

MEDIDA DEL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO USANDO EL PÉNDULO BRITÁNICO

INV E – 792 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Esta norma describe el procedimiento para medir las propiedades superficiales de fricción (resistencia al deslizamiento) de un pavimento utilizando el péndulo británico (*British Pendulum Skid Resistance Tester*). El método decalibración del equipo se incluye en el Anexo A.
- 1.2 El péndulo británico es un equipo dinámico de impacto utilizado para medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas, provisto en su extremo de una zapata de caucho, cuando la arista o borde de la zapata roza con una presión determinada y en una longitud fija la superficie a ensayar. El equipo se emplea tanto en el laboratorio como en el campo sobre superficies planas y para medidas de pulimento sobre muestras curvadas de laboratorio, usadas en pruebas de pulimento acelerado con llanta.
- 1.3 Los valores numéricos medidos con este péndulo, CRD (Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento), para superficies planas y para los valores del pulimento sobre especímenes de pulimento acelerado con llanta, representan las propiedades friccionantes obtenidas con el aparato usando el procedimiento establecido en esta norma y no concuerdan necesariamente con las medidas de rozamiento efectuadas con otros equipos.
- 1.4 Esta norma reemplaza la norma INV E-792-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Este método consiste en el uso de un equipo de prueba tipo péndulo, provisto en su extremo de una zapata deslizante de caucho para medir las propiedades friccionantes de la superficie de ensayo.
- 2.2 La superficie de ensayo debe estar limpia y completamente humedecida antes de efectuar el ensayo.
- 2.3 Antes de realizar la prueba, la zapata del péndulo se debe fijar de manera que apenas establezca contacto con la superficie que se va a ensayar. El péndulo se

levanta y se asegura en su posición inicial y luego se suelta permitiendo el rozamiento entre la zapata y la superficie de ensayo.

- 2.4** Una aguja indicadora muestra entonces el valor CRD en la escala que tiene el aparato (Figura 792 - 1). A mayor fricción entre la zapata deslizante y la superficie de ensayo más se retarda la oscilación y se obtiene una lectura mayor de CRD. Se deben hacer cuatro movimientos pendulares sobre cada punto de la superficie a ensayar.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Este método proporciona una medida de una propiedad friccional de la superficie, la microtextura, tanto en el campo como en el laboratorio.
- 3.2** Este método de ensayo se puede utilizar para determinar el efecto relativo de varios procesos de pulimento sobre materiales o combinaciones de materiales.
- 3.3** Los valores medidos siguiendo este procedimiento no concuerdan necesariamente con los resultados obtenidos al emplear otros métodos que evalúan las características de fricción ó resistencia al deslizamiento.

Nota 1: Valores de CRD y de pulimento obtenidos en superficies similares no son numéricamente iguales, principalmente por las diferencias en la longitud de rozamiento y por la forma de la superficie. No es recomendable la aplicación de correcciones teóricas de los valores de pulimento con el fin de obtener una igualdad numérica, ya sea matemáticamente o mediante el uso de escalas de medición especial.

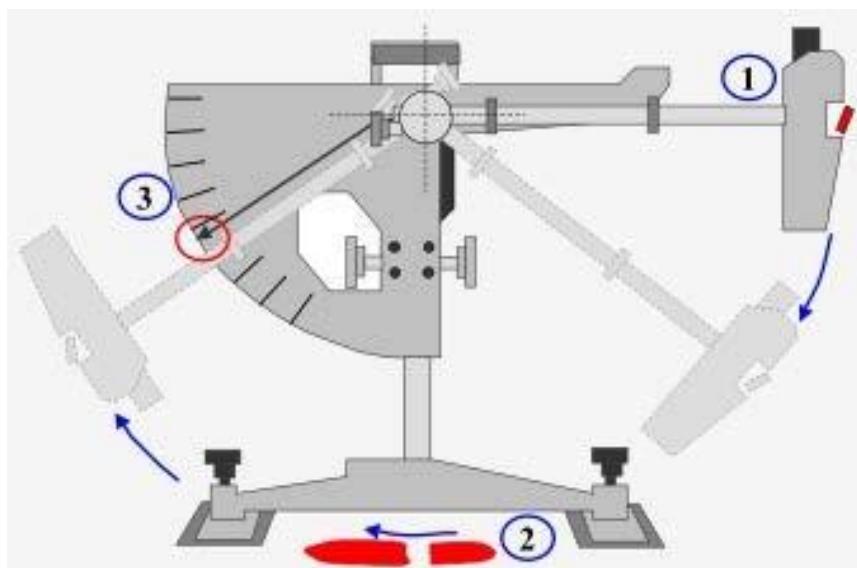


Figura 792 - 1. Uso del péndulo británico

4 EQUIPO

- 4.1 Péndulo británico (Figura 792 - 2)** – El péndulo con la zapata deslizante y el montaje de la zapata, debe pesar 1500 ± 30 g. Su centro de gravedad estará situado en el eje del brazo a una distancia de 411 ± 5 mm ($16.2 \pm 0.2"$) del centro de oscilación. El equipo debe tener la posibilidad de efectuar un ajuste vertical que permita un contacto de la zapata con la superficie en una longitud entre 125 ± 1.6 mm ($4 \frac{15}{16} \pm \frac{1}{16}"$), para pruebas sobre superficies planas y entre 76 y 78 mm ($3 \pm \frac{1}{16}"$) para pruebas sobre especímenes sometidos a pulimento acelerado. El arreglo constituido por el resorte y el brazo del péndulo, mostrado en la Figura 792 - 3, debe proporcionar una fuerza normal deslizante de 2500 ± 100 g entre la zapata de 76 mm de ancho y la superficie de ensayo, medida como se describe en el Anexo A.
- 4.2 Zapata** – La zapata va pegada sobre una placa de aluminio (Figura 792 - 4) con orificio circular para su fijación al pivote 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 zapata quede en contacto con la superficie a medir, pudiendo girar alrededor del pivote, recorriendo las desigualdades de la superficie de ensayo, manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo. Las dimensiones de las zapatas de caucho a emplear en medidas de resistencia al deslizamiento serán de $76 \times 25 \times 6$ mm ($3 \times 1 \times \frac{1}{4}"$) para ensayar superficies planas (Figura 792 - 5) y de $32 \times 25 \times 6$ mm ($1\frac{1}{4} \times 1 \times \frac{1}{4}"$) para ensayar muestras curvas para pulimento acelerado con llanta. El material de la zapata será de caucho natural que cumpla con los requisitos del *Road Research Laboratory* (hoy *Transport Research Laboratory*), los cuales se resumen en la Tabla 792 - 1, o de caucho sintético de las características especificadas en las Tablas 792 - 2 y 792 - 3.
- 4.2.1** Las zapatas nuevas se deben acondicionar antes de ser usadas, haciendo 10 giros oscilatorios sobre un paño de carburo de silicio grado No. 60 o equivalente, en condiciones secas. Los giros se deben hacer con el dispositivo ajustado como se describe en la Sección 6 (Preparación del aparato).
- 4.2.2** El desgaste del borde de la zapata de caucho (superficie rozada) no debe exceder 3.2 mm ($\frac{1}{8}"$) en el plano de la zapata (ancho) o 1.6 mm ($\frac{1}{16}"$) en la dirección vertical a ésta (alto) (Figura 792 - 7). Si el desgaste alcanza esta magnitud, la zapata se debe cambiar.

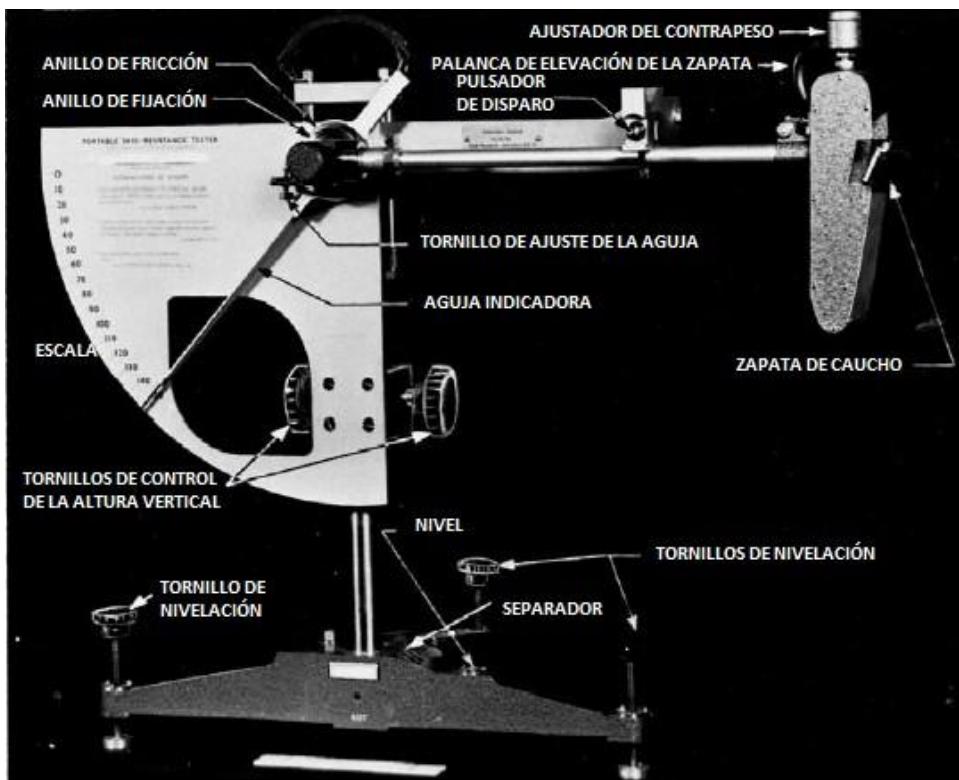


Figura 792 - 2. Detalle del péndulo británico

4.3 Accesorios:

- 4.3.1** Medidor de la longitud de contacto, el cual consiste en una rejilla con marcas para controlar que la longitud de rozamiento entre la zapata y la superficie de ensayo se encuentre entre 124 y 127 mm (4 7/8 a 5") o entre 75 y 78 mm (2 15/16 a 3 1/16"), según lo requiera el ensayo particular (Figura 792 - 8).
- 4.3.2** Equipo auxiliar, incluyendo recipientes para agua, termómetro para la superficie de ensayo y cepillo.

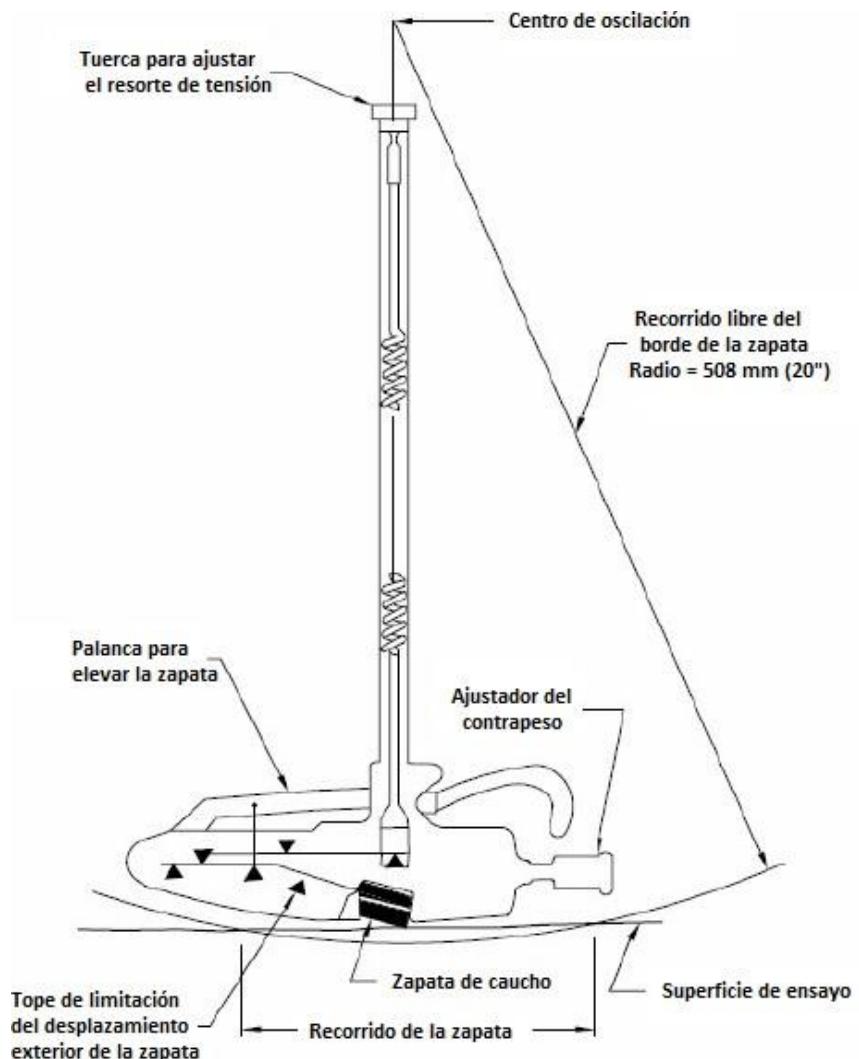


Figura 792 - 3. Detalle del brazo del péndulo

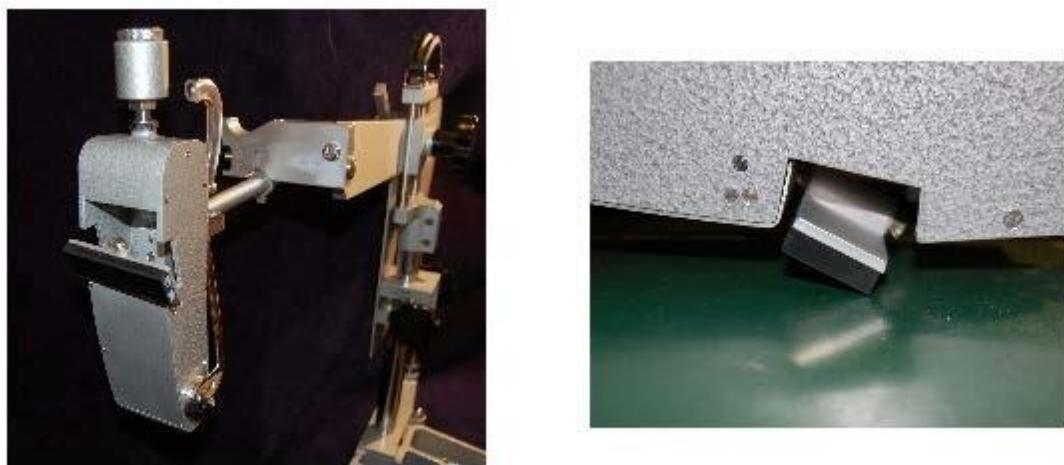


Figura 792 - 4. Detalle del montaje de la zapata de caucho

Tabla 792 - 1. Especificaciones para las zapatas de caucho natural

TIPO DE MATERIAL	TEMPERATURA (° C)	PROPIEDAD	
		RESILIENCIA A (%)	DUREZA B (IRHD)
Caucho Four-S	5	21 ± 2	96 ± 2
	23	24 ± 2	
	40	28 ± 2	
Caucho TRL	0	43 a 49	55 ± 5
	10	58 a 65	
	20	66 a 73	
	30	71 a 77	
	40	74 a 79	

^A Ensayo de rebote Lüpke^B International Rubber Hardness Degrees

Tabla 792 - 2. Especificaciones de los compuestos para fabricación del caucho de butadieno–estireno (SBR)

COMPUESTO	PARTES POR MASA
SBR 1712 ^A	89.38
CB1J252 ^B	48.12
N347 ^C	75.00
Aceite altamente aromático	9.00
Oxido de Zinc	3.00
Ácido esteárico	2.00
Santoflex 13 ^D	2.00
Cera parafínica	2.00
Santocure NS ^E	1.10
DPG F	0.10
Azufre	1.80

^A Caucho estireno-butadieno (23.5% de estireno), 37.5 partes de aceite altamente aromático.^B Cis-polibutadieno con 37.5 partes de aceite altamente aromático.^C N347 Carbón negro.^D Santoflex 13, dimetil butilfenil fenilenediamina.^E Santocure NS, butil benzotiazol sulfonamida.^F DPG, difenil guanidina.

Tabla 792 - 3. Propiedades físicas del caucho

CURADO DE LA HOJA DE TENSIÓN A 149° C (300° F), MINUTOS	30
MÓDULO DEL 300v%, MPa (lbf/pg ²)	5.5 ± 1.4 (800 ± 200)
DURÓMETRO DE LA HOJA DE TENSIÓN	58 ± 2
ENERGÍA RESTAURADA (REBOTE O RESILIENCIA)	46 ± 2
GRAVEDAD ESPECÍFICA	1.13 ± 0.20
RESISTENCIA MÍNIMA A LA TENSIÓN, MPa (lbf/pg ²)	13.8 (2000)
ELONGACIÓN MÍNIMA, %	500
DURÓMETRO DEL CAUCHO DE LA ZAPATA	58 ± 2

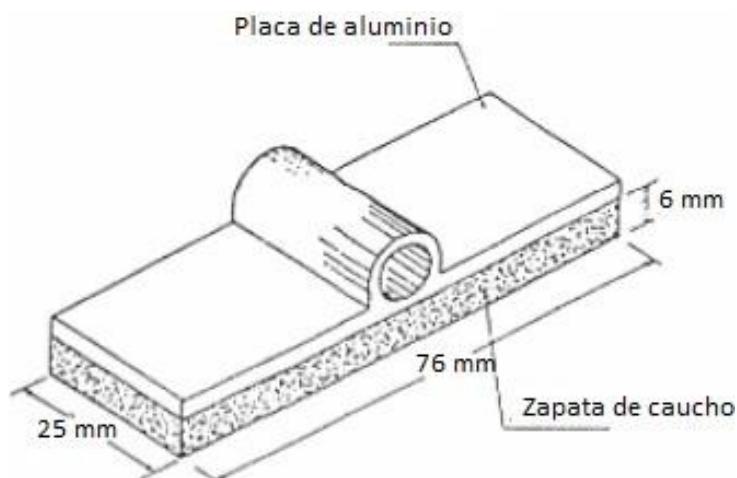


Figura 792 - 5. Zapata para ensayar superficies planas

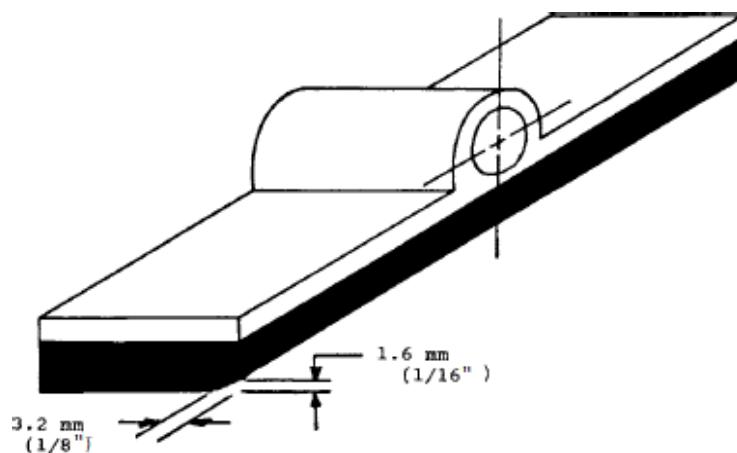


Figura 792 - 6. Máximo desgaste admisible en el borde de contacto de la zapata



Figura 792 - 7. Medidor de la longitud de contacto

5 MUESTRA DE ENSAYO

- 5.1** *En el campo* – La superficie de ensayo en el campo se debe encontrar libre de partículas sueltas y se debe limpiar con un chorro de agua limpia a presión. La superficie de ensayo no tiene que ser necesariamente horizontal, ya que el instrumento puede ser nivelado en la posición de trabajo utilizando únicamente los tornillos de nivelación y la cabeza del péndulo franqueará la superficie.
- 5.2** *En el laboratorio* – Las muestras de laboratorio deben estar limpias de partículas sueltas y se deben sostener firmemente, de forma que no se muevan con la fuerza del péndulo.
- 5.2.1** Las muestras planas de laboratorio deben tener una superficie de ensayo de, al menos, 89×152 mm ($3 \frac{1}{2} \times 6$ "').
- 5.2.2** Las muestras de laboratorio para la prueba de pulimento acelerado con llanta, deben tener una superficie de ensayo de, al menos, 44×89 mm ($1 \frac{3}{4} \times 3 \frac{1}{2}$ "') y deben ser curvadas en un arco de círculo de 406 mm (16") de diámetro.

6 PREPARACIÓN DEL APARATO

- 6.1** *Nivelación* – Se nivelea el instrumento con exactitud, girando los tornillos de nivelación hasta que la burbuja está centrada en el nivel.

6.2 Ajuste de ceros – Se levanta el mecanismo del péndulo soltando el tornillo de seguridad (ubicado directamente detrás del pivote del péndulo) y se gira cualquiera de los dos tornillos de movimiento de la cabeza ubicados en el centro del instrumento, para permitir que la zapata realice libremente el movimiento oscilatorio. Se aprieta firmemente el tornillo de seguridad. Se coloca el péndulo en la posición horizontal de reposo y se rota la aguja indicadora en sentido contrario al de las manecillas del reloj hasta que alcance la posición de reposo contra el tornillo de ajuste en el brazo del péndulo. Se libera el péndulo y se anota la lectura de la aguja indicadora. Si la lectura no es cero, se afloja el anillo de seguro y se gira suavemente el anillo de fricción en el eje de soporte y se asegura de nuevo. Se repite la prueba y se ajusta el anillo de fricción hasta que el movimiento oscilatorio del péndulo lleve la aguja a cero.

6.3 Ajuste de la longitud de rozamiento de la zapata:

6.3.1 Con el brazo del péndulo colgando libremente, se coloca el espaciador debajo del tornillo de ajuste de la palanca de elevación de la zapata de caucho. Se baja entonces el péndulo, de manera que el borde de la zapata apenas toque la superficie a medir. Se asegura la cabeza del péndulo firmemente, se levanta la palanca de elevación de la zapata y se remueve el espaciador.

6.3.2 Se levanta la zapata por medio de la palanca de elevación, se mueve el péndulo a la derecha, se baja la zapata y se permite que el péndulo se mueva lentamente hacia la izquierda, hasta que el borde de la zapata toque la superficie de ensayo. Para verificar la longitud de contacto o rozamiento, se fija el medidor de la longitud de contacto a un lado de la zapata y paralelo a la dirección del movimiento oscilatorio. Se levanta la zapata usando la palanca de elevación y se mueve el péndulo a la izquierda y luego lentamente se baja hasta que el borde de la zapata vuelva nuevamente a reposo en la superficie. Si la longitud de contacto no está entre 124 y 127 mm (4 7/8 a 5") en muestras de superficie plana o entre 75 y 78 mm (2 15/16 a 3 1/16") en muestras curvas para el ensayo de pulimento con llanta, medida entre los sitios de contacto de los bordes de la zapata de caucho en su recorrido, se ajusta levantando o bajando el aparato con los tornillos frontales de nivelación. La longitud de deslizamiento también se puede ajustar por medio de los tornillos de control de la altura vertical. Se ajusta nuevamente el nivel del aparato, si es necesario. Se coloca el péndulo en la posición horizontal de reposo y se rota la aguja indicadora en el sentido contrario a las manecillas del reloj hasta que se detenga contra el tornillo de ajuste en el brazo del péndulo.

7 PROCEDIMIENTO

- 7.1** Se debe aplicar suficiente agua para cubrir totalmente el área de ensayo. Se realiza un movimiento oscilatorio, pero no se registra la lectura.

Nota 3: Siempre se debe sostener el péndulo durante la parte inicial de su recorrido de regreso, antes que pase por la posición vertical. Mientras que el péndulo se devuelve a su posición inicial, se levanta la zapata con su palanca de elevación para prevenir el contacto de la zapata con la superficie de ensayo. Con anterioridad a cada movimiento oscilatorio, la aguja indicadora debe ser devuelta a su posición de descanso contra el tornillo de ajuste.

- 7.2** Se vuelve a mojar la superficie de ensayo y, sin demora, se realizan cuatro nuevos movimientos oscilatorios remojando la zona de ensayo antes de cada disparo y anotando los resultados.

Nota 4: Se debe tener cuidado de que la zapata permanezca paralela a la superficie durante el movimiento oscilatorio y no rote de manera que una punta haga el contacto inicial en lugar de hacerlo todo el borde. Existe información que demuestra que los giros de la zapata pueden dar origen a lecturas erradas. La instalación de un pequeño resorte plano puede atenuar el problema. Este resorte se puede insertar en una ranura de la abrazadera de resorte y asegurar con un pasador como se muestra en la Figura 792 - 8. Los bordes libres del resorte se pueden apoyar sobre la platina posterior de la zapata, de tal manera que le impidan girar.

- 7.3** Se debe revisar nuevamente la longitud de contacto de la zapata de acuerdo con el numeral 6.3.
- 7.4** Una vez realizadas las medidas, se registra la temperatura del agua aplicada al pavimento, empleando un termómetro digital con sonda remota o un termómetro de mercurio, de acuerdo con el procedimiento indicado en la norma INV E-788.

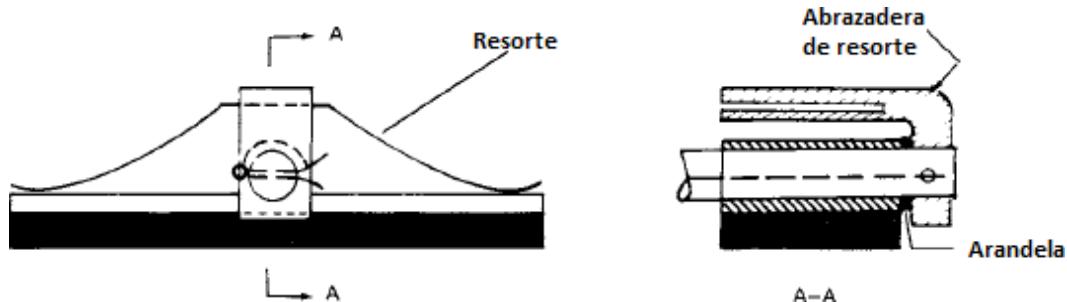


Figura 792 - 8. Abrazadera y resorte para impedir la rotación de la zapata

8 INFORME

- 8.1** El informe debe contener lo siguiente:

- 8.1.1** Valores individuales en unidades CRD o valores de pulimento acelerado.
- 8.1.2** Temperatura de la superficie ensayada.
- 8.1.3** Tipo, edad, condición, textura y localización de la superficie de ensayo.
- 8.1.4** Tipo y fuente de provisión del agregado para la prueba de pulimento.
- 8.1.5** Tipo y edad de la zapata de caucho.

9 PRECISIÓN Y SESGO

Nota 5: La siguiente información se refiere únicamente a la precisión y el sesgo de las unidades CRD.

- 9.1** Pruebas repetidas muestran las siguientes desviaciones estándar:

Zapata de caucho británica:	1.0 unidad CRD
Zapata de caucho sintético:	1.2 unidades CRD

- 9.1.1** En ambos casos, la variabilidad depende en buena parte de las condiciones del equipo. Como no hay una marcada correlación entre la desviación estándar y la media aritmética de un grupo de resultados de ensayo, parece que la magnitud de las desviaciones estándar son más pertinentes para este ensayo, independientemente de los niveles promedios de resistencia al deslizamiento que han sido ensayados.
- 9.2** La relación, si existe, entre unidades CRD observadas y un valor real de nivel de fricción, no ha sido y probablemente no podrá ser estudiada. Como resultado, la precisión y el sesgo de esta prueba en relación con un valor real de nivel de fricción medido no pueden ser evaluados y únicamente se da la repetitividad del método.
- 9.3** Se determina el error de ensayo como sigue:

$$E = \frac{t\sigma}{\sqrt{n}}$$

[792.1]

Donde: E: Error de ensayo;

t: Curva de distribución normal de 1.96 o 2.0 redondeado;

σ : Desviación estándar de los resultados de un ensayo individual (unidades CRD);

n: Número de ensayos.

- 9.4** Con el fin de asegurar que el error de ensayo este dentro de 1.0 unidades CRD con un nivel de confianza del 95 % (correspondiente a una curva normal de 1.96 o 2.0 redondeado), se requieren los siguientes tamaños muestrales:

Zapata británica de caucho natural: 4

Zapata de caucho sintético: 5

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM E-303-93 (Reaprobada 2008)

ASTM E-501-08

BS 7976-1: 2002

ANEXO A (Aplicación obligatoria)

CALIBRACIÓN

- A.1** *Masa del péndulo* – El brazo del péndulo con la zapata de caucho montada, debe ser desconectado del instrumento y pesado con una aproximación a 1.0g.
- A.2** *Centro de gravedad* – El centro de gravedad del péndulo con la zapata de caucho montada debe ser determinado colocando el ensamblaje del péndulo sobre el filo de un cuchillo y ubicando experimentalmente el punto de equilibrio, como se muestra en la Figura 792A - 1. La tuerca del adaptador debe ser sostenida en el extremo más lejano del brazo con una cuña liviana de papel. Después de obtener el punto de equilibrio, la posición del peso de balance se debe ajustar hasta que los lados del pie del péndulo estén horizontales.

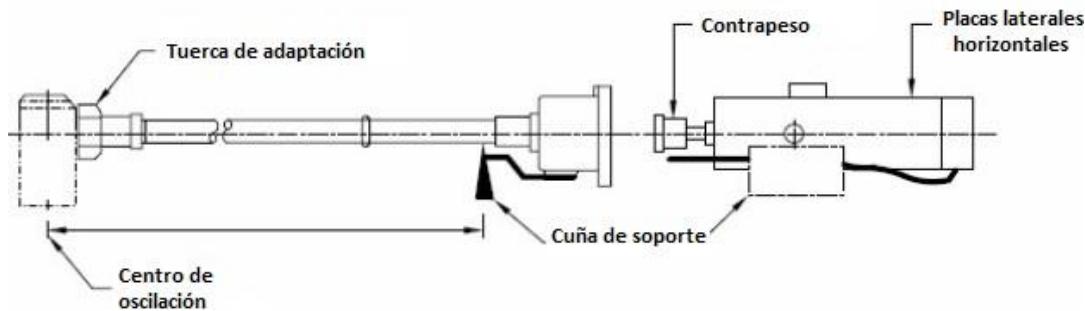


Figura 792A - 1. Montaje del péndulo mostrando la localización del punto de balance

- A.3 Distancia desde el centro de gravedad hasta el centro de oscilación** – Con el péndulo reconnectado al aparato y sin la cubierta del apoyo, la distancia se debe medir desde el centro de oscilación (centro de la tuerca de apoyo) hasta el punto de equilibrio (centro de gravedad). Esta distancia debe ser medida directamente, con una aproximación de 1 mm (0.04").
- A.4 Carga de la zapata** – El péndulo debe ser sujetado a una agarradera adherida a la placa de la escala del dispositivo de prueba y éste se debe colocar y nivelar en un trípode como se muestra en la Figura 792A - 2. Se inserta el espaciador. Se ajusta una balanza de platos, con un montaje de apoyo (nota A.1) en un plato y pesas para tarar en el otro plato, de forma que la aguja de la balanza quede en el centro de la escala de lectura. El péndulo, con la zapata, se debe bajar utilizando los tornillos de ajuste de altura vertical del dispositivo de prueba, hasta que la zapata esté aproximadamente a 0.25 mm (0.01") del topete de la superficie del montaje de apoyo. Se aseguran los tornillos de ajuste de altura vertical y se quita el espaciador. Esto causará un desequilibrio, el cual debe ser parcialmente compensando añadiendo pesas al plato opuesto, con el fin traer el indicador de la escala a un valor dentro de los 200 g centrales de ésta. Para completar el proceso de balance, se regresa la aguja al centro de la escala de lectura, añadiendo agua gradualmente en un cilindro graduado. Se vacía el cilindro y se repite el vertido de agua. Se registra el peso promedio requerido para elevar la zapata de forma tal que la aguja de la balanza esté en el centro de la escala (nota A.2). Si la carga promedio de una zapata de 76.2 mm (3") de ancho y el plato de la balanza no están dentro de los requisitos establecidos en el numeral 4.1, se ajusta la tuerca para ajustar el resorte de tensión mostrada en la Detalle del brazo del péndulo y se determina de nuevo la carga de la zapata.

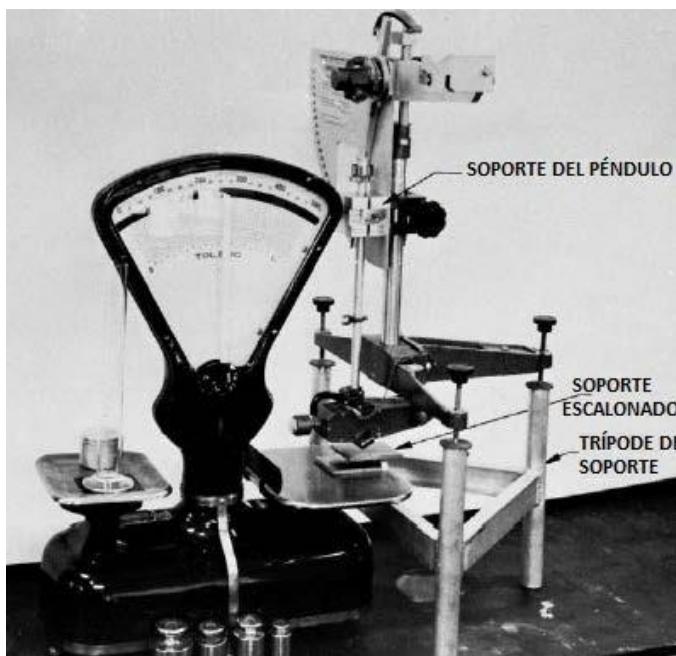


Figura 792A - 2. Arreglo del péndulo británico, mostrando el montaje del péndulo y de la balanza de platos utilizados para medir la carga de la zapata

Nota A.1: El montaje de apoyo puede ser tipo escalera de apoyo con una placa superior rígida de movimiento libre o un arreglo similar tal, que no se introduzca ninguna carga horizontal mientras se mide la carga vertical de la zapata.

Nota A.2: Puede ser necesario mover los platos de la balanza hacia arriba y hacia abajo para operar el resorte, con el fin de lograr lecturas parejas y consistentes. Si las medidas de la carga de la zapata siguen siendo irregulares después de operar el resorte, se quitan el panel lateral y el de la base del pie del péndulo y se revisa la limpieza de las superficies de apoyo y de los bordes de contacto y se determina de nuevo la carga de la zapata.

ANEXO B (Aplicación obligatoria)

CORRECCIÓN DEL CRD POR EFECTO DE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE ENSAYADA

- B.1** La norma permite el empleo de zapatas de caucho natural que cumpla los requerimientos de la Tabla 792 - 1 o de caucho sintético conforme a los requerimientos de las Tablas 792 - 2 y 792 - 3. Si se emplean zapatas de caucho natural, se deberá aplicar un factor de corrección por temperatura para convertir los resultados a una temperatura de referencia de 20° C, debido a que la fricción del caucho natural depende de la temperatura. Los factores de corrección suministrados en la norma BS 7976 son los siguientes:

TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE (° C)	FACTOR DE CORRECCIÓN (UNIDADES CRD)
8 a 11	-3
12 a 15	-2
16 a 18	-1
19 a 22	0
23 a 28	+1
29 a 35	+2

- B.2** La ASTM considera que el caucho sintético formulado de acuerdo con las características de las Tablas 792 - 2 y 792 - 3 es independiente de la temperatura y, por lo tanto, si se emplean zapatas fabricadas con él no se requiere la corrección por efecto de la temperatura superficial.
- B.3** A través del tiempo, se han realizado varias investigaciones para establecer los factores de corrección de los valores CRD por efecto de la temperatura de la superficie ensayada. A efectos comparativos, sus resultados se muestran en la Figura 792B - 1. El usuario deberá consultar las condiciones bajo las cuales se establecieron las diferentes ecuaciones, con el fin que elija la que considere más adecuada.

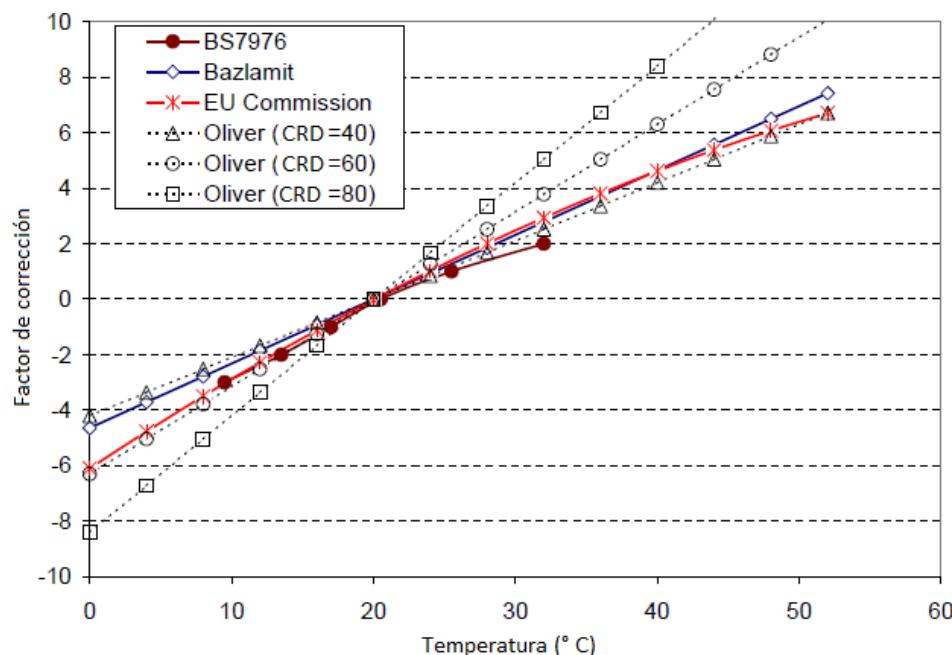


Figura 792B - 1. Factores de corrección para los valores de CRD sugeridos por diferentes investigadores

- B.4** En la *Overseas Road Note 18* del TRL se recomienda que, en climas tropicales, la corrección del valor de CRD se realice empleando una temperatura de referencia de 35° C, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\text{CRD}_{35} = \frac{(100+t)}{135 \times \text{CRD}_t} \quad [792.2]$$

Donde: CRD₃₅: Coeficiente de resistencia al deslizamiento a una temperaturade referencia de 35° C;

CRD_t: Coeficiente de resistencia al deslizamiento
medido; t: Temperatura a la cual se realizó el
ensayo.

Nota B.1: A esta temperatura de referencia, se obtienen valores de CRD de 3 a 5 unidades inferiores a los determinados a una temperatura de referencia de 20° C.

ANEXO C (Informativo)

CORRELACIÓN ENTRE LAS MEDIDAS DEL PÉNDULO BRITÁNICO Y LASDEL GRIPTESTER

- C.1** Una correlación entre los resultados de estos dos dispositivos se determinó en Australia y sus resultados fueron presentados en la Conferencia Internacional sobre Fricción Superficial realizada en Nueva Zelanda en 2005¹. Un número limitado de datos muestra una correlación entre las medidas de los aparatos cuando el GripTester es halado a 50 km/h (30 mph) o empujado a 5 km/h (3 mph), como se muestra en la Figura 792C - 1. Sin embargo, el documento no brinda detalles sobre datos como los tipos de superficie y las temperaturas de ensayo.

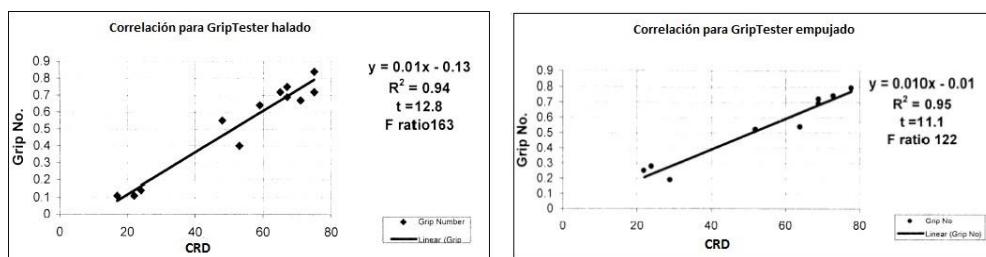


Figura 792C - 1. Correlaciones entre los valores del péndulo británico y los del GripTester

¹ MACKAY G., "Road Surface Friction: Measurement, Testing and Accuracy", International Surface Friction Conference: Roads and Runways, Christchurch, New Zealand, May 2005