

LIBRO: **MMP. MÉTODOS DE MUESTREO
Y PRUEBA DE MATERIALES**

PARTE: **4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS**

TÍTULO: 07. Superficie de Rodadura

CAPÍTULO: 013. Determinación del Coeficiente de Fricción con Péndulo Británico

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento para determinar el coeficiente de fricción de un pavimento al que se refiere la Norma N·CSV·CAR·1·03·007 *Determinación del Coeficiente de Fricción (CF)*, usando un Péndulo Británico.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite determinar puntualmente el coeficiente de fricción del pavimento mediante la utilización del péndulo británico. La prueba consiste en determinar la pérdida de energía cinemática que experimenta el brazo oscilatorio del péndulo al rozar una superficie de rodadura.

C. REFERENCIAS

Es referencia de este Manual la Norma N·CSV·CAR·1·03·007, *Determinación del Coeficiente de Fricción (CF)*.

D. EQUIPO Y MATERIALES

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado y completo en todas sus partes. Todos los materiales por emplear serán de alta calidad.

D.1. EQUIPO

D.1.1. Péndulo Británico

Contará con un brazo pendular con caída libre que en uno de sus extremos contenga una zapata de caucho que hará contacto con la superficie del pavimento durante su movimiento semicircular, como se muestra en la Figura 1.

D.1.1.1. Zapata

De caucho, con las dimensiones y material especificados por el fabricante del equipo, la cual va sujeta a una placa soporte de aluminio con abrazadera para su fijación al eje del brazo del péndulo, formando un ángulo de $26 \pm 3^\circ$ con la horizontal, de tal manera que solamente la arista posterior de la zapata quede en contacto con la superficie del pavimento.

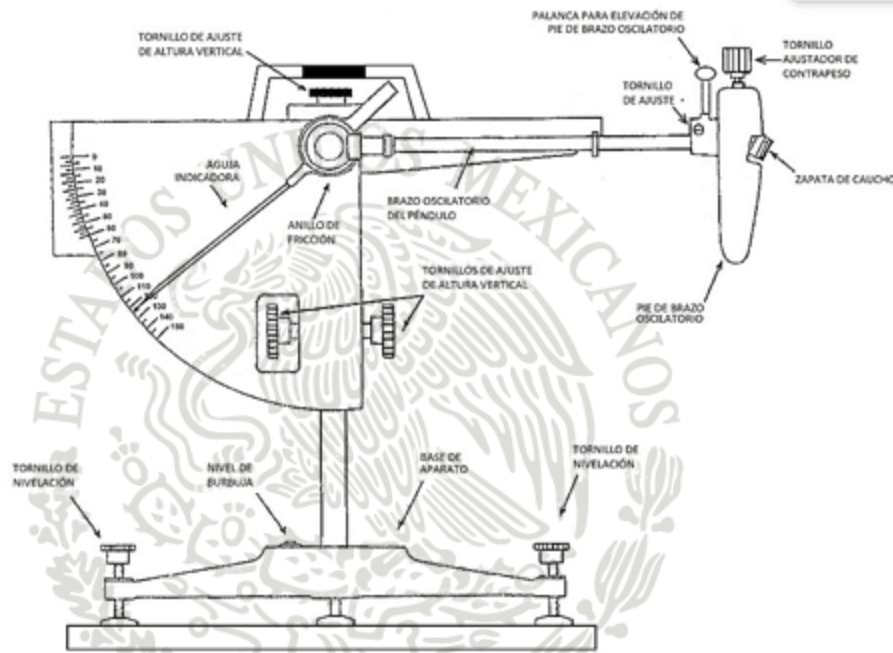


FIGURA 1.- Esquema del Péndulo Británico

D.1.2. Regleta graduada

Cuya separación entre cada par de marcas exteriores e interiores próximas sea de 2,5 mm, siendo por lo tanto 127 mm en la parte exterior mientras que en la interior de 122 mm.

D.1.3. Termómetro láser

Con capacidad para medir temperaturas entre -10 a 60 °C y aproximación de 1 °C.

D.1.4. Recipientes para agua

Serán dos recipientes de distintas capacidades, uno de 10 L y otro con capacidad de 0,5 L. Este último permitirá rociar uniformemente el agua sobre la superficie a evaluar.

D.1.5. Cepillo

Este será de cerdas de goma dura con una longitud no inferior a 2 cm, abarcará un área de barrido de 16 cm² en la superficie a evaluar.

D.2. MATERIALES**D.2.1. Agua**

Potable o destilada, libre de químicos, para la humectación de la superficie a evaluar.

E. CALIBRACIÓN

Para el correcto funcionamiento del equipo se tomarán en cuenta las siguientes especificaciones:

E.1. PESO DEL PÉNDULO BRITÁNICO

El brazo del péndulo con la zapata de caucho puesta será desconectado del instrumento y pesado en una báscula con resolución de 1 g. Su peso será de $1\,500 \pm 30$ g.

E.2. EQUILIBRIO DEL BRAZO DEL PÉNDULO

Se equilibrará el brazo del péndulo con una zapata montada, colocándolo sobre una cuchilla y buscando a prueba y error el punto de equilibrio.

Una vez encontrado el punto de equilibrio, se ajustará el contrapeso con el tornillo dispuesto para tal fin, hasta que el pie del brazo del péndulo quede en posición horizontal.

F. PREPARACIÓN DEL SITIO DE MEDICIÓN**F.1. EN CAMPO**

Con el cepillo limpiar perfectamente la superficie de rodadura del pavimento, dejándola libre de cualquier material suelto o polvo.

G. PREPARACIÓN DEL EQUIPO**G.1. NIVELACIÓN**

Nivelar el instrumento girando los tornillos de nivelación hasta centrar la burbuja del nivel.

G.2. AJUSTE DE CEROS

G.2.1. Elevar el mecanismo del péndulo aflojando los tornillos de seguridad (ubicados directamente detrás del pivote del péndulo).

G.2.2. Girar cualquiera de los pares de tornillos de la cabeza móvil ubicados en el centro del instrumento, para que la zapata oscile libremente. Se aprietan firmemente los tornillos de seguridad.

G.2.3. Colocar el péndulo en posición horizontal y mover la aguja indicadora en el sentido contrario a las manecillas del reloj hasta la posición de reposo contra el tornillo de ajuste en el brazo del péndulo.

G.2.4. Liberar el péndulo y registrar la lectura de la aguja indicadora. Si la lectura no es cero, se afloja el anillo del seguro y se gira suavemente el anillo de fricción en el eje de soporte y se asegura nuevamente.

G.2.5. Repetir el procedimiento y se ajusta el anillo de fricción hasta que el movimiento oscilatorio del péndulo lleve la aguja a cero.

G.3. AJUSTE DE LA LONGITUD DE DESLIZAMIENTO

G.3.1. Con el brazo del péndulo suspendido libremente, se inserta el espaciador debajo del tornillo de ajuste de la palanca de elevación de la zapata. Se bajará el péndulo de tal manera que el borde de la zapata toque la superficie a medir. Se asegura el péndulo firmemente, se levanta la palanca de elevación de la zapata y se retira el espaciador.

G.3.2. Levantar la zapata con la palanca de elevación, se desplaza el péndulo hacia la derecha y se baja la zapata permitiendo que el péndulo se mueva libremente hacia la izquierda hasta que el borde de la zapata haga contacto con la superficie.

G.3.3. Marcar el borde de entrada y salida de la zapata en la superficie de contacto

G.3.4. Si la superficie de contacto no se encuentra entre 124 a 127 mm medido entre el borde de entrada y borde de salida del recorrido de la zapata, se ajustará subiendo o bajando el aparato con el tornillo frontal de nivelación o con los tornillos de ajuste de altura vertical. De ser necesario ajustar nuevamente el nivel del péndulo, se coloca el péndulo de manera horizontal y se mueve la aguja indicadora en el sentido contrario a las manecillas del reloj hasta tocar con el tornillo de ajuste en el brazo del péndulo.

G.4. ACONDICIONAMIENTO DE LA ZAPATA

Aplicar agua suficiente a la superficie del pavimento, para cubrir completamente el área de prueba. Ejecute un movimiento oscilatorio, pero no registre los datos.

Siempre se sujetará el péndulo durante el recorrido de regreso antes de que pase por la posición vertical. Se levanta la zapata con la palanca de elevación y se regresa el péndulo a su posición inicial. Antes de realizar un movimiento se devolverá la aguja a su posición de descanso, contra el tornillo de ajuste.

H. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

Se registrará la temperatura superficial del pavimento utilizando el termómetro láser y se realizarán cuatro ensayos consecutivos, agregando agua a la superficie entre cada uno de ellos y se registrará una lectura para cada ensayo.

Se realizarán cuatro ensayos cuando la zapata tenga caucho natural y cinco si tiene caucho sintético. Se tendrá cuidado de que la zapata permanezca paralela a la superficie durante el movimiento oscilatorio, de tal manera que el contacto inicial se realice por el borde de impacto completo.

I. CÁLCULOS Y RESULTADOS

I.1. CORRECCIÓN POR TEMPERATURA

Las lecturas obtenidas serán corregidas en función de la temperatura registrada al momento de hacer los ensayos mediante la siguiente ecuación:

$$L_{corr} = L_{camp} - (0,005 * Temp^2 - 0,45 * Temp + 6,95)$$

Donde:

L_{corr} = Lectura corregida, adimensional

L_{camp} = Lectura de campo, adimensional

$Temp$ = Temperatura registrada al inicio de la medición, °C

I.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

I.2.1. Informe de los trabajos

Se entregará un informe conciso, integrado por los conceptos que se indican a continuación:

I.2.1.1. Identificación del tramo

- Nombre y clave de la carretera a la que pertenece el tramo carretero, los cuales serán congruentes con la nomenclatura emitida por la Secretaría a través de la Dirección General de Servicios Técnicos

- Origen y destino, referenciados mediante la información que se estipula en la Fracción E.1. de la Norma N-CSV-CAR-1-03-007, *Determinación del Coeficiente de Fricción (CF)*

I.2.1.2. Características generales del tramo

- Longitud total
- Tipo de pavimento existente, indicando las variaciones detectadas durante la medición
- Número de carriles por sentido de circulación, señalando los cambios observados de la configuración de la calzada

I.2.1.3. Descripción general de los trabajos efectuados

- Características del equipo de medición utilizado, incluyendo la información sobre su calibración
- Detalles del procedimiento de medición utilizado
- Relación de cualquier situación adversa que se hubiere presentado durante la ejecución de los trabajos, puntualizando el impacto de tales situaciones sobre los resultados del estudio
- Nombre del operador
- Número de serie del equipo

I.2.1.4. Resumen de resultados de evaluación

En los trabajos de evaluación según se indica en la Fracción B.7. de la Norma N-CSV-CAR-1-03-007, *Determinación del Coeficiente de Fricción (CF)*, el resumen de resultados se integrará con los productos que se indican a continuación, los cuales se elaborarán para cada segmento de medición (Fracción B.9. de la Norma N-CSV-CAR-1-03-007, *Determinación del Coeficiente de Fricción (CF)*).

- Larguillo del CF con la información agregada por kilómetro, utilizando como abscisas el kilómetro y en las ordenadas el valor de CF correspondiente. En este gráfico, se indicarán los rangos que delimitan la condición a la que se hace referencia en la Fracción B.10. de la Norma N-CSV-CAR-1-03-007, *Determinación del Coeficiente de Fricción (CF)*, como se muestra en la Figura 2.

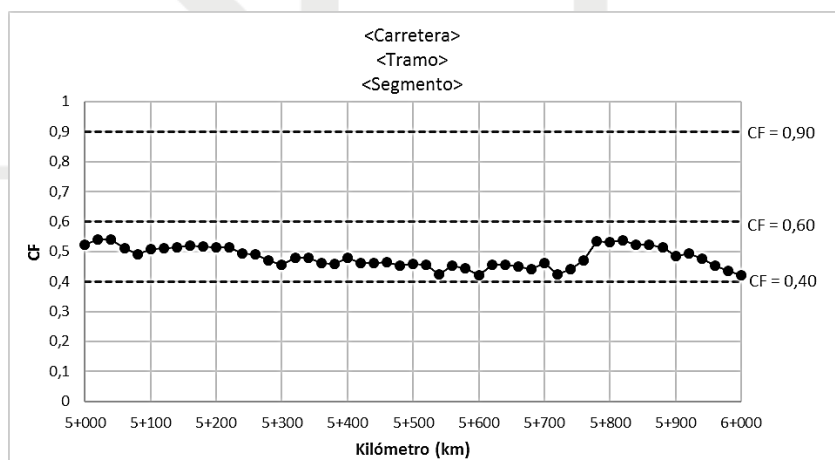


FIGURA 2.- Larguillos del Coeficiente de Fricción a cada kilómetro

- Representación geográfica de los valores representativos por segmento de acuerdo a la clasificación de la condición. La capa base del tramo sobre la que se representarán los valores obtenidos, se construirá con información del Instituto

Nacional de Estadística y Geografía, o bien con los datos que provea la contratista siempre y cuando la información se encuentre actualizada.

- Los porcentajes de la condición del *CF* del segmento, se ilustrarán mediante un gráfico circular, en función de los rangos definidos en la Tabla 1 de la Norma N-CSV-CAR-1-03-007, *Determinación del Coeficiente de Fricción (CF)*.
- Comparación de los valores del *CF* por kilómetro, en relación con los obtenidos en el año inmediato anterior, la cual se acompañará de una valoración general que explique, a satisfacción de la Secretaría, las causas de los posibles cambios observados.

I.2.1.5. Resumen de resultados de control de calidad

Quando los trabajos formen parte del control de calidad de una obra según se indica en la Fracción B.7. de la Norma N-CSV-CAR-1-03-007, *Determinación del Coeficiente de Fricción (CF)*, en el resumen de resultados se presentará una comparación entre los valores medidos y los especificados en el proyecto y en función de la misma, se determinará si los tramos auscultados cumplen con los niveles de fricción especificados en el proyecto.

I.2.1.6. Resumen de resultados de validación

En los trabajos de validación según se indica en la Fracción B.7. de la Norma N-CSV-CAR-1-03-007, *Determinación del Coeficiente de Fricción (CF)*, el resumen de resultados comprenderá los conceptos que se indican a continuación:

- Descripción general del tramo evaluado
- Información teórica relativa a la medición del coeficiente de fricción
- Descripción genérica de los equipos para la medición del coeficiente de fricción
- Tabla comparativa de resultados
- Coeficiente de correlación de los valores obtenidos con cada equipo
- Conclusiones del proceso de validación

I.2.1.7. Resumen de resultados de estandarización

Quando los trabajos formen parte de un procedimiento de estandarización según se indica en la Fracción B.7. de la Norma N-CSV-CAR-1-03-007, *Determinación del Coeficiente de Fricción (CF)*, los resultados se presentarán conforme a lo indicado en el mismo procedimiento.

I.2.2. ANEXOS

En los trabajos de validación, el resumen de resultados comprenderá los conceptos que se indican a continuación:

I.2.2.1. Anexo “A”: Bitácora del servicio

Reproducción en formato electrónico de la bitácora del servicio a la que se refiere la Fracción D.4. de la Norma N-CSV-CAR-1-03-007, *Determinación del Coeficiente de Fricción (CF)*.

I.2.2.2 Anexo “B”: Base de datos

Base de datos en hoja de cálculo con los valores obtenidos en campo para cada tramo carretero o segmento, que contenga la siguiente información:

- Nombre de la carretera a la que pertenece el tramo evaluado, según la nomenclatura emitida por la Secretaría a través de la Dirección General de Servicios Técnicos
- Sentido de circulación, de acuerdo con la nomenclatura especificada en la Fracción D.4. de la Norma N-CSV-CAR-1-03-007, *Determinación del Coeficiente de Fricción (CF)*
- Carril evaluado, de acuerdo con la misma nomenclatura
- kilómetros inicial y final del segmento o tramo
- Valor del CF
- Coordenadas geográficas

I.2.2.3. Anexo “C”: Reporte de datos procesados

Los informes relativos a los trabajos de evaluación, incorporarán un anexo con los valores procesados de las mediciones, almacenados en hojas de cálculo. Se presentará la información por cada kilómetro y segmento evaluado, se incluirán los elementos que se describen a continuación:

- Nombre de la carretera a la que pertenece el tramo o segmento evaluado, según la nomenclatura emitida por la Secretaría a través de la Dirección General de Servicios Técnicos
- Sentido de circulación, de acuerdo con la nomenclatura especificada en la Fracción D.4. de la Norma N-CSV-CAR-1-03-007, *Determinación del Coeficiente de Fricción (CF)*.
- Carril evaluado, de acuerdo con la misma nomenclatura
- Kilómetros inicial y final del segmento de medición
- Valor de CF

I.2.2.4. Anexo “D”: Resumen fotográfico

Conjunto de fotografías con resolución de al menos 46,5 pixeles por cm² (300 ppp²) y formato “JPG”.

El conjunto de imágenes constituirá una secuencia fotográfica que muestre, entre otros aspectos, el vehículo de medición, su equipamiento externo e interno, las características más relevantes del tramo a lo largo del recorrido y ejemplos de segmentos según la condición física.

J. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

- J.1.** El personal asignado para la prueba seguirá en todo momento las medidas precautorias de seguridad para realizar pruebas en campo y en laboratorio.
- J.2.** Revisar constantemente la nivelación del equipo, desgaste de la zapata y longitud de deslizamiento.
- J.3.** Realizar las mediciones cuando el viento circule a una velocidad menor de 10 m/s, caso contrario colocar unas pantallas de dimensiones adecuadas para evitar la influencia del viento en las mediciones.

K. BIBLIOGRAFÍA

ASTM International, E 303-93 (2013), *Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester*, EUA.

ASTM international, E 501-08 (2015), *Standard Specification for Standard Rib Tire for Pavement Skid-Resistance Tests*, EUA.

Norma NLT 175/98, *Coeficiente de resistencia al deslizamiento con péndulo del TRRL*, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, España.



SCT

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA
DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS
AV. COYOACÁN 1895
COL. ACACIAS
CIUDAD DE MÉXICO, 03240
www.GOB.MX/SCT