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

PARTE: ***4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS***

TÍTULO: 07. Superficie de Rodadura

CAPÍTULO: *012. Determinación del Coeficiente de Fricción con Equipo de Rueda Bloqueada*

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento para determinar mediante el uso de un equipo de rueda bloqueada 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)*.

B. OBJETIVO

Esta prueba permite determinar el coeficiente de fricción de un pavimento mediante la utilización de un equipo de rueda bloqueada. La prueba consiste en desplazar el equipo sobre una franja de la superficie de prueba previamente mojada.

C. REFERENCIAS

Son referencia de este Manual la Noma 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 E 1551 *Standard Specification for Special Purpose, Smooth-Tread Tire, Operated on Fixed Braking Slip Continuous Friction Measuring Equipment* y 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 serán de alta calidad. El equipo de evaluación consta de un neumático de prueba, sistema de bloqueo, sistema de riego, sistema de registro y procesamiento, sensores de distancia y de carga, que están acoplados a un vehículo.

D.1. EQUIPO

D.1.1. Vehículo

Será un vehículo de tamaño adecuado de manera tal que, sin sufrir modificaciones estructurales mayores, permita acomodar el equipo de evaluación como se muestra en la Figura 1. El motor, mecanismos de dirección y componentes de suspensión serán de manufactura reciente y mantendrán la velocidad y dirección sin cambios bruscos durante el recorrido.

FIGURA 1.- Equipo de Rueda Bloqueada

D.1.2. Neumáticos

Cumplirán con las especificaciones de la Norma ASTM E 1551, *Standard Specification for Special Purpose, Smooth-Tread Tire, Operated on Fixed Braking Slip Continuous Friction Measuring Equipment*. La presión en el neumático de prueba será de 207 ±3 kPa (30 ± 0,5 psi) medida a temperatura ambiente.

D.1.3. Sistema de bloqueo

Será capaz de bloquear el neumático de medición en un 100%, interrumpiendo su libre giro durante el tiempo de prueba. El sistema de bloqueo consiste en un transductor, el cual posee un circuito utilizado para la medición de la tensión en dos ejes. Un eje mide la carga vertical, mientras que el segundo eje mide la fuerza de tracción (torque).

D.1.4. 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 ± 1m/km.

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. Este sistema cuenta con un medidor de flujo.

D.1.6. Sistema de registro y procesamiento

Contará con un sistema para el procesamiento, registro y almacenamiento a largo plazo de los datos del tramo evaluado.

D.1.6.1. Sistema analógico de conversión (SAC)

Convierte las señales recibidas del transductor, medidor de flujo y sensor de distancia a valores digitales que pueden ser utilizados por el software del equipo.

D.1.6.2. Sistema de registro y almacenamiento

El sistema tendrá la capacidad de registrar y almacenar los datos provistos por el (SAC) durante la prueba.

Consiste en una computadora portátil que registrará e interpretará los datos proporcionados por el (SAC), almacenará los datos y eventos procesados dentro de su memoria volátil RAM, así como en el disco duro del equipo. Se recomienda que tenga como mínimo las siguientes capacidades: procesador Intel® Core i3 a 1.3 GHz, Memoria RAM de 4 GB y disco duro de 500 GB a 7200 rpm.

D.1.7. Instrumento de Posicionamiento Global (GPS)

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

El equipo tendrá la capacidad para generar los datos durante los recorridos en coordenadas geográficas o UTM, (*Universal Transverse Mercator)*, así como la distancia longitudinal recorrida.

D.2. MATERIALES

D.2.1. Agua

Potable libre de químicos, para acondicionar la superficie a evaluar

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 SISTEMA DE BLOQUEO

Existen dos tipos de calibración para el sistema. La primera se denomina “de corte” y se realiza antes de inicio de las mediciones, la cual dura aproximadamente 30 s. La segunda se denomina “de plataforma” y se realiza anualmente o cada 10 000 km de medición según la bitácora de uso del equipo. La calibración de plataforma se realiza para verificar el transductor, siguiendo el procedimiento en la Norma ASTM E 556, *Standard Test Method for Calibrating a Wheel Force or Torque Transducer Using a Calibration Platform (User Level)* y las recomendaciones del fabricante.

F. PREPARACIÓN DEL EQUIPO

F.1. Caliente los neumáticos a una velocidad de por lo menos 10 km/h. El neumático de prueba girará libremente 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 calentar durante mínimo 5 minutos o el tiempo que el fabricante indique.

G. PROCEDIMIENTO DE LA MEDICIÓN

G.1. Preparar el equipo para la recolección de datos tal y como lo indica el fabricante, agregar la información que corresponda a la prueba.

G.2. Llevar el equipo 300 m antes del punto de inicio del tramo de prueba para poder alcanzar la velocidad deseada de 65 km/h y encender el sistema de riego.

G.3. Inmediatamente después de haber encendido el sistema de riego aplicar el freno al neumático de prueba para bloquearlo por completo. Éste permanecerá bloqueado durante el intervalo de adquisición de datos.

G.4. El sistema de riego y bloqueo pueden ser apagados al mismo tiempo después de medir el tramo.

H. CÁLCULOS Y RESULTADOS

H.1. CÁLCULOS

El software del equipo realizará los cálculos del coeficiente de fricción con base en la información provista por el Sistema Analógico de Conversión.

H.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

H.2.1. Informe de los trabajos

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

H.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)*

H.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

H.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

H.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 2.

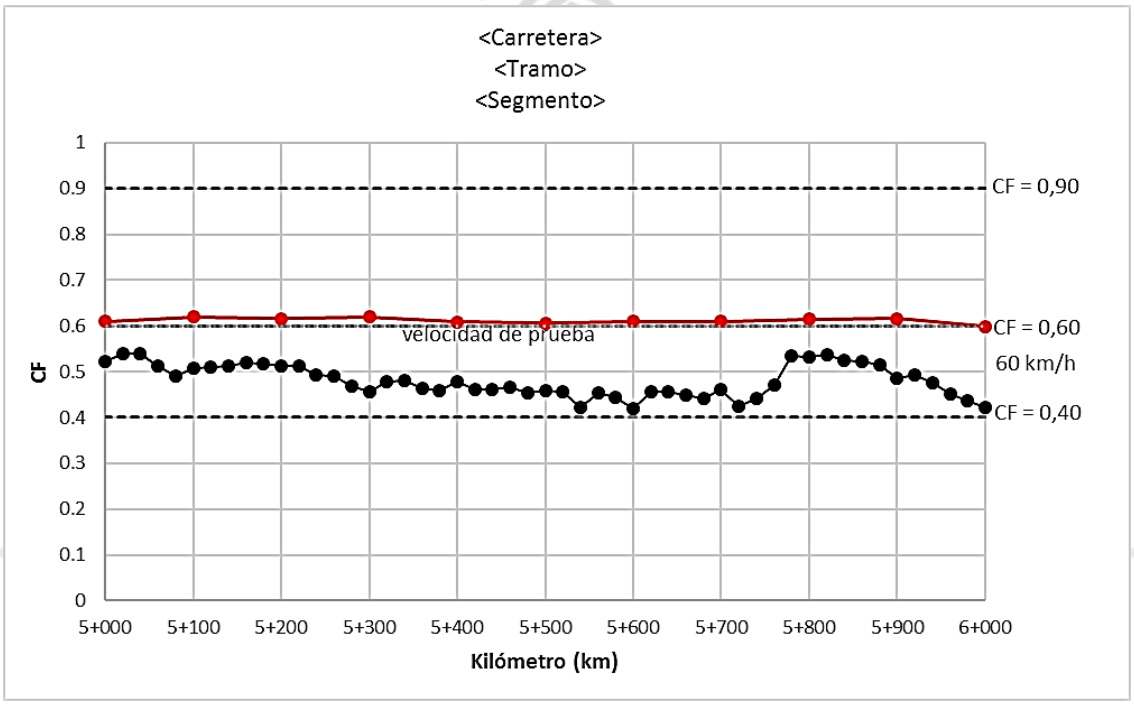

FIGURA 2.- Larguillos del Coeficiente de Fricción a cada kilómetro

- 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.

H.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.

H.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

H.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.

H.2.2. Anexos

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

H.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).*

H.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

H.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

H.2.2.4. Anexo "D": Resumen fotográfico

Conjunto de fotografías con resolución de al menos 46,5 pixeles por cm^2 (300 ppp^2) 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 crucero 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.1.2. de este Manual.

J. BIBLIOGRAFÍA

Lu, Q; and Steven, B; *Friction Testing of Pavement Preservation Treatments: Literature Review*, California Department of Transportation. (December 2006)

National Cooperative Highway Research Program, Synthesis 291, *Evaluation of Pavement Friction Characteristics.* EUA (2000).

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

ASTM International, E 867-06 (2012) *Terminology Relating to Traveled Surface Characteristics*. EUA.

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

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
SCT
SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

SCT
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