

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

**PARTE:** 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS

**TÍTULO:** 07. Superficie de Rodadura

**CAPÍTULO:** 003. Determinación del Perfil Longitudinal con Equipo Escáner Transversal

**A. CONTENIDO**

Este Manual describe el procedimiento para determinar, mediante el empleo de un escáner transversal, el perfil longitudinal de la superficie de rodadura de un pavimento para el posterior cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI) a que se refieren la Norma N·CSV·CAR·1·03·004, *Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI)*.

**B. OBJETIVO DE LA PRUEBA**

Esta prueba permite obtener el perfilograma o el perfil longitudinal de la superficie de rodadura de un pavimento para el cálculo del IRI de acuerdo con lo indicado en la Norma N·CSV·CAR·1·03·004, *Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI)*. La prueba consiste en medir las irregularidades en la superficie de rodadura que se obtienen al utilizar un escáner transversal, a lo largo de una franja de pavimento por estudiar.

**C. REFERENCIAS**

Son referencias de este Manual, la Norma N·CSV·CAR·1·03·004, *Determinación del Índice de Regularidad Internacional* y el Manual M·MMP·4·07·006, *Determinación del Perfil Longitudinal con Nivel y Estatal para el Cálculo del Índice de Regularidad Internacional* y el Protocolo NMEA – 0183, de la *National Marine Electronics Association*.

**D. MATERIAL Y EQUIPO**

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes y componentes.

**D.1. VEHÍCULO**

El equipo de evaluación del perfil longitudinal del pavimento, estará acoplado en un vehículo de tamaño adecuado para instalar el equipo requerido sin que sufra modificaciones estructurales importantes, como se muestra en la Figura 1 de este Manual. 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.

**D.2. SENSORES**

Se usan para medir la aceleración, desplazamiento y distancia recorrida.

### D.2.1. Sensor de aceleración o Unidad de Medición Inercial IMU

Mide la aceleración utilizada para establecer la referencia inercial. Se utilizarán dos acelerómetros con una resolución de medición vertical igual a 0,1 mm o menor, de alta calidad que cumpla con los requisitos del sistema de medición, los cuales contarán con las siguientes características:



FIGURA 1.- Equipo escáner acoplado en vehículo

- D.2.1.1. Estará acoplado en el vehículo con el eje sensor perpendicular a la superficie del pavimento.
- D.2.1.2. El rango del acelerómetro será adecuado para cuantificar los niveles de aceleración esperados de los movimientos de rebote del vehículo de medición.
- D.2.1.3. Tendrá una resolución mínima para permitir el cálculo del perfil longitudinal, la precisión e incertidumbre para satisfacer los requisitos del escáner transversal.

### D.2.2. Sensor de desplazamiento

Mide la distancia entre el sensor y la superficie del pavimento. Registrará datos con una resolución de 0,1 mm.

### D.2.3. Sensor de distancia

Permite cuantificar la distancia recorrida por el vehículo de evaluación. Se puede usar cualquier sensor de distancia que produzca una señal digital o analógica con una precisión menor de 0,1 % equivalente a una diferencia de  $\pm 1\text{m/km}$  con una frecuencia de muestreo del perfil longitudinal de 25 mm o menor para satisfacer los requerimientos del cálculo del Índice de Regularidad Internacional.

## D.3. MARCADORES DE UBICACIÓN

El inicio, marcas intermedias y fin de tramo estarán identificadas con marcas de localización que puedan ser detectadas con medios automáticos o de manera visual por el operador del equipo, tales como detección magnética, detección de cinta reflejante con fotoceldas, marcas de pintura, referencias físicas o medios similares.

#### D.4. VELOCÍMETRO

Pantalla ubicada de manera conveniente de modo que ayude al conductor a mantener la velocidad durante el proceso de medición. Algunos sistemas, especialmente los sistemas espaciales, son independientes de la velocidad, en cuyo caso el velocímetro del vehículo es suficiente.

#### D.5. INSTRUMENTO DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

Ofrecerá una precisión mínima de  $\pm 3$  m en modalidad de navegación, y de  $\pm 1$  cm en modo estático. Satisfará el Protocolo NMEA - 0183.

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

#### D.6. PANTALLA

El equipo tendrá una pantalla que permita el monitoreo visual de los resultados del sistema. La pantalla mostrará el perfil longitudinal en función del tiempo o de la distancia recorrida.

#### D.7. MARCADOR DE EVENTO

El operador contará con los materiales necesarios para marcar la localización de eventos como parte de la recolección de datos. El sistema puede utilizar un sensor (opcional) para detectar y registrar automáticamente los marcadores de ubicación que se han colocado en la superficie recorrida.

### E. CALIBRACIÓN

El equipo de medición, su sistema y componentes serán calibrados periódicamente de acuerdo con las instrucciones del fabricante o al reemplazar, reparar o realizar alguna modificación importante que pueda afectar la calibración del dispositivo. El equipo será calibrado al menos dos veces al año o cuando lo solicite la Secretaría y los registros que se generen serán conservados como evidencia de las calibraciones, entregando una copia a la Secretaría.

Una evaluación del mismo tramo de prueba con un equipo de bajo rendimiento siguiendo el procedimiento marcado en el Manual M-MMP-4-07-006, *Determinación del Perfil Longitudinal con Nivel y Estadal para el Cálculo del Índice de Regularidad Internacional*, sirve de referencia para la calibración de la regularidad de la superficie.

#### E.1. CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES

Se recomienda que el proceso de calibración se automatice para reducir el riesgo de error por parte del operador.

##### E.1.1. Sensor de aceleración o Unidad de Medición Inercial IMU

Contará con la función de calibración interna o externa. Se mostrará en pantalla una medida del error del acelerómetro para la aceptación por parte del operador. Como una alternativa, el sensor de aceleración podrá ser calibrado por separado en el laboratorio.

##### E.1.2. Sensor de desplazamiento

Se calibrará introduciendo debajo de los láser un bloque de espesor determinado por el fabricante con la precisión correspondiente a su resolución. La medición del error en el sensor de desplazamiento, se desplegará para la aceptación o ajuste por parte del operador de acuerdo con los procedimientos indicados por el fabricante del equipo.

**E.1.2.1. Separación de los sensores de desplazamiento**

El perfilómetro inercial tendrá la capacidad para medir las dos roderas de un carril. Al medir dos roderas, los sensores de desplazamiento se acoplarán a la barra de sujeción con un espaciado entre ellos de 1,5 a 1,8 m.

**E.1.3. Sensor de distancia**

Se calibrará tomando como referencia una distancia conocida en un tramo recto. Cualquier diferencia significativa entre la distancia medida y la distancia real predeterminada se tomará en cuenta. No se aceptará un error mayor al 0,1% de la distancia real (equivalente a 1 metro/kilómetro). El sensor se calibrará a la velocidad de evaluación establecida.

**F. PREPARACIÓN DEL EQUIPO****F.1. SISTEMA ELECTRÓNICO**

Encienda el equipo electrónico y espere el tiempo especificado por el fabricante antes de iniciar la prueba de evaluación, con la finalidad de permitir que los componentes electrónicos se estabilicen y adquieran la temperatura óptima de trabajo.

**F.2. PARÁMETROS DEL SISTEMA**

Seleccione y configure los parámetros del sistema necesarios para la realización de la prueba.

**F.3. VERIFICACIÓN DE LA CALIBRACIÓN**

Realice la verificación de la calibración al inicio de un día de operación y en cualquier otro momento que el operador sospeche que existen cambios en el desempeño del sistema desde la última calibración.

**G. PROCEDIMIENTO DE LA MEDICIÓN****G.1. MEDICIÓN EN TRAMO DE PRUEBA**

**G.1.1.** Al menos 150 m antes del inicio del tramo de prueba cambiará el sistema al modo de prueba, así mismo conseguirá la velocidad deseada del equipo.

**G.1.2.** La velocidad máxima de operación será la estipulada por los límites del tramo de prueba o como lo permita el flujo del tránsito; la velocidad mínima será definida por el fabricante del equipo y será constante durante las mediciones.

El inicio del tramo de prueba, el operador lo identificará manualmente como parte de los datos registrados. Esto puede hacerse automáticamente con un marcador de evento.

**G.1.3.** El operador medirá el perfil longitudinal en el centro del carril, obteniendo las coordenadas geográficas y UTM del tramo a evaluar.

**G.1.4.** Identificar el final del tramo de prueba.

**G.2. ADQUISICIÓN DE DATOS**

Ingresar la información y datos requeridos del tramo de prueba y de las condiciones en la cual se desarrollará la evaluación.

**G.2.1.** Tomará en cuenta que, si la distancia entre los sensores de distancia no corresponde con aquella de las roderas reales, entonces sólo una de las mediciones está realmente centrada en una de las roderas y normalmente será la huella derecha. Por lo que los 2

sensores separados estarán colocados a 1,5 a 1,8 metros entre sí para obtener la medición al centro de cada rodera.

- G.2.2.** Observará y verificará que los datos concuerden con lo registrado. Si se recopilan los datos de perfil de múltiples roderas, las huellas de las roderas derecha e izquierda serán muy similares excepto para las longitudes de onda corta.
- G.2.3.** Identificará, como parte de los datos registrados, otras características físicas o puntos de referencia conocidos en el tramo de prueba los cuales ayudarán a relacionar el perfil calculado con el perfil superficial recorrido.
- G.2.4.** Identificará el final del tramo de prueba.

## H. CÁLCULOS Y RESULTADOS

### H.1. OBTENCIÓN DEL PERFIL TRANSVERSAL

El principio de operación de un sistema escáner transversal es la obtención de las elevaciones de las irregularidades a lo ancho del carril con las cuales se obtiene el perfil transversal como se muestra en la Figura 2.

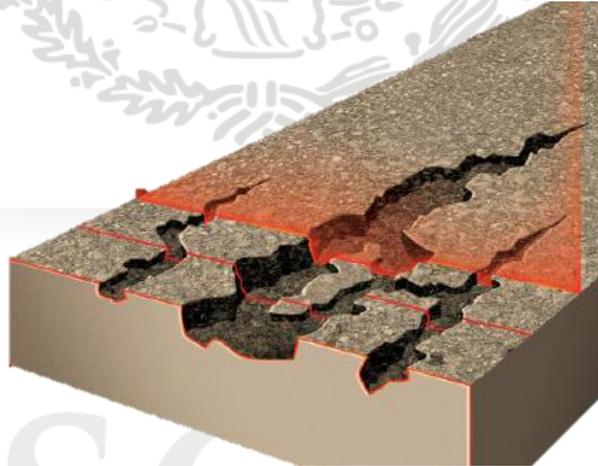


FIGURA 2.- Perfiles transversales obtenidos con el escáner

### H.2. OBTENCIÓN DEL PERFIL LONGITUDINAL

Tomando como base los perfiles transversales obtenidos a lo largo de la sección a evaluar, el fabricante implementa un algoritmo que toma la elevación a un punto equidistante "x" de cada perfil transversal y lo usa para determinar el perfil longitudinal de la sección a evaluar; en la Figura 3 se muestra el perfil longitudinal.

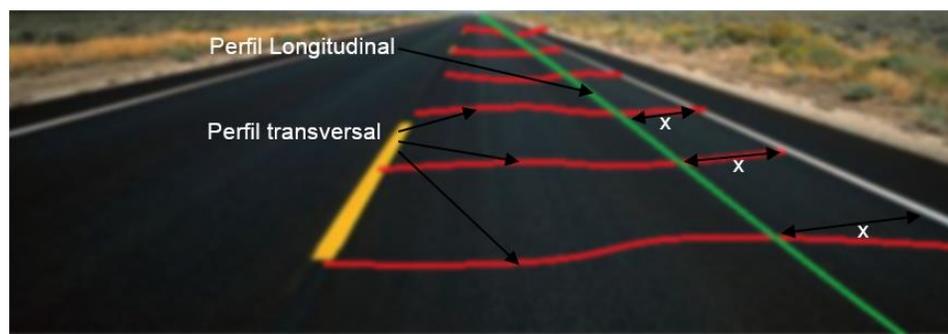


FIGURA 3.- Perfil longitudinal

### H.3. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL

El IRI se calculará a partir del perfil longitudinal obtenido por el escáner transversal como se muestra en el Manual M-MMP-4-07-006, *Determinación del Perfil Longitudinal con Nivel y Estatal para el Cálculo del Índice de Regularidad Internacional*.

## I. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El informe de resultados se elaborará de acuerdo con lo estipulado en la Cláusula F. de la Norma N-CSV-CAR-1-03-004, *Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI)*; en donde para cada tramo de prueba medido contará con los siguientes datos:

### I.1. DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA

Se describirá el tipo de prueba que se realizó, junto con el modo de operar del equipo y método utilizado para el cálculo de resultados.

### I.2. FECHA DE MEDICIÓN

Fecha en la cual se llevó a cabo la recolección de datos (dd/mm/aaaa).

### I.3. UBICACIÓN

Nombre de la carretera, kilómetro inicio-fin, se definirá la localización del tramo a evaluar en un mapa con coordenadas geográficas. Se colocará el cadenamiento, carril y sentido.

### I.4. DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE SUPERFICIE

Registrar anotaciones que puedan describir el tipo de superficie en la cual se desarrolla la evaluación.

### I.5. DESCRIPCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

Se reportará la contaminación en la superficie del pavimento como algún material o sustancia que no se puede evitar limpiando, incluyendo la humedad.

### I.6. CONDICIÓN SUPERFICIAL

Se reportarán observaciones sobre la condición superficial tales como agrietamiento, baches, parches, entre otras.

### I.7. IDENTIFICACIÓN DEL EQUIPO Y SUS OPERADORES

Se reportará el tipo de equipo de evaluación, así como la identificación de los operadores.

**I.8. FECHA DE CALIBRACIÓN**

Se reportará la fecha en la cual se realizó la última calibración del equipo.

**I.9. LONGITUD TOTAL DEL PERFIL Y NÚMERO DE SEGMENTOS ANALIZADOS**

Se reportará la longitud total evaluada en metros y la cantidad de segmentos analizados para la longitud evaluada.

**I.10. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN**

Se reportarán los resultados a intervalos de 20, 100 y 1000 m, así como el promedio de cada segmento junto con las velocidades registradas.

**I.10.1.** Perfil longitudinal del intervalo de muestreo.

**I.10.2.** Valor de IRI para cada rodera.

**I.10.3.** Configuración del filtro de longitud de onda.

**I.10.4.** Promedio de los dos IRI calculados para cada sección en m/km.

**I.11. REPORTE FOTOGRÁFICO**

Se anexará un reporte fotográfico donde se muestre el principio y final del tramo, así como el equipo en funcionamiento.

**J. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES****J.1. REGISTRO DE DATOS**

Revisar el perfil al finalizar cada medición; en caso de encontrar alguna inconsistencia repetir la medición.

**J.2. IDENTIFICACIÓN DE DATOS**

Se recomienda usar una nomenclatura predeterminada para asignar nombre a los datos recolectados, así como anotaciones generales que ayuden a identificar la procedencia de la información y las condiciones en las cuales se realizó dicha recolección de datos.

**J.3. CUIDADO DEL EQUIPO**

Se recomienda mantener siempre limpio y en condiciones óptimas de servicio los instrumentos electrónicos, fuentes de energía, sistemas de enfriamiento, ya que la humedad, polvo, altas temperaturas y golpes, inciden sobre el buen desempeño de la electrónica del sistema y por ende los resultados.

**K. BIBLIOGRAFÍA**

Spangler, E.B; and Kelly , W. J; *GMR Road Profilometer -A Method for Measuring Road Profile*, Highway Research Record 121, Washington,DC, EUA (1966).

Gillespie, T.D; Sayers, M. W; and Segel, L; *Calibration and Correlation of Response-Type road Roughness Measuring Systems*, NCHRP report 228, National Cooperative Highway Research Program, National Academy of Science, Washington, DC, EUA (1980).

Sayers, M. W and Gillespie, T.D; *The Ann arbor Road Profilometer Meeting*, FHWA Report FHWA/RD-86/100, July (1986).

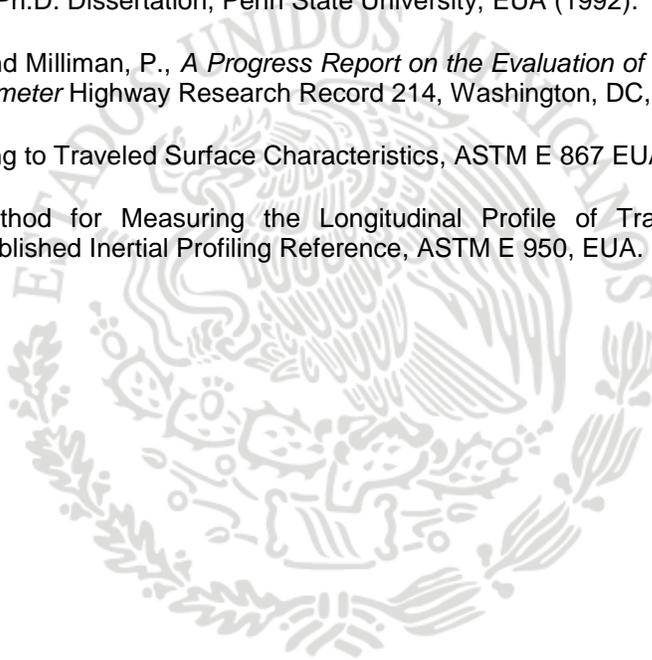
Sayers, M. W and Karamihas, S. M; *The Little Book of Profiling*, The Regent of the University of Michigan, September (1998).

Pong, Michael, *The Development of an Extensive-Range Dynamic Road Profile and Roughness Measuring System* Ph.D. Dissertation, Penn State University, EUA (1992).

Darlington, J. R., and Milliman, P., *A Progress Report on the Evaluation of the General Motors Rapid Travel Road Profilometer* Highway Research Record 214, Washington, DC, EUA (1968).

Terminology Relating to Traveled Surface Characteristics, ASTM E 867 EUA.

Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference, ASTM E 950, EUA.



SCT

---

SECRETARÍA DE  
COMUNICACIONES  
Y TRANSPORTES

# SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



**SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA**  
DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS TÉCNICOS  
AV. COYOACÁN 1895  
COL. ACACIAS  
CIUDAD DE MÉXICO, 03240  
[WWW.GOB.MX/SCT](http://WWW.GOB.MX/SCT)