LIBRO: CSV. CONSERVACIÓN

TEMA: CAR. CARRETERAS

PARTE: ***1. EVALUACIÓN***

TÍTULO: 03. Evaluación de Pavimentos

CAPÍTULO: *006. Determinación de la Macrotextura (MAC)*

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los conceptos, procedimientos y criterios para la determinación de la macrotextura en carreteras en operación, así como para la calificación de estas en función de los indicadores de macrotextura obtenidos.

B. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

B.1. TEXTURA SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO

Se refiere a las irregularidades de la superficie de un pavimento con respecto a una superficie plana verdadera, 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.* Desviaciones de la superficie del pavimento con respecto a una superficie plana verdadera, con longitudes de onda menores a cero coma cinco (0,5) milímetros. La determinación de la microtextura se describe en la Norma N·CSV·CAR·1·03·007, *Determinación del Coeficiente de Fricción* (*CF*).

- *Macrotextura.* Desviaciones de la superficie del pavimento con respecto a una superficie plana verdadera, con longitudes de onda entre cero coma cinco (0,5) y cincuenta (50) milímetros.

La evaluación de la macrotextura se describe en la presente Norma.

- *Megatextura*. Desviaciones de la superficie del pavimento con respecto a una superficie plana verdadera, con longitudes de onda entre cincuenta (50) y quinientos (500) milímetros.

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 evaluación de la regularidad superficial se describe en la Norma N·CSV·CAR·1·03·004*, Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI).*

B.2. CARACTERÍSTICAS DE LA MACROTEXTURA

Como se indica en la Fracción 0., las longitudes de onda de la macrotextura se encuentran en un intervalo de cero coma cinco (0,5) a cincuenta (50) milímetros. Estas longitudes son del mismo orden que los elementos de la banda de rodadura del neumático en la zona de contacto con el pavimento. Por otro lado, la macrotextura se caracteriza por una amplitud de pico a pico que varía normalmente entre cero coma cero uno (0,01) y veinte (20) milímetros.

La resistencia al deslizamiento de los pavimentos está determinada por una combinación de la micro y la macrotextura. La primera, mediante las asperezas de las partículas individuales de agregado pétreo, proporciona la adhesión necesaria entre los neumáticos y el pavimento. Por su parte, la macrotextura facilita el desalojo del agua de lluvia a través de los huecos existentes en la superficie, con lo que se evita el fenómeno de hidroplaneo y el salpicado y rociado de agua. En la Figura 1 se ilustra la diferencia entre estos dos tipos de textura.

Además de su importancia para proveer unas condiciones adecuadas de fricción en condiciones húmedas, la macrotextura tiene efectos positivos sobre la fricción en condiciones secas, aunque puede tener cierta influencia negativa sobre la resistencia a la rodadura, el desgaste de los neumáticos, el ruido en el interior del vehículo y el ruido debido a la interacción neumático-pavimento.

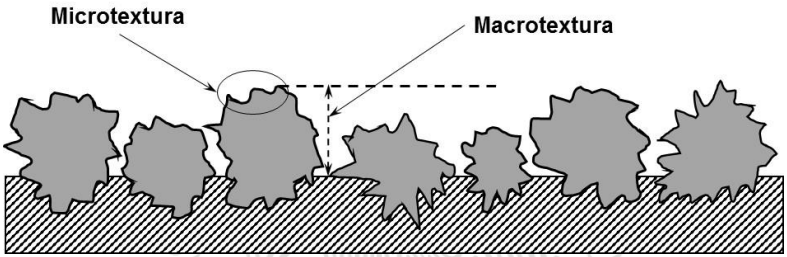

FIGURA 1.- Diferencias entre la micro y la macrotextura

B.3. PERFIL LONGITUDINAL

Es el conjunto de desviaciones de la superficie del pavimento con respecto a un plano horizontal de referencia, medidas sobre un plano paralelo al eje de la carretera.

B.4. PROFUNDIDAD MEDIA DE LA TEXTURA (PMT)

Medida de referencia de la macrotextura que se calcula como el cociente de un volumen dado de material estandarizado y el área que cubre dicho material al ser esparcido en forma circular sobre la superficie de prueba. El método para obtener la PMT se conoce como *método volumétrico*, y se presenta de manera general en el Párrafo 0. La profundidad media de la textura es una medida tridimensional de la macrotextura y se expresa en milímetros (mm).

B.5. PROFUNDIDAD MEDIA DEL PERFIL (PMP)

Diferencia promedio entre el perfil longitudinal y una línea que pasa por el punto más alto del mismo, dentro de un segmento específico. Para el cálculo de la PMP se emplea el siguiente procedimiento:

- Dividir el perfil medido en segmentos con una longitud de referencia de cien (100) milímetros. Para cada segmento:
  - Eliminar la pendiente, para lo cual se obtiene una regresión lineal del segmento y se sustrae de los puntos originales del perfil. Además de suprimir la

pendiente, lo anterior produce un segmento con una media igual a cero.

- Dividir cada segmento en dos partes de igual longitud cincuenta (50) milímetros e identificar el valor máximo del perfil en cada subsegmento. Calcular la profundidad media del segmento como el promedio de los dos valores máximos identificados.

- Obtener la profundidad media del perfil como el promedio de la profundidad media de todos los segmentos.

La Figura 2 muestra una representación gráfica del cálculo de la PMP.

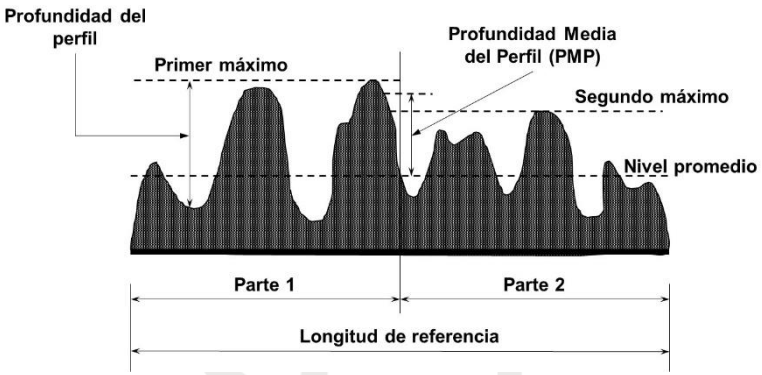

FIGURA 2.- Cálculo de la PMP

La PMP es una medida bidimensional de la macrotextura que se utiliza para aproximar la PMT y, como esta, se expresa en milímetros (mm). Dado que el cálculo de la PMP se basa en un perfil longitudinal del pavimento, los perfilómetros inerciales se encuentran entre los equipos utilizados para la determinación de la macrotextura. En el Párrafo 0 se describen las características generales de estos equipos.

B.6. PROFUNDIDAD MEDIA DE LA TEXTURA ESTIMADA (PMTE)

Es una estimación de la PMT a partir de la PMP, que se obtiene a través de la ecuación:

$$PMTE = 0{,}2 + 0{,}79PMP,$$

Donde $PMTE$ y PMP están dadas en milímetros (mm).

B.7. MEDIDA DE LA MACROTEXTURA

Para los efectos de la presente Norma se utilizará como medida de la macrotextura la *Profundidad Media de la Textura (PMT)*, la cual podrá determinarse por cualquiera de los dos procedimientos siguientes:

- Aplicación del *método volumétrico* que se presenta el Párrafo 0.
- Estimación basada en el cálculo de la *profundidad media de la textura estimada (PMTE)*, como se indica en la Fracción 0.

B.8. EQUIPOS DE MEDICIÓN

Existen diversos equipos para la evaluación de la macrotextura, 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 proceso de medición.

B.8.1. Equipos de bajo rendimiento

Comprenden dispositivos y procesos con los que las mediciones se llevan a cabo en forma estática o estacionaria, y que producen un valor puntual de la macrotextura. Dentro de esta categoría únicamente se considera el *método volumétrico*, el cual se ha designado tradicionalmente como *Prueba del Círculo de Arena*.

B.8.1.1. Método volumétrico

Este método se basa en el uso de un volumen conocido de un material de grano fino, el cual se esparce con un disco de goma sobre la superficie del pavimento para formar una mancha aproximadamente circular. Luego de medir el diámetro promedio de esta mancha y calcular su

área, se obtiene la *profundidad media de la textura* (PMT) como el cociente entre el volumen de material y el área de la superficie cubierta.

Para la aplicación del método volumétrico se emplean esferas de vidrio con un determinado rango de tamaños, tal y como se especifica en el Manual M·MMP·4·07·009, *Determinación de la Profundidad media de la Macrotextura de un Pavimento por el Método del Círculo de Arena*.

Durante muchos años el Método volumétrico se aplicó utilizando como material arena silícea, y de ahí su nombre original, *Prueba del círculo de arena*. Sin embargo, el uso de la arena se ha descontinuado paulatinamente debido a la mayor reproducibilidad que se obtiene con las esferas de vidrio y a la dificultad para obtener cantidades suficientes de arena con las características apropiadas para la aplicación de la prueba.

El método volumétrico se utiliza como prueba de referencia para la calibración y verificación de otros equipos para la determinación de la macrotextura.

B.8.2. Equipos 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, con la ventaja adicional de que minimizan las afectaciones al tránsito. Su principal objetivo consiste en determinar la macrotextura a nivel de red. En lo que se refiere a la macrotextura, existen dos tipos principales de equipos de alto rendimiento: los perfilómetros inerciales y los escáneres transversales continuos.

B.8.2.1. Perfilómetros inerciales

Los perfilómetros inerciales obtienen el perfil longitudinal empleando una referencia inercial que se establece por medio de acelerómetros instalados en la carrocería del

vehículo de medición. El desplazamiento relativo entre los acelerómetros y la superficie del pavimento se mide con un sensor de tipo óptico o acústico montado también en el vehículo. La distancia que corresponde a cada punto del perfil se determina a través de un instrumento digital o *DMI* por sus siglas en inglés, cuyo funcionamiento se basa en la generación de pulsos.

Las señales de los acelerómetros, el sensor de desplazamiento y el instrumento para la medición de la distancia se utilizan como datos de entrada para un programa de cómputo que calcula el perfil que corresponde a una determinada sección longitudinal de cada carril medido, la cual puede o no coincidir con los ejes de las rodadas.

Una vez obtenido el perfil, la macrotextura se determina mediante el cálculo de la PMP y la PMTE, como se indica en las Fracciones 0. y 0.

B.8.2.2. Escáneres transversales continuos

Esta categoría abarca diversos equipos que permiten obtener perfiles transversales del pavimento con un alto grado de definición, para lo cual utilizan componentes como proyectores de rayos láser, cámaras de alta velocidad y sistemas ópticos, así como diversos programas de procesamiento de datos. La obtención de estos perfiles ocurre de manera prácticamente continua conforme se desplaza el vehículo de medición, de modo que los equipos hacen también un barrido longitudinal de la superficie del pavimento que, combinado con los perfiles transversales, resulta en un modelo tridimensional de la misma superficie.

De manera similar a los perfilómetros inerciales, los escáneres transversales determinan la distancia que corresponde a cada perfil transversal mediante un dispositivo DMI.

Por lo regular, el ensamble en el que se alojan los componentes del equipo se instala en la parte trasera del

vehículo de medición, a una determinada altura de la superficie de rodadura. Como vehículo se utiliza normalmente una camioneta tipo van, en cuyo interior se alojan los sistemas de adquisición, almacenamiento y visualización de la información.

Para los efectos de la presente Norma, se aceptará el uso de escáneres transversales siempre que sea posible extraer uno o más perfiles longitudinales con niveles de precisión y exactitud similares a los que se logran con un perfilómetro inercial como el descrito en el Párrafo 0. Esto implica que, además de los componentes ya mencionados, el equipo contará con acelerómetros para tomar en cuenta el efecto del movimiento del chasis durante las mediciones.

Asumiendo que se cuenta con los perfiles longitudinales antes descritos, la macrotextura se determina mediante el cálculo de la PMP y la PMTE, como se indica en las Fracciones 0 y 0.

B.9. ESTUDIO DE MEDICIÓN DE LA MACROTEXTURA

Se refiere al conjunto de trabajos de campo y gabinete necesarios para determinar la macrotextura de un tramo o conjunto de tramos. Según su propósito, los estudios de medición de la macrotextura serán de alguno de los siguientes tipos:

B.9.1. Estudio de evaluación. Estudio que se lleva a cabo con el propósito de determinar la macrotextura en un conjunto de tramos en operación. En esta clase de estudios, se utilizarán equipos de alto rendimiento.

B.9.2. Estudio de control de calidad. Tienen como finalidad comparar la macrotextura de un tramo en el que se han ejecutado obras de conservación periódica, rehabilitación o reconstrucción con los valores especificados en el proyecto. Para este tipo de estudios se emplearán exclusivamente equipos de bajo rendimiento.

B.9.3. Estudio de validación. Se refiere a los estudios efectuados con el fin de validar la operación de equipos propuestos para

la realización de estudios de evaluación. Esta clase de estudios se realizarán también con equipos de bajo rendimiento.

En lo sucesivo, se utilizarán indistintamente los términos “el estudio de evaluación de la macrotextura” o la forma abreviada “el estudio”.

B.10. INTERVALO DE MEDICIÓN PARA ESTUDIOS DE CONTROL DE CALIDAD Y VALIDACIÓN

Los valores del intervalo de medición se definirán en las especificaciones del estudio, sin embargo, como mínimo, se obtendrán resultados de la PMT para los siguientes intervalos, dependiendo del tipo de estudio:

- Estudio de control de calidad: cien (100) y doscientos (200) metros.
- Estudio de validación: veinte (20) y cien (100) metros.

B.11. INTERVALO Y SEGMENTO DE MEDICIÓN PARA ESTUDIOS DE EVALUACIÓN

Para los estudios de evaluación, las medidas de la macrotextura se calcularán a intervalos constantes de longitud, y se denominará “intervalo de medición” a la magnitud de este intervalo, la cual será independiente del intervalo de adquisición de los datos de origen o del tipo de proceso empleado en la obtención de la PMT (cálculo en tiempo real, posproceso, etc.).

Por otro lado, se designará genéricamente “segmento de medición” a cada uno de los segmentos que resulten de dividir la longitud de cada tramo evaluado entre la del intervalo de medición.

Los valores del intervalo de medición se definirán en las especificaciones del estudio, sin embargo, como mínimo, se determinarán valores de la PMT para intervalos de veinte (20) y mil (1000) metros.

En lo que resta del documento podrá hacerse referencia al intervalo de medición y al segmento de medición con los términos abreviados “el intervalo” y “el segmento”.

B.12. VALOR REPRESENTATIVO DE LA PMT POR CARRIL DE CIRCULACIÓN

Históricamente, la macrotextura se ha evaluado en una de las rodadas de los carriles de circulación. Sin embargo, con el desarrollo de nuevos equipos de medición, particularmente el de los escáneres transversales, en la actualidad es posible determinar la macrotextura no solo en la otra rodada, sino también en secciones longitudinales coincidentes con el eje del carril y con los extremos del mismo. Las medidas efectuadas en estas secciones, son útiles para contrastar la evolución de la macrotextura en las áreas de la superficie bajo la acción directa de los neumáticos con la de las áreas libres de esta acción.

No obstante, lo anterior, para los efectos de la presente Norma, solo se considerará las mediciones efectuadas en una de las rodadas, o a lo sumo, en las dos rodadas de los carriles de circulación. La elección del número de rodadas por evaluar dependerá de las necesidades del estudio. Cuando se evalúen ambas rodadas, el valor representativo de la PMT para el carril se calculará como el promedio de los dos valores obtenidos.

B.13. VALOR REPRESENTATIVO DEL SEGMENTO DE MEDICIÓN PARA ESTUDIOS DE EVALUACIÓN

En los estudios de evaluación, y de acuerdo con las necesidades de cada estudio, se podrá medir uno o varios carriles de circulación del tramo que se requiera evaluar. Así, por ejemplo, en una carretera de un carril por sentido podrán 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. Sin embargo, en todos los estudios 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 orientado en el sentido creciente del cadenamiento.
- Carreteras multicarril. El carril exterior (carril de baja velocidad) de cada uno de los sentidos.

La PMT determinada en los carriles antes indicados se considerará representativa del segmento de medición, lo que

implica que en el caso de las carreteras multicarril se definirán al menos dos juegos de segmentos de medición (uno por sentido de circulación).

Para referenciar los valores de la PMT medidos en cada sentido de circulación y en cada carril, se utilizará la nomenclatura especificada en la Fracción 0. de esta Norma.

B.14. CALIFICACIÓN DEL ESTADO DE LOS TRAMOS EN FUNCIÓN DE LA PMT

El estado de tramos carreteros de la Red Federal, se calificará en función de la macrotextura utilizando intervalos de la PMT que se identificarán con los descriptores “bueno”, “regular” y “malo”. Se utilizará un juego de intervalos para Autopistas de Cuota y Corredores Carreteros y uno distinto para la Red Básica Libre y Red Secundaria como se especifica en la Tabla 1.

TABLA 1.- Intervalos de la PMT para la clasificación de los tramos

	Intervalos de la PMT mm	
Estado	Autopistas de Cuota y Corredores Carreteros	Red Básica Libre y Red Secundaria
Bueno	> 0,90	> 0,80
Regular	0,75 a 0,90	0,65 a 0,80
Malo	< 0,75	< 0,65

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con los 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 de la Macrotextura con Equipo Escáner ……	M·MMP·4·07·007

Determinación de la Profundidad Media de la Macrotextura de un Pavimento con Perfilómetro Láser ..... M·MMP·4·07·008
Determinación de la Profundidad Media de la Macrotextura de un Pavimento por el Método del Círculo de Arena ..... M·MMP·4·07·009

D. REQUISITOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA MACROTEXTURA

D.1. PERSONAL REQUERIDO

El número de elementos y la estructura de la plantilla que prestará el servicio, así como las aptitudes de cada elemento, se definirán en las especificaciones del estudio. Sin embargo, en la integración de la plantilla se considerarán las descripciones de puesto cuyas cualificaciones y funciones se describen a continuación.

D.1.1. Coordinador general del estudio

Ingeniero civil con experiencia en la prestación de servicios relacionados con la evaluación de pavimentos. Será el responsable de planear el estudio, 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 en la realización de los trabajos de campo necesarios para la determinación de la PMT. 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 en la

ejecución de tareas similares a las que realizará durante el servicio.

D.1.4. Coordinador de los trabajos de gabinete

Ingeniero civil o afín con experiencia en el procesamiento de datos para la obtención de la PMT 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 de la PMT, la elaboración y revisión de los informes requeridos como parte del estudio 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 recopilados y el cálculo de la PMT de acuerdo con las especificaciones del estudio, así como para la elaboración de los informes requeridos. Cada elemento de este grupo contará con experiencia en tareas similares a las realizadas durante el servicio.

D.2. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE MEDICIÓN

Para cada tipo de estudio y de acuerdo con lo señalado en la Fracción 0., solo se podrán utilizar las clases de equipo de medición que se indican en la Tabla 2. Los equipos propuestos para la prestación del servicio cumplirán con las características definidas en los manuales correspondientes que complementan esta Norma, según lo indicado también en la Tabla 2.

TABLA 2.- Equipos de medición en función del tipo de estudio y manuales de referencia.

Tipo de estudio	Clase de equipo admisible	Manual de referencia
Evaluación	Escáner	M·MMP·4·07·007
	Perfilómetro Láser	M·MMP·4·07·008
Control de calidad y validación	Método volumétrico	M·MMP·4·07·009

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 pública o privada reconocida por la Secretaría para la realización de esta actividad. En cualquier caso, la entidad verificadora emitirá un *Informe de verificación* en el que quedará asentado que:

- Las 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.

Para los equipos de alto rendimiento, el proceso de verificación incluirá la calibración del *instrumento para la medición de la distancia* (DMI por sus siglas en inglés). La vigencia del informe de verificación para estos equipos será de doce meses.

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 cadenamiento
- “B”: Sentido de circulación en el que el cadenamiento decrece

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 cadenamiento decrece, se utilizará la denominación “B3”.

D.5. BITÁCORA DEL SERVICIO

Para todo estudio de determinación de la macrotextura, se levantará una bitácora de servicio en la que se registrará la siguiente información:

- Nombre del estudio
- Para cada tramo evaluado:
  - Nombre
  - Delimitación (Fracción 0.)
  - Longitud total
  - Tipo de pavimento (asfáltico o de concreto). Se registrará cualquier cambio en el tipo de pavimento que se detecte durante una jornada de medición determinada, indicando el cadenamiento 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 que se detecte durante una jornada de medición determinada, indicando el cadenamiento en el que se presente el cambio 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
  - Cadenamiento inicial y final del segmento 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.).

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

E. EJECUCIÓN DEL SERVICIO

E.1 DELIMITACIÓN Y REFERENCIA DE LOS TRAMOS POR EVALUAR

Como paso inicial para la ejecución del servicio, el coordinador de los trabajos de campo y un representante de la Secretaría, identificarán en sitio las estaciones de origen y destino de cada tramo por evaluar. Para estos puntos, se registrará en la bitácora la siguiente información:

- Nombre del sitio.
- Cadenamiento.
- Coordenadas geográficas y UTM *(Universal Trasverse Mercator).*

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

La información de las estaciones que delimitan cada tramo se comparará con la registrada en evaluaciones anteriores de la macrotextura o de cualquier otro indicador del estado del pavimento. 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 para las evaluaciones con equipos de alto rendimiento, el vehículo de medición estará dotado, como mínimo, de los siguientes aditamentos:

- Torreta o barra de luces de color ámbar
- Marcas reflejantes en las partes delantera y trasera (incluyendo las defensas), así como en los costados. En el caso de perfilómetros inerciales, se tendrá especial cuidado en que la barra en la que van montados los sensores de elevación cuenten con este tipo de marcas.

- Rótulos en los que se indique que el equipo se encuentra realizando tareas de evaluación de pavimentos.

Cuando se efectúen trabajos con equipos 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* de la Dirección General de Conservación de Carreteras de la Secretaría.

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

Por otro lado, las mediciones se llevarán a cabo en horario diurno, a menos que las condiciones de tráfico 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 la clase del equipo que se utilice, la cual, a su vez, dependerá del tipo de estudio que se planee realizar, como se indica en la Tabla 2. 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 cadenamiento que correspondan al inicio de la jornada de medición. En caso de que se inicie la evaluación de un nuevo tramo, registrar previamente 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 cadenamiento inicial en los equipos que cuenten con una interfaz electrónica para este propósito.

E.3.3. Cuando en una determinada jornada se tenga previsto continuar una medición iniciada en la jornada previa y el estudio en ejecución sea un estudio de evaluación, las mediciones se iniciarán doscientos (200) metros antes de la estación en la que se interrumpieron al concluir la jornada anterior.

E.3.4. Llevar a cabo las mediciones siguiendo el procedimiento descrito en el manual complementario aplicable, según la clase equipo utilizado según lo indicado en la 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 o número de carriles, así como cualquier incidente que pueda afectar las mediciones. Entre estos incidentes, pueden mencionarse rebases, cambios de velocidad, accidentes de tráfico, 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 el caso, en la interfaz electrónica del equipo, la fecha, hora, sentido, carril de circulación y cadenamiento que correspondan al final de la jornada de medición. Este paso se efectuará también siempre que se concluya la evaluación de un carril o tramo.

E.4. CÁLCULO DE LA PMT

Dependiendo del equipo utilizado, la PMT se calculará como se indica a continuación:

- Método volumétrico. Dividir el volumen de material esparcido entre el área circular de la superficie cubierta, como se indica en el Párrafo 0.
- Perfilómetro inercial o escáner transversal. Para estos equipos, el procedimiento de cálculo consta de dos pasos:
  - Calcular la Profundidad Media del Perfil (PMP). Usualmente, el equipo cuenta con un programa de cómputo para efectuar este cálculo. De no ser así, el contratista desarrollará un programa propio para implementar el procedimiento de cálculo descrito en la Fracción 0.

- Aproximar la PMT a través del cálculo de la Profundidad Estimada de la Textura (PMTE), usando la ecuación presentada en la Fracción 0.

En el caso de los estudios de evaluación, las mediciones estarán referidas a segmentos que cumplan con las siguientes características, para todos los carriles de circulación considerados:

- El cadenamiento inicial de los segmentos será múltiplo del intervalo de medición correspondiente, exceptuando los segmentos de medición primero y último. Así, por ejemplo, dado un intervalo de medición de veinte (20) metros y un tramo definido por los cadenamientos 0+063 y 180+555, los segmentos quedarán definidos como sigue:

  0+063 – 0+080
  0+080 – 0+100
  0+100 – 0+120

  180+520 – 180+540
  180+540 – 180+555

- Aun en el caso de los sentidos de circulación orientados en el sentido en el que el cadenamiento decrece, los segmentos de medición se referenciarán con un cadenamiento creciente. De esta manera, en ningún caso será admisible una referencia en la que el cadenamiento inicial sea mayor al final, por ejemplo:

  180+555 – 180+540

F. INFORME Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

F.1. INFORME DE LOS TRABAJOS

Informe conciso, integrado por los conceptos que se indican a continuación:

F.1.1. Nombre del estudio

Denominación del servicio, según lo indicado en los términos de referencia elaborados por la Secretaría.

F.1.2. Identificación del tramo

- Nombre y clave de la carretera a la que pertenece el tramo, los cuales serán congruentes con la nomenclatura de la Dirección General de Servicios Técnicos.
- Origen y destino, referenciados mediante la información que se estipula en la Fracción 0.

F.1.3. 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 de configuración de la calzada observados.
- Descripción cualitativa de los alineamientos horizontal y vertical

F.1.4. Descripción general de los trabajos efectuados

- Características del equipo de medición utilizado, incluyendo información sobre su calibración.
- Detalles del procedimiento de medición utilizado.
- Relación de cualesquier situaciones adversas que se hubieren presentado durante la ejecución de los trabajos, puntualizando el impacto de tales situaciones sobre los resultados del estudio.

F.1.5. Resumen de resultados: estudios de evaluación

En el caso de los estudios de evaluación, el resumen de resultados se basará en los productos que se indican a continuación, los cuales se elaborarán para cada segmento evaluado y para el valor representativo de este segmento, Fracción 0.

- Larguillo de la PMT con la información agregada por kilómetro, utilizando como abscisas los puntos medios de cada segmento de un (1) kilometro. En este gráfico, se indicarán los umbrales que delimitan los estados “bueno”, “regular” y “malo” a los que se hace referencia en la Fracción 0. como se muestra en la Figura 3.

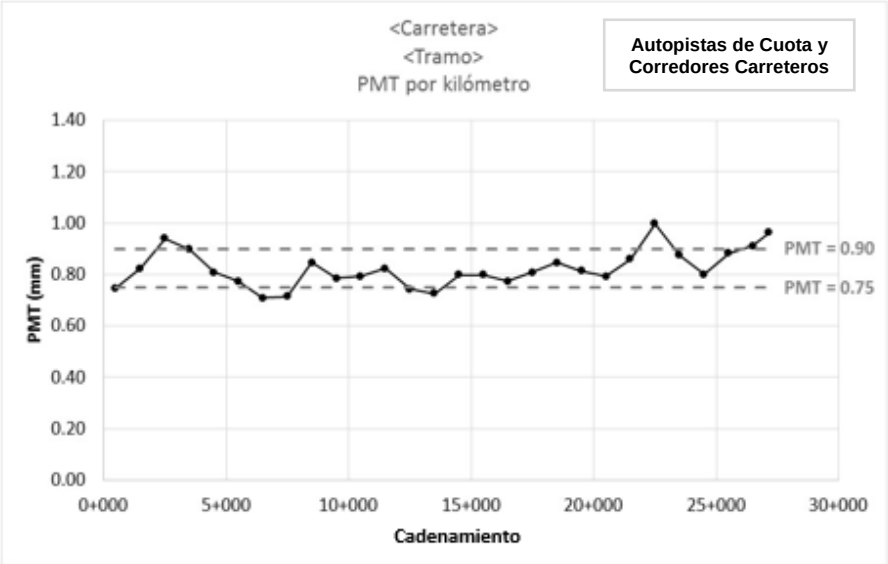

FIGURA 3.- Larguillo de la PMT por kilómetro

- Representación geográfica de los valores representativos, para lo cual se utilizará el proceso de representación de datos lineales conocido como *segmentación dinámica*.

  El objeto de esta representación será meramente ilustrativo, por lo que podrá utilizarse para la generación de la capa base del tramo, o bien información pública (p. ej. del Instituto Nacional de Estadística y Geografía), o bien datos levantados previamente por la empresa contratista, con la única condición de que la información se encuentre actualizada.

- Porcentajes de la longitud del tramo en estado “bueno”, “regular” y “malo” en función de los umbrales definidos en la Tabla 1.**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**Los resultados se ilustrarán mediante un gráfico circular.
- Comparación de los valores de la PMT por kilómetro con los del año inmediato anterior, la cual irá acompañada de

una valoración general que explique, a satisfacción de la Secretaría, las causas de los posibles cambios observados. La información del año anterior necesaria para hacer esta comparación será proporcionada por la Secretaría.

F.1.6. Resumen de resultados: estudios de control de calidad

Cuando se trate de estudios de control de calidad, en el resumen de resultados se presentará una comparación entre los valores medidos y los especificados en el proyecto y, en función de ella, se determinará si los tramos auscultados cumplen con los niveles de macrotextura esperados.

F.1.7. Resumen de resultados: estudios de verificación

En el caso de estudios de verificación, el resumen de resultados comprenderá los conceptos que se describen en la Fracción 0.

Aunque, en general, los componentes del informe presentados anteriormente no son limitativos, se excluirán expresamente los siguientes conceptos:

- Descripción general de la red federal de carreteras o de la porción de la misma en la que se ubica el tramo.
- Datos geotécnicos o geológicos del tramo.
- Información teórica relativa a la macrotextura, las medidas comúnmente empleadas para describirla o conceptos sobre gestión de carreteras.
- Descripciones genéricas de los equipos para la medición de la macrotextura.

F.2. ANEXOS

La información contenida en el cuerpo principal del informe, será complementada con los siguientes anexos:

F.2.1. Anexo “A”: Bitácora del servicio

Reproducción en formato electrónico de la bitácora del servicio a la que se refiere la Fracción 0.

F.2.2. Anexo “B”: Base de datos

Base de datos con formato de Microsoft Access con una única tabla diseñada a partir de los siguientes campos:

- Clave de la carretera a la que pertenece el tramo evaluado, según la nomenclatura de la Dirección General de Servicios Técnicos.
- Sentido de circulación, de acuerdo con la nomenclatura especificada en la Fracción 0.
- Carril evaluado, de acuerdo con la misma nomenclatura.
- Cadenamientos inicial y final del segmento de medición (estudios de evaluación).
- Cadenamiento del punto de medición (estudios de control de calidad y validación).
- En los casos en que se hayan realizado mediciones en las dos rodadas del carril evaluado:
  - PMT calculada para la rodada derecha.
  - PMT calculada para la rodada izquierda.
  - PMT promedio (promedio de los dos valores anteriores).
- Valor calculado de la PMT, para mediciones en una sola rodada.

En lo que corresponde a los estudios de evaluación, la longitud del segmento empleado en la creación de la tabla anterior será igual a la del intervalo de medición, Fracción 0. Para estos mismos estudios, sea cual fuere la dirección del flujo vehicular en el carril de circulación, el cadenamiento inicial siempre será menor que el final, es decir, los resultados se registrarán invariablemente en la dirección en la que crece el cadenamiento.

F.2.3. Anexo “C”: Detalle de las mediciones

Los informes relativos a los estudios de evaluación, incorporarán un anexo con los detalles de las mediciones almacenados en archivos de Microsoft Excel. Se creará un archivo por cada carril evaluado, y cada archivo incluirá los componentes que se describen a continuación, almacenadas en hojas de cálculo separadas:

F.2.3.1. Listado de las mediciones correspondientes al intervalo de medición original, el cual estará organizado de acuerdo con las siguientes columnas:

- Cadenamientos inicial y final.
- En los casos en que se hayan realizado cálculos de la PMT para las dos rodadas del carril evaluado:
  - PMT calculada para la rodada derecha.
  - PMT calculada para la rodada izquierda.
  - PMT promedio (promedio de los dos valores anteriores).
- Valor calculado de la PMT, cuando se haya registrado un solo valor por cada estación.

F.2.3.2. Larguillo interactivo, el cual permitirá visualizar la representación gráfica de las parejas cadenamiento - PMT de los segmentos de medición originales en intervalos de un (1) kilometro. La navegación dentro del larguillo se controlará mediante una barra de desplazamiento, cuyos movimientos representarán un avance o retroceso de un (1) kilometro que provocará la actualización de los datos del gráfico. En el título de este, se incluirán los cadenamientos inicial y final el segmento mostrado en el larguillo, como se ejemplifica en la Figura 4.

Cada larguillo mostrado comenzará en un kilómetro entero, exceptuando a los segmentos inicial o final cuando éstos inicien o terminen en un kilómetro fraccionario. Los distintos valores de la PMT estarán relacionados con el punto medio del segmento de medición.

F.2.3.3. Listado de mediciones agregadas por kilómetro, utilizando la misma estructura del listado de mediciones para el intervalo de medición original.

F.2.3.4. Larguillo con la información agregada por kilómetro, utilizando como abscisas los puntos medios de cada segmento de un kilómetro. En este gráfico, se indicarán los umbrales que delimitan los estados “bueno”, “regular” y “malo”. El gráfico que corresponda a los valores

representativos será el que se incluya en el cuerpo principal del informe.

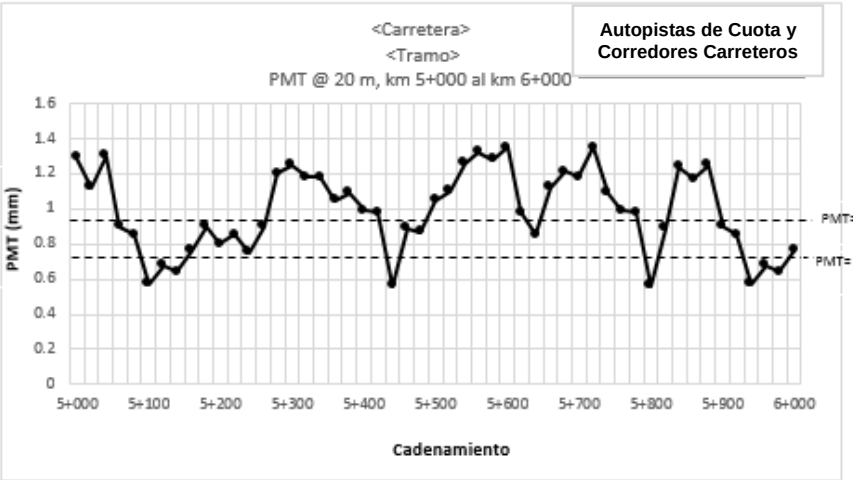

FIGURA 4.- Larguillo interactivo de la PMT correspondiente a los segmentos de medición originales

F.2.3.5. Porcentajes de longitud del carril en estado “bueno”, “regular” y “malo”, calculados a partir de los valores agregados por kilómetro. Los resultados se presentarán en forma tabular y se ilustrarán mediante un gráfico circular. Los resultados que se obtengan para los valores representativos del tramo serán los que se incluyan en el cuerpo principal del informe.

Todas las hojas de cálculo llevarán como encabezado el nombre y la clave del tramo, así como los datos relativos al sentido y carril de circulación; para estos últimos, se empleará también la nomenclatura especificada en la Fracción 0.

Al igual que la base de datos, los listados incluidos en los diferentes libros se presentarán en orden creciente del cadenamiento, independientemente de la dirección de flujo del carril que corresponda.

F.2.4. Anexo "D": Resumen fotográfico

Conjunto de fotografías con resolución de al menos trescientos (300) pixeles con formato "JPG", almacenadas en una carpeta del sistema de archivos de Windows denominada "Resumen fotográfico".

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 en estado "bueno", "regular" y "malo".

G. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

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

- Que el tipo de equipo utilizado no sea diferente del estipulado según la naturaleza de los trabajos.
- Que pueda acreditarse la vigencia de la calibración y validación del equipo.
- Que los tramos objeto de la medición sean delimitados de acuerdo con los criterios a que se refiere la Fracción 0.
- Que no se omitan una o más de las secciones o anexos del informe del servicio.

H. MEDICIÓN

El estudio se medirá para determinar el avance o la cantidad de trabajo efectuado siempre que se lleve a cabo por contrato y cumpla con lo indicado en la presente Norma. Para tal efecto, 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.

Cuando el estudio para la obtención de la profundidad de la macrotextura se efectúe por contrato, para determinar el avance o la cantidad de trabajo ejecutado para efecto de su pago, se medirá como se indica a continuación:

H.1. CONTRATO SOBRE LA BASE DE PRECIOS UNITARIOS

Cuando el estudio se contrate sobre la base de precios unitarios, dependiendo de su tipo, se medirá 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 el estudio se contrate a precio alzado y sea ejecutado a satisfacción de la Secretaría, conforme a lo indicado en la Cláusula E. de esta Norma, según su tipo, se medirá como se indica en la Fracción F.2. de la Norma N·LEG·2, *Ejecución de Estudios, Proyectos, Consultorías y Asesorías*.

I. BASE DE PAGO

Cuando el estudio para la obtención de la profundidad de macrotextura se efectúe por contrato, en la integración de los precios se considerará lo siguiente:

I.1. CONTRATO SOBRE LA BASE DE PRECIOS UNITARIOS

Cuando el estudio 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. o H.2. de esta Norma. Este precio unitario incluye lo que corresponda por, gastos de operación, traslado y ejecución de los trabajos según lo establecido en la Cláusula G. de la Norma N·LEG·2, *Ejecución de Estudios, Proyectos, Consultorías y Asesorías*, para las actividades que integran su base de pago, que se indican a continuación:

I.1.1. Gastos de operación

Los gastos de operación se pagarán para este estudio de acuerdo con los precios fijados en el contrato para cada kilómetro carril de medición. Estos precios unitarios incluyen lo que corresponda por:

- Depreciación de vehículos
- Personal (viáticos, jornal)

- Desgaste del equipo de medición

I.1.2. Traslado

Estos gastos se pagarán considerando el desgaste del vehículo, combustibles, casetas de peaje, alojamientos y todo lo que incluye el llegar al sitio de prueba de acuerdo con los precios fijados en el contrato.

I.1.3. Ejecución de los trabajos

Los gastos generados por la ejecución de los trabajos de acuerdo con lo indicado en la Cláusula E. de esta Norma se pagarán según los precios fijados en el contrato por kilómetro carril evaluado.

I.2. CONTRATO A PRECIO ALZADO

En el caso de que el estudio de profundidad de macrotextura se contrate a precio alzado, en la integración de dicho precio se considerará lo que corresponda por: 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*, para aquellas actividades que la Secretaría, a través de los Términos de Referencia a que se refiere el Inciso C.1.2. de la Norma antes mencionada, indique de entre las contenidas en la Fracción E.3. de esta Norma, dependiendo del tipo y propósito del estudio.

Cuando el estudio se mida según lo establecido en la Cláusula H., se pagará de acuerdo con los precios unitarios fijados en el contrato. Estos precios comprenderán todos los conceptos necesarios para la correcta ejecución del estudio, abarcando lo establecido en la presente Norma y en los términos de referencia elaborados por la Secretaría.

J. ESTIMACIÓN Y PAGO

La estimación y pago del estudio de profundidad de la macrotextura 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 LA DETERMINACIÓN DE LA MACROTEXTURA (MAC)

Cuando el estudio de profundidad de macrotextura se realice por contrato, será recibido por la Secretaria de acuerdo con lo establecido en la Cláusula I. 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.

Una vez concluido el estudio, la Secretaría lo aprobará y lo recibirá 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" al que se refiere la Fracción E.2. de la misma Norma, además de lo estipulado en esa Fracción, el informe final cumplirá con lo indicado en la Cláusula F. de la presente Norma.

L. BIBLIOGRAFÍA

American Society for Testing and Materials (ASTM) E 1845 - 96: *Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth, West Conshohocken*, PA: ASTM International (2010).

American Society for Testing and Materials (ASTM) E 965 - 96: *Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique*, West Conshohocken, PA: ASTM International (2010).

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).

K. K. McGhee y G. W. Flintsch, *High-Speed Texture Measurement of Pavements*, Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, Virginia, EUA (2003).

MG Lay Library, ARRB Group, *Austroads Glossary of Terms*, 6a. ed., Sidney, Nueva Gales Del Sur: Austroads Ltd., (2015).

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

R. O. Rasmussen, *Pavement Texture Fundamentals*, http://cenews.com/article/9399/pavement-texture-fundamentals, agosto de 2013. [En línea]. [Último acceso: 10 de julio de 2015].

P. A. Serigos, J. A. Prozi, B. H. Nam y M. R. Murphy, *Field Evaluation of Automated Rutting Measuring Equipment*, Center for Transportation Research, The University of Texas at Austin, Austin, Texas, EUA (2012).

J. C. Wambold, C. E. Antle y J. J. Henry, *International PIARC Experiment to Compare and Harmonize Texture and Skid Resistance Measurements*", World Road Association (PIARC), París, Francia, (1995).

H. Wang, *Development of Laser System to Measure Pavement Rutting*, University of South Florida Scholar Commons, (2005).

SCT, *Guía para bandereros*, México, D. F., Secretaría de Comunicaciones y Transportes, (2000).

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