

## Coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo del TRRL

### 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la realización de medidas de resistencia al deslizamiento con el péndulo del Transport and Road Research Laboratory (British Portable Skid Resistance Tester), tanto en laboratorio como en pavimentos.

1.2 El procedimiento tiene por objeto obtener un Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C. R. D.) que, manteniendo una correlación con el coeficiente físico de rozamiento, valore las características antideslizantes de la superficie de un pavimento. Los resultados obtenidos mediante este ensayo no son necesariamente proporcionales o corre-

lativos con medidas de rozamiento hechas con otros equipos o procedimientos.

1.3 El ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas provisto en su extremo de una zapata de goma, cuando la arista de la zapata roza, con una presión determinada, sobre la superficie a ensayar y en una longitud fija. Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo.

1.4 El método de ensayo puede emplearse también para medidas en pavimentos de edificaciones industriales, ensayos de laboratorio sobre probetas, baldosas o cualquier tipo de muestra de superficies planas terminadas. No es objeto de esta norma la me-

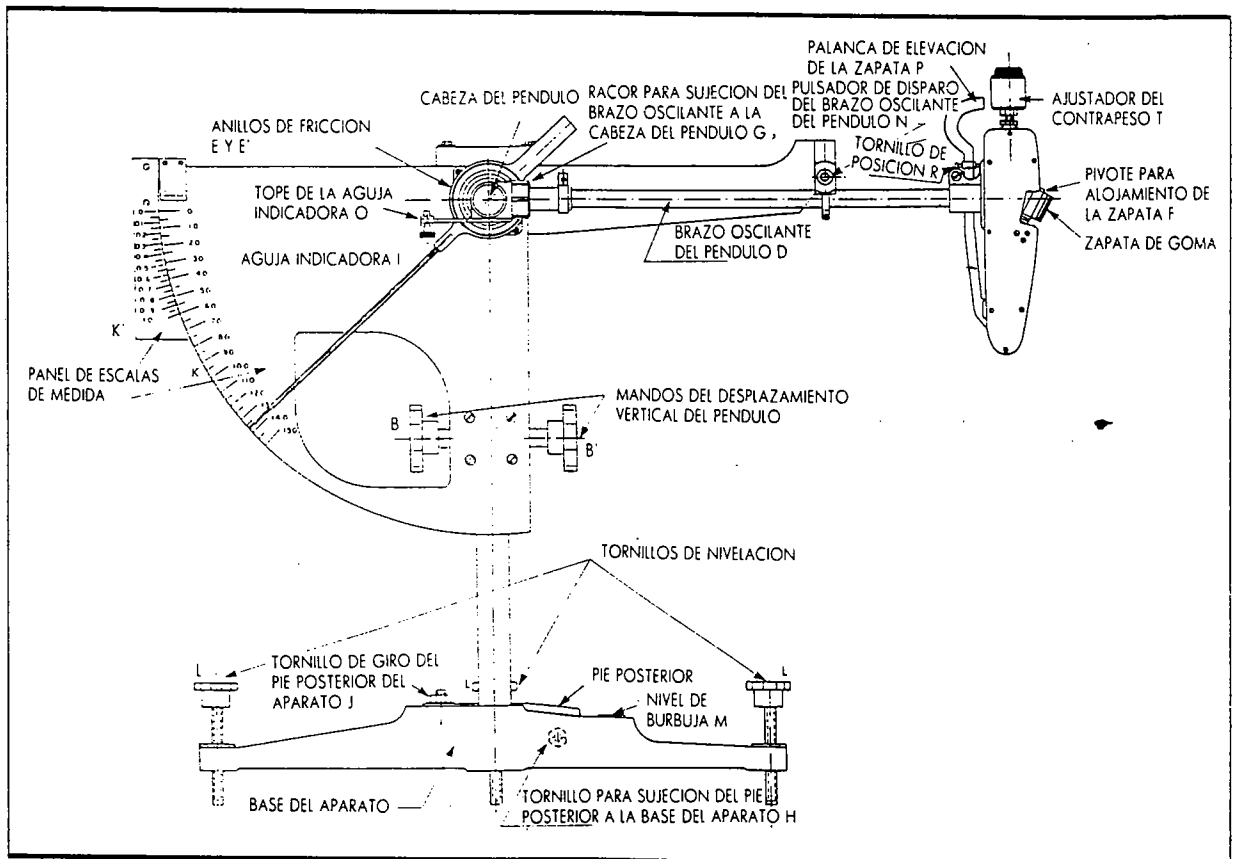


FIGURA 1. Péndulo del TRRL.

didada sobre probetas para determinar el pulimento acelerado de los áridos (NLT-174).

## 2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

**2.1 Péndulo del TRRL.** Se emplea el aparato representado en la Figura 1, desarrollado y diseñado por el Transport and Road Research Laboratory, cuyas características son:

**2.1.1 El péndulo propiamente tal (Figura 2a),** con la zapata y su placa soporte debe tener una masa de  $1.500 \pm 30$  g. Su centro de gravedad estará situado en el eje del brazo, a una distancia de  $411 \pm 4$  mm del centro de oscilación. El arco de circunferencia descrito por el borde de la zapata, con centro en el eje de suspensión, tendrá un radio de 508 mm. La zapata del péndulo ejercerá una fuerza de  $24,52 \pm 0,98$  N ( $2.500 \pm 100$  gf) sobre la superficie de ensayo y en su posición media de recorrido. La variación de tensión del muelle sobre la zapata no será mayor de 216 N/m (220 gf/cm).

**2.1.2 La zapata de goma va pegada sobre una placa de aluminio (Figura 2b),** que comprende un casquillo para su fijación al pivote (F) del brazo del péndulo, formando un ángulo de  $70^\circ$  con el eje de este brazo y de manera tal que solamente la arista posterior de la goma quede en contacto con la superficie a medir, pudiendo girar alrededor del pivote (F), recorriendo las desigualdades de la superficie de ensayo y manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo.

**2.1.2.1 Características de la zapata.** Las dimensiones de la zapata de goma a emplear en las medidas de resistencia al deslizamiento serán (Figura 3a) de 76,2 mm de longitud, 25,4 mm de ancho y 6,5 mm de grueso. La masa del conjunto zapata y placa-soporte de aluminio será de  $36 \pm 7$  g. Las zapatas estarán cortadas de una plancha de goma de 6,5 mm de espesor y con una edad mínima de fabricación de seis meses, y habrán de cumplir las especificaciones de la Tabla 1.

**2.1.3 Dispositivo de nivelación.** El dispositivo de nivelación será del tipo de tornillo (L), acoplado

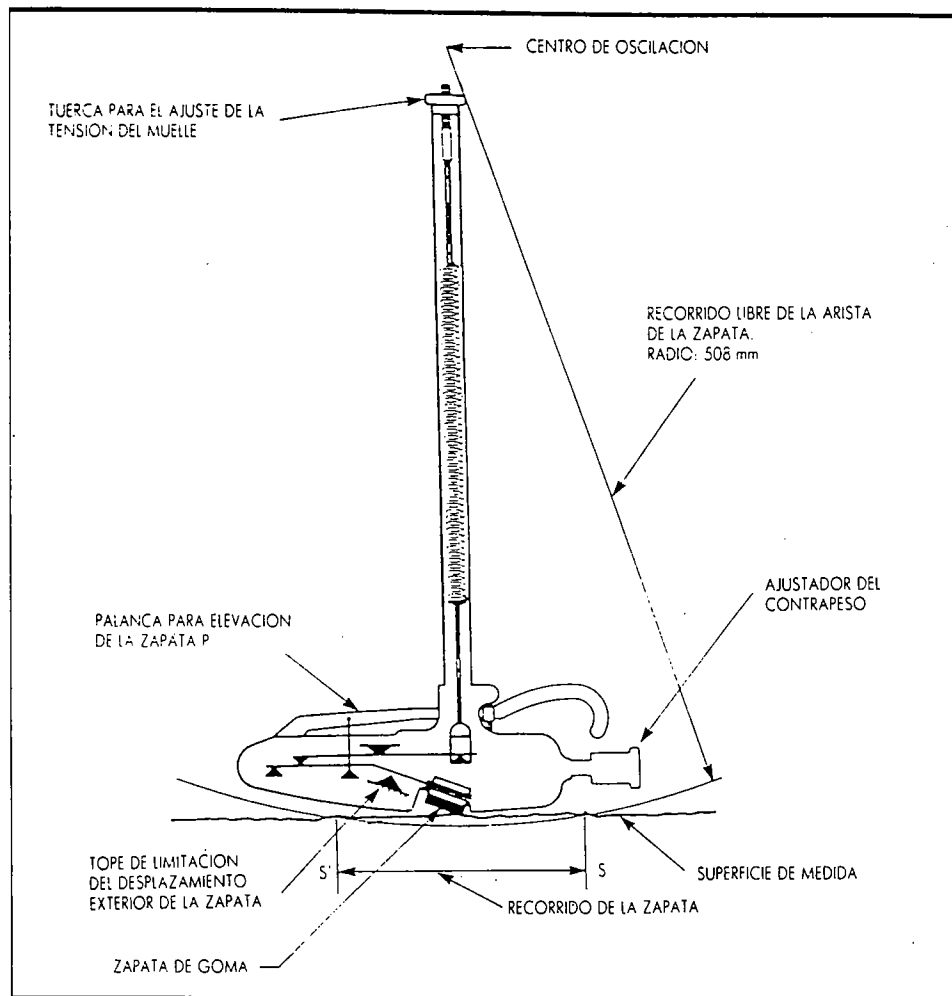


FIGURA 2a. Detalle del brazo del péndulo.

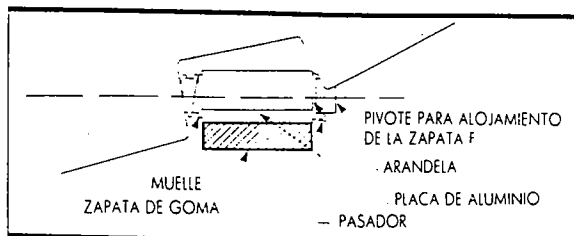


FIGURA 2b. Detalle de la disposición de la zapata de goma.

en cada uno de los tres puntos de apoyo del aparato, con un nivel de burbuja (M) para situar la columna del instrumento en posición vertical (Figura 1).

#### 2.1.4 Dispositivo de desplazamiento vertical.

Un dispositivo que permita mover verticalmente el eje de suspensión del péndulo (Figura 4), de manera que la zapata mantenga contacto con la superficie a ensayar en una longitud entre 124 y 127 mm. El movimiento vertical de la cabeza del aparato, so-

CARACTERISTICAS	TEMPERATURA, °C				
	0	10	20	30	40
Resiliencia, % *	42-47	55-62	61-68	64-71	66-73
Grados de dureza I.R.H. **	55 ± 5				

\* El ensayo de resiliencia con el resiliómetro Lupke se describe en la norma B.S. 903, parte A-8.

\*\* El grado de dureza International Rubber Hardness se mide según la norma B.S. 903, parte A-26.

**Nota 1** Se recomienda utilizar las zapatas homologadas por la Dirección General de Carreteras, Demarcación de Carreteras de Madrid.

**TABLA 1.** Especificaciones de resiliencia y dureza de la goma para zapatas.

lidariamente con el brazo oscilante (D), escalas graduadas (K), aguja indicadora (I) y mecanismo de disparo (N), se efectuará por medio de una cremallera (C), fijada en la parte posterior de la columna vertical y de un piñón accionado por uno cualquiera

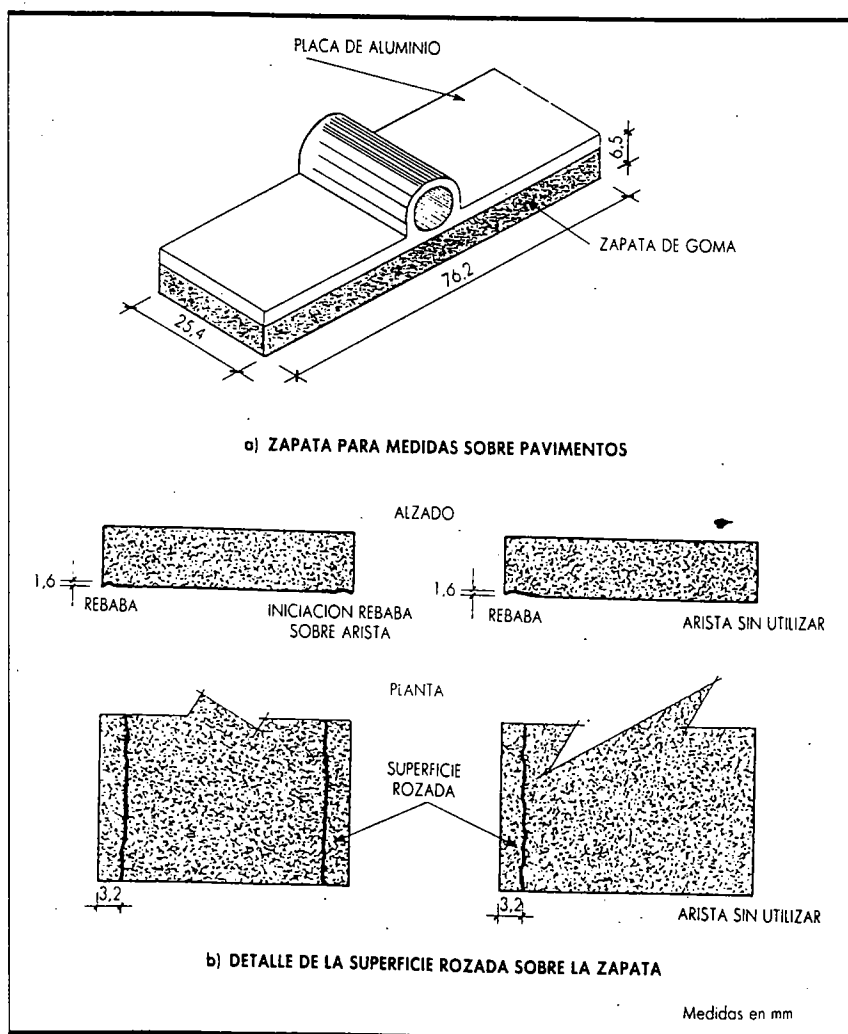


FIGURA 3. Zapata de goma.

Medidas en mm

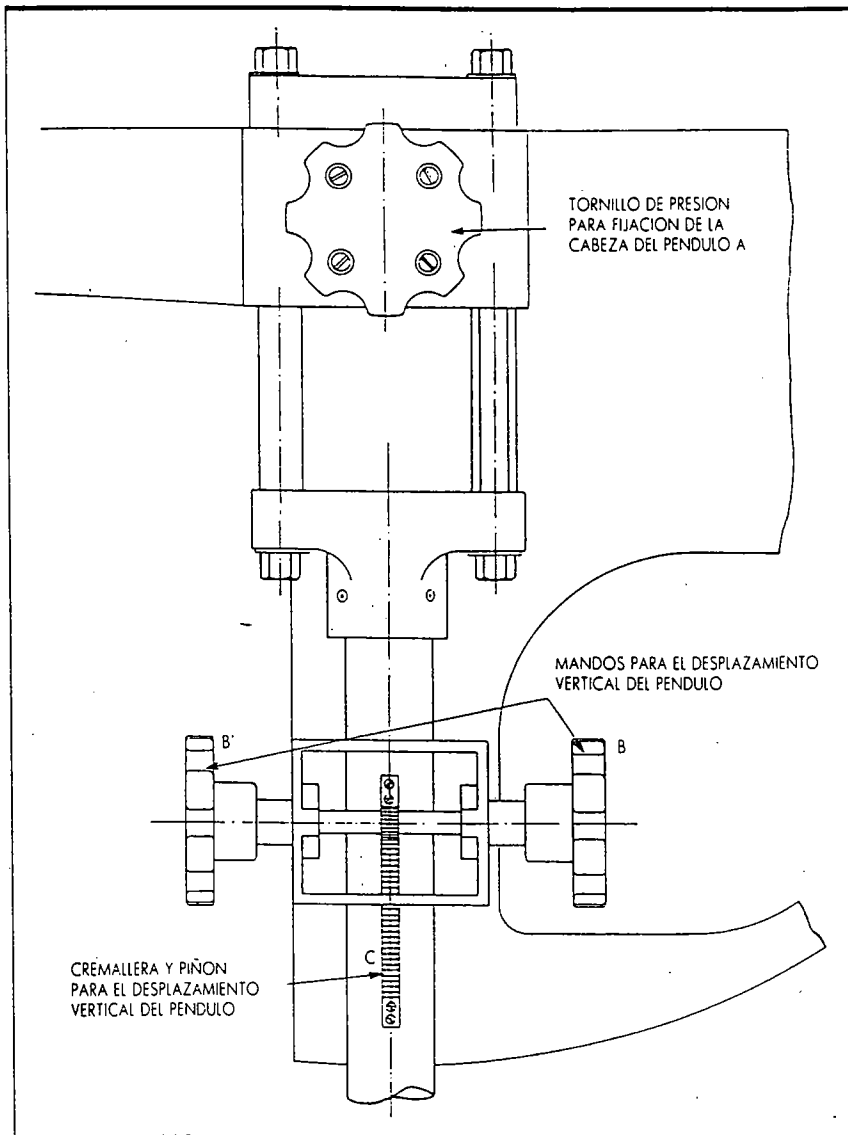


FIGURA 4. Detalle del dispositivo de desplazamiento vertical del péndulo.

de los mandos (B y B') (Figura 4). La cabeza quedará fijada por medio del tornillo de presión (A).

**2.1.5 Dispositivo de disparo del brazo del péndulo.** Un dispositivo para sujetar y soltar el brazo del péndulo (N) (Figura 1), de forma que éste caiga libremente desde su posición horizontal.

**2.1.6 Dispositivo de medida.** Un dispositivo consistente en una aguja (Figura 1), de masa 85 g y longitud 300 mm, equilibrada respecto a su centro de suspensión, para indicar, al final de su recorrido, la posición del brazo del péndulo sobre una escala circular (K) grabada sobre un panel o sobre una escala auxiliar (K') utilizada en la determinación del pulimento acelerado de los áridos (NLT-174). Un sistema de fricción del mecanismo de suspensión de la aguja que será regulable mediante los anillos de

fricción roscados (E y E') (Figura 5), de manera tal que, con el brazo del péndulo moviéndose libremente desde su horizontal, la aguja sea arrastrada por la oscilación del brazo hasta un punto situado a 10 mm por debajo de la horizontal que pasa por el centro de oscilación (punto «cero» de la escala de medida).

## 2.2 Material auxiliar

**2.2.1 Reglilla graduada.** Una reglilla graduada (Figura 6), cuyas marcas externas estén separadas 127 mm, siendo la separación entre una marca exterior y la interior más próxima de 2,5 mm.

**2.2.2 Termómetro.** Un termómetro con graduación en grados Celsius y escala de  $-10$  a  $+60^{\circ}$  C.

**2.2.3 Recipientes para agua.** Dos recipientes de material plástico y tapón de rosca, conteniendo

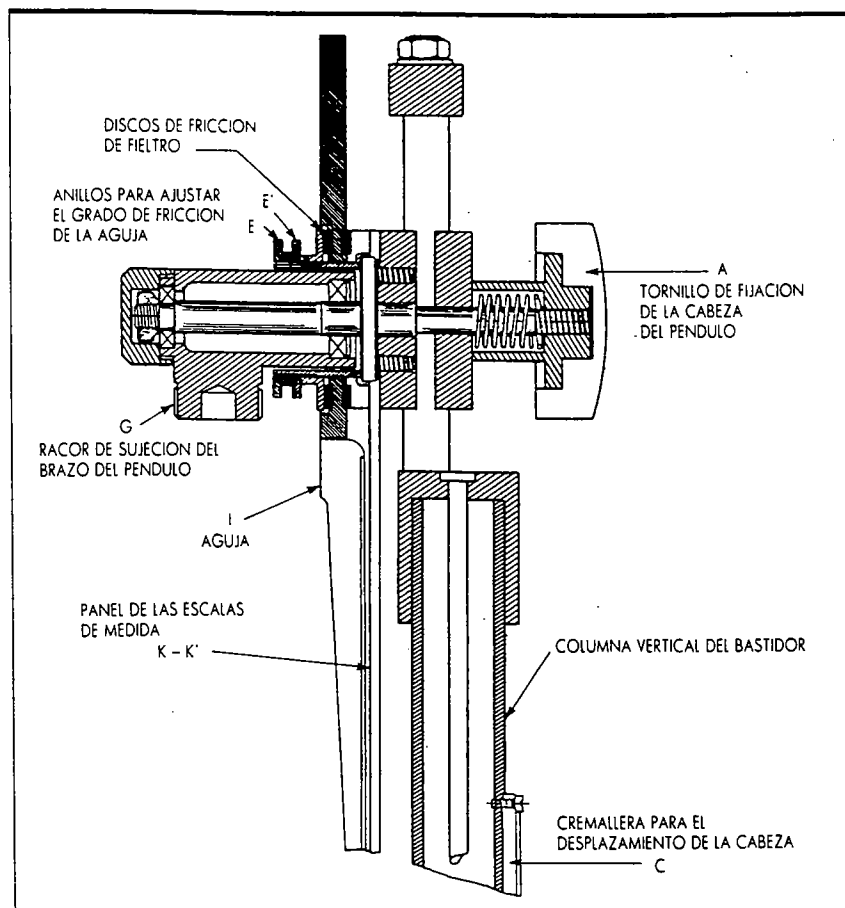


FIGURA 5. Detalle del mecanismo de suspensión del péndulo.

agua potable o destilada. Uno con capacidad de 10 litros y el otro con capacidad de 0,5 litros. El más pequeño llevará en el tapón un tubo de salida con orificio de unos 3 mm de diámetro.

**2.2.4 Cepillo.** Un cepillo de cerdas de goma dura con longitud mayor de 2 cm, que pueda abarcar una superficie de barrido de 16 cm<sup>2</sup>, para la limpieza de la superficie a medir.

**2.2.5. Cinta métrica.** Una cinta métrica de longitud igual o superior a 15 m para situar los puntos de medida.

**2.2.6 Caja de herramientas.** Caja de diseño particular para transportar las herramientas, zapa-  
tas, termómetro, reglilla, tiza, lapiceros, etc., elementos todos necesarios para efectuar medidas en el campo.

**2.2.7 Caja de transporte.** Caja especial para transportar el equipo de medida.

**2.2.8 Banqueta para asiento del operador al realizar medidas en el campo.**

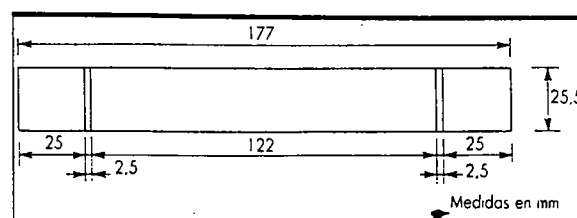


FIGURA 6. Reglilla graduada para ajustar la longitud de medida sobre la superficie de ensayo.

**2.2.9 Superficie testigo.** Una lámina autoadhesiva modelo «Safety-Walk» tipo B, fabricada por Minesota de España, S. A., para el acondicionamiento de las zapa-  
tas nuevas.

### 3 MONTAJE DEL APARATO

**3.1** Se extrae el cuerpo principal del aparato de la caja de transporte y se coloca en posición de trabajo el pie posterior de la base, haciéndolo girar sobre el tornillo (J) (Figura 1) y sujetándolo con el torni-

llo (H). Seguidamente se fija el brazo oscilante (D) en la cabeza del aparato mediante el racor (G).

**3.2** En el brazo del péndulo y sobre el pivote (F), se ajusta la zapata de goma, sujetándola con una arandela y un pasador.

**3.2.1** Las zapatas de goma nuevas deben ser acondicionadas antes de su empleo, realizando diez (10) disparos sobre la superficie testigo en condiciones secas. Los disparos deben ejecutarse preparando el ensayo tal como se indica en el apartado 4.3.

**3.2.2** Deberá cambiarse la arista de rozamiento de la zapata con la que se efectúen las medidas cuando presente una superficie rozada superior a los 3,2 mm de ancho o un desgaste en la arista superior a 1,6 mm de alto (Figura 3b).

**3.3** Se nivela el aparato por medio de los tornillos (L), que van situados en cada uno de los pies de su base, y del nivel de burbuja (M) situado sobre la misma base, a la derecha (Figura 1).

**3.4** A continuación se eleva la cabeza del aparato, de forma tal que el brazo del péndulo oscile sin rozar la superficie a medir y se procede a comprobar el «cero» de la escala de medida.

**3.4.1** Para ello se lleva el brazo del péndulo a su posición horizontal hacia la derecha del aparato, quedando enganchado automáticamente en el mecanismo de disparo (N) (Figura 1). Después se desplaza la aguja indicadora (I) hasta el tope (O) situado en la cabeza del aparato, de forma que quede paralela al eje del brazo del péndulo. Este tope, constituido por un tornillo, permite corregir el paralelismo

entre la aguja y el brazo. Seguidamente, por presión sobre el pulsador (N) se dispara el brazo del péndulo, que arrastrará la aguja indicadora solamente en su oscilación hacia adelante (Nota 2). Se anota la lectura señalada por la aguja de la escala (K o K') del panel y se vuelve el brazo a su posición inicial de disparo (Nota 3). La corrección de la lectura del «cero» se realiza mediante el ajuste de los anillos de fricción (E y E') (Figuras 1 y 5). Si la aguja sobrepasa el «cero» de la escala, la corrección exigirá apretar los anillos de fricción (E y E'). Si la aguja no alcanza el «cero» de la escala, la corrección exigirá aflojar los anillos de fricción (E y E') (Nota 4).

**Nota 2** Es conveniente sujetar el aparato con una ligera presión de la mano izquierda sobre la parte superior de la columna vertical, cada vez que se efectúe un disparo del péndulo, al objeto de evitar movimientos o vibraciones en su base.

**Nota 3** Deberá recogerse el brazo oscilante en su recorrido de regreso antes de que pase por la posición vertical, al objeto de que no arrastre la aguja indicadora en la oscilación de vuelta ni choque contra el pavimento y, cuando se realizan medidas, evitar el roce de la zapata sobre la superficie de contacto y su consecuente deterioro, por lo que se debe pasar la zapata sin tocar la superficie de ensayo ayudándose de la palanca de elevación (P).

**Nota 4** En la comprobación del «cero» del aparato se harán los necesarios disparos y correcciones con los anillos de fricción, hasta que la aguja marque tres veces consecutivas la lectura «cero».

## 4 PROCEDIMIENTO OPERATORIO

### 4.1 Operaciones previas en pavimentos

**4.1.1** En calzadas se procede en primer lugar a la inspección visual del pavimento objeto del ensayo, dividiéndolo en tramos de iguales características en toda su longitud y que no superen los 1.000 m. Dentro de cada tramo se selecciona una zona y, en ésta, de tres (3) a diez (10) secciones transversales sepa-

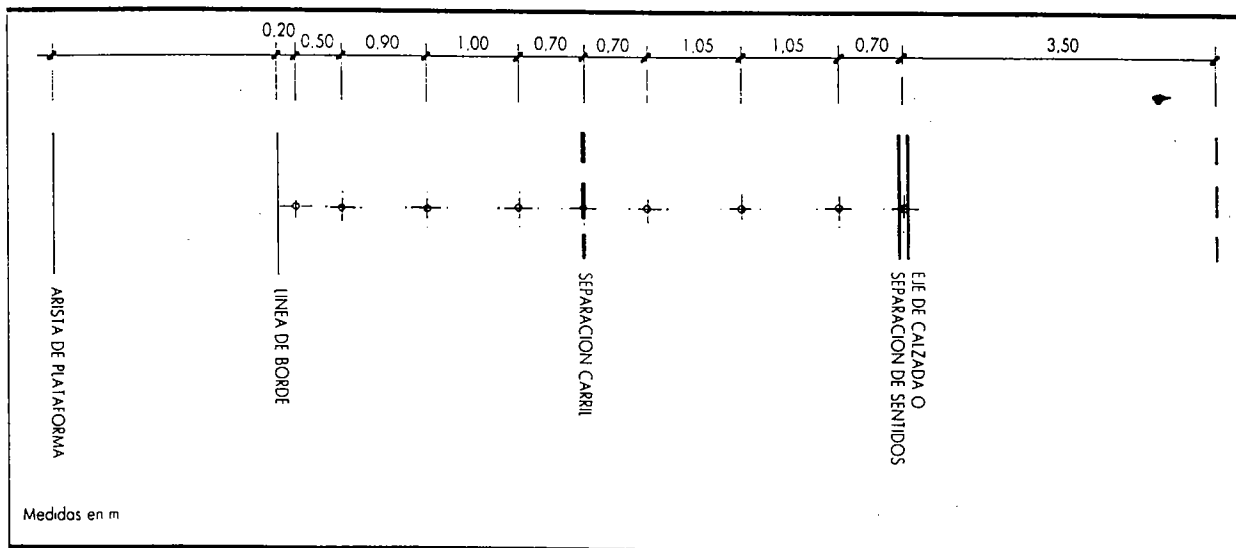


FIGURA 7. Ejemplo de distribución transversal de puntos de ensayo sobre pavimentos de carreteras.

radas por una longitud de 5 a 10 m. Se elige una distribución transversal de los puntos de ensayo, igual para todas las secciones. En cada sección se fijan puntos de ensayo en las rodadas, cumbre del bombeo o centro de la calzada y a 20 cm del borde de la calzada (Figura 7). También podrán elegirse puntos de ensayos entre rodadas o cualesquiera otros que se sospeche puedan tener carácter deslizando.

**4.1.2** En otros pavimentos se procede a su inspección y división en tramos que no superen los 1.000 m, eligiendo en cada tramo una zona, y en ésta de 10 a 30 puntos de ensayo, distribuidos para que la muestra sea representativa. Podrá seguirse una distribución similar a la indicada para calzadas y fijar dos o más franjas o superficies (p. e., periféricas, de uso, etc.).

**4.1.3** Es recomendable efectuar una inspección meticulosa del estado del pavimento a ensayar, detallando cuantas irregularidades sean observadas en los puntos de medida.

## 4.2 Operaciones previas en laboratorio

**4.2.1** Sólo podrán ensayarse probetas o losas con superficie, aproximadamente plana, que pueda contener un rectángulo de 150 × 90 mm.

**4.2.2** Se eligen hasta tres puntos de ensayo por probeta o losa, procurando que los rectángulos barridos por la zapata del péndulo produzcan el mínimo solape y las direcciones de barrido formen ángulos de 45° o superiores.

**4.2.3** En probetas y losetas no sometidas al uso o desgaste, es conveniente realizar el ensayo en los dos sentidos para cada dirección elegida.

**4.2.4** Normalmente para el ensayo de muestras de probetas o losetas es necesario disponer de elementos especiales que faciliten la situación y fijación del péndulo y sujeción de la muestra. La parte inferior de la base del péndulo debe quedar entre 10 y 30 mm por encima de la superficie de la muestra.

## 4.3 Procedimiento de ensayo

**4.3.1** El péndulo una vez montado, como se indica en 3.1 y 3.2, se coloca en el punto de ensayo elegido de modo que la vertical del centro de la zapata coincida con el punto marcado, y que la dirección de barrido sea la elegida. Seguidamente se procede a su nivelación tal como se especifica en 3.3 (Nota 5).

**Nota 5** Cuando el péndulo no haya sido utilizado en las ocho (8) horas anteriores a un ensayo, antes de efectuar cualquier serie de medidas se realizarán cinco (5) disparos sobre una probeta pulimentada o sobre una zona de pavimento sometida al tráfico.

**4.3.2** Comprobado el «cero» del aparato, como se indica en el apartado 3.4, se ajusta la altura de la cabeza del péndulo de forma que la zapata de goma, en su contacto sobre la superficie del pavimento, recorra una longitud entre 124 y 127 mm. Se deja el brazo del péndulo (D) libre y en su vertical y se coloca la galga (sujeta con una cadenilla en la base del aparato) bajo el tornillo de posición (R) de la palanca de elevación (P), con lo que se elevará la zapata de goma. Se baja entonces la cabeza del aparato, sin mover el brazo del péndulo de su posición vertical, hasta que la zapata justamente toque la superficie a medir. Se fija ahora la cabeza del aparato en esta posición por medio del tornillo (A) y se retira después la galga. Se hace oscilar el brazo del péndulo hasta que la zapata toque justamente los bordes de la superficie de ensayo, primero a un lado y luego al otro de la vertical. La longitud de rozamiento será la distancia entre los dos bordes de contacto S y S' (Figura 2a), en el recorrido de la zapata sobre la superficie a medir. La longitud de rozamiento correcta, se comprueba utilizando la regilla (Figura 6) descrita en el apartado 2.2.1. Todo roce de la zapata al moverse a través de la superficie de contacto deberá ser siempre evitado usando la palanca de elevación (P). Siempre que sea preciso, la corrección de la longitud de rozamiento se efectuará mediante una ligera elevación o descenso vertical de la cabeza del péndulo.

**4.3.3** Una vez montado el aparato, comprobada la medida del «cero» y controlada la longitud de rozamiento de la zapata, se coloca el brazo del péndulo y la aguja indicadora en su posición correcta de disparo.

**4.3.4** La superficie de pavimento a ensayar se limpia con el cepillo que se indica en el apartado 2.2.4, asegurándose de que quede libre de partículas sueltas.

**4.3.5** Antes de efectuar las medidas de ensayo, se humedece la zapata con abundante agua limpia y se moja la superficie del pavimento, extendiendo el agua sobre el área de contacto ayudándose con el cepillo descrito en el apartado 2.2.4.

**4.3.6** Se procede entonces a la realización de las medidas correspondientes, dejando caer libremente desde su posición de disparo el brazo del péndulo que arrastra la aguja, anotándose la lectura marcada por ésta en la escala (K) y redondeando al número entero más próximo. Después de cada disparo y medida, el brazo del péndulo y la aguja se vuelven a su posición de disparo, procediéndose en la forma que se indica en la Nota 3. La medida se repite cinco (5) veces sobre cada punto de ensayo y operando siempre en las mismas condiciones, volviendo a mo-

jar con agua a la temperatura ambiente la superficie de ensayo antes de cada disparo. Si las lecturas de las cinco (5) medidas no difieren en más de tres (3) unidades, se anota el valor medio resultante como valor efectivo de la lectura en el punto ensayado. Si la diferencia entre las cinco (5) lecturas es mayor de tres (3) unidades, se continúa realizando medidas hasta que tres consecutivas den la misma lectura, en cuyo caso se toma esta última como valor efectivo de la lectura en el punto ensayado.

4.3.7 Se mide la temperatura ambiente en el punto de ensayo, colocando en su proximidad sobre el pavimento y a la sombra el termómetro descrito en el apartado 2.2.2. Asimismo se anota la temperatura del agua, cuyo recipiente debe estar a la intemperie durante la ejecución del ensayo (en laboratorio, en la misma zona ambiental).

## 5 RESULTADOS

5.1 El resultado del ensayo de resistencia al deslizamiento se expresará en tanto por uno, en forma de:

$$\text{Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.R.D.)} = \frac{\text{lectura efectiva}}{100}$$

5.2 Las medidas efectuadas sobre pavimentos están siempre afectadas por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada. La uniformidad del valor de las medidas a realizar, bajo cualesquiera condiciones climatológicas, exige una corrección del coeficiente obtenido mediante el gráfico de la Figura 8, para expresar los resultados del ensayo a 20 °C.

5.3 Expresión de los resultados obtenidos en ensayos sobre pavimentos.

5.3.1 El resultado de las medidas efectuadas sobre un pavimento, será expresado especificando los valores obtenidos en cada uno de los tramos independientemente, de acuerdo con la distribución estipulada en el apartado 4.1.1 o 4.1.2.

5.3.2 Los resultados de las medidas efectuadas en cada zona de ensayo de un tramo de calzada serán expresados por, al menos, tres (3) valores, correspondientes cada uno, a «bordes», «rodada» y «centro» de la calzada (Figura 9). Serán considerados «bordes» la superficie del arcén y hasta 50 cm hacia el interior de la calzada; «centro», las bandas de 50 cm de anchura existentes a cada lado de las líneas de carril o de separación de sentido de circulación; y «rodadas», el resto de la calzada. Cada uno de los tres o más valores obtenidos será la media aritmética de todas las lecturas efectuadas sobre los

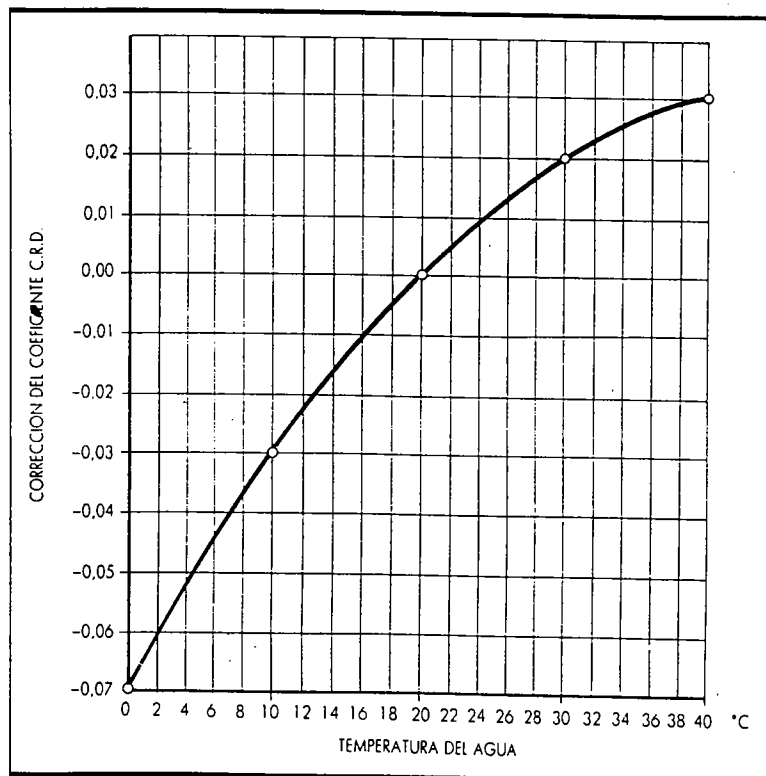


FIGURA 8. Corrección a aplicar al coeficiente de resistencia al deslizamiento a distintas temperaturas para obtener el valor correspondiente a 20 °C.



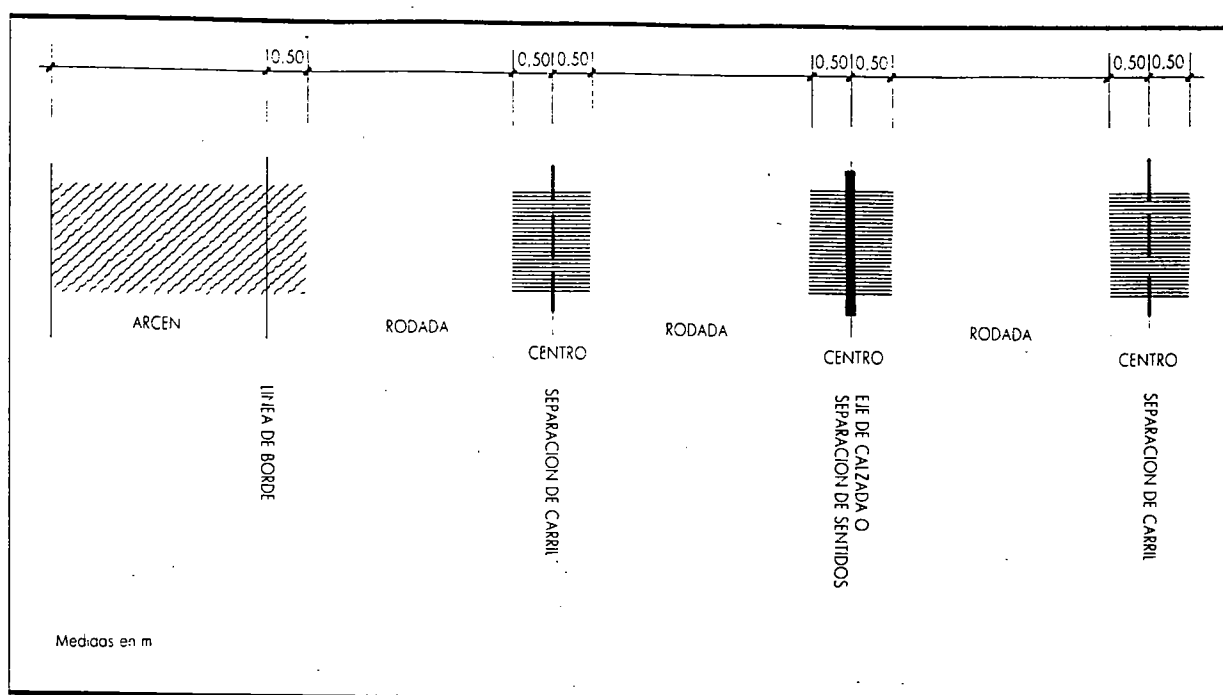


FIGURA 9. Bandas consideradas para la expresión de los resultados.

puntos de ensayo situados en las superficies consideradas y en todas las secciones transversales de cada tramo.

**5.3.3** En pavimentos distintos de calzadas, si no se hubiese hecho distribución de franjas, el resultado de las medidas efectuadas será el valor de la media aritmética de las lecturas efectuadas en cada zona. En otro caso, los resultados se expresarán en forma semejante a lo indicado en 5.3.2 para calzadas, con expresión de la denominación dada a cada franja.

**5.4** Los resultados de ensayos sobre probetas o losetas se expresarán por el valor de la media aritmética de las lecturas efectuadas sobre la probeta o loseta.

## 6 OBSERVACIONES

**6.1** Después de un determinado número de medidas efectuadas con el péndulo (5 ó 6 puntos de ensayo), es conveniente realizar una nueva comprobación del «cero» del aparato, tal como se indica en el apartado 3.4.

**6.2** Cuando se efectúan medidas en el campo, suelen presentarse dificultades si hay fuertes vientos

racheados. En tales condiciones se recomienda colocar el aparato de forma tal que el plano de oscilación del péndulo sea normal a la dirección del viento, protegiéndolo en lo posible de su acción directa.

**6.3** Es muy conveniente efectuar calibraciones periódicas del péndulo de ensayo. Para estas comprobaciones de mantenimiento del aparato, la Dirección General de Carreteras del MOPU dispone de los elementos necesarios, pudiendo recurrir a dicho Organismo cualquier laboratorio que precise sus servicios.

## 7 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

ASTM E 303-83: «Method of Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester».

BS 812: Part 3: 1975. «Testing aggregates. Method for determination of mechanical properties».

## 8 NORMA PARA CONSULTA

NLT-174/72 «Pulimento acelerado de los áridos».