

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

PARTE: **4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS**

TÍTULO: 07. Superficie de Rodadura

CAPÍTULO: 018. *Determinación de la Profundidad de Rodera con Equipo Óptico Láser*

A. CONTENIDO

Este Manual contiene el procedimiento para determinar, mediante el empleo de un equipo óptico láser, el perfil transversal de la superficie de rodadura de un pavimento para el cálculo de profundidad de rodadura (PR) a que se refieren la Norma N-CSV-CAR-1-03-009, *Determinación de Profundidad de Roderas (PR)*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite obtener el perfil transversal de la superficie de rodadura de un pavimento y determinar, a partir de él, la profundidad de rodadura (PR) de acuerdo con lo indicado en la Norma N-CSV-CAR-1-03-009, *Determinación de Profundidad de Roderas (PR)*. La prueba consiste en medir las irregularidades en la superficie de rodadura que se obtienen al desplazar un equipo óptico láser, a lo largo de una franja de pavimento por estudiar.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con la Norma N-CSV-CAR-1-03-009, *Determinación de la Profundidad de Roderas (PR)*.

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 transversal del pavimento, estará acoplado a un vehículo de tamaño adecuado como se muestra en la Figura 1 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.

D.2. SENSORES

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

D.2.1. Acelerómetro

Establece la referencia inercial. Se utilizará un acelerómetro de alta calidad que cumpla con los requisitos del sistema de medición, el cual contará con las siguientes características:



FIGURA 1.- Equipo óptico láser, acoplado en vehículo

- D.2.1.1. Estará montado en el vehículo con el eje sensor del equipo óptico láser perpendicular a la superficie del pavimento.
- D.2.1.2. El rango del acelerómetro será el adecuado para cuantificar los niveles de aceleración esperados de los movimientos de rebote del vehículo de medición (generalmente $\pm 1g$).

D.2.2. Sensor de desplazamiento

Medirá 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 ± 1 m/km para satisfacer los requerimientos.

D.3. MARCADORES DE UBICACIÓN

El inicio y fin de tramo serán identificados con marcas de localización que puedan ser detectadas con medios automáticos o de manera visual para 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

Dispositivo que muestra la velocidad del vehículo durante el movimiento del mismo. El velocímetro ayudará 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 ± 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

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

D.7. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y PROCESO DE INFORMACIÓN

Se contará con un sistema para el registro y el almacenamiento a largo plazo de los datos del perfil evaluado. El sistema tendrá la capacidad para procesar los datos incluso a bordo del vehículo o para un procesamiento posterior.

D.8. MARCADOR DE EVENTO

El operador contará con las herramientas necesarias para registrar la localización de eventos como parte de la recolección de datos. Los eventos que se registran son: zonas de topes, casetas, pases por población, rebases y cualquier otra situación que pueda alterar los resultados.

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.

E.1. CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES

Se recomienda que el proceso de calibración se automatice para reducir el riesgo de error humano.

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

Realizar 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.

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.3.1. Sistema

Verifique la calibración utilizando el procedimiento de rebote del vehículo, cuando éste se encuentre estacionado, en una superficie plana. Esto comprueba la mayor parte del sistema. En este modo de operación, el perfil de la superficie del pavimento es invariable y el resultado del sistema será menor a 1 % de la amplitud del rebote vehicular.

G. PROCEDIMIENTO DE LA MEDICIÓN

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

G.1. ADQUISICIÓN DE DATOS

- G.1.1.** Al menos 150 m antes del inicio del tramo de prueba, el operador cambiará el sistema al modo de prueba; así mismo, llevará el vehículo a la velocidad de medición, que oscila entre 60 y 100 km/h o la velocidad especificada para la evaluación.
- G.1.2.** Al inicio del tramo de prueba, el operador identificará el sitio donde comenzará el registro del perfil transversal. Esto puede hacerse ubicando el marcador de ubicación correspondiente o con los sistemas automatizados del propio equipo.
- G.1.3.** El equipo registrará el perfil transversal en el carril a evaluar haciendo el recorrido con el vehículo tan cerca como sea posible a la huella establecida por el tránsito obteniendo las coordenadas geográficas y UTM del tramo a evaluar. Si solo se evaluara una huella, la trayectoria a seguir pasará al centro de la huella a medir.
- G.1.4.** Observar y verificar que los datos mostrados en la pantalla concuerden con lo registrado. Si se recopilan los datos de perfil transversal de un carril, las huellas de la rodera derecha e izquierda serán muy similares salvo que exista un problema estructural o superficial mayor que afecte el carril de manera generalizada.
- G.1.5.** Identificará y registrará 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 (registro de eventos).
- G.1.6.** Identificará el final del tramo de prueba donde concluirá el registro de datos.

H. CÁLCULOS Y RESULTADOS

H.1. CÁLCULO DE PROFUNDIDAD DE RODERA (PR)

Un algoritmo implementado por el software obtiene el valor de PR para cada perfil transversal medido por el equipo óptico láser y automáticamente reportará el valor de PR para el tramo evaluado; si el dispositivo permite el almacenamiento de los perfiles transversales evaluados, pueden analizarse de manera independiente para la obtención de PR. El procedimiento que se describe a continuación muestra la forma de obtener la profundidad de rodera y para su cálculo, es indispensable tomar en cuenta el perfil transversal del pavimento evaluado.

- H.1.1.** Con el perfil transversal graficado se procede a identificar los puntos que definen cada rodera en el perfil de trabajo tal y como se muestra en el ejemplo de la Figura 2.
- H.1.2.** Calculará la pendiente entre los puntos A y C para la rodera izquierda; en el caso de la rodera derecha se sustituirán los puntos A y C por D y F como lo muestra la gráfica de la Figura 2.

$$m = \frac{e_c - e_A}{d_c - d_A}$$

Donde:

- m = Pendiente
- e_c = Elevación en el punto C
- e_A = Elevación en el punto A
- d_c = Distancia correspondiente al punto C
- d_A = Distancia correspondiente al punto A

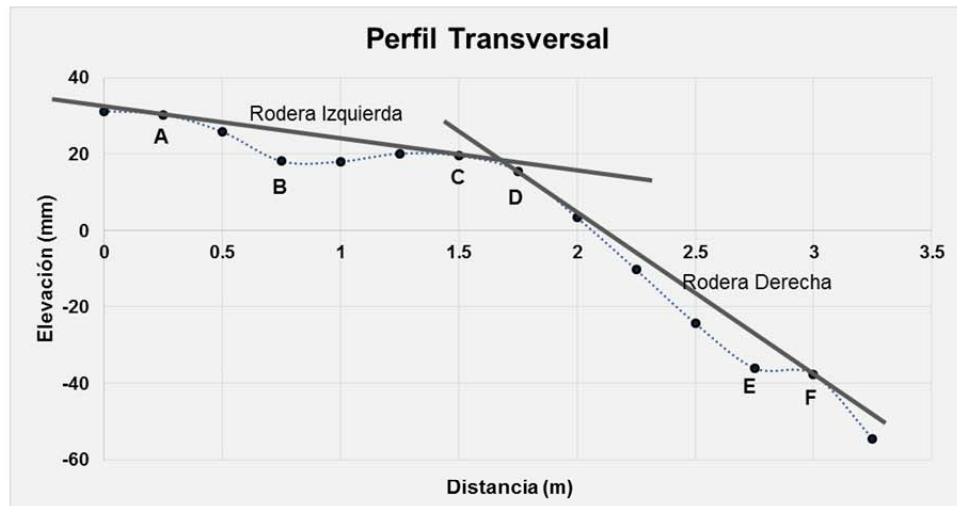


FIGURA 2- Roderas del perfil transversal seleccionado

H.1.3. Realizará la corrección de la pendiente entre los dos puntos máximos de cada rodera.

$$epr_i = e_i + (d_i * m)$$

Donde:

- epr = Pendiente corregida entre los puntos máximo de la rodera
- e = Elevación
- d = Distancia
- m = Pendiente
- i = Número de punto medido del perfil, desde $i=1$ hasta n

H.1.4. Calculará la profundidad de rodera para los puntos indicados en la Figura 3. Este procedimiento se realizará para cada una de las roderas; en este caso calculamos el de la rodera izquierda; para la rodera derecha se sustituyen los puntos A' , B' y C' por D' , E' y F' .

$$PR = A' - B'$$

$$PR = C' - B'$$

Donde:

- PR = Profundidad de rodera
- A', B' y C' = Elevaciones de rodera

H.2. PRESENTACIÓN DE DE RESULTADOS

El informe de resultados se elaborará de acuerdo con lo estipulado en la Cláusula F. de la Norma N·CSV·1·03·009, *Determinación de Profundidad de Roderas (PR)*; en donde para cada tramo de prueba medido contará con los siguientes datos:

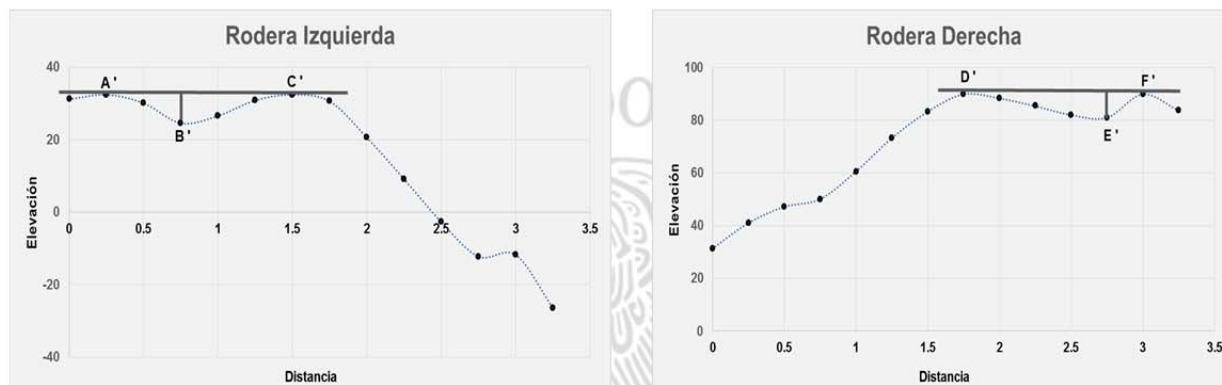


FIGURA 3.- Pendientes corregidas entre los puntos máximos de la rodera izquierda y rodera derecha

H.2.1. 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.2.2. Fecha de medición

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

H.2.3. Ubicación

Definirá la localización del tramo a evaluar en un mapa con coordenadas geográficas. Se colocará el cadenamiento, carril y sentido.

H.2.4. Descripción del tipo de superficie

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

H.2.5. 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.2.6. Condición superficial

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

H.2.7. Identificación del equipo y sus operadores

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

H.2.8. Fecha de calibración

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

H.2.9. 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.2.10. 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.

H.2.11. 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

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observarán las siguientes precauciones:

- I.1. Verificar que el equipo esté perfectamente acoplado al vehículo, conforme a las especificaciones del fabricante, limpio, en óptimas condiciones de operación y debidamente calibrado.
- I.2. Tener especial cuidado en utilizar las refacciones y consumibles recomendados por el fabricante.
- I.3. Respetar las velocidades de operación del equipo tanto máximas como mínimas, de manera que se realice la operación del mismo siempre dentro del rango especificado.

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 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, EUA (1992).

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

American Society for Testing Materials (ASTM), E 867, *Terminology Relating to Traveled Surface Characteristics*.

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