

LIBRO: CSV. CONSERVACIÓN
TEMA: CAR. CARRETERAS
PARTE: 1. EVALUACIÓN
TÍTULO: 03. Evaluación de Pavimentos
CAPITULO: 007. Determinación del Coeficiente de Fricción (CF)

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los conceptos, procedimientos y criterios para la determinación del coeficiente de fricción en carreteras nuevas y en operación, así como la calificación de éstas en función del coeficiente de fricción obtenido.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

B.1. TEXTURA DEL PAVIMENTO

Se refiere a las irregularidades de la superficie de un pavimento con respecto a una superficie plana con longitudes de onda menores a quinientos (500) milímetros. Dentro de este rango de longitudes de onda, la textura del pavimento se clasifica en los siguientes tres tipos:

- *Microtextura.* Corresponde a la textura superficial propia de la superficie de los agregados pétreos, las cuales pueden presentar características de tipo áspero o pulida. La microtextura es un factor determinante de la fricción de los pavimentos, como se describe en la Fracción B.2.
- *Macrotextura.* Se refiere a la textura superficial del pavimento, proveniente del efecto conjunto de las partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie. En este

caso, las propiedades de la macrotextura están dadas por el tipo de mezcla que exista en la superficie. La determinación de la macrotextura se describe en la Norma N·CSV·CAR·1·03·006, *Determinación de la Macrotextura (MAC)*

- *Megatextura*. Corresponde a irregularidades de tipo medio, relacionadas con la construcción y también a diversos tipos de fallas y degradaciones o reparaciones. Esta gama de irregularidades aumenta en particular la resistencia al rodamiento y el nivel de ruido con frecuencias bajas.

Las desviaciones de la superficie con longitudes de onda mayores a quinientos (500) milímetros no se consideran parte de la textura del pavimento, y se clasifican como *regularidad superficial*. La determinación de la regularidad superficial se describe en la Norma N·CSV·CAR·1·03·004, *Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI)*.

B.2. FRICCIÓN EN LOS PAVIMENTOS

La fricción o resistencia al deslizamiento de los pavimentos, es la fuerza que se opone al movimiento relativo instantáneo entre los neumáticos de un vehículo y la superficie de un pavimento. Esta fuerza, depende primordialmente de la microtextura del pavimento.

La microtextura proporciona la adhesión necesaria entre los neumáticos y la superficie, a través de las asperezas de las partículas individuales del agregado pétreo, este indicador se determina mediante el procedimiento descrito en el Manual M·MMP·4·07·013, *Determinación del Coeficiente de Fricción con Péndulo Británico*. En condiciones húmedas, la microtextura domina la fricción a bajas velocidades, ya que penetra la capa delgada de agua que se forma entre la superficie y el neumático y entra en contacto con éste. Sin embargo, cuando los vehículos circulan a velocidades altas, la macrotextura adquiere un papel esencial, ya que proporciona los mecanismos para desalojar el agua de la superficie y evitar que se pierda el contacto entre la microtextura y el neumático, pérdida que se conoce como hidroplaneo. La macrotextura se determina como se indica en la Norma N·CSV·CAR·1·03·006, *Determinación de la Macrotextura (MAC)*. En la Figura 1 se ilustra la diferencia entre la microtextura y la macrotextura.

No obstante, aún a velocidades altas, la microtextura permanece como el factor más importante de la fricción, ya que una microtextura inadecuada siempre se traducirá en una fricción deficiente, independientemente del nivel de macrotextura existente.



FIGURA 1.- Diferencias entre la microtextura y la macrotextura.
Fuente: Whiteoak y Read, 2003

B.3. COEFICIENTE DE FRICCIÓN

La fricción se identifica a través de un coeficiente adimensional denominado *coeficiente de fricción*, que se define como la fuerza tangencial que se desarrolla entre la banda de rodadura del neumático y la superficie del pavimento. Esta fuerza se mide en relación con la carga vertical debida al peso del vehículo, como queda expresado con la siguiente ecuación:

$$\mu = \frac{F_R}{N}$$

Donde:

μ : *coeficiente de fricción, CF*

F_R : *Fuerza tangencial*

N : *Fuerza normal al plano en que ocurre la fricción*

El coeficiente de fricción se determina de manera indirecta, empleando equipos con uno o más neumáticos de prueba o con un mecanismo deslizante (ver Fracción B.7.). Dependiendo de la dirección en la que se lleve a cabo la medición, se puede determinar un coeficiente de fricción longitudinal o uno transversal. El primero, se utiliza para determinar la fricción del pavimento en la dirección principal del tránsito, mientras que el coeficiente transversal permite

evaluar los efectos debidos a los cambios de dirección del vehículo, como los inducidos por el alineamiento horizontal de la carretera.

B.4. VELOCIDAD Y RELACIÓN DE DESLIZAMIENTO

Otra variable fundamental vinculada a la fricción es la *velocidad de deslizamiento*, la cual se define como la velocidad de la banda de rodadura del neumático relativa a la superficie del pavimento.

Esta velocidad da lugar al concepto de *relación de deslizamiento*, que se obtiene dividiendo la velocidad de deslizamiento entre la velocidad del vehículo (expresada en porcentaje). Una rueda que gira libremente tiene una velocidad y una relación de deslizamiento de cero, mientras que una rueda totalmente bloqueada tiene una velocidad de deslizamiento igual a la velocidad del vehículo, y una relación de deslizamiento igual a la unidad.

El máximo valor de la fricción se presenta normalmente cuando la relación de deslizamiento alcanza valores entre diez (10) y veinte (20) por ciento. En la Figura 2 se muestra el comportamiento general de la fricción con respecto a la relación de deslizamiento.

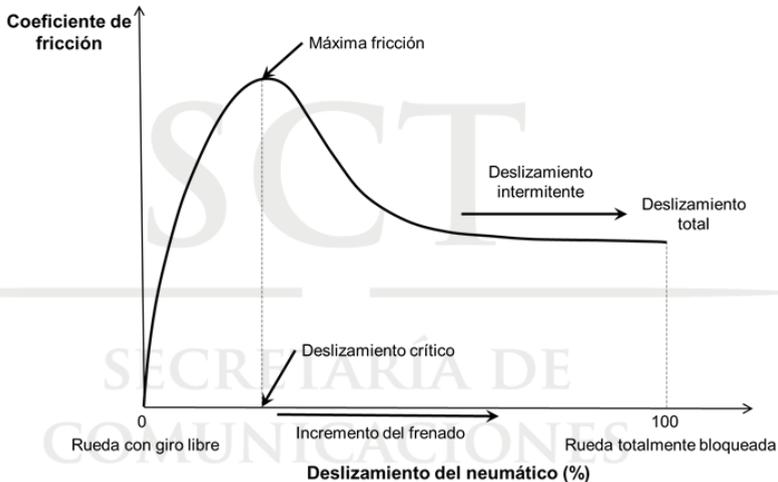


FIGURA 2.- Relación de deslizamiento y fricción

La velocidad y la relación de deslizamiento son útiles para representar las distintas condiciones de frenado a las que puede

estar sujeto un vehículo, como las que se presentan cuando el vehículo está equipado con frenos antibloqueo (ruedas parcialmente bloqueadas), cuando no dispone de estos dispositivos (ruedas totalmente bloqueadas) o cuando, durante el frenado, se presenta una componente transversal de la velocidad, como sucede al circular sobre curvas.

B.5. MEDIDA DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN

Para los efectos de la presente Norma, se utilizará como medida de referencia del coeficiente de fricción la que se obtiene con el equipo de rueda oblicua, cuyo uso se describe en el Manual M-MMP-4-07-010, *Determinación del Coeficiente de Fricción con Equipo de Rueda Oblicua*. Este valor se expresará en formato decimal hasta el centésimo.

En los casos en que las mediciones se realicen con otra clase de equipo, se calculará una ecuación de regresión durante el proceso de calibración y verificación del equipo (Fracción D.3.), de modo que las mediciones puedan convertirse a la escala del coeficiente de fricción determinado con el equipo de Rueda Oblicua

En lo sucesivo, cualquier mención del “coeficiente de fricción” quedará denotada por las siglas “CF”.

B.6. EQUIPO DE MEDICIÓN

Existen diversos equipos para la determinación del CF, los cuales se clasifican en función de la tecnología y el procedimiento de medición empleados. Para los efectos de la presente Norma, solo se tomarán en cuenta los equipos que se describen a continuación, agrupados según el rendimiento del procedimiento de medición.

B.6.1 Equipo de bajo rendimiento

Comprenden dispositivos con los que las mediciones se llevan a cabo en forma estática o estacionaria, y que producen un valor puntual del CF. Dentro de esta categoría únicamente se considera el equipo conocido como *Péndulo Británico*. La operación de este dispositivo se basa en la liberación del brazo del péndulo desde una altura definida, de modo que una zapata de hule colocada en el extremo inferior del péndulo se deslice una cierta distancia sobre la superficie de prueba.

Cuando se libera el brazo, su energía potencial se convierte gradualmente en energía cinética, la cual alcanza su máximo cuando la zapata toca la superficie. Conforme la zapata se desliza, la energía cinética del brazo se reduce en proporción al nivel fricción existente y, una vez que la zapata pierde contacto con la superficie, la energía cinética remanente se almacena progresivamente como energía potencial, permitiendo al brazo elevarse hasta alcanzar una determinada altura. La diferencia entre la altura original del brazo y la que alcanza al concluir la prueba es una medida de la energía cinética perdida y, por lo tanto, es también una medida de la fricción del pavimento.

B.6.2 Equipo de alto rendimiento

Reciben esta denominación porque permiten realizar las mediciones en forma dinámica, a velocidades comparables con la velocidad de operación de las carreteras y tienen la ventaja adicional de que minimizan las afectaciones al tránsito.

En lo que concierne al *CF*, existen tres grupos de equipos de alto rendimiento: de rueda oblicua, de rueda parcialmente bloqueada y de rueda bloqueada. Los equipos de rueda parcialmente bloqueada se clasifican, a su vez, en equipos con relación de deslizamiento fija y equipos con relación de deslizamiento variable.

Todos los equipos de alto rendimiento cuentan con un sistema de aspersión para la formación de una película de agua sobre la superficie de rodadura, el cual se abastecerá a intervalos regulares dependiendo de la capacidad del equipo para almacenar el líquido.

B.6.2.1. Equipos de rueda oblicua

Los equipos de rueda oblicua miden la fricción lateral o fuerza de viraje perpendicular a la dirección del desplazamiento. Para ello utilizan una o dos ruedas de ensayo, cuyo plano vertical está orientado según un ángulo denominado *ángulo de esviaje*. Las ruedas giran libremente, y van instaladas en un vehículo que normalmente circula a una velocidad de setenta y cinco

(65) kilómetros por hora. Durante la medición, se registra la fuerza lateral, la carga de los neumáticos, la distancia recorrida y la velocidad del vehículo. De manera general, los datos se recopilan a intervalos de veinticinco a ciento veinticinco (25 a 125) milímetros, y se agregan con un espaciamiento de un (1) metro.

Entre los equipos de rueda oblicua más comunes figura el *Mu Meter*, el cual utiliza dos ruedas orientadas hacia los extremos del carril con un ángulo de esviaje de siete coma cinco (7,5) grados. Otro equipo de uso común, en los países europeos, es el *Equipo para el estudio rutinario del coeficiente de fuerza lateral* (en inglés *British Sideway Force Coefficient Routine Investigation Machine, SCRIM*), que opera con base en una rueda con un ángulo de esviaje de veinte (20) grados.

B.6.2.2. Equipos de rueda parcialmente bloqueada

Los equipos de rueda parcialmente bloqueada miden la fricción de una rueda sujeta a determinados niveles de la relación de deslizamiento descrita en la Fracción B.4., la cual puede ser fija o variable.

Cuando la relación de deslizamiento es fija, usualmente se ubica en niveles de diez (10) a veinte (20) por ciento, lo cual se logra inhibiendo la rotación del neumático mediante un mecanismo de cadena o banda, o de un sistema de frenado hidráulico. La carga aplicada sobre la rueda y la resistencia al deslizamiento se obtienen empleando transductores de fuerza o dispositivos para la medición de la presión y el torque. Tanto la velocidad de operación del vehículo de prueba como los parámetros de adquisición de datos son similares a los indicados para los equipos de rueda oblicua.

Un ejemplo de los equipos con rueda parcialmente bloqueada y relación de deslizamiento fija es el *Griptester*.

Los equipos con relación de deslizamiento variable determinan la fricción como una función del nivel de bloqueo aplicado, de cero (0) a cien (100) por ciento. Al inicio de la prueba la rueda se deja girar libremente y,

conforme avanza el proceso de medición, la velocidad de rotación se va reduciendo gradualmente, al tiempo que se registran la distancia recorrida, la velocidad angular del neumático, la carga aplicada a la rueda y la resistencia al deslizamiento. Para la adquisición de datos, se utilizan intervalos de dos coma cinco (2,5) milímetros o menores.

Un ejemplo de los equipos con rueda parcialmente bloqueada y relación de desplazamiento variable es el denominado *Norsemeter*.

B.6.2.3. Equipos de rueda parcialmente bloqueada

La operación de estos equipos se basa en una rueda de ensayo con un sistema de frenado que la bloquea completamente durante el proceso de medición. La rueda va montada en un remolque que es arrastrado por el vehículo de medición a una velocidad que normalmente se fija en setenta y cinco (65) kilómetros por hora. Se mide la fuerza de arrastre de uno (1) a tres (3) segundos después de que la rueda se ha bloqueado completamente, registrando el promedio de las mediciones, las cuales pueden repetirse una vez que la rueda vuelve a girar libremente.

El equipo *Pavement Friction Tester* (Equipo de ensayo de la fricción del pavimento) constituye un ejemplo de los equipos de rueda bloqueada.

B.7. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN

Se refiere al conjunto de trabajos de campo y gabinete necesarios para determinar el *CF* de un tramo o conjunto de tramos carreteros. Se utiliza para medir la resistencia al deslizamiento en pavimentos nuevos y en operación, en tramos recién rehabilitados, trabajos de conservación periódica o para validar resultados previamente obtenidos. Según su propósito, la medición del coeficiente de fricción se utiliza para:

- B.7.1. Evaluación.** Las mediciones se llevan a cabo para determinar el coeficiente de fricción en tramos carreteros en operación, mediante el uso de equipos de alto rendimiento.

B.7.2. Control de calidad. Tiene como finalidad determinar el *CF* en tramos recién construidos o tramos en los que se han ejecutado trabajos de conservación periódica, rehabilitación o reconstrucción para compararlos con los valores especificados en el proyecto.

B.7.3. Validación. Se refiere a las mediciones efectuadas con el fin de validar la operación de equipos propuestos para la realización de trabajos de evaluación o de control de calidad.

B.8. INTERVALO DE MEDICIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN (CF)

El intervalo de medición es la distancia que hay entre los valores reportados del coeficiente de fricción. El valor reportado para cada intervalo corresponde al promedio de todas las mediciones realizadas dentro del mismo.

Los valores del intervalo de medición se definirán según lo que se establezca en los Términos de Referencia. Para los trabajos de evaluación de una red, serán de veinte (20) y cien (100) metros.

B.9. VALOR REPRESENTATIVO DEL SEGMENTO DE MEDICIÓN PARA EVALUACIÓN

El segmento de medición es la porción del tramo carretero cuyas características físicas se consideran homogéneas o uniformes. La segmentación del tramo se realizará por cada sentido de circulación y de ser necesario por carril.

Para la determinación del coeficiente de fricción se podrán medir uno o varios carriles de circulación del tramo que se requiera evaluar. Por ejemplo, en una carretera de un carril por sentido podrá evaluarse uno o los dos carriles, mientras que en una vía multicarril podrán hacerse mediciones en uno o más de los carriles existentes en cada sentido. En todos los trabajos de evaluación se realizarán mediciones, como mínimo, en los siguientes carriles:

- Carreteras de un carril por sentido. Uno de los dos carriles de circulación, preferentemente el carril en sentido creciente del kilómetro.
- Carreteras multicarril. El carril exterior (carril de baja velocidad) de cada uno de los sentidos.

En lo sucesivo podrá hacerse referencia al intervalo de medición y al segmento de medición con los términos abreviados “el intervalo” y “el segmento”.

B.10. CALIFICACIÓN DE LA CONDICIÓN DE LOS TRAMOS EN FUNCIÓN DEL CF

La condición de los tramos carreteros, se calificará en función del coeficiente de fricción del pavimento utilizando los rangos que se indican en la Tabla 1.

TABLA 1.- Rangos del Coeficiente de Fricción para la clasificación de los tramos

Condición	Autopistas, Corredores Carreteros, Red Básica Libre y Red Secundaria
No aceptable (pulido)	0 a 0,40
Aceptable	0,41 a 0,60
Bueno	0,61 a 0,90
No aceptable (áspero)	> 0,90

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Ejecución de Estudios, Proyectos, Consultorías y Asesorías	N·LEG-2
Dispositivos de Canalización para Protección en Obras.....	N·PRY·CAR·10·03·003
Determinación del Coeficiente de Fricción con Equipo de Rueda Oblicua.....	M·MMP·4·07·010
Determinación del Coeficiente de Fricción con Equipo de Rueda Parcialmente Bloqueada.....	M·MMP·4·07·011

Determinación del Coeficiente de Fricción con Equipo de Rueda Bloqueada.....	M·MMP·4·07·012
Determinación del Coeficiente De Fricción con el Péndulo Británico.....	M·MMP·4·07·013

D. REQUISITOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN (CF)

D.1. PERSONAL REQUERIDO

La estructura de la plantilla y el número de elementos que la integran, así como las aptitudes de cada elemento, se definirán en los Términos de Referencia. Por lo menos, se establecerán los siguientes elementos, con las cualificaciones y funciones que se describen a continuación:

D.1.1. Coordinador general

Ingeniero civil o afín con experiencia mínima de siete (7) años en la prestación de servicios relacionados con la evaluación de pavimentos. Será el responsable de planear los trabajos, integrar la plantilla que lo llevará a cabo, coordinar y dar seguimiento a todas las actividades previstas y aprobar los informes que se entreguen a la Secretaría.

D.1.2. Coordinador de los trabajos de campo

Ingeniero civil o afín con experiencia mínima de cinco (5) años en la realización de los trabajos de campo para la determinación del *CF*. Tendrá a su cargo la programación, ejecución y supervisión de las mediciones, las verificaciones y calibraciones que se requieran para los equipos de medición y el resguardo de los datos recopilados en cada jornada, hasta su entrega al coordinador de los trabajos de gabinete para el procesamiento respectivo.

D.1.3. Personal de apoyo para los trabajos de campo

Personal necesario para la operación directa de los equipos con los que se llevarán a cabo las mediciones. Cada elemento

de este grupo contará con experiencia mínima de tres (3) años en la ejecución de tareas similares.

D.1.4. Coordinador de los trabajos de gabinete

Ingeniero civil o afín con experiencia mínima de cinco (5) años en el procesamiento de datos para la determinación del *CF* y en la generación de informes de evaluación de pavimentos. Tendrá a su cargo la programación, ejecución y supervisión de las tareas involucradas en el cálculo del *CF*, la elaboración y revisión de los informes establecidos en los Términos de Referencia y el resguardo de los datos en bruto y los datos procesados, hasta la entrega de esta información a la Secretaría.

D.1.5. Personal de apoyo para los trabajos de gabinete

Personal necesario para el procesamiento de los datos del *CF* de acuerdo con los Términos de Referencia, así como para la elaboración de los informes requeridos. Cada elemento de este grupo contará con experiencia mínima de tres (3) años en tareas similares.

D.2. EQUIPOS A UTILIZAR EN FUNCIÓN DEL PROPÓSITO DE MEDICIÓN

Atendiendo al propósito para el que se determina el coeficiente de fricción, de acuerdo con lo señalado en la Fracción B.7., solo se podrá utilizar los equipos de medición que se indican en la Tabla 2. Estos equipos cumplirán con las características definidas en los Manuales correspondientes y que se indican en esta misma tabla.

SECRETARÍA DE
COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

TABLA 2.- Equipos de medición en función del propósito de la determinación del coeficiente de fricción

Propósito	Clase de equipo admisible	Manual de referencia
Evaluación, control de calidad y validación	Rueda oblicua	M·MMP·4·07·010
Evaluación	Rueda parcialmente bloqueada	M·MMP·4·07·011
	Rueda bloqueada	M·MMP·4·07·012
Estandarización	Péndulo Británico	M·MMP·4·07·013

D.3. CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN

Los equipos propuestos contarán con todas las calibraciones especificadas por el fabricante. Las calibraciones y las condiciones generales de operación del equipo serán verificadas por alguna entidad reconocida por la Secretaría. La entidad verificadora emitirá un *Informe de verificación* en el que quedará asentado que:

- Los componentes y el conjunto del equipo funcionan normalmente.
- Las mediciones cumplen con las especificaciones de precisión y exactitud que corresponden al tipo de equipo.
- El equipo cuenta con las calibraciones especificadas por el fabricante.

Adicionalmente, en el caso de equipos de alto rendimiento se calibrará el *instrumento para la medición de la distancia* (DMI por sus siglas en inglés). El cual tendrá una precisión menor o igual a cero coma uno (0,1) por ciento, equivalente a una diferencia de \pm un (1) metro por kilómetro.

La vigencia del informe de verificación será de doce (12) meses, o diez mil (10 000) kilómetros de medición según la bitácora de uso del equipo, lo que ocurra primero.

La vigencia del informe de verificación será de doce (12) meses o veinticinco mil (25 000) mediciones según la bitácora de uso del equipo, lo que ocurra primero.

D.4. NOMENCLATURA DE LOS SENTIDOS Y CARRILES DE CIRCULACIÓN

Los sentidos de circulación se identificarán mediante las letras "A" o "B", de acuerdo con la siguiente convención:

- "A": Sentido de circulación en el que crece el kilometraje
- "B": Sentido de circulación en el que decrece el kilometraje

Por otra parte, los carriles de circulación de cada sentido se numerarán consecutivamente, iniciando con el número "1" para el carril interior o de alta velocidad. En el caso de tramos con un solo carril por sentido, invariablemente se hará referencia a los carriles con el número "1".

A manera de ejemplo, para hacer referencia al carril de baja velocidad de un tramo de tres carriles por sentido, en el sentido en el que el kilometraje decrece, se utilizará la denominación "B3".

D.5. BITÁCORA DEL SERVICIO

Los trabajos que se realicen en la determinación del CF, se registrarán en la bitácora del servicio que contendrá como mínimo la siguiente información:

- Para cada tramo o segmento evaluado:
 - Nombre del tramo
 - Delimitación (ver Fracción E.1.)
 - Longitud total
 - Tipo de pavimento (flexible o rígido). Se registrará cualquier cambio en el tipo de pavimento que se detecte durante una jornada de medición, indicando el kilómetro en el que se presente el cambio y el nuevo tipo de pavimento.
 - Número de carriles existentes en el sentido de circulación evaluado. Se registrará cualquier cambio en el número de carriles, indicando el kilómetro en el que se presente y el nuevo número de carriles.
- Para cada jornada de medición:

- Fecha
- Hora de inicio y terminación de los trabajos
- Sentido y carril de circulación
- Kilómetros inicial y final del tramo evaluado durante la jornada

Asimismo, se registrará cualquier evento que, a juicio del coordinador de los trabajos de campo, sea relevante para los resultados del estudio.

Se podrá utilizar cualquier recurso para la generación de la bitácora, incluyendo la escritura manual o electrónica y la grabación de audio en medios analógicos o electrónicos. Sin embargo, en cualquier caso, el contenido de la bitácora se incorporará en forma escrita al informe del estudio (Cláusula F.).

E. EJECUCIÓN DEL SERVICIO

E.1. DELIMITACIÓN Y REFERENCIA DE LOS TRAMOS POR EVALUAR

Para la ejecución del servicio el coordinador de los trabajos de campo identificará en sitio las estaciones de origen y destino de cada tramo a evaluar. Para estos puntos, se registrará en la bitácora del servicio la siguiente información:

- Kilómetro de inicio y fin
- Coordenadas geográficas de inicio y fin

Las coordenadas geográficas se obtendrán con equipo GPS y se ajustarán mediante un proceso de corrección.

La información de las estaciones que delimitan cada tramo se comparará con la registrada en evaluaciones anteriores. En caso de existir discrepancias, el coordinador de los trabajos de campo y el representante de la Secretaría establecerán los mecanismos o procedimientos necesarios para resolver las discrepancias detectadas a satisfacción de la Secretaría.

E.2. MEDIDAS DE SEGURIDAD Y CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Como medida de seguridad, el vehículo de medición será acompañado de un vehículo escolta y ambos estarán dotados como mínimo, con lo siguiente:

- Torreta o barra de luces de color ámbar.
- Marcas reflejantes en las partes delantera y trasera (incluyendo las defensas), así como en los costados.
- Rótulos en los que se indique que el equipo se encuentra realizando tareas de evaluación de pavimentos.

Los dispositivos de medición del equipo estarán instalados en un remolque acondicionado con señales reflejantes en la parte posterior y en los costados, que será remolcado por el vehículo de medición. La unidad de control estará alojada en el interior del vehículo y su conexión a los dispositivos de medición será apropiada para evitar el daño de cualquier componente del equipo.

Durante la ejecución de los trabajos, el coordinador de los trabajos de campo aplicará los procedimientos de seguridad necesarios, como la canalización del flujo vehicular mediante conos y bandereros con apego a los criterios establecidos en la Norma N.PRY-CAR-10-03-003, *Dispositivos de Canalización para Protección en Obras y la Guía para Bandereros*.

Cuando se efectúen trabajos con el equipo de bajo rendimiento, el carril de medición se cerrará a la circulación, canalizando el flujo vehicular mediante conos y bandereros con apego a los criterios establecidos en la Norma N.PRY-CAR-10-03-003, *Dispositivos de Canalización para Protección en Obras y la Guía para Bandereros*.

Independientemente del tipo de equipo utilizado, el personal encargado de los trabajos de campo portará, invariablemente, chalecos de seguridad reflejantes.

Las mediciones se llevarán a cabo en horario diurno, a menos que las condiciones de tránsito lo impidan, caso en el que se solicitará un permiso especial de la Secretaría para laborar durante la noche.

En lo que concierne a las condiciones meteorológicas, los trabajos no podrán llevarse a cabo o se interrumpirán en presencia de lluvia, nieve, neblina o vientos fuertes.

E.3. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

El procedimiento de medición estará determinado por el equipo que se utilice. Sin embargo, en todos los casos, la ejecución de las mediciones comprenderá las siguientes tareas:

- E.3.1.** Registrar en la bitácora de servicio la fecha, hora, sentido, carril de circulación y kilómetro que correspondan al inicio de la jornada de medición. Cuando se inicie la evaluación de un nuevo tramo, previamente se registrarán en la bitácora los datos del tramo, de acuerdo con lo estipulado en la Fracción 0.
- E.3.2.** Replicar el registro de los datos del tramo, carril y kilómetro inicial en los equipos que cuenten con una interfaz electrónica para este propósito.
- E.3.3.** Cuando en una jornada se continúe la medición de un carril iniciada en la jornada previa, las mediciones se iniciarán en el mismo kilómetro donde se interrumpieron.
- E.3.4.** Llevar a cabo las mediciones siguiendo el procedimiento que establece el Manual correspondiente al equipo utilizado, ver Tabla 2.
- E.3.5.** Registrar en la bitácora y de ser posible, en la interfaz electrónica del equipo, cualquier cambio en las características del tramo, como tipo de pavimento, número de carriles y cualquier incidente que pueda afectar las mediciones, como problemas en la operación del equipo o cualquier otro que el coordinador de los trabajos de campo considere relevante.
- E.3.6.** Registrar en la bitácora y de ser posible en la interfaz electrónica del equipo, la fecha, hora, sentido, carril de circulación y kilómetro que correspondan al final de la jornada de medición. Este paso se efectuará siempre que se concluya la evaluación de un carril o tramo.

E.4. CÁLCULO DEL CF

El cálculo del *CF* podrá omitirse cuando el equipo tenga la capacidad de generar automáticamente los valores requeridos, según los intervalos de medición que se estipulen en las especificaciones del estudio. En caso contrario, el *CF* se calculará a partir de las mediciones en bruto del equipo, utilizando la ecuación presentada en la Fracción B.3.

Cuando se soliciten valores de coeficiente de fricción por kilómetro, éstos serán iguales al valor representativo del segmento de un kilómetro. El valor del coeficiente de fricción correspondiente al kilómetro final del segmento no se considerará para el cálculo del valor representativo

F. INFORME Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Se entregará un informe conciso cuyo contenido se describe en los siguientes Manuales:

- M-MMP-4-07-10, *Determinación del Coeficiente de Fricción con Equipo de Rueda Oblicua*
- M-MMP-4-07-11, *Determinación del Coeficiente de Fricción con Equipo de Rueda Parcialmente Bloqueada*
- M-MMP-4-07-12, *Determinación del Coeficiente de Fricción con Equipo de Rueda Bloqueada*
- M-MMP-4-07-13, *Determinación del Coeficiente de Fricción con Péndulo Británico*

Los elementos que contendrá el informe serán los siguientes:

- Identificación del tramo
- Descripción general de los trabajos efectuados
- Resumen de resultados de evaluación, control de calidad, validación o estandarización
- Anexos
 - "A" Bitácora del servicio
 - "B" Base de datos
 - "C" Reporte de datos procesados
 - "D" Resumen fotográfico

G. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

Además de lo establecido anteriormente en esta Norma, para que la determinación del coeficiente de fricción se considere terminada y sea aceptada por la Secretaría se verificará que:

- El tipo de equipo utilizado sea el estipulado según la naturaleza de los trabajos.
- Se acredite la vigencia de la calibración y verificación del equipo.
- Los tramos objeto de la medición sean delimitados de acuerdo con los criterios a que se refiere la Fracción E.1.
- Se presenten todas y cada una de las secciones y anexos del informe del servicio a que se refiere la Cláusula F.
- Bitácora de prueba y/o mantenimiento del equipo

H. MEDICIÓN

Para la determinación del coeficiente (*CF*) se utilizarán los informes a que se refiere la Cláusula E. de la Norma N-LEG-2, *Ejecución de Estudios, Proyectos, Consultorías y Asesorías*, así como las unidades y aproximación especificados en los Términos de Referencia elaborados por la Secretaría.

H.1 CONTRATO SOBRE LA BASE DE PRECIOS UNITARIOS

Cuando la determinación del coeficiente fricción (*CF*) se contrate sobre la base de precios unitarios y sea ejecutado a satisfacción de la Secretaría, se medirá tomando como unidad el kilómetro o la medición, en función de equipo utilizado; con aproximación a la milésima parte del kilómetro o al entero de la medición, respectivamente. La medición se realizará como se indica en la Fracción F.1. de la Norma N-LEG-2, *Ejecución de Estudios, Proyectos, Consultorías y Asesorías*.

H.2. CONTRATO A PRECIO ALZADO

Cuando la determinación del coeficiente de fricción (*CF*) se contrate a precio alzado y sea ejecutado a satisfacción de la Secretaría, se medirá como se indica en la Fracción F.2. de la Norma N-LEG-2, *Ejecución de Estudios, Proyectos, Consultorías y Asesorías*. Si en el contrato se pactaron pagos parciales por metas alcanzadas, los trabajos se medirán una vez que la Secretaría haya recibido el o los

informes correspondientes a la meta conseguida de acuerdo con el programa establecido en el contrato.

I. BASE DE PAGO**I.1. CONTRATO SOBRE LA BASE DE PRECIOS UNITARIOS**

Cuando la determinación del coeficiente de fricción (*CF*) se contrate sobre la base de precios unitarios, el pago se hará al precio fijado en el contrato para cada concepto de trabajo medido de acuerdo con lo indicado en las Fracciones H.1. de esta Norma. Este precio unitario se determina conforme a los conceptos establecidos en la Cláusula G. de la Norma N-LEG-2, *Ejecución de Estudios, Proyectos, Consultorías y Asesorías*.

I.2 CONTRATO A PRECIO ALZADO

Cuando la determinación del coeficiente *CF* se contrate a precio alzado, en la integración del precio de cada partida se considerará lo que corresponda a: personal, gastos de operación y rentas, según lo establecido en la Cláusula G. de la Norma N-LEG-2, *Ejecución de Estudios, Proyectos, Consultorías y Asesorías*.

J. ESTIMACIÓN Y PAGO

La estimación y pago de la determinación del *CF* se efectuará de acuerdo con lo señalado en la Cláusula H. de la Norma N-LEG-2, *Ejecución de Estudios, Proyectos, Consultorías y Asesorías*, y de acuerdo con lo establecido en los Términos de Referencia a que se refiere el Inciso C.1.2. de la Norma mencionada.

K. RECEPCIÓN DE LOS TRABAJOS

Una vez concluido los trabajos para la determinación del Coeficiente de Fricción (*CF*), la Secretaría lo recibirá y aprobará conforme a lo señalado en la Cláusula I. de la Norma N-LEG-2, *Ejecución de Estudios, Proyectos, Consultorías y Asesorías*. Con respecto al "Informe Final de Cierre", éste cumplirá con lo indicado en la Fracción E.2 de la misma Norma.

L. BIBLIOGRAFÍA

Paved Surfaces Using a Full-Scale Tire, West Conshohocken, PA: ASTM International (2011).

ASTM International (2003), E303: *Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester*, West Conshohocken.

ASTM International (2009) E670: *Standard Test Method for Testing Side Force Friction on Paved Surfaces Using the Mu Meter*, West Conshohocken.

ASTM International (2011), E1859: *Standard Test Method for Friction Coefficient Measurement Between Tire and Pavement Using a Variable Slip Technique*, West Conshohocken.

C. R. Bennett, A. Chamorro, C. Chen, H. De Solminihac y G. W. Flintsch, *Data Collection Technologies for Road Management*, The World Bank, Washington, D.C., EUA (2005).

J. W. Hall, K. L. Smith, L. Titus-Glover, J. C. Wambold, T. J. Yager y Z. Rado, *NCHRP Web-Only Document 108: Guide for Pavement Friction*, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board (2009).

J. J. Henry, *NCHRP Synthesis 291: Evaluation of Pavement Friction Characteristics*, Transportation Research Board, Washington, D. C., EUA (2000).

ISO, *ISO 13473 - Characterization of Pavement Texture by Use of Surface Profiles*, Génova: International Organization for Standardization (2002).

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

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