

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

PARTE:

## 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS

TÍTULO:

07. Superficie de Rodadura

CAPÍTULO

011. Determinación del Coeficiente de Fricción con Equipo de Rueda Parcialmente Bloqueada

### A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento para determinar, mediante el empleo de un equipo de rueda parcialmente bloqueada, el coeficiente de fricción de la superficie de un pavimento, a que se refiere la Norma N·CSV·CAR·1·03·007, *Determinación del Coeficiente de Fricción (CF)*.

### B. OBJETIVO

Esta prueba permite determinar el coeficiente de fricción de los pavimentos mediante un dispositivo de medición que impone un frenado parcial al neumático de medición. La prueba consiste en recorrer una franja del tramo de prueba con el equipo de evaluación que será mojada por el sistema de riego del equipo con una lámina de agua uniforme.

### C. REFERENCIAS

Son referencia de este Manual la Norma N·CSV·CAR·1·03·007, *Determinación del Coeficiente de Fricción (CF)*, la Norma Internacional ASTM E 556, *Standard Test Method for Calibrating a Wheel Force or Torque Transducer Using a Calibration Platform (User Level)*, ASTM E1844 *Standard Specification for a Size 10 x 4-5 Smooth-Tread Friction Test Tire*, el Protocolo NMEA – 0183, de la *National Marine Electronics Association*.

### D. EQUIPO Y MATERIALES

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

El equipo de evaluación consta de un remolque con tres neumáticos con un sistema de bloqueo, sistema de riego, sensores de distancia y carga y un sistema de registro y procesamiento, que estará sujeto a un vehículo como se muestra en la Figura 1.

#### D.1. EQUIPO

##### D.1.1. Vehículo

Capaz de remolcar el equipo de evaluación a una velocidad constante. El vehículo tendrá un enganche en la parte trasera para jalar el remolque.

Estará acondicionado con las herramientas que cubran las necesidades de funcionamiento del equipo de evaluación. El motor, mecanismos de dirección, sistema de control de velocidad (se recomienda el uso de un sistema automático) y componentes de suspensión serán de manufactura reciente y mantendrán la velocidad y dirección sin cambios bruscos durante el recorrido. Con capacidad para alojar el sistema de riego de la película de agua.

Se recomienda contar con sistema automático de velocidad de cruce para mantenerla constante durante la ejecución de la prueba.



FIGURA 1.- Equipo de rueda acoplado a vehículo

## D.1. EQUIPO

### D.1.1. Vehículo

Capaz de remolcar el equipo de evaluación a una velocidad constante. El vehículo tendrá un enganche en la parte trasera para jalar el remolque.

Estará acondicionado con las herramientas que cubran las necesidades de funcionamiento del equipo de evaluación. El motor, mecanismos de dirección, sistema de control de velocidad (se recomienda el uso de un sistema automático) y componentes de suspensión serán de manufactura reciente y mantendrán la velocidad y dirección sin cambios bruscos durante el recorrido. Con capacidad para alojar el sistema de riego de la película de agua. Se recomienda contar con sistema automático de velocidad de cruce para mantenerla constante durante la ejecución de la prueba.

### D.1.2. Sistema de bloqueo

El bloqueo parcial del neumático de prueba se logra mediante un sistema de transmisión que cuenta con dos ejes con ruedas dentadas una con 27 dientes y otra con 32 unidos por una cadena de transmisión. La diferencia entre los diámetros de ambas ruedas hace posible el frenado parcial del neumático de prueba mediante el principio de deslizamiento fijo.

### D.1.3. Neumáticos

Dos neumáticos de dirección o guía que están montados sobre un eje de dirección sólido de acero inoxidable. A su vez el tercer neumático liso que es el de medición está montado sobre otro eje contiguo, la presión de inflado será de  $138 \pm 3$  kPa ( $20 \pm 0,5$  psi) medida a temperatura ambiente. Los dos ejes están ligados por una cadena de transmisión. Los neumáticos cumplirán las especificaciones de la Norma ASTM E1844, *Standard Specification for a Size 10 x 4-5 Smooth-Tread Friction Test Tire*.

**D.1.4. Extensómetro**

Dispositivo de precisión para medir la deflexión del eje sobre el cual va montada el neumático de medición con capacidad de medir deformaciones de hasta 0,1 mm.

**D.1.5. Sistema de riego**

Será capaz de arrojar agua delante del neumático de prueba mediante un sistema de bombeo durante el tiempo de realización de la prueba. Generará una película de agua de 0,5 mm o la indicada por la Secretaría, con flujo de agua constante.

**D.1.6. Sensor de distancia**

Permite cuantificar la distancia recorrida por el vehículo de evaluación. Se puede usar cualquier sensor de distancia que produzca una señal digital o analógica con una precisión menor de 0,1 %, equivalente a una diferencia de  $\pm 1$  m/km.

**D.1.7. Sistema de registro y procesamiento**

La Unidad de Proceso de Señal (SPU) es capaz de recibir los impulsos eléctricos del sensor de distancia y el extensómetro para procesarlos y transformarlos en valores de coeficiente de fricción.

**D.1.8. Instrumento de posicionamiento global (GPS)**

Tendrá una precisión mínima de  $\pm 3$  m en modalidad de navegación, y de  $\pm 1$  cm en modo estático. cumplirá con el Protocolo NMEA – 0183 de la *National Marine Electronics Association*.

El equipo tendrá capacidad para que los datos generados durante los recorridos ofrezcan el vínculo entre las coordenadas geográficas y UTM, (*Universal Transverse Mercator*), así como la distancia longitudinal recorrida.

**D.1.9. Base de calibración**

Se compone de los siguientes elementos:

- Cunas para apoyo de los neumáticos de dirección o guía
- Soporte de altura ajustable
- Bloques espaciadores

**D.1.10. Aplicador de carga**

Dispositivo que permite la carga para la calibración del equipo, a partir de un cable que es tensado o liberado para la aplicación de diferentes niveles de fuerza en los planos vertical y horizontal, como se muestra en la Figura 2.

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

Potable libre de químicos, para la humectación de la superficie a evaluar

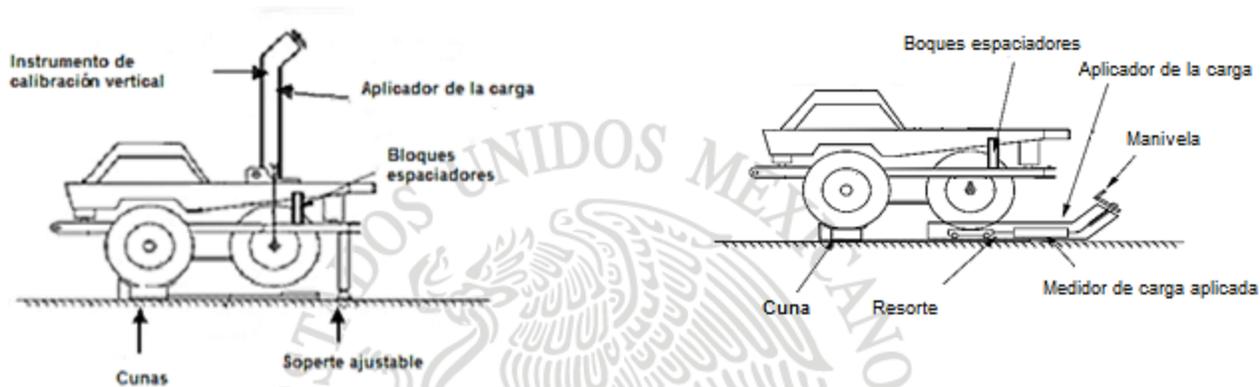


FIGURA 2.- Equipo en posición de calibración, vertical (izquierda) y horizontal (derecha)

## E. CALIBRACIÓN

Es importante que el sistema y sus componentes se verifiquen periódicamente de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. El equipo será calibrado cuando se realice la sustitución de alguno de sus componentes, lo solicite la Secretaría o al menos dos veces al año. Los registros que se generen serán conservados como evidencia de las calibraciones, entregando una copia a la Secretaría.

### E.1. CALIBRACIÓN DE DISTANCIA

- E.1.1. Marcar un tramo de prueba de por lo menos 1 km de distancia
- E.1.2. Colocar el vehículo en el punto de inicio del tramo previamente marcado y realizar por lo menos 4 recorridos de prueba para promediar la calibración y definir el factor de ajuste.
- E.1.3. La diferencia entre la distancia real y la distancia marcada por el equipo no será mayor del 1%, de no ser así se revisarán los sensores o se contactará al fabricante.

### E.2. CALIBRACIÓN DEL EJE DEL NEUMÁTICO DE PRUEBA

El proceso de calibración requiere de un área seca firme y nivelada sobre la cual se coloca la base de calibración del equipo, el cual se posiciona de manera adecuada para poder aplicar las cargas en el eje vertical y horizontal como se muestra en la Figura 2.

Para la calibración del eje en el plano vertical se coloca el aplicador de carga siguiendo las indicaciones del fabricante, se verifica que el indicador de carga ubicado en el SPU se encuentre en ceros. Se aplica una carga de 20 kg, de acuerdo al procedimiento de calibración del equipo para obtener el factor de calibración en ese plano.

Para la calibración del eje en el plano horizontal se coloca el aplicador de carga siguiendo las indicaciones del fabricante, se verifica que el indicador de carga del aplicador se encuentre en ceros. Se aplica una carga de 15 kg, de acuerdo al procedimiento de calibración del equipo para obtener el factor de calibración en ese plano.

## F. PREPARACIÓN DEL EQUIPO

- F.1. Caliente los neumáticos a una velocidad de por lo menos 10 km/h. El neumático de prueba girara naturalmente sin ninguna acción de frenado.

- F.2.** El agua utilizada para la prueba será razonablemente limpia, no tendrá residuos de material orgánico ni productos químicos tales como agentes humectantes o detergentes.
- F.3.** Encienda el sistema electrónico y de adquisición de datos y déjelo encendido durante mínimo 5 minutos o el tiempo que el fabricante indique.

## **G. VELOCIDADES DE PRUEBA**

Realice la prueba estándar a  $50 \pm 2,5$  km/h o la indicada por la Secretaría. Durante la ejecución de la prueba se registra la de velocidad de medición y se reporta en el informe de resultados.

En tramos curvos y con pendientes pronunciadas la velocidad de prueba será la velocidad máxima de circulación o la indicada por la Secretaría.

## **H. PROCEDIMIENTO DE LA MEDICIÓN**

- H.1.** Preparar el equipo para la recolección de datos tal y como lo indica el fabricante, agregar la información que corresponda a la prueba.
- H.2.** Llevar el equipo 300 metros antes del punto de inicio del tramo de prueba para poder alcanzar la velocidad deseada y encender el sistema de riego poco antes de llegar al punto de inicio.
- H.3.** Suministre agua a la superficie del pavimento delante del neumático de medición antes del inicio de la medición.
- H.4.** Aplique el freno al neumático de medición de acuerdo con lo especificado en el proyecto, típicamente se aplica un frenado del 15%.
- H.5.** El suministro de agua se puede terminar tan pronto como se complete el último intervalo promedio de datos y el freno se libera.

## **I. CÁLCULOS Y RESULTADOS**

### **I.1. CÁLCULOS**

La Unidad de Proceso de Señal calculará el coeficiente de fricción con base en los impulsos de voltaje generados por el extensómetro.

### **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, así como la velocidad de prueba. 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 3.

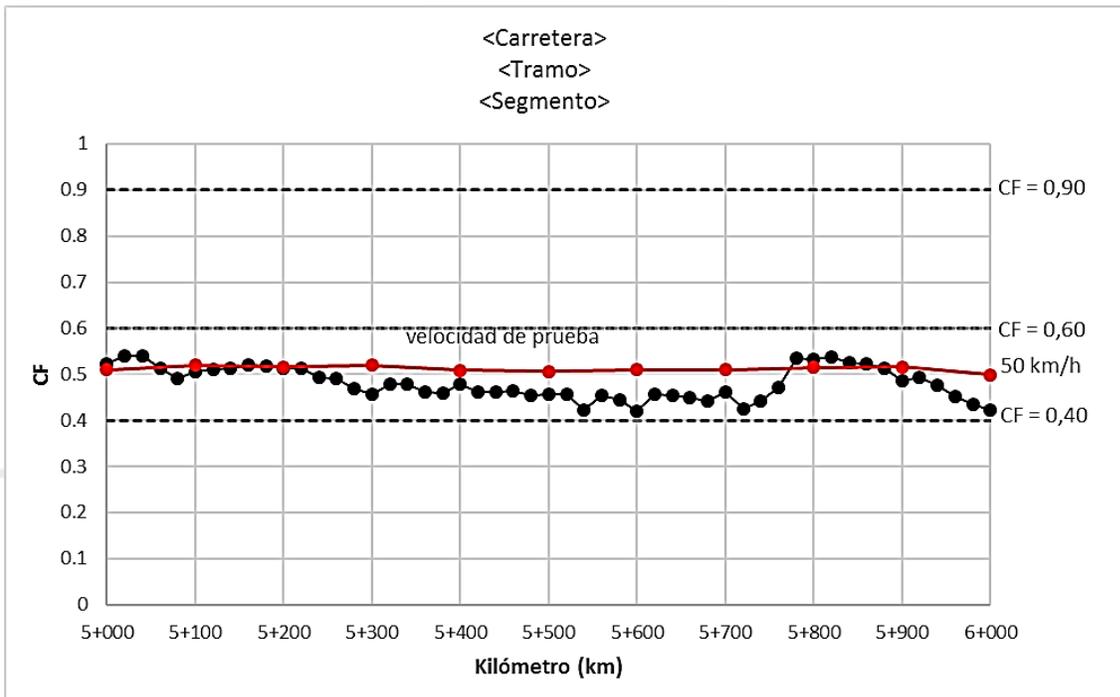


FIGURA 3.- Larguillos del Coeficiente de Fricción a cada kilómetro y velocidad de la prueba

- 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**

Cuando 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**

Cuando 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* a cada 20 m
- 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* en intervalos de 100 y 1 000 m

#### I.2.2.4. Anexo “D”: Resumen fotográfico

Conjunto de fotografías con resolución de al menos 46,5 píxeles por cm<sup>2</sup> (300 ppp<sup>2</sup>) 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.

### I. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

- I.1 Revisar los datos obtenidos al finalizar cada medición, en caso de encontrar alguna inconsistencia repetir la prueba y verificar el estado del equipo de medición.
- I.2 Se recomienda contar con sistema automático de velocidad de cruce para mantener la constante durante la ejecución de la prueba.
- I.3 Revisión de la presión de inflado de los neumáticos como lo indica el Inciso D.1.3. de este Manual.

### J. BIBLIOGRAFÍA

Hall, J.W; Wambold, J.C; Yager, T.J and, Rado, Z. *Guide for Pavement Friction, NCHRP document 108*, EUA. Febrero 2009.

International Civil Aviation Organization, *Aerodrome Design Manual, ICAO Doc 9157-An/901 part 3*, Canadá (1989).

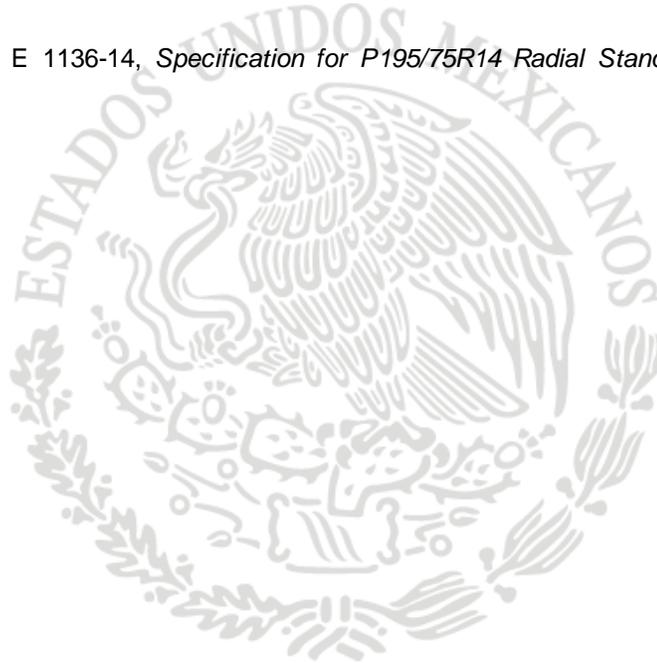
American Society for Testing and Materials (ASTM), E 867-06 (2012), *Terminology Relating to Vehicle – Pavement Systems*, EUA.

ASTM International, E 1859-11 (2015), *Friction Coefficient Measurements Between Tire and Pavement Using a Variable Slip Technique*, EUA.

ASTM International, E 274-15, *Test Method for Skid Resistance of Paved Surfaces Using a Full- Scale Tire*, EUA.

ASTM International, E 524-08 (2015), *Specification for Smooth Tire for Pavement Skid Resistance Tests*, EUA.

ASTM International, E 1136-14, *Specification for P195/75R14 Radial Standard Reference Test Tire*, EUA.



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](http://WWW.GOB.MX/SCT)