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

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

TÍTULO: 07. Superficies de Rodadura

*CAPÍTULO*: *004. Determinación del Perfil Longitudinal con Perfilómetro Inercial*

## A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento para determinar, mediante el empleo de un perfilómetro inercial, el perfil longitudinal de la superficie de rodadura de un pavimento para el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI) a que se refiere 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 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 desplazar el perfilómetro inercial 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 (IRI)* y el Manual M·MMP·4·07·006, *Determinación del Perfil Longitudinal con Nivel y Estadal para el Cálculo del Índice de Regularidad Internacional* y el Protocolo NMEA – 0183, de la *National Marine Electronics Association*.

## D. EQUIPO Y MATERIALES

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

### D.1. VEHÍCULO

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

### D.2. SENSORES

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

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

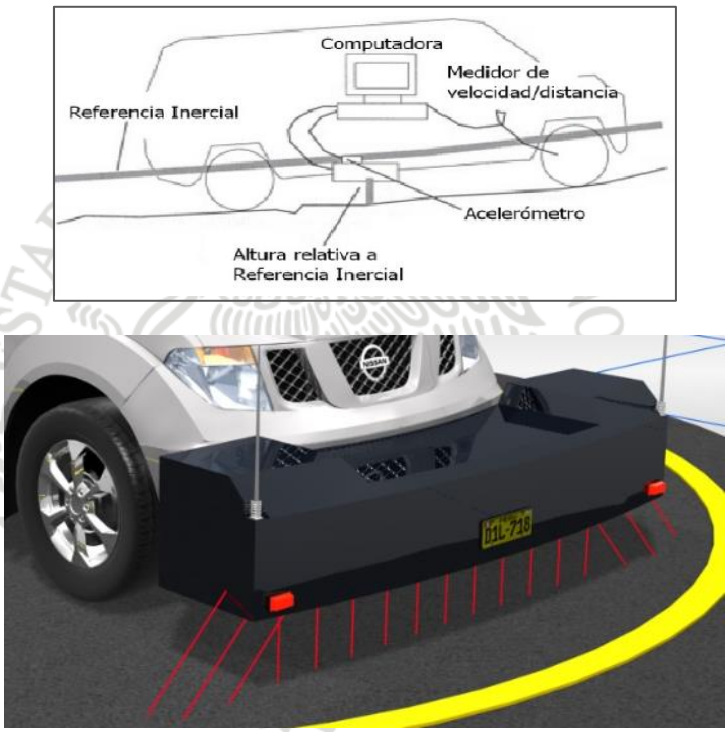


FIGURA 1.- Equipo de evaluación acoplado en vehículo

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

Se utilizarán dos acelerómetros con una resolución de medición vertical igual a 0,1 mm o menor. El sensor de aceleración (o acelerómetro) contará con las siguientes características:

**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 cubrirá los niveles de aceleración que se generan a partir de los movimientos de rebote del vehículo de medición (generalmente ± 1g).

**D.2.2. Sensor de desplazamiento**

Mide la distancia entre el acelerómetro y la superficie del pavimento. Estará acoplado al vehículo con el eje de medición perpendicular a la superficie del pavimento y en línea con el eje del sensor del acelerómetro. 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 ± 1 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

La ubicación de un inicio de tramo, puntos de interés, características intermedias y fin de tramo, se identificarán mediante marcas de localización que tengan la posibilidad de ser detectadas con precisión con medios automáticos o visualmente por los operadores del equipo; estos marcadores se pueden hacer con cinta reflejante o por medios similares.

### D.4. BLOQUE DE CALIBRACIÓN

De al menos 25 mm de espesor de acuerdo con la resolución del equipo utilizado y acorde a las recomendaciones del fabricante del equipo.

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

Ofrecerá una precisión mínima de ± 3 m en modalidad de navegación, y de ± 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

Permitirá el monitoreo de la salida 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

Forman parte del equipo de cómputo a bordo del vehículo. La ubicación y registro de eventos se realiza por medio de teclas o comandos que son activados en función del tipo de evento presentado durante la evaluación.

## E. CALIBRACIÓN

El equipo, su sistema y componentes serán calibrados periódicamente de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Además, el perfilómetro inercial será calibrado cuando se reemplace o repare algún sensor y cada vez que se reensamble el perfilómetro inercial.

A menos de que el fabricante indique otra cosa, el procedimiento de calibración se ejecutará conforme a los procedimientos que se describen a continuación y los registros que se generen serán conservados como evidencia de las calibraciones, entregando una copia a la Secretaría.

### E.1. CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES

El proceso de calibración se automatizará 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 espaciamiento 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. El sensor se calibrará a la velocidad de evaluación establecida.

### E.2. CALIBRACION DE REGULARIDAD DE LA SUPERFICIE

Para calibrar el perfilómetro inercial se toma como referencia las evaluaciones del mismo tramo de prueba realizadas con un nivel y estadal, como lo menciona el Manual M·MMP·4·07·006, *Determinación del Perfil Longitudinal con Nivel y Estadal para el Cálculo del Índice de Regularidad Internacional*.

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.

## F. PREPARACIÓN DEL EQUIPO

### F.1. ACTIVIDADES PREVIAS

Encender el equipo electrónico 20 min antes de iniciar la prueba para permitir que los componentes se estabilicen.

### F.2. PARÁMETROS DEL SISTEMA

Se seleccionan los parámetros del sistema en función de la longitud de onda del perfil longitudinal que se medirá. El fabricante del equipo proveerá una guía sobre los parámetros del sistema a utilizar.

### F.3. VERIFICACIÓN DE LA CALIBRACIÓN

Se realizará 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 MEDICIÓN

### G.1. EVALUACIÓN 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 de 25 km/h. La velocidad será constante.

El operador identificará manualmente el inicio del tramo de prueba, 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 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.** 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.2.2.** 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.2.3.** Identificará el final del tramo de prueba.

## H. 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.

### H.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.

### H.2. FECHA DE MEDICIÓN

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

### H.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.

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

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

### H.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.

### H.6. CONDICIÓN SUPERFICIAL

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

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

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

### H.8. FECHA DE CALIBRACIÓN

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

### H.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.

### H.10. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

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

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

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

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

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

### H.11. REPORTE FOTOGRÁFICO

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

## I. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

### I.1. EVALUAR LOS DATOS REGISTRADOS

Si existe duda acerca del desempeño de los equipos para las corridas de prueba, hacer una comprobación inmediata repitiendo la medición en el tramo evaluado.

Evitar los cambios repentinos de velocidad para minimizar registros indeseables al sensor de aceleración y procesos transitorios.

### I.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.

### I.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, indicen sobre el buen desempeño de la electrónica del sistema y en los resultados.

## J. BIBLIOGRAFÍA

Spangler, E.B y 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. y 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. y Gillespie, T.D., *The Ann arbor Road Profilometer Meeting*, FHWA Report FHWA/RD-86/100, (julio 1986)

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

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

Darlington, J. R.y Milliman, P., , Highway Research Record 214, Washington, DC, EUA (1968).

Terminology Relating to Traveled Surface Characteristics, ASTM E 867.

American Society for Testing and Materials (ASTM) E 950, *Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference*.

American Society for Testing and Materials (ASTM) E 1166, *Guide for Network Level Pavement Management*.

American Society for Testing and Materials (ASTM) E 1364, *Test method for measuring road roughness by static level method*.

American Society for Testing and Materials (ASTM) F 457, *Test method for speed and distance calibration of a fifth wheel equipped with either analog or digital instrumentation*.

American Society for Testing and (ASTM) E 178, *Practice for dealing with outlying observations*.

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