alcanzada por la probeta, se procede al desmoldeo de ésta una vez fría (Nota 4), determinando su masa mediante la balanza y su volumen por medidas geométricas de sus dimensiones. Deberán tomarse las precauciones necesarias para no alterar la probeta durante esta manipulación, debido a su forma y masa, volviéndola a colocar dentro del molde y en la misma posición relativa que tenía, lo más rápidamente posible.

**Nota 4.** Si se dispone de una balanza de suficiente carga para determinar la masa total de la probeta y el molde, puede realizarse esta determinación sin necesidad de desmoldar la probeta, conociendo previamente la masa del molde vacío y sus dimensiones interiores.

**3.1.8 Testigos de pavimento.** Cuando las muestras sean testigos procedentes de un pavimento ya construido, si aquéllos son de gran tamaño se pondrá un especial cuidado en su corte, almacenamiento y manejo, evitando deformaciones que pudieran alterar su geometría inicial. Sus dimensiones deben ser algo inferiores a las del molde, fijándolo a éste con escayola u otro material adecuado y procurando un asentamiento firme y duradero sobre la base, en evitación de cualquier movimiento o rotura durante el ensayo y manteniendo su superficie superior en el mismo plano horizontal del molde.

## 3.2 Realización del ensayo

**3.2.1 Temperatura de ensayo.** La temperatura normalizada para el ensayo será de  $(60 \pm 1)$  °C para todo tipo de mezclas y zonas climáticas. No obstante, pueden utilizarse otras temperaturas en estudios o ensayos especiales que así lo requieran.

**3.2.2 Presión de contacto de la rueda.** La presión de contacto normalizada ejercida por la rueda cargada sobre la superficie de la probeta durante todo el ensayo, será de  $(900 \pm 25)$  kN/m<sup>2</sup>, [(9 ± 0,25) kgf/cm<sup>2</sup>], para todo tipo de mezclas y zonas climáticas. Sin embargo, en casos especiales o cuando así se requiera, pueden utilizarse otras presiones de contacto.

**3.2.3 Ejecución del ensayo.** Después del periodo de enfriamiento de la mezcla, detallado en el apar-

tado 3.1.6, las probetas se introducen en una estufa regulada a  $(60 \pm 2)$  °C durante cuatro horas como mínimo antes de la ejecución del ensayo. Dos horas antes del comienzo del ensayo se conecta el sistema de calefacción de la cámara termostática, regulándolo a la temperatura especificada. Transcurrido este tiempo, se saca la primera probeta de la estufa, se levanta la rueda (Nota 5) y se fija el molde con la probeta en los anclajes que para este fin lleva el carretón móvil, sin que la rueda toque en ningún momento la superficie de la probeta. En estas condiciones se carga el brazo soporte con las pesas necesarias para conseguir la presión especificada, se cierra la cámara y se espera unos 30 minutos con objeto de homogeneizar la temperatura del ensayo. Seguidamente se apoya la rueda cargada sobre la superficie de la probeta y se pone en marcha el carretón durante tres pasadas completas, para conseguir un asentamiento de la rueda sobre la probeta. A continuación se para el carretón y, situándolo en el punto de medida del micrómetro, se pone éste a cero. Se cierra entonces la ventana lateral y transcurridos unos 5 minutos se comienza el ensayo, poniendo en movimiento el carretón durante un periodo de tiempo de 120 minutos sin interrupciones, o hasta que la deformación total alcance 15 mm, si ocurre antes, haciendo periódicamente las correspondientes lecturas de la deformación, según el apartado 4.1.1. Una vez finalizado el ensayo, se detiene la máquina, se levanta la rueda (Nota 5), y se extrae la probeta ensayada, colocando seguidamente la siguiente y repitiendo el mismo procedimiento de ensayo tal como se ha descrito.

**Nota 5.** Para facilitar la operación de montar o desmontar la probeta, es conveniente disponer de algún aparato que permita mantener la rueda levantada.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Obtención de los resultados

4.1.1 Se determinan y anotan las deformaciones totales leídas en el micrómetro en los minutos 1, 3 y 5 contados a partir del comienzo del ensayo; a

continuación cada 5 minutos hasta completar los 45 minutos y, a partir de aquí, cada 15 minutos hasta finalizar los 120 minutos de duración del ensayo.

4.1.2 Ensayadas todas las probetas, se calculan los valores medios de todas las deformaciones registradas correspondientes, según el apartado 4.1.1, los cuales se pasan a un gráfico deformación-tiempo y se dibuja la curva de deformación de la mezcla.

4.1.3 A partir de las deformaciones,  $d_i$  determinadas en el gráfico, correspondientes a los tiempos  $t$  del ensayo, se calcula, mediante la fórmula:

$$V_{t_2}/V_{t_1} = \frac{d_{t_2} - d_{t_1}}{d_2 - t_1}$$

la velocidad,  $V$ , de deformación media correspondiente al intervalo de tiempos  $t_2/t_1$ , parámetro que vendrá expresado en  $10^{-3}$  mm/min.

## 4.2 Expresión de los resultados

4.2.1 Los resultados del ensayo incluirán la siguiente información:

- Tipo y características de la mezcla.
- Origen de la mezcla (laboratorio, obra, testigo, etcétera).
- Temperatura del ensayo.
- Presión de contacto.
- Deformación total al final del ensayo, en mm.
- Representación gráfica de la curva deformación-tiempo.
- Velocidades de deformación en aquellos intervalos de tiempo en los que se manifieste claramente el comportamiento de la mezcla en el ensayo, como pueden ser:
  - Velocidad en el intervalo 30 a 45 minutos,  $V_{30/45}$
  - Velocidad en el intervalo 75 a 90 minutos,  $V_{75/90}$
  - Velocidad en el intervalo, 105 a 120 minutos  $V_{105/120}$

## 5 PRECISIÓN

Muestras	Nivel del resultado de ensayo (mm/h)	Repetibilidad $r$ (mm/h)	Reproducibilidad $R$ (mm/h)
Laboratorio	2,6	0,6	1,2
Pavimento	2,2	0,8	1,4
	8,1	3,1	5,9
	13,5	4,0	5,7

TABLA 1. Precisión para las velocidades de deformación (mm/h) en mezclas de laboratorio y de pavimento.

**Nota 6** Los valores de precisión que se muestran en la tabla 1 se determinaron experimentalmente en el Reino Unido siguiendo la norma ISO 5725. Las muestras procedentes de pavimento (testigos) se estudiaron en 1992 en once laboratorios, de los que se excluyeron los datos procedentes de uno por erráticos. Las muestras fabricadas en laboratorio se estudiaron en 1994 en siete laboratorios. Para ambos experimentos la temperatura de ensayo fue de 45 °C, la carga de 700 N y los resultados son la media de la velocidad de deformación de seis porciones de la muestra para ensayo.

## 6 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

Wheel Tracking Test. (Transport and Road Research Laboratory).

“Comprobación y Puesta a punto de la Norma provisional para la Máquina de Ensayo en Pista de Laboratorio”. Documento núm. 2 (TM-2817). Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo “José Luis Escario”. Dic. 1978.

PrEN 12697 – 22 “Test methods for hot mix asphalt – Wheel tracking. Work item No 00227128.1997.

BS 598-110:1998 “Methods of test for the determination of wheel-tracking rate and depth”.

---