

LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES

PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS

TÍTULO: 07. Superficie de Rodadura

CAPÍTULO: 002. Índice de Perfil

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento para determinar, mediante el empleo de un perfilógrafo tipo California, el índice de perfil (I_p) de la superficie de rodadura de un pavimento, a que se refieren las Normas N-CTR-CAR-1-04-006, *Carpetas Asfálticas con Mezcla en Caliente*; N-CTR-CAR-1-04-007, *Carpetas Asfálticas con Mezcla en Frío*; N-CTR-CAR-1-04-009, *Carpetas de Concreto Hidráulico*; N-CSV-CAR-3-02-005, *Carpeta Asfáltica de Granulometría Densa*; N-CSV-CAR-3-02-006, *Fresado de la Superficie de Rodadura en Pavimentos Asfálticos* y N-CSV-CAR-3-02-009, *Fresado de la Superficie de Rodadura en Pavimentos de Concreto Hidráulico*.

B. OBJETIVO DE LA PRUEBA

Esta prueba permite obtener el perfilograma o perfil longitudinal de la superficie de rodadura y determinar, a partir de él, el índice de perfil del pavimento. La prueba consiste en medir las irregularidades en la superficie de rodadura que se obtienen al desplazar el perfilógrafo tipo California, a lo largo de una franja de pavimento por estudiar.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con las siguientes:

NORMAS	DESIGNACIÓN
Carpetas Asfálticas con Mezcla en Caliente	N-CTR-CAR-1-04-006
Carpetas Asfálticas con Mezcla en Frío	N-CTR-CAR-1-04-007
Carpetas de Concreto Hidráulico	N-CTR-CAR-1-04-009
Carpeta Asfáltica de Granulometría Densa	N-CSV-CAR-3-02-005
Fresado de la Superficie de Rodadura en Pavimentos Asfálticos	N-CSV-CAR-3-02-006
Fresado de la Superficie de Rodadura en Pavimentos de Concreto Hidráulico	N-CSV-CAR-3-02-009

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. Todos los materiales por emplear serán de alta calidad.

D.1. PERFILÓGRAFO TIPO CALIFORNIA

Como el mostrado en la Figura 1 de este Manual, que cuente con:

D.1.1. Marco

Rígido, de 7,62 m (25 ft) de longitud y aproximadamente 1 m de altura, integrado por armaduras de aluminio desmontables para facilitar su transporte.



FIGURA 1.- Perfilógrafo tipo California

D.1.2. Carros de carga

Para soportar el marco y permitir su desplazamiento a lo largo de la trayectoria indicada en las Normas a que se refiere la Cláusula C. de este Manual, mediante un sistema de dirección mecánica controlado por el operador, los carros de carga se ubican en los extremos del marco, en diversas configuraciones de ruedas de apoyo en línea, usualmente en arreglos de 2 y 4 ruedas cada uno, separadas entre sí en al menos 30,5 cm (1 ft) longitudinalmente y 43,2 cm (17 in) transversalmente, para proporcionar estabilidad al equipo, como se muestra en la Figura 1 de este Manual.

D.1.3. Llanta sensora

Neumática, de al menos 15,2 cm (6 in) de diámetro y ubicada en la parte central del marco, con libre desplazamiento vertical, cuyo movimiento respecto a una línea de referencia formada por la elevación promedio de los puntos de contacto de las ruedas de apoyo con la superficie del pavimento, permita registrar la elevación del perfil de la superficie de rodadura respecto a dicha línea de referencia, formando el perfilograma. A menos que el fabricante del equipo indique otra cosa, la presión de inflado será de 170 kPa (25-lb/in²), lo que se verificará varias veces al día, durante la operación del equipo, llevando un registro del control de la presión.

D.1.4. Consola de registro

Para registrar el perfilograma, gráfica o electrónicamente, considerando que:

- D.1.4.1. El dispositivo de registro gráfico consistirá en una pluma trazadora capaz de dibujar el perfilograma sobre un rollo de papel, con escala vertical de 1:1 y horizontal de 1:300.
- D.1.4.2. El dispositivo de registro electrónico, como el mostrado en la Figura 2 de este Manual, será capaz de realizar 5 lecturas por cada 2,54 cm (1 in) de longitud recorrida y registrar la altura de la superficie con una aproximación de 0,25 mm (0,01 in), recolectando los datos por medio de señales digitales resultantes del movimiento vertical de la llanta sensora. Contará con un programa de cómputo para procesar los

datos recolectados, dibujar sobre un rollo de papel el perfilograma a las escalas indicadas en el Párrafo anterior, indicando la magnitud de cada una de las irregularidades que sean medibles, la suma de ellas y la distancia recorrida, así como calcular el índice de perfil del subtramo medido. Salvo que la Secretaría indique otra cosa, dicho programa será configurado con los siguientes parámetros:

- Tipo de filtro: Butterworth de 3^{er} orden.
- Longitud de filtro: 610 mm (2 ft)
- Distancia de corte: 200 m
- Franja semitransparente: 5 mm
- Localizador de protuberancias: encendido
- Altura de protuberancia: 10 mm
- Ancho de protuberancia: 7,5 m
- Redondeo de picos: 0,00
- Localizador de depresiones: Apagado



FIGURA 2.- Consola de registro electrónico

El dispositivo de registro electrónico tendrá una fuente de energía capaz de mantener en operación el equipo durante al menos una jornada de trabajo.

D.2. PLANTILLA DE MEDICIÓN

Rectangular, de plástico transparente, como la mostrada en la Figura 3 de este Manual, de 3,7 cm de ancho y de 66,7 cm de largo, equivalente a un tramo de pavimento de 200 m de longitud a una escala de 1:300. La parte central de la plantilla estará marcada con una franja semitransparente de 5 mm de ancho, a lo largo de toda su longitud, que representará la franja de tolerancia. En ambos lados de esta franja contará con líneas paralelas a cada 2 mm (0,1 in), que servirán para identificar y medir la magnitud de las irregularidades de la línea del perfilograma fuera de la franja semitransparente de la plantilla.

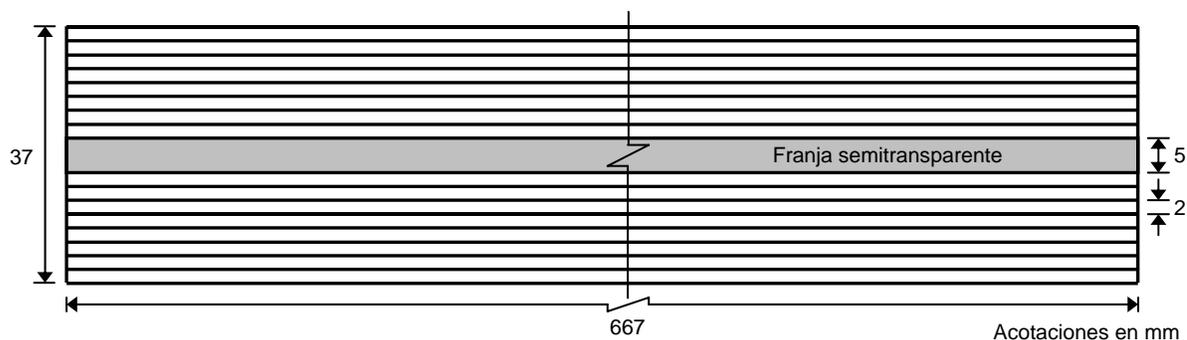


FIGURA 3.- Plantilla de medición

D.3. PLANTILLA PARA LOCALIZAR IRREGULARIDADES MAYORES DE 10 mm

Rectangular, de plástico transparente, con una línea de referencia de $25,0 \pm 0,5$ mm ($1 \pm 0,02$ in) de longitud, ubicada a 10 mm del borde superior, como se muestra en la Figura 4 de este Manual. Los extremos de la línea tendrán dos pequeños orificios o marcas que servirán para precisar sus puntos de intersección con la línea del perfilograma.

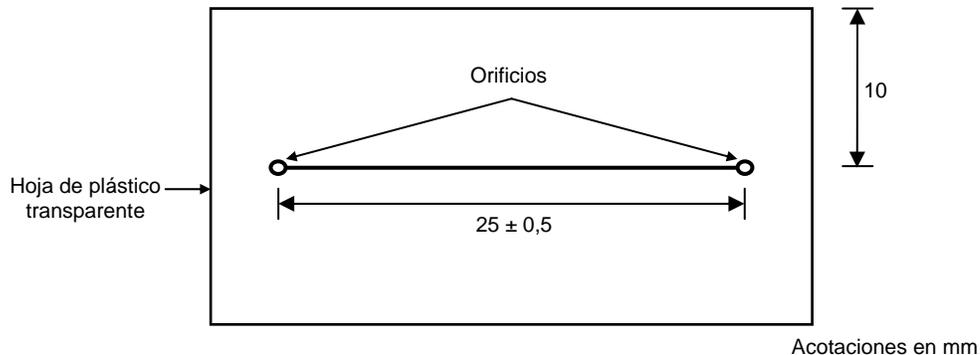


FIGURA 4.- Plantilla para localizar irregularidades mayores de 10 mm

D.4. DISPOSITIVO PARA CALIBRACIÓN DE LA ESCALA VERTICAL DEL PERFILÓGRAFO

Consistirá en una placa de base y un bloque de dos peldaños, metálicos e indeformables, similares a los mostrados en la Figura 5 de este Manual. La placa de base será plana y en general, su espesor será menor de 25,4 mm (1 in); la altura de los peldaños del bloque será de $25,4 \pm 0,25$ mm ($1 \pm 0,01$ in). En lugar del bloque pueden utilizarse dos placas planas auxiliares del mismo espesor que la altura de los peldaños del bloque.



FIGURA 5.- Dispositivo para calibración de la escala vertical del perfilógrafo

D.5. ROLLO DE PAPEL

Del tipo y dimensiones especificadas por el fabricante del perfilógrafo, que permita registrar de forma clara el perfilograma, sin alteraciones, manchas o escurrimientos.

E. CALIBRACIÓN DEL PERFILÓGRAFO**E.1. FRECUENCIA DE LA CALIBRACIÓN**

El perfilógrafo será calibrado en sus escalas horizontal y vertical, inmediatamente antes de utilizarlo por primera vez en la obra, cada vez que se obtengan los perfilogramas equivalentes a 20 km y cuando lo solicite la Secretaría. También se calibrará cuando se remplace o repare la llanta sensora y cada vez que se reensamble el perfilógrafo. Las calibraciones horizontal y vertical se ejecutarán 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.2. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE LA ESCALA HORIZONTAL

A menos de que el fabricante del perfilógrafo indique otra cosa, el procedimiento de calibración de la escala horizontal será el siguiente:

- E.2.1.** Se selecciona un tramo de camino recto de 200 m de longitud como mínimo, medido con algún medio aprobado por la Secretaría, que garantice una aproximación de $\pm 0,2\%$ de la longitud del tramo.
- E.2.2.** Se desplaza en línea recta el perfilógrafo a lo largo del tramo estipulado en el Inciso anterior.
- E.2.3.** Si se utiliza un dispositivo de registro gráfico, se mide gráficamente la longitud del perfilograma obtenido, en milímetros, con una aproximación de 0,5 mm y se determina el factor de escala mediante la siguiente fórmula:

$$fe = 1000 \frac{Lt}{Lp}$$

Donde:

- fe = Factor de escala, adimensional
- Lt = Longitud del tramo, en m
- Lp = Longitud del perfilograma, en mm

La calibración se considera satisfactoria si el factor de escala calculado es igual a $300 \pm 2,4$.

- E.2.4.** Si se utiliza un dispositivo de registro electrónico, para que se considere satisfactoria la calibración, la longitud registrada en el perfilograma será igual a la longitud del tramo $\pm 0,8\%$.
- E.2.5.** En caso de que no se cumpla con la tolerancia indicada en el Inciso E.2.3. ó E.2.4., según corresponda, se seguirán las recomendaciones del fabricante para ajustar la escala horizontal del equipo y se repetirá la calibración, las veces que sea necesario para cumplir con esa tolerancia.

E.3. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN DE LA ESCALA VERTICAL

A menos de que el fabricante del perfilógrafo indique otra cosa, el procedimiento de calibración de la escala vertical será el siguiente:

- E.3.1.** Se coloca el perfilógrafo sobre una superficie plana sensiblemente horizontal (Figura 6.A.), se levanta la llanta sensora y se inserta debajo de ella la placa de base a que se refiere la Fracción D.4. de este Manual, de forma que quede estable y firmemente asentada y se apoya la llanta sobre la placa (Figura 6.B.); se marca en el rollo de papel la elevación inicial (e_1) de la pluma trazadora del dispositivo de registro gráfico o se registra la elevación inicial (e_1) mostrada en la pantalla del dispositivo de registro electrónico.
- E.3.2.** Se levanta cuidadosamente la llanta sensora para insertar entre ésta y la placa de base el primer peldaño del bloque de calibración o la primera placa auxiliar, de forma que la llanta quede apoyada libremente sobre el peldaño o la placa auxiliar (Figura 6.C) y se marca o registra, como se indica en el Inciso anterior, la nueva elevación obtenida (e_2).
- E.3.3.** Se levanta cuidadosamente la llanta sensora para insertar entre ésta y la placa de base el segundo peldaño del bloque de calibración o para insertar la segunda placa auxiliar, de forma que la llanta quede apoyada libremente sobre el peldaño o la placa auxiliar (Figura 6.D) y se marca o registra, como se indica en el Inciso E.3.1. de este Manual, la nueva elevación obtenida (e_3).



FIGURA 6.A.



FIGURA 6.B.



FIGURA 6.C.



FIGURA 6.D.

FIGURA 6.- Procedimiento de calibración de la escala vertical

- E.3.4.** Se sostiene la llanta sensora para retirar el segundo peldaño del bloque de calibración o la segunda placa auxiliar, se baja cuidadosamente la llanta hasta que quede apoyada libremente sobre el primer peldaño o la primera placa auxiliar (Figura 6.C.) y se marca o registra, como se indica en el Inciso E.3.1. de este Manual, la nueva elevación obtenida (e_4).
- E.3.5.** Se sostiene la llanta sensora para retirar el primer peldaño del bloque de calibración o la primera placa auxiliar, se baja cuidadosamente la llanta hasta que quede apoyada libremente sobre la placa de base (Figura 6.B.) y se marca o registra, como se indica en el Inciso E.3.1. de este Manual, la elevación final obtenida (e_5).
- E.3.6.** Antes de marcar o registrar las elevaciones a que se refieren los Incisos E.3.2. a E.3.4. de este Manual, se tendrá especial cuidado de que al insertar el bloque de calibración, este quede alineado con el eje vertical de la llanta sensora, pues de lo contrario se tendrán errores en la lectura de las elevaciones.
- E.3.7.** La calibración se considera satisfactoria si la diferencia, en valor absoluto, entre las elevaciones determinadas sucesivamente es $25,4 \pm 0,5$ mm y si la diferencia, en valor absoluto, entre la elevación inicial (e_1) y la elevación final (e_5) es 0,76 mm como máximo. En caso de que no se cumpla con estos requisitos, se seguirán las recomendaciones del fabricante para ajustar la escala vertical del equipo y se repetirá la calibración, las veces que sea necesario para cumplir con ellos.

F. OBTENCIÓN DEL PERFILOGRAMA

Una vez que el perfilógrafo esté debidamente ensamblado y calibrado conforme a lo establecido en la Cláusula anterior, se obtiene el perfilograma de la superficie de rodadura del pavimento para cada subtramo de 200 m de longitud o fracción, en cada línea de tendido o colado, de acuerdo con lo indicado a continuación:

- F.1. Para iniciar el levantamiento del perfilograma de un nuevo subtramo, se coloca la llanta sensora al final del último subtramo levantado. Si se trata del primer subtramo de la obra, el levantamiento empezará a 5 m del inicio de la carpeta.
- F.2. Se desplaza el perfilógrafo por la trayectoria indicada en las Normas a que se refiere la Cláusula C. de este Manual, hasta el final del subtramo, donde la rueda sensora se levanta aproximadamente 3 cm con el fin de dejar una marca fácil de identificar en el perfilograma, cuando se utiliza el dispositivo de registro gráfico.
- F.3. La velocidad de operación del perfilógrafo será menor de 4,5 km/h, es decir, a la velocidad a la que un peatón se desplazaría en condiciones normales, ya que a mayores velocidades el equipo tiende a balancearse y brincar al pasar por algunas irregularidades, lo que da como resultado perfilogramas con muchos sobresaltos difíciles de interpretar.
- F.4. Cada perfilograma se identificará rotulando, al menos, la siguiente información; el nombre de la carretera; cadenamientos de inicio y terminación del subtramo; fecha de construcción del subtramo; fecha de levantamiento del perfilograma; nombre del operador del perfilógrafo y las observaciones pertinentes, tales como la existencia de una curva horizontal o vertical, entre otras. Además, cuando se utilice el dispositivo de registro gráfico, la orientación del perfilograma se indicará mediante una flecha apuntando hacia arriba.

G. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE PERFIL

El índice de perfil (I_p) se determina a partir del perfilograma levantado para cada subtramo. Su cálculo se realiza en forma manual cuando se utiliza el dispositivo de registro gráfico o mediante el programa de cómputo del dispositivo de registro electrónico, en cuyo caso se identificará claramente el programa utilizado y se someterá a la aprobación de la Secretaría. El procedimiento para el cálculo manual será el siguiente:

G.1. LÍNEA DE PERFIL SUAVIZADA

Sobre el perfilograma levantado se dibuja la línea de perfil suavizada, que es una línea continua cuyo propósito es suavizar el trazo del perfilograma, atenuando los picos y desviaciones menores provocadas por piedras, tierra y objetos extraños, como se indica en la Figura 7 de este Manual.

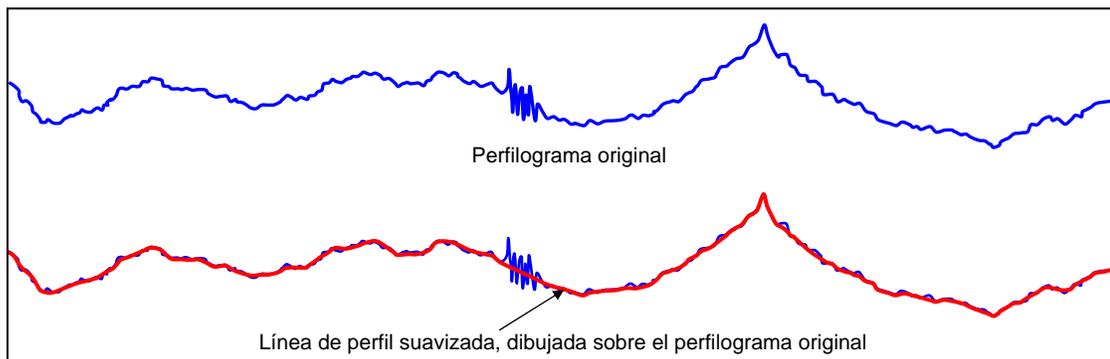


FIGURA 7.- Línea de perfil suavizada

G.2. LOCALIZACIÓN DE LAS IRREGULARIDADES MAYORES DE 10 mm

Una vez dibujada la línea de perfil suavizada y utilizando la plantilla descrita en la Fracción D.3. de este Manual, se localizan y marcan sobre esa línea, como se describe en seguida, todas las protuberancias mayores de 10 mm en una longitud igual a 7,5 m o menos, mismas que serán identificadas en campo para ser eliminadas de la superficie de rodadura, mediante algún procedimiento aprobado por la Secretaría.

- G.2.1.** Se coloca la plantilla sobre cada protuberancia o pico excepcionalmente alto de la línea de perfil suavizada, de tal forma que la línea de referencia de la plantilla intercepte la línea de perfil, formando una especie de triángulo. De acuerdo con lo ilustrado en la Figura 8 de este Manual, es importante señalar que:

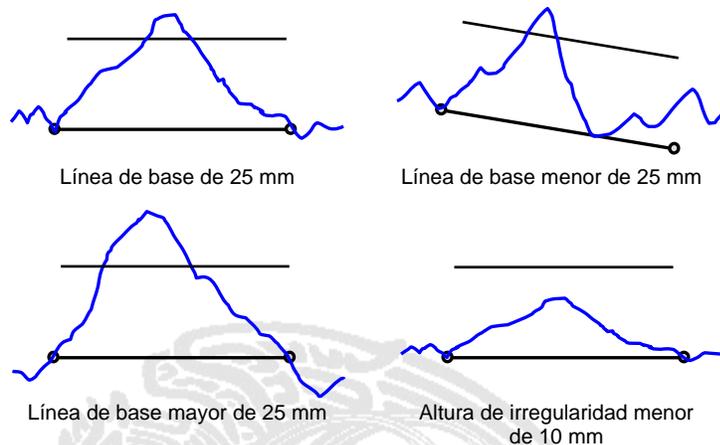


FIGURA 8.- Localización de irregularidades mayores de 10 mm

- La base de dicho triángulo puede ser menor que la línea de referencia de la plantilla, sin embargo nunca podrá ser mayor.
- La línea de referencia de la plantilla puede colocarse en forma inclinada sobre la línea del perfil.
- Cuando la base de la irregularidad es mayor que la línea de referencia de la plantilla, esta última se coloca en forma sensiblemente horizontal mientras se desliza hacia arriba por la irregularidad hasta que los orificios o las marcas de referencia se ubiquen sobre la línea de perfil.

- G.2.2.** Utilizando como guía el borde superior de la plantilla se traza una línea delgada sobre la línea de perfil suavizada. Cualquier porción de la línea de perfil que sobresalga de la línea trazada con la plantilla, indica una protuberancia que ha de ser eliminada de la superficie de rodadura.

G.3. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE PERFIL

Una vez identificadas en la línea de perfil suavizada las protuberancias mayores de 10 mm, a que se refiere la Fracción anterior, se utiliza la plantilla de medición que se indica en la Fracción D.2. de este Manual, para identificar en la línea de perfil y medir, los picos que sobresalgan por arriba o por debajo de la franja semitransparente de la plantilla, como se indica a continuación:

G.3.1. Posicionamiento de la plantilla de medición

- G.3.1.1.** Se coloca la plantilla de medición sobre la línea de perfil suavizada, de tal forma que la franja semitransparente cubra lo más posible dicha línea y procurando que las magnitudes de las irregularidades que sobresalgan por arriba y por debajo de la franja, queden sensiblemente balanceadas, como se muestra en la Figura 9 de este Manual.

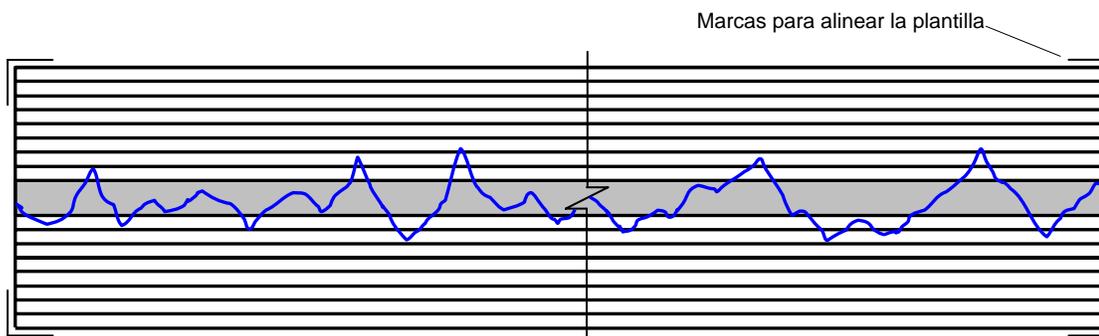


FIGURA 9.- Posicionamiento de la plantilla de medición

- G.3.1.2.** Al posicionar la plantilla de medición se considerará la continuidad con las líneas de perfil suavizadas de los subtramos subsecuentes, de tal forma que se coloque en la mejor posición con relación a toda la línea de perfil del tramo levantado en la jornada de trabajo.
- G.3.1.3.** Una vez que se ha colocado la plantilla de medición en la mejor posición posible, se marcan sus esquinas sobre el perfilograma, para que pueda reubicarse nuevamente en la misma posición en caso de una revisión o para alinear la plantilla cuando se evalúe el subtramo siguiente, como se muestra en la Figura 9 de este Manual.
- G.3.1.4.** En el caso de curvas verticales o de sobrelevaciones de curvas horizontales, donde se observen cambios importantes de la pendiente en la rasante del subtramo, es necesario dividir la línea de perfil suavizada en secciones de menor longitud y girar la plantilla de medición, como se indica en la Figura 10 de este Manual.

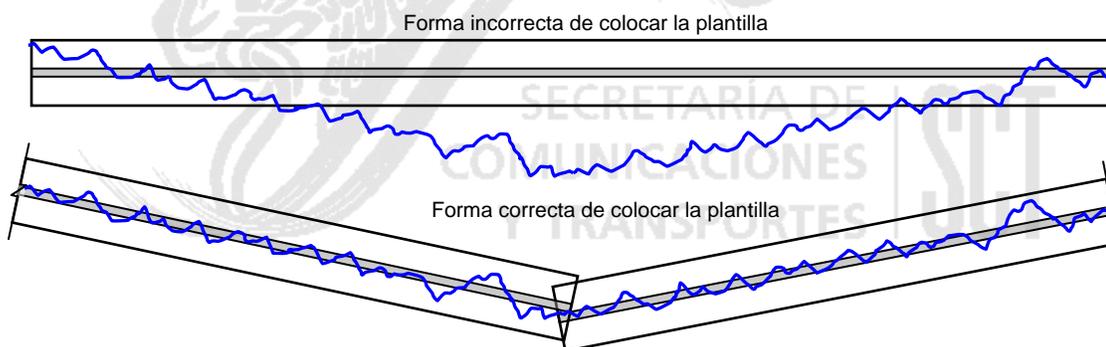


FIGURA 10.- Posicionamiento de la plantilla de medición en el caso de cambios de pendiente importantes en la rasante del subtramo

G.3.2. Medición de las irregularidades

- G.3.2.1.** Una vez posicionada la plantilla de medición sobre la línea de perfil suavizada, utilizando las líneas paralelas a la franja semitransparente de la plantilla como referencias, se determina la magnitud de cada irregularidad, es decir, la distancia entre su cresta o su valle máximo que sobresalga de la franja semitransparente y el límite que corresponda de la franja, con aproximación al mm, considerando lo siguiente:
- Sólo se considerarán las irregularidades que sobresalgan de la franja semitransparente más de 0,5 mm, y que se extiendan longitudinalmente sobre el perfilograma por al menos 2 mm, como se muestra en la Figura 11 de este Manual. No se considerarán los picos repentinos que presente el perfilograma, ya que generalmente son causados por brincos provocados por piedras sueltas o material ajeno a la superficie de rodadura del pavimento.

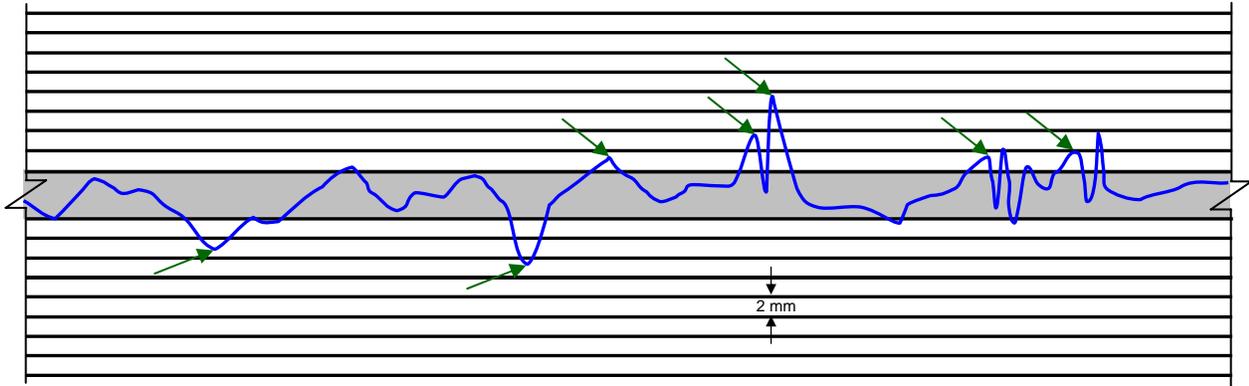
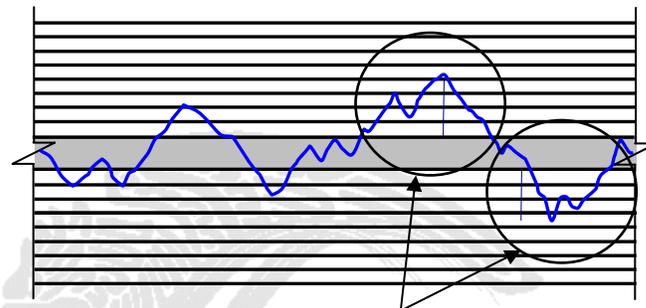


FIGURA 11.- Irregularidades que serán consideradas para el cálculo del índice de perfil

- b) Las magnitudes de las irregularidades con doble cresta o doble valle, que no regresen a la franja semitransparente, se considerarán una sola vez tomando la distancia máxima, como se muestra en la Figura 12 de este Manual.



En estas irregularidades solo se consideran las distancias de las crestas y valles máximos

FIGURA 12.- Forma en que se miden las irregularidades de doble cresta o doble valle

- c) Las magnitudes de las irregularidades mayores de 10 mm, a que se refiere la Fracción G.2. de este Manual, en todos los casos se tomarán iguales a 10 mm, considerando que en los casos más desfavorables sólo se eliminaría en el subtramo, las partes de las irregularidades que excedan esa magnitud.
- d) Si una irregularidad queda registrada entre dos perfilogramas de subtramos subsiguientes, se considerará una sola vez como parte del subtramo donde se presente la magnitud máxima, como se muestra en la Figura 13 de este Manual.

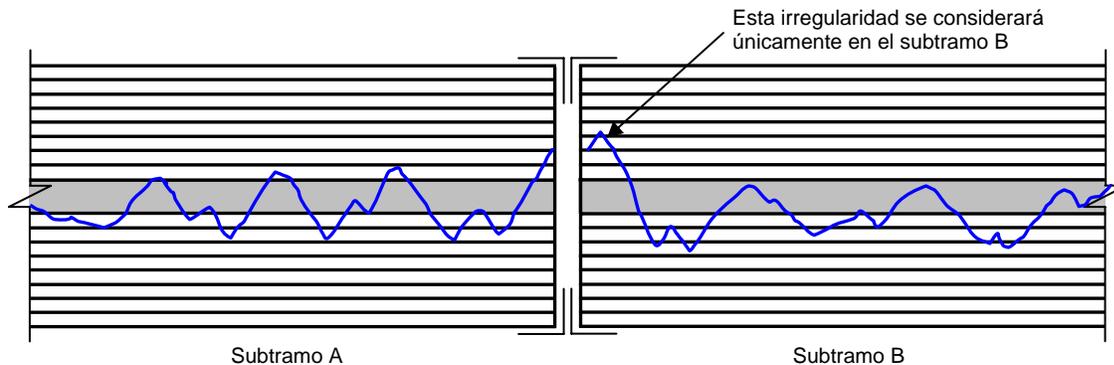


FIGURA 13.- Forma de registrar las irregularidades comprendidas entre dos subtramos subsiguientes

- G.3.2.2.** Se anotará en forma clara la magnitud de cada irregularidad junto a ella, en mm con aproximación a la unidad.

G.3.3. Cálculos y resultados

G.3.3.1. Una vez que se han registrado las magnitudes de todas las irregularidades de un mismo subtramo, se calcula la suma de éstas, anotando, el resultado en la parte superior central del perfilograma, en cm, con aproximación a un décimo y encerrándolo en un círculo para su fácil identificación, como se ejemplifica en la Figura 14 de este Manual.

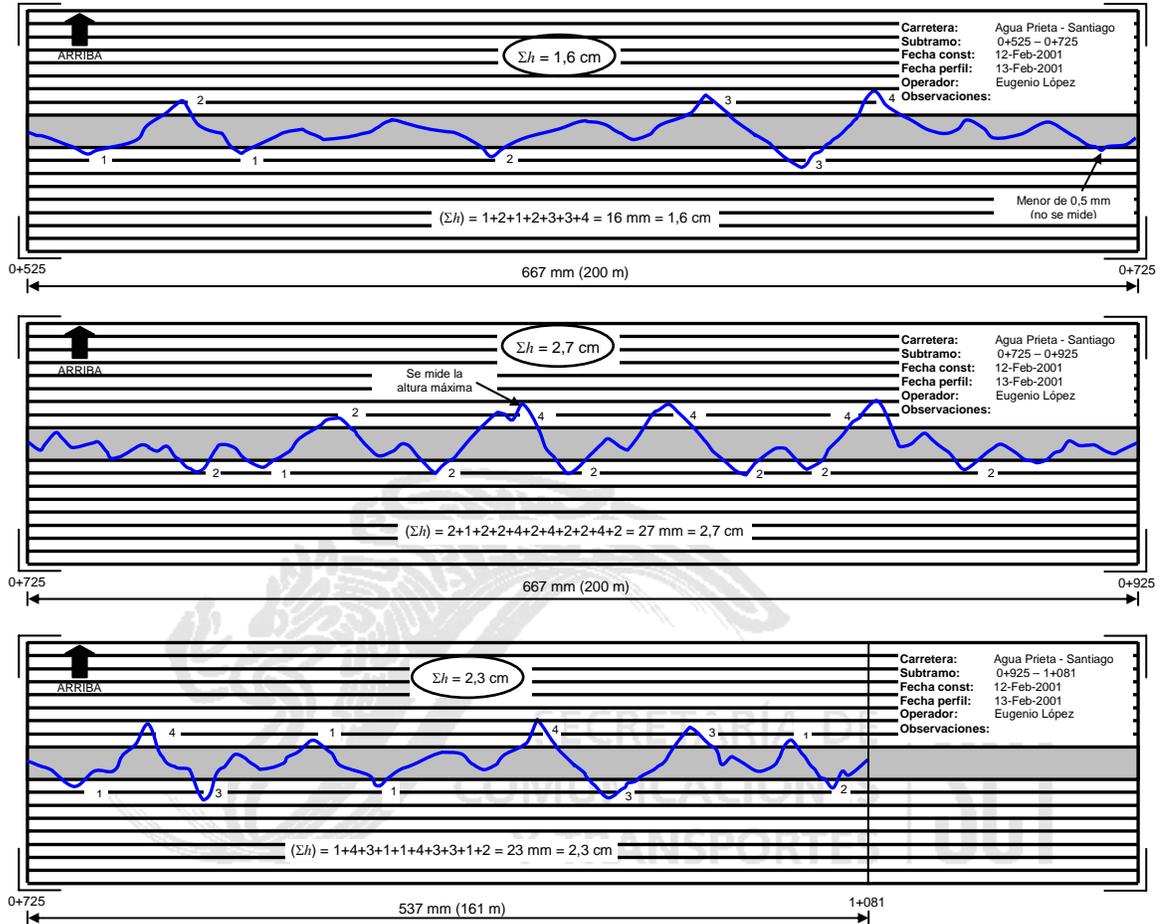


FIGURA 14.- Procedimiento de medición de irregularidades

G.3.3.2. Se calculará y reportará junto con los perfilogramas, el índice de perfil (I_p) de cada subtramo, mediante la siguiente expresión:

$$I_p = \frac{\sum h}{L} \times 1000$$

Donde:

I_p = Índice de perfil del subtramo, (cm/km)

$\sum h$ = Suma de las magnitudes de las irregularidades en el subtramo, (cm)

L = Longitud del subtramo, (m)

H. PRECAUCIONES

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

H.1. Verificar que el perfilógrafo esté perfectamente ensamblado conforme a las especificaciones del fabricante, limpio, en óptimas condiciones de operación y debidamente calibrado.

- H.2.** Tener especial cuidado en utilizar estrictamente los consumibles (papel y tinta) recomendados por el fabricante.
- H.3.** Verificar varias veces al día, durante la operación del equipo, que la presión de la llanta sensora sea la indicada en el Inciso D.1.3. de este Manual.
- H.4.** Limpiar la franja de camino por donde se desplazará el perfilógrafo de todo material suelto y de objetos ajenos al pavimento.
- H.5.** Evitar la operación del perfilógrafo en la proximidad de tránsito intenso de vehículos o de maquinaria pesada, que pueda inducir vibraciones que alteren el levantamiento del perfilograma.
- H.6.** Evitar que el perfilógrafo se opere a una velocidad mayor que la indicada en la Fracción F.3. de este Manual.

I. BIBLIOGRAFÍA

American Society for Testing and Materials (ASTM), E 1274-03, *Standard Test Method for Measuring Pavement Roughness Using a Profilograph*, EUA.

Department of Transportation, California Test 526, *Operation of California Profilograph and Evaluation of Profiles*, Sacramento, California, EUA (Abril 2002).

American Concrete Pavement Association, Technical Bulletin TB-006.0-C, *Constructing Smooth Concrete Pavements*, Arlington Heights, Illinois, EUA. (1990).

