

**Coefficiente de resistencia al deslizamiento
con el péndulo del RRL**

1. OBJETO

- 1.1. Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse en la realización de medidas de resistencia al deslizamiento en pavimentos con el péndulo del Road Research Laboratory (British Portable Skid Resistance Tester), tanto en el laboratorio como en el campo.
- 1.2. Tiene por objeto obtener un Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.R.D.) que, manteniendo una correlación con el coeficiente físico de deslizamiento, valore las características antideslizantes de una superficie desde el punto de vista de un vehículo en circulación. Los valores medidos, C.R.D., representan las características antideslizantes obtenidas con los aparatos y procedimientos descritos aquí y no son necesariamente proporcionales o correlativos con medidas de deslizamiento hechas con otros equipos.
- 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 en una longitud fija. Esta pérdida de energía es medida por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo.
- 1.4. Este método de ensayo puede emplearse, también, para medidas en pavimentos de edificaciones Industriales, ensayos de laboratorio sobre probetas de áridos, baldosas o cualquier tipo de muestras de superficies terminadas.

2. APARATOS Y MATERIAL NECESARIO

2.1. Péndulo del R.R.L.

Se empleará el aparato representado en la figura 1, desarrollado y diseñado por el Road Research Laboratory (*), cuyas características son:

(*) C. G. Giles, Barbara E. Sabay y KWF Cardeur: "Development and Performance of Portable Skid-Resistance Tester", Road Research Technical Paper No. 66, Road Research Laboratory, Dept. of Scientific and Industrial Research, England, 1964.

- 2.1.1. El péndulo propiamente tal (fig. 2, a), con la zapata y placa soporte de zapata debe pesar $1,503 \pm 0,028$ kg (3 lb, 5 on z ± 1 on z). Su centro de gravedad estará situado en el eje del brazo a una distancia de 411 ± 4 mm ($16,2 \pm 0,2''$) del centro de suspensión. La circunferencia descrita por el borde de la zapata, con centro en el eje de suspensión, tendrá un radio de 50,8 mm ($2''$). La zapata del péndulo ejercerá una presión sobre la superficie de ensayo mediante el muelle de tensión, cuya carga en el ancho de la zapata, de 76,2 mm, y en su posición media de recorrido sobre la superficie de ensayo, será de 2500 ± 100 g. La variación de tensión del muelle sobre la zapata no será mayor de 220 g/cm.
- 2.1.2. La zapata de goma va pegada sobre una placa de aluminio (figura 2, b), que comprende un casquillo para su fijación al pivote (F) del brazo del péndulo, formando un ángulo de 70° 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, manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo.
- 2.1.2.1. Las dimensiones de las zapatas de goma a emplear en medida de resistencia al deslizamiento serán (fig. 3, a), de 76,2 mm ($3''$) de ancho, 25,4 mm ($1''$) de longitud y 6,35 mm ($1/4''$) de grueso. El peso del conjunto zapata y placa soporte de aluminio, será de 36 ± 7 g.
- 2.1.2.2. Características de la goma para zapatas:
Las zapatas estarán cortadas de una plancha de goma, con una edad de fabricación mínima de seis meses, que habrá de cumplir las especificaciones dadas en la tabla I.

TABLA I.—Especificaciones de resiliencia y dureza a cumplir por la goma para zapatas.

Características	Temperatura (°C)				
	0	10	20	30	40
% de 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 resilómetro Lüpke está en concordancia con la norma B.S. 903, parte A-8.

(**) El grado de dureza International Rubber Hardness está en concordancia con la norma B.S. 903, parte A-26.

TABLA II.— Especificaciones de composición para fabricación de goma de zapatas.

PRODUCTO	Partes en peso
Hoja ahumada	100
Philblack A	30
ZnO	3
Acido esteárico	2
PNB (fenil-naftilamina)	1
CBS (ciclohexil-benzotiacil-sulfonamida)	0,6
Azufre	2,5
Dutrex R	4,0
Vulcanización	Plancha de 6,5 mm (1/4" ± 0,01") de gruesa, 30 minutos a 141° C.

2.1.2.3. Las zapatas de goma nuevas deben ser acondicionadas antes de su empleo, realizando diez (10) oscilaciones sobre la superficie testigo en condiciones secas. Esta superficie es la "Safety-Walk" tipo B, fabricada por Minnesota de España, S. A. Las oscilaciones deben ejecutarse preparando el ensayo tal como se indica en el apartado 3.

2.1.2.4. Las zapatas de goma sufren un cierto desgaste al rozar con la superficie de ensayo, que depende de la rugosidad macro o microscópica de la superficie que se mide, de la temperatura alcanzada por la goma y de grado de mojado. Este desgaste da lugar a un área de contacto mayor entre zapata y superficie a medir, así como una mayor adherencia, que termina por originar en la arista de la zapata una rebaba (fig. 3, b), que también contribuye a aumentar la adherencia aunque disminuya la presión, obteniéndose así una lectura de la aguja indicadora sobre el panel de las escalas mayor de lo normal.

En todos los casos, deberá cambiarse la arista de rozamiento de la zapata con que se efectúen las medidas cuando presente una superficie rozada superior a los 3,2 mm de ancho o 1,6 mm de alto (fig. 3, c).

2.1.3. Dispositivo de nivelación.

El dispositivo de nivelación será del tipo de tornillo (L) acoplado 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 (fig. 1).

- 2.1.4. Dispositivo de desplazamiento vertical.
Un dispositivo que permite mover verticalmente el eje de suspensión del péndulo (fig. 4), de manera que la zapata mantenga contacto con la superficie a ensayar en una longitud fija de $125,7 \pm 1,3$ mm.
- 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 (fig. 1), cuyo peso será de 85 g (3 onz) y su longitud 30 cm (12"), equilibrada respecto de su punto de suspensión, para indicar la posición del brazo del péndulo sobre una escala circular, grabada sobre un panel, al final de su recorrido.
El sistema de fricción del mecanismo de suspensión del péndulo será regulable mediante los anillos de fricción roscados (E y E') (fig. 5), de manera tal que, con el brazo del péndulo moviéndose libremente desde su horizontal, la posición de la aguja sea trasladada por el giro del brazo hasta un punto situado a 10,16 mm (0,4") por debajo de la horizontal que pasa por el eje de oscilación (punto "cero" de la escala de medida).
- 2.2. Material auxiliar.
- 2.2.1. Reglilla graduada: Una reglilla graduada (fig. 6), cuyas marcas estén separadas 127 mm, siendo la separación entre una marca exterior y la interior más próxima de 1,3 mm, que fija la tolerancia permitida en la medida de la longitud de rozamiento entre zapata y superficie de ensayo.
- 2.2.2. Termómetro: Un termómetro de mercurio con graduación en grados centígrados y escala de -10 a $+60$ °C.
- 2.2.3. Recipientes para agua: Dos recipientes de material plástico y tapón de rosca, conteniendo agua potable o destilada. Uno con capacidad para 10 l y el otro con capacidad para 500 cc. El más pequeño llevará en el tapón un tubo de salida con orificio de 3 mm de diámetro.
- 2.2.4. Utensillos para limpieza de la superficie de ensayo: Un cepillo de cerdas de goma o artificial, duras, con longitud mayor de 20 mm, que pueda abarcar una superficie de barrido de 16 cm² y 80 mm de largo total, para utilizarlo en la limpieza de la superficie a medir.
- 2.2.5. Utensillo para situar los puntos de medida: Cinta métrica de longitud igual o superior a 15 m.
- 2.2.6. Estuche de herramientas: Caja de diseño particular para transportar las herramientas, zapatas, 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.

3. MONTAJE DEL APARATO

- 3.1. Se extrae el cuerpo principal del aparato de la caja de transporte. Se coloca en posición adecuada el pie posterior de la base, haciéndolo girar sobre el tornillo (J) (fig. 1), sujetándolo con el tornillo (H). Seguidamente se fija el brazo oscilante (D) en la cabeza del aparato mediante el racor (G).
- 3.2. 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.
- 3.3. En el brazo del péndulo y sobre el pivote (F), se ajusta la zapata de goma, sujetándola con una arandela y un pasador.
- 3.4. A continuación se eleva la cabeza del aparato, de forma tal que el brazo del péndulo balancee sin rozar la superficie a medir. El movimiento vertical de la cabeza del aparato, solidariamente 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 un piñón accionado por uno cualquiera de los mandos (B y B') (fig. 4). La cabeza quedará fijada por medio del tornillo de presión (A).
- 3.5. El paso siguiente será la comprobación del "cero" sobre la escala del aparato. Para ello se llevará el brazo oscilante a su posición horizontal hacia la derecha del aparato, quedando enganchado automáticamente en el mecanismo de disparo (N) (fig. 1). Después se trasladará la aguja indicadora (I) hasta el tope (O) situado en la cabeza del aparato, de forma que quede paralela al eje del brazo oscilante. Este tope, constituido por un tornillo, permite corregir el paralelismo entre aguja y brazo oscilante. Seguidamente, por presión sobre el pulsador (N) se disparará el brazo del péndulo, que arrastrará la aguja indicadora solamente en su oscilación hacia adelante. Se anota la lectura señalada por la aguja de la escala (K o K') del panel y se vuelve el brazo oscilante a su posición inicial de disparo (nota 2). La corrección de la lectura del "cero" se realizará 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 3).

Nota 2.— 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 y, cuando se

realizan medidas, evitar el roce de la zapata sobre la superficie de contacto y su consecuente deterioro, por lo que debe pasar la zapata sin tocar la superficie de ensayo ayudándose de la palanca de elevación (P).

Nota 3.—En la comprobación del "cero" del aparato se harán los disparos y las correcciones con los anillos de fricción necesarios, hasta que la aguja marque en tres veces consecutivos la lectura "cero".

- 3.6. Por último, se comprobará la longitud de rozamiento de la zapata de goma sobre la superficie a medir. Esta operación se efectuará manteniendo la cabeza del aparato en la situación anterior, colocando el brazo oscilante (D) libre y en su vertical. Se colocará 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 bajará entonces la cabeza del aparato, sin mover el brazo oscilante de su posición vertical, hasta que la zapata justamente toque la superficie a medir. Se fijará ahora la cabeza del aparato en esta situación por medio del tornillo (A), quitándose después la galga. Haciendo oscilar el brazo del péndulo hasta que la zapata roce justamente la superficie de ensayo, primero a un lado y luego al otro lado de la vertical, la longitud de rozamiento será la distancia entre los dos puntos de contacto (S y S') (fig. 2, a), en el recorrido de la zapata sobre la superficie a medir. La longitud de rozamiento correcta, para medidas de resistencia al deslizamiento será de $125,7 \pm 1,3$ mm, que se comprueba utilizando la regilla (fig. 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 podrá efectuar mediante una ligera elevación o descenso vertical de la cabeza del péndulo.
- 3.7. Una vez montado el aparato, comprobada la medida del "cero" y controlada la longitud de rozamiento de la zapata, se colocará el brazo oscilante y la aguja indicadora en su posición correcta de disparo, procediéndose en este momento a la ejecución de las medidas de ensayo.

4. PROCEDIMIENTO OPERATORIO

- 4.1. Procedimiento operatorio a seguir en el campo.
- Para efectuar la medida del coeficiente de resistencia al deslizamiento (C.R.D.) que presenta un pavimento, bien antes de ser sometido a la acción del tráfico, bien para controlar la evolución del pavimento en diferentes períodos de su vida de servicio, deberá operarse siguiendo las instrucciones que se especifican a continuación:
- 4.1.1. Se procederá, en primer lugar, a la inspección del pavimento de la carretera objeto del ensayo, dividiéndolo en tramos que no

superen los mil metros (1000 m), comportando características idénticas en toda su longitud. Dentro de cada tramo se elegirá una zona, y en ésta, de tres (3) a diez (10) secciones transversales separadas por una longitud de 5 a 10 m.

- 4.1.2. Se elegirá una distribución transversal de los puntos de ensayo, igual para todas las secciones. En cada sección se fijarán puntos de ensayo en las rodadas, cumbre del bombeo o centro de la calzada y a 20 cm del borde de la calzada (fig. 7). También podrán elegirse puntos de ensayos entre rodadas o cualesquiera otros que se sospeche puedan tener carácter deslizando.
- 4.1.3. El péndulo, una vez montado como se indica en el apartado 3.1, se colocará sobre el pavimento y se procederá a su nivelación tal como se especifica en el apartado 3.2.

Nota 4.— Cuando el péndulo de fricción no haya sido utilizado en las ocho horas (8) anteriores a un ensayo, antes de efectuar cualquier ciclo de medidas se realizarán cinco (5) disparos sobre una probeta pulimentada o sobre una zona de pavimento sometida al tráfico.

- 4.1.4. Comprobado el "cero" del aparato, como se indica en el apartado 3.5, se ajustará 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 de $125,7 \pm 1,3$ mm ($4,95'' \pm 0,05''$), tal como se especifica en el apartado 3.6.
- 4.1.5. La superficie de pavimento a ensayar se limpiará ayudándose con el cepillo que se indica en el apartado 2.2.4, asegurándose de que quede libre de partículas sueltas.
- 4.1.6. Se medirá 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 comprobará la temperatura del agua, cuyo recipiente deberá estar a la intemperie durante la ejecución del ensayo.
- 4.1.7. Antes de efectuar las medidas de ensayo, se humedecerá la zapata con abundante agua limpia y se mojará la superficie del pavimento, extendiendo el agua sobre el área de contacto ayudándose del cepillo descrito en el apartado 2.2.4.
- 4.1.8. Se procederá entonces a la realización de las medidas correspondientes, dejando caer libremente desde su posición de disparo el brazo del péndulo y la aguja, anotándose la lectura marcada por ésta en la escala (K) y redondeando el número entero más próximo.

Después de cada disparo y medida, el brazo del péndulo y la aguja se volverán a su posición de disparo, procediéndose en la forma que se indica en la nota 2.

La medida se repetirá cinco (5) veces sobre cada punto de pavimentos a ensayar y operando siempre en las mismas condiciones, volviendo a mojar la superficie de ensayo antes de cada

disparo con agua a la temperatura ambiente. Si las lecturas de las cinco (5) medidas no difieren en más de tres (3) unidades, se anotará el valor medio resultante. Si la diferencia entre las cinco (5) lecturas es mayor de tres (3) unidades, se continuará realizando medidas hasta que tres consecutivas den la misma lectura, en cuyo caso se tomará esta última como valor efectivo del punto ensayado sobre el pavimento.

5. RESULTADOS

5.1. Expresión de los resultados obtenidos en ensayos sobre pavimentos.

- 5.1.1. La lectura del valor marcado por la aguja en la escala "K" del instrumento al realizar las medidas de ensayo, se efectuará con una aproximación de 0,5 unidades y redondeando el número entero más próximo.
- 5.1.2. Los resultados de las medidas realizadas sobre un punto del pavimento ensayado será el valor medio de las cinco (5) lecturas efectuadas si no difieren en más de tres unidades (3), o el valor de tres (3) lecturas idénticas consecutivas (ver apartado 4.1.8).
- 5.1.3. Las medidas efectuadas sobre pavimentos son 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 poder dar los resultados del ensayo a 20 °C.
- 5.1.4. El resultado de las medidas efectuadas sobre un pavimento de carretera, 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.
- 5.1.5. Los resultados de las medidas efectuadas en cada zona de ensayo de un tramo, serán expresadas por tres (3) valores, correspondientes, cada uno, a "bordes", "rodada" y "centro" de la calzada (fig. 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; "rodadas", el resto de la calzada de una carretera.
- Cada uno de los tres (3) valores obtenidos será la media aritmética de todas las lecturas efectuadas sobre los puntos de ensayo situados en las superficies consideradas y en todas las secciones transversales de cada tramo.
- 5.1.6. El resultado del ensayo de resistencia al deslizamiento se expresará en tanto por uno, en forma de:

$$\text{Coefic. de Resistencia al Deslizamiento (C.R.D.)} = \frac{\text{lecturas en la escala K}}{100}$$

6. OBSERVACIONES

- 6.1. 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.
- 6.2. 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 3.5.
- 6.3. Cuando se efectúen medidas en el campo, suelen presentarse ciertas dificultades si hay fuertes vientos racheados. En tales condiciones se recomienda colocar el aparato de forma tal que el plano de oscilación sea normal a la dirección del viento, protegiéndolo en lo posible de su acción directa.
- 6.4. Es recomendable efectuar una inspección meticulosa del estado del pavimento a ensayar, detallando cuantas irregularidades sean observadas en los puntos de medida.
- 6.5. Es muy conveniente efectuar la calibración periódica del péndulo de ensayo. Para esta comprobación de mantenimiento del aparato, la División de Materiales del Ministerio de Obras Públicas dispone de los elementos necesarios, pudiendo recurrir a dicho organismo cualquier laboratorio que precise sus servicios.

7. CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

- B.S. 812/1967.
- B.S. 812/Revisión núm. 2, 15-IX-1970.
- A.S.T.M. E 303-69.

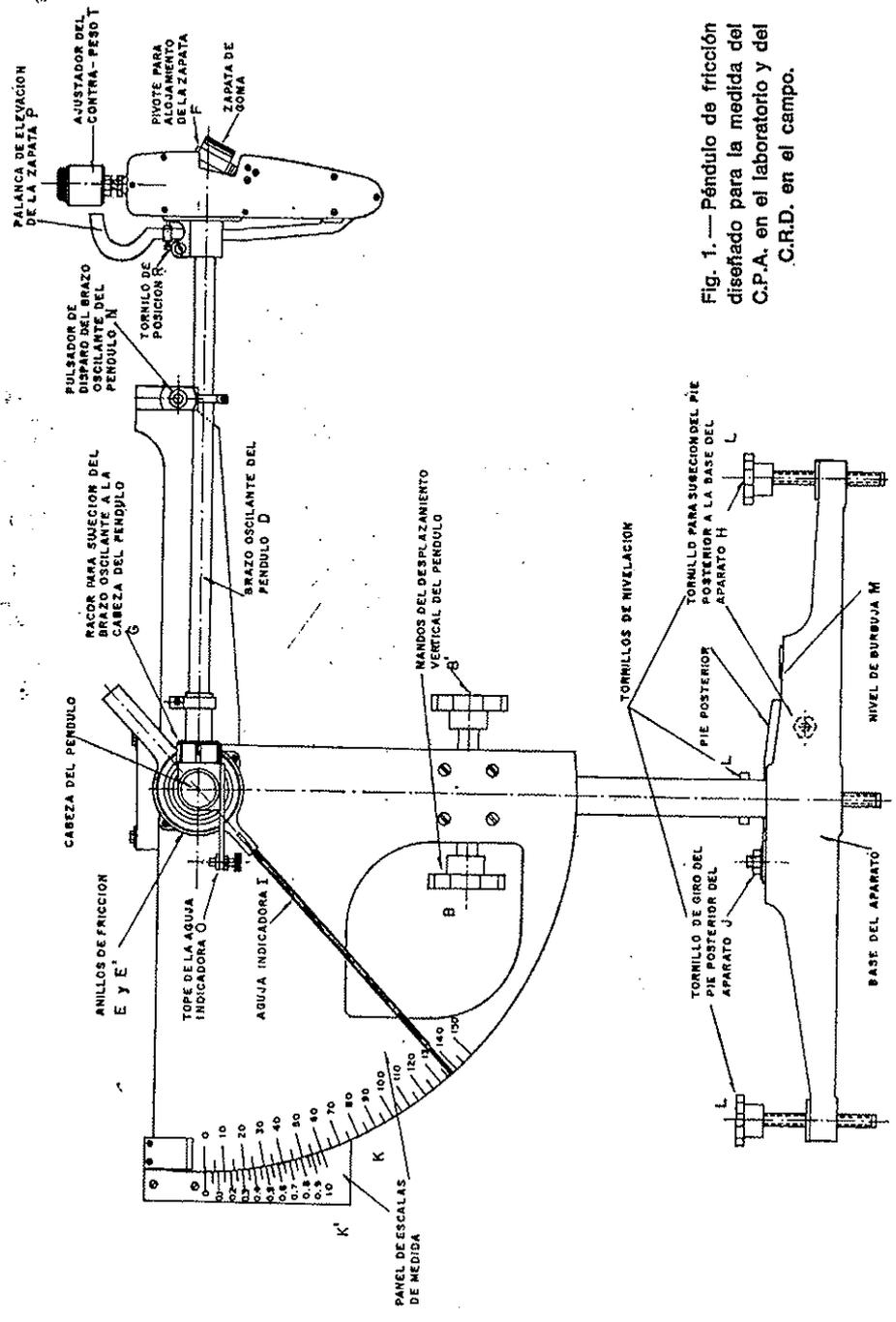


Fig. 1. — Péndulo de fricción diseñado para la medida del C.P.A. en el laboratorio y del C.R.D. en el campo.

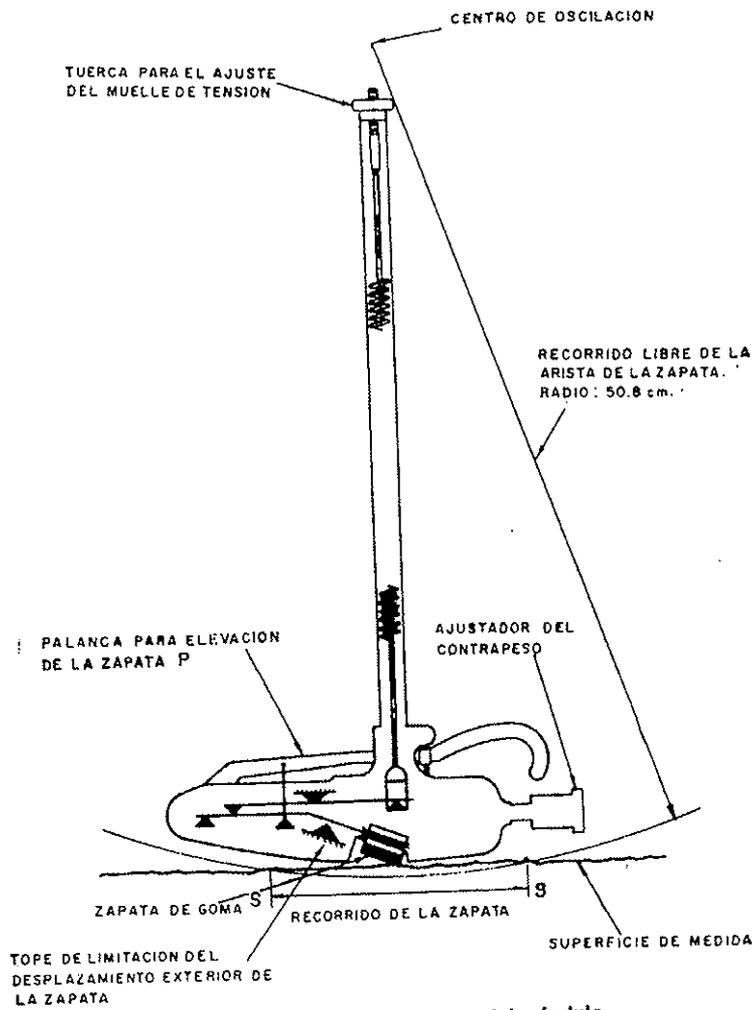


Fig. 2, a. — Detalle del brazo del péndulo.

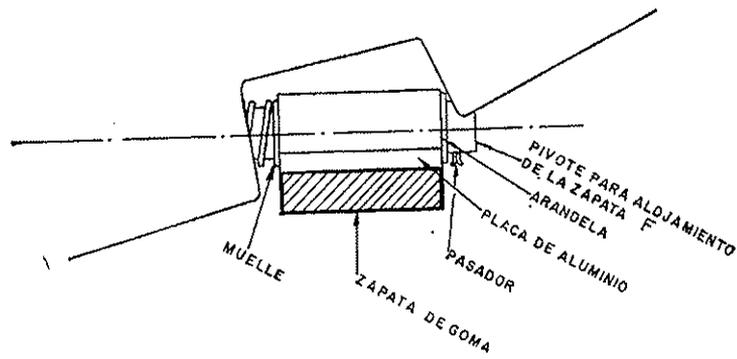
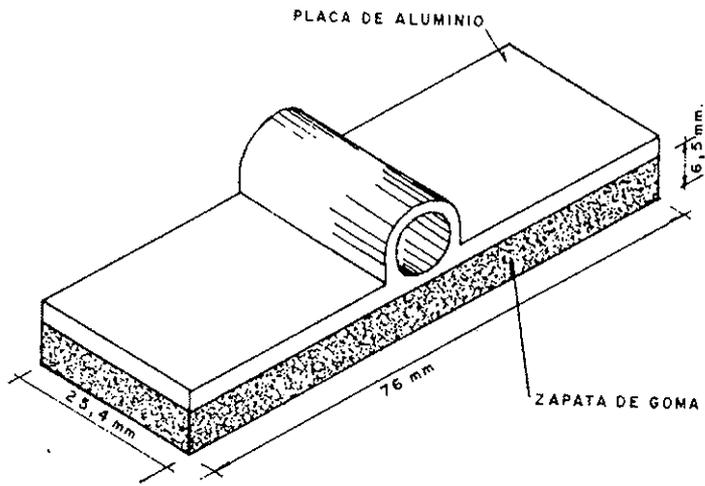


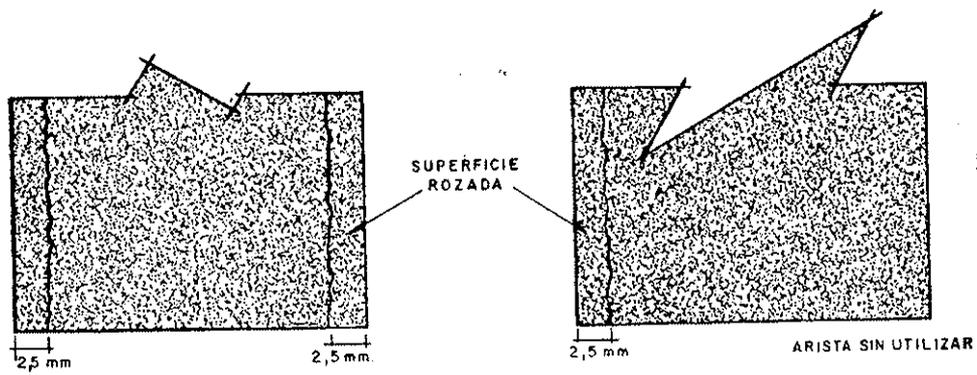
Fig. 2, b. — Detalle de la disposición de la zapata de goma.



a) Zapata para medidas sobre pavimentos.



b) Detalle de la formación de rebabas en las zapatas.



c) Detalle de la superficie rozada sobre la zapata.

Fig. 3. — Zapatas de goma.

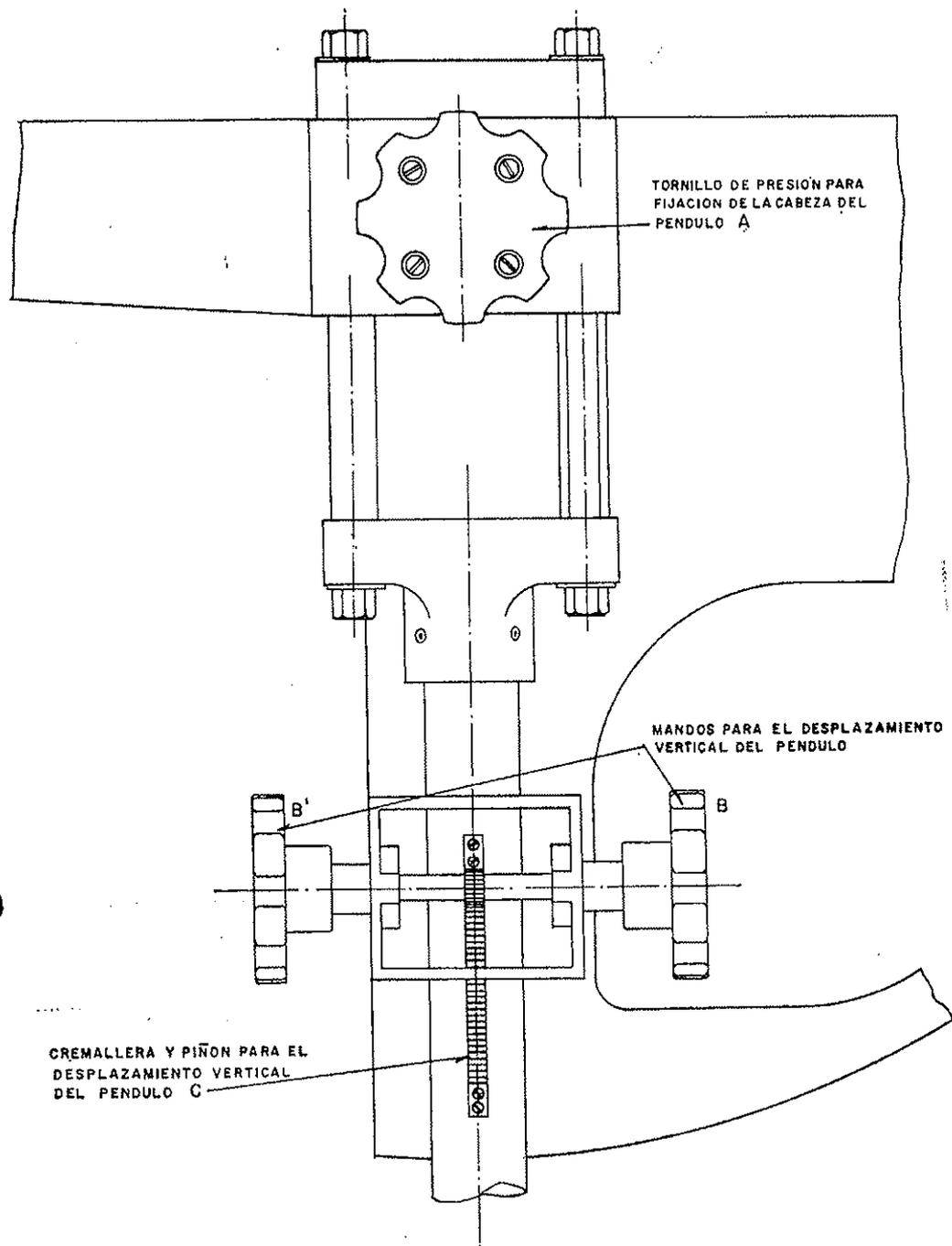


Fig. 4. — Detalle del dispositivo de desplazamiento vertical del péndulo.

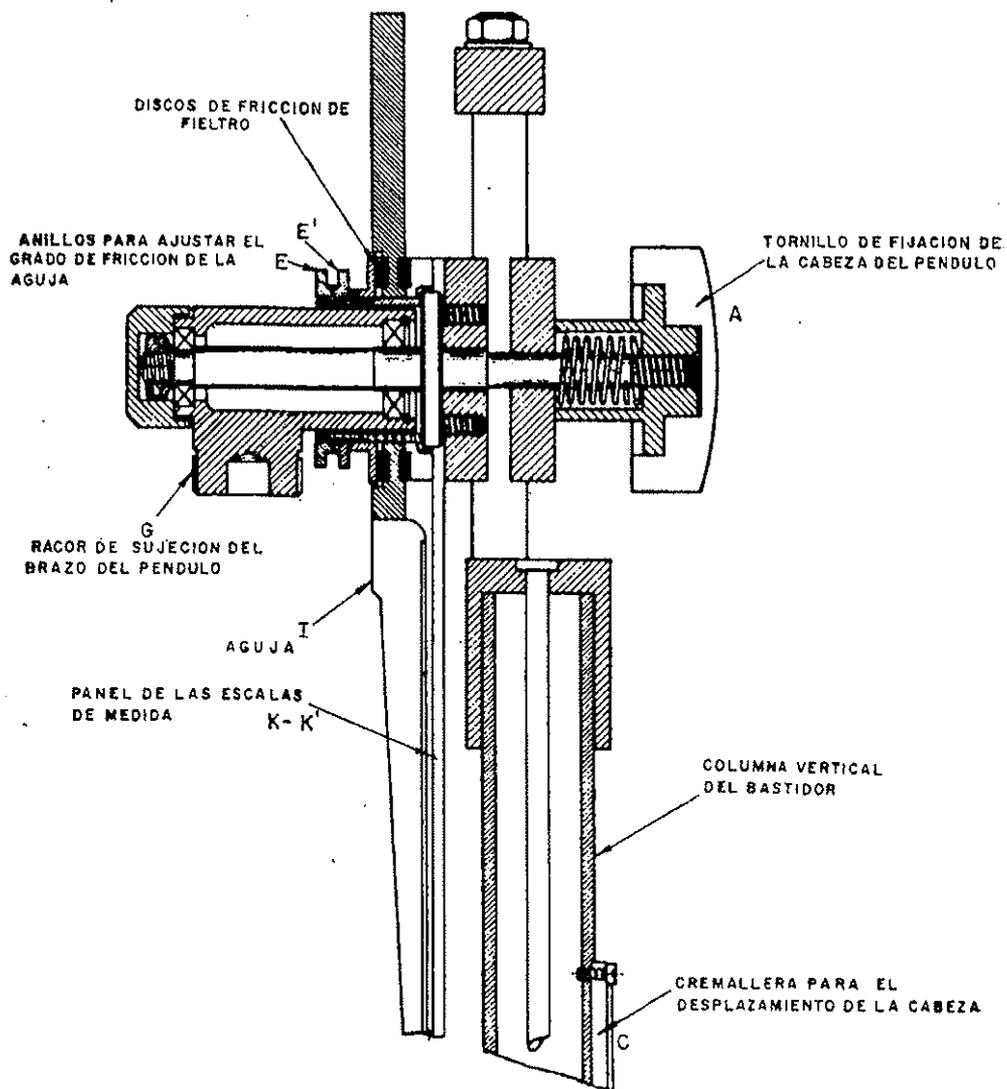


Fig. 5.—Detalle del mecanismo de suspensión del péndulo.

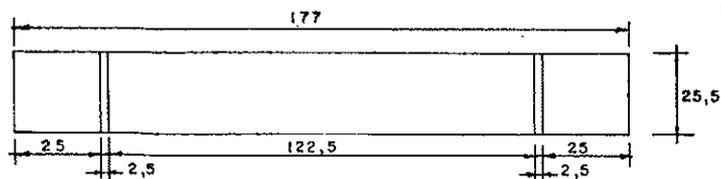


Fig. 6.—Reglilla graduada para ajustar la longitud de medida sobre la superficie de ensayo.

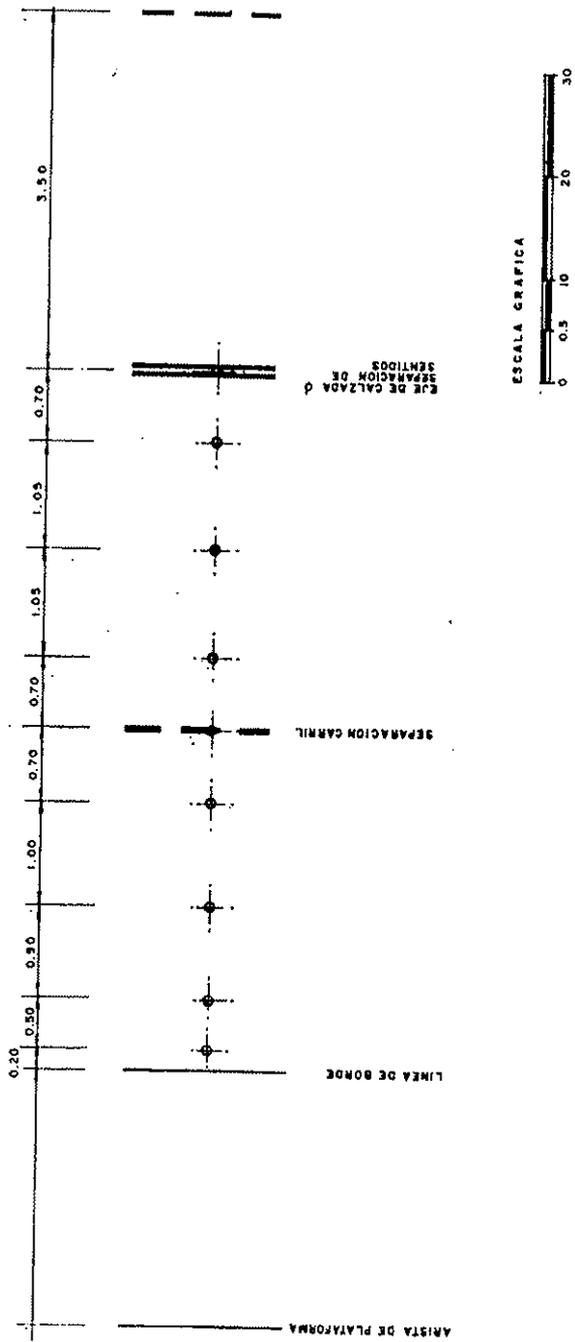


Fig. 7.—Ejemplo de distribución transversal de puntos de ensayo sobre pavimentos de carreteras.

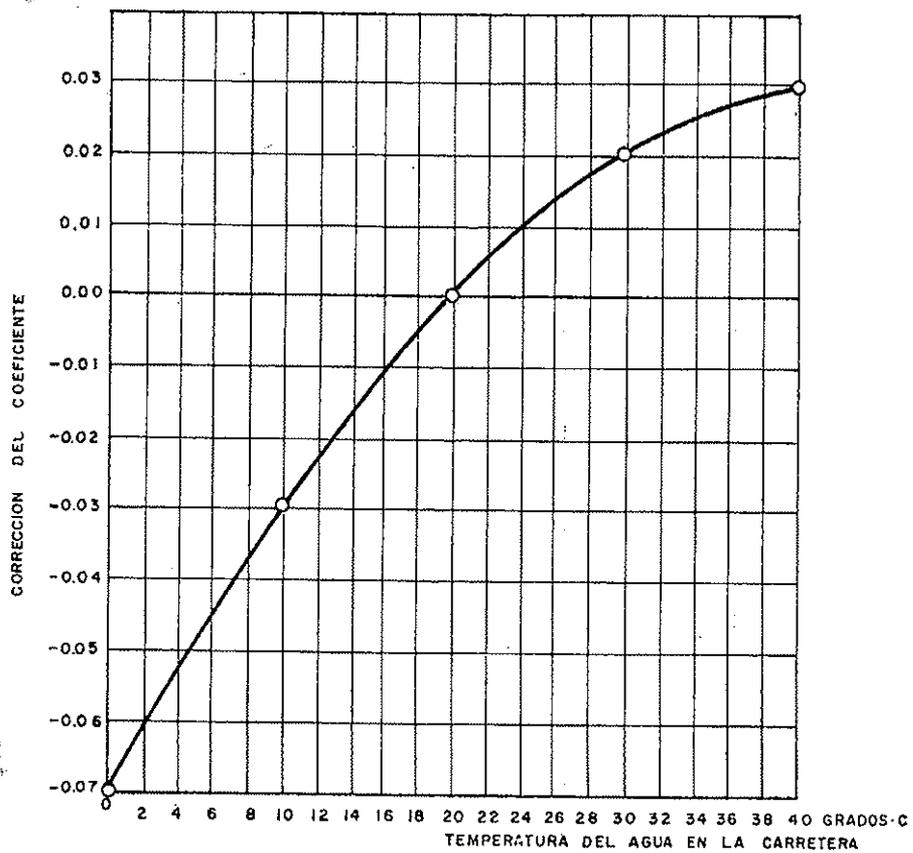


Fig. 8. — Corrección a aplicar al coeficiente de resistencia al deslizamiento a distintas temperaturas para obtener el valor correspondiente a 20 °C (RRL Note no fn 3931/bes).

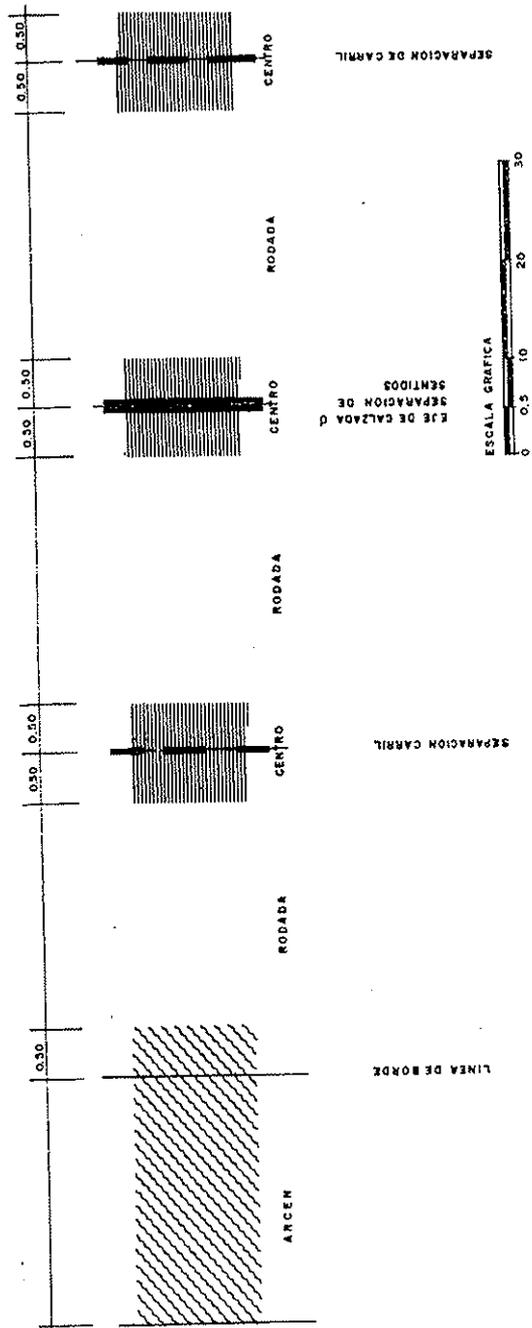


Fig. 9. — Bandas consideradas para la expresión de los resultados.