

LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES

PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS

TÍTULO: 07. Superficie de Rodadura

CAPÍTULO: 006. Determinación del Perfil Longitudinal con Nivel y Estatal para el Cálculo del Índice de Regularidad Internacional

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento para determinar, mediante el empleo de un nivel estático, 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 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 nivel estático y un estatal, a lo largo de una franja de pavimento por estudiar. Este método es comúnmente utilizado para la validación de otros métodos de medición del perfil longitudinal y para la calibración de los equipos de respuesta y perfilómetros inerciales, estableciendo niveles de referencia de regularidad para un número limitado de sitios de prueba.

C. REFERENCIAS

Es referencia de este Manual, la norma oficial mexicana NOM·046·SCFI, *Instrumentos de medición cintas métricas de acero y flexómetros*.

Además, este Manual se complementa con la Norma N·CSV·CAR·1·03·004, *Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI)*.

D. EQUIPO Y MATERIAL

El personal y equipo para la obtención del perfil longitudinal cumplirán con los siguientes requisitos:

- D.1.** El personal será especializado en la realización de este tipo trabajos. El responsable técnico será un ingeniero topógrafo con experiencia en vías terrestres.
- D.2.** El equipo estará integrado al menos por:
 - D.2.1.** Una cinta de topógrafo con un porcentaje de exactitud en relación a su longitud total, la cual cumplirá con la norma oficial mexicana NOM·046·SCFI, *Instrumentos de medición cintas métricas de acero y flexómetros*.
 - D.2.2.** Un nivel con una precisión mínima de 1 mm.

D.2.3. Un tripié que proporcione estabilidad al nivel y capaz de modificar su altura para la comodidad del operador.

D.2.4. Un estadal graduado que permita mediante un nivel topográfico, medir los cambios de elevación entre los puntos del perfil. Se recomienda un nivel de burbuja integrado al estadal para ayudar a verificar la verticalidad de la posición del estadal durante las mediciones.

E. CALIBRACIÓN

El nivel y el estadal estarán calibrados conjuntamente. Normalmente, el nivel incluye un micrómetro para interpolar entre las marcas en la carretera. Instrumentos de nivelación métricos estarán disponibles con una resolución de 0,1 mm, que es suficiente para cualquier pavimento.

E.1. COMPROBACIÓN DE PRECISIÓN DEL NIVEL

E.1.1. Se coloca el nivel en un área sensiblemente plana y que cuente con al menos una franja de 70 m de largo.

E.1.2. Se colocan dos estadales (A y B) de características similares aproximadamente a 60 m de distancia entre sí y con las caras enfrentadas.

E.1.3. Se ubica y nivela el instrumento de tal manera que la distancia desde el instrumento hacia cada estadal sea la misma.

E.1.4. Se toma una lectura por cada estadal (A y B), y se registra la diferencia.

E.1.5. Posteriormente se traslada el instrumento hacia otro punto alineado con los dos estadales. Se nivela el equipo, se toman las lecturas y se registran (A' y B'). La diferencia será la misma (A-A' será igual a B-B'). La diferencia entre A-A' y B-B' es el error del instrumento; si este es mayor a 5 mm en 30 m es necesario ajustar el instrumento.

F. PREPARACIÓN DEL EQUIPO

F.1. Previo a la ejecución del estudio, se marca la línea que define el tramo de medición con gis, pintura o cualquier otro método para identificar el punto de partida, el punto de estación y la posición transversal de la línea a intervalos regulares a lo largo de la longitud, cuya separación no será mayor a 15 m. Se marca el punto final de la cinta para cada punto. Estas marcas, necesarias para la medición con el nivel y el estadal, serán usadas por otros equipos de medición de regularidad cuando sean calibrados y validados, para asegurar que las mediciones realizadas por diferentes métodos cubran el mismo tramo de medición referenciado.

F.2. Coloque la cinta sobre la longitud del tramo de la línea de medición. Inicialmente, la posición cero de la cinta se coloca al comienzo de la línea; fije la cinta con pesas o cinta adhesiva. Se toman y registran las lecturas a intervalos de 25 cm a lo largo de la longitud de la cinta. Cuando esto termine, mover la cinta tal que el nuevo punto cero coincida con el anterior punto final.

F.3. Se coloca el instrumento al comienzo de la cinta en un lugar que permita enfocar el estadal. Es recomendable que el tripié del nivel se encuentre alineado con el trayecto de medición, para poder tomar lecturas repetidas a lo largo de la cinta con un ajuste de visualización mínimo.

F.4. A intervalos a lo largo de la cinta, se miden y registran la distancia entre el suelo y una altura arbitraria asociada con el nivel.

F.5. El máximo intervalo entre mediciones es 305 mm para la resolución clase 1, mientras que 610 mm para la clase 2.

- F.6.** Los requisitos anteriores son válidos para todo tipo de superficies de pavimento excepto aquellos casos en que la irregularidad es demasiado alta y requiere ser localizada y no omitirlos mediante el uso de los intervalos anteriores de muestra (por ejemplo, pequeños parches, tiras de alquitrán, entre otros). Debido al enorme esfuerzo en reducir el intervalo de muestra lo suficiente como para capturar tales características, se recomienda que el sitio con aspereza localizada no se medirá con este método de ensayo.

G. PROCEDIMIENTO DE LA MEDICIÓN

- G.1.** El estatal se colocará en el marcador de cero de la cinta; se alinea el estatal verticalmente (se puede utilizar el nivel de burbuja como referencia). Cuando el estatal esté correctamente colocado y alineado, se le hace saber al operador del instrumento.
- G.2.** Del instrumento se leerá y registrará la altura. Los primeros dígitos (uno o dos) se obtienen de las marcas del estatal y los terceros y cuarto dígitos se obtienen utilizando el micrómetro en el nivel. Una vez realizado el registro se puede mover el estatal a la siguiente posición.
- G.3.** Se repite el paso anterior hasta alcanzar el final de la sección en estudio.
- G.4.** Es necesario reubicar el nivel, cuando la distancia entre éste y el estatal es demasiado corta o demasiado larga para enfocar correctamente o se excede el rango vertical, es decir, las marcas del estatal están "fuera de escala" debido a la pendiente de la carretera. El nivel puede ser reubicado en cualquier momento, independientemente de la posición del estatal. Sin embargo, se tomará en cuenta el cambio de altura del instrumento.
- G.5.** Antes de mover el nivel, se identificará la última medición en las notas de campo. Además, de registrar y marcar cuidadosamente la ubicación del estatal en el pavimento si es necesario. Esta marca en el pavimento es el punto de pivote para el cambio en la altura del instrumento que se presenta con la nueva configuración.
- G.6.** Se repite la primera medición con el nivel en su posición actual y se compara con la primera lectura. Si la diferencia entre las dos lecturas es mayor que la resolución requerida entonces se repetirán todas las mediciones de la configuración del nivel actual.
- G.7.** Se mueve el nivel a una nueva ubicación.
- G.8.** Se toma una nueva lectura con el estatal situado en el punto de pivote. Las notas de campo indicarán que se trata de una medida repetida, y que el instrumento fue trasladado.
- G.9.** Con un equipo experimentado de tres personas, el que sostiene el estatal, el operador del nivel y el encargado de tomar nota de la grabación de las mediciones, pueden sincronizarse de forma que el tiempo requerido para cada medición de elevación sea inferior a 10 segundos, de manera que un equipo de tres puede medir el perfil en intervalos de 30,48 cm para una distancia de 0,643 km/d, con una resolución de 1 mm. Se necesita más tiempo cuando se mide en una colina, debido a la necesidad de cambios frecuentes en el instrumento de nivelación.

H. CÁLCULOS Y RESULTADOS

H.1. CÁLCULO DEL PERFIL

Las lecturas individuales de nivel son las distancias que los correspondientes puntos de perfil mantienen debajo una referencia horizontal arbitraria establecida por el instrumento de nivelación, llamando a la altura del instrumento (IH). La elevación de cada punto es calculada sustrayendo las lecturas del IH mediante la siguiente fórmula:

$$p_i = IH - R_i \quad (1)$$

Donde:

- p_i = Enésima elevación del perfil
 IH = Altura del instrumento
 R_i = Lectura del estadal en el enésimo punto

H.1.1. En trabajo de nivelación convencional, se determina cuidadosamente la altura absoluta del instrumento. Sin embargo, para el trabajo de regularidad sólo cambios de elevación son de interés, y la altura absoluta del instrumento no es de incumbencia. La altura del instrumento se asigna arbitrariamente a un valor conveniente (por ejemplo, $IH = 10\ 000$ mm) para la primera instalación. Aunque la altura inicial es arbitraria, todas las medidas adoptadas para un único perfil se referenciarán a esa altura.

H.1.2. Cuando se mueve el instrumento de nivelación, la nueva altura se calcula a partir de las lecturas repetidas de un punto de pivote. La nueva altura del instrumento se determina mediante la siguiente fórmula:

$$IH_{nuevo} = IH_{viejo} + R_{nuevo} - R_{viejo} \quad (2)$$

Donde:

- IH_{nuevo} e IH_{viejo} = Alturas del instrumento actual y anterior
 R_{nuevo} y R_{viejo} = Lecturas del estadal actuales y anteriores

H.1.3. Gráfico del perfil

Será elaborado un gráfico mostrando la elevación del perfil en función de la distancia longitudinal. El propósito del gráfico es identificar de forma rápida los valores del perfil que estén dentro o fuera de los límites establecidos. El gráfico se ampliará, así los errores de elevación de 2,5 mm serán visibles. Se recomienda una copia impresa de este gráfico para la elaboración de informes, así como una pantalla adecuada para verificar la integridad de los datos.

H.2. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL

El cálculo del IRI es determinado por la solución de cuatro variables en función del perfil medido. Estas variables simulan la respuesta dinámica de un vehículo de referencia que viaja sobre el perfil medido. Las ecuaciones para las cuatro variables son resueltas para cada punto de elevación del perfil obtenido, excepto para el primer punto. El promedio de la pendiente de los primeros 11 m (0,5 s a 80 km/h) es usado para inicializar las variables asignando los siguientes valores.

$$Z_1' = Z_3' = \left(\frac{Y_a - Y_1}{11} \right) \quad (3)$$

$$Z_2' = Z_4' = 0 \quad (4)$$

$$a = \frac{11}{dx+1} \quad (5)$$

Donde:

- Y_a = enésimo punto de elevación del perfil " a^n "
 Y_1 = Primer punto de elevación del perfil
 dx = Intervalo de muestreo

Esto para un intervalo de muestreo $dx = 0.25$ m; la ecuación 3 usa la diferencia de elevaciones entre el punto número 45 y el punto número 1 para establecer la pendiente inicial para realizar el cálculo de IRI.

Las siguientes cuatro ecuaciones recursivas se resuelven para cada punto de elevación del perfil obtenido, desde 2 hasta n (n = número de elevaciones del perfil obtenido).

$$Z_1 = S_{11}Z_1' + S_{12}Z_2' + S_{13}Z_3' + S_{14}Z_4' + P_1 * Y' \quad (6)$$

$$Z_2 = S_{21}Z_1' + S_{22}Z_2' + S_{23}Z_3' + S_{24}Z_4' + P_2 * Y' \quad (7)$$

$$Z_3 = S_{31}Z_1' + S_{32}Z_2' + S_{33}Z_3' + S_{34}Z_4' + P_3 * Y' \quad (8)$$

$$Z_4 = S_{41}Z_1' + S_{42}Z_2' + S_{43}Z_3' + S_{44}Z_4' + P_4 * Y' \quad (9)$$

Donde:

$$Y' = \frac{y_i - y_{i-1}}{dx} = \text{Pendiente de entrada} \quad (10)$$

$$Z_j' = Z_j \text{ de la posición anterior, } j = 1,4 \quad (11)$$

Y los parámetros S_{ij} y P_j son coeficientes definidos para un intervalo de muestreo dado, dx . Las ecuaciones 8-11 se resuelven para cada posición a lo largo del perfil. Una vez resueltas las ecuaciones para cada punto del perfil, se usa la ecuación 11 para reiniciar los valores de Z_1, Z_2, Z_3 y Z_4' para la posición siguiente. Igualmente, para cada posición, la pendiente rectificadora (RS) del perfil filtrado se calcula como se indica:

$$RS_i = |Z_3 - Z_1| \quad (12)$$

El valor estadístico de IRI es el promedio de la variable RS a lo largo de la longitud del tramo. Una vez resueltas las ecuaciones para todos los puntos del perfil, el IRI es calculado de la siguiente manera:

$$IRI = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=2}^n RS_i \quad (13)$$

El procedimiento anterior es válido para un intervalo de muestreo comprendido entre $dx = 0.25$ m y $dx = 0.61$ m; para intervalos más cortos de muestreo, se realizará un suavizado del perfil con el promedio de los valores que representen la forma en la cual los neumáticos del vehículo hacen contacto con el suelo. La longitud base para promediar es 0,25 m. Después el IRI puede ser calculado de dos diferentes maneras.

- 1) Los puntos de elevación del perfil que caen dentro de 0,25 m de longitud pueden promediarse para obtener un perfil equivalente para el intervalo de 0,25 m. El IRI es calculado a partir de las ecuaciones anteriores basadas en un intervalo de 0,25 utilizando los coeficientes para intervalo de 0,25m.
- 2) La media móvil se obtiene como el promedio de todos los puntos comprendido en un intervalo de 0,25 m centrada en el punto de elevación del perfil. El IRI es calculado resolviendo las ecuaciones para cada punto promediado usando los coeficientes apropiados para el intervalo más pequeño.

El algoritmo usado para en el programa que se presenta en el ANEXO A es válido para cualquier longitud base en el rango de 10 - 610 mm. Cuando dx es menor a 0,25 m, se aplica la media móvil adecuada a la entrada.

El cálculo de IRI tendrá unidades consistentes con las unidades usadas para las mediciones de elevación e intervalo de muestreo. Por ejemplo, si las unidades de elevación son mm, y el intervalo de muestreo está dado en m, las unidades de IRI preferentemente serán: mm/m = m/km.

En el ANEXO A se describe el programa para el cálculo de IRI. El programa está escrito en lenguaje BASIC, y podrá ser ejecutado casi en cualquier computadora; de no ser así será necesario modificar algunas sentencias para ejecutarlo en algunas computadoras. El algoritmo usado incluye el suavizado para intervalos cortos de muestreo, y es válido para cualquier intervalo entre 10 y 610 mm.

El programa comienza inicializando los valores de las constantes, de la línea 1050 a 1150. dx es el intervalo de muestreo cuyas unidades serán metros. La matriz ST es la matriz de transición que contiene los coeficientes S_{ij} de las ecuaciones 6-11, y PR contiene los coeficientes P_j usados en las ya mencionadas ecuaciones. Los valores de los coeficientes para dx , ST y PR están contenidos en las declaraciones contenidas de DATA al final del programa en las líneas 1520-1560. K es el número de puntos del perfil usados para calcular la pendiente de entrada, y BL es la longitud base. Cuando dx es mayor a 0,25 m, solo se usan dos puntos para calcular la pendiente (Ecuación 10), y la longitud base será igual al intervalo de muestreo. Para valores menores de dx , K puede ser mayor que 2, y el suavizado de media móvil es incorporado en los cálculos de la pendiente. Si un intervalo de muestreo es usado, en las líneas 1520 – 1560 se reemplazará con el correcto intervalo de muestreo y sus correspondientes coeficientes, que pueden ser copiados de la Tabla 1 de este Manual o calculados con el programa que se muestra en la Figura 4 que se encuentran en la sección 3.4.4 (Programa para determinar los coeficientes de las ecuaciones para el cálculo de IRI) del documento técnico No. 46, *Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements*, publicado por el Banco Mundial.

Las variables usadas en el programa son cuatro variables del vehículo almacenadas en la matriz Z (Z_1 , Z_2 , Z_3 y Z_4 en las ecuaciones 3-9) los valores anteriores almacenados en la matriz Z1 (Z_1' , Z_2' , Z_3' y Z_4' en las ecuaciones 3-9), la pendiente acumulada RS, y los contadores IX e I cuando la DX es mayor que 0,25 m, IX e I son iguales, y son proporcionales a la distancia recorrida.

El IRI obtenido con este método puede ser utilizado como referencia de calibración de un sistema de tipo respuesta o sistemas tipo inercial. No se podrá realizar una comparación directa de valores de IRI hasta que ambos perfiles a comparar sean filtrados idénticamente.

I. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

El informe de resultados para cada tramo de prueba contará con los siguientes datos:

I.1. NOTAS DE CAMPO

Las notas de campo incluirán la siguiente información:

- I.1.1. Fecha de medición (dd/mm/aaaa).
- I.1.2. Nombres y cargos de cada uno de los integrantes del equipo que participaron en la medición.
- I.1.3. Descripción del tramo de medición para la localización del punto de inicio, distancia transversal entre la rodera y el borde del carril.
- I.1.4. Todas las lecturas del estadal tomadas a lo largo del tramo de medición.

I.2. ALMACENAMIENTO DE DATOS

Se recomienda usar una nomenclatura específica para la asignación del nombre y ubicación del archivo de manera que el operador pueda identificar y localizar fácilmente el archivo; éste

contendrá toda la información necesaria para reconstruir los datos numéricos contenidos en las notas de campo. Como mínimo, se asociará cada lectura con una posición longitudinal con una altura de instrumento. Es recomendable guardar en todos los archivos de la computadora los comentarios e información descriptiva de las notas de campo.

TABLA 1. Coeficientes para las ecuaciones de IRI (Publicación Técnica 46 Banco Mundial)

COEFICIENTES PARA LAS ECUACIONES DE IRI					
ST=	0,9998452	2,235208E ⁻⁰³	1,062545E ⁻⁰⁴	1,476399E ⁻⁰⁵	4,858894E ⁻⁰⁵
	-0,1352583	0,9870245	7,098568E ⁻⁰²	1,292695E ⁻⁰²	6,427258E ⁻⁰²
	1,030173E ⁻⁰³	9,842664E ⁻⁰⁵	0,9882941	2,143501E ⁻⁰³	1,067582E ⁻⁰²
	0,8983268	8,617964E ⁻⁰²	-10,2297	,9031446	9,331372
dx = 100 mm, dt = 0,0045 s					
ST=	0,9994014	4,442351E ⁻⁰³	2,188854E ⁻⁰⁴	5,72179E ⁻⁰⁵	3,793992E ⁻⁰⁴
	-0,2570548	0,975036	7,966216E ⁻⁰³	2,458427E ⁻⁰²	0,2490886
	3,960378E ⁻⁰³	3,814527E ⁻⁰⁴	0,9548048	4,055587E ⁻⁰³	4,123478E ⁻⁰²
	1,687312	0,1638951	-19,34264	0,7948701	17,65532
dx = 152,4 mm (0,50ft), dt = 0,006858 s					
ST=	0,9986576	6,727609E ⁻⁰³	3,30789E ⁻⁰⁵	1,281116E ⁻⁰⁴	1,309621E ⁻⁰³
	-0,3717946	0,9634164	-0,1859178	3,527427E ⁻⁰²	0,5577123
	8,791381E ⁻⁰³	8,540772E ⁻⁰⁴	0,8992078	5,787373E ⁻⁰³	9,200091E ⁻⁰²
	2,388208	0,2351618	-27,58257	0,6728373	25,19436
dx = 166,7 mm, dt = 0,0075015 s					
ST=	0,9984089	7,346592E ⁻⁰³	-1,096989E ⁻⁰⁴	1,516632E ⁻⁰⁴	1,70055E ⁻⁰³
	-0,4010374	0,9603959	-0,2592032	3,790333E ⁻⁰²	0,6602406
	1,038282E ⁻⁰²	1,011088E ⁻⁰³	0,8808076	6,209313E ⁻⁰³	0,1088096
	2,556328	0,2526888	-29,58754	0,6385015	27,03121
dx = 200 mm, dt = 0,009 s					
ST=	0,9977588	8,780606E ⁻⁰³	-6,436089E ⁻⁰⁴	2,127641E ⁻⁰⁴	2,885245E ⁻⁰³
	-0,4660258	0,9535856	-0,4602074	4,352945E ⁻⁰²	0,9262331
	1,448438E ⁻⁰²	1,418428E ⁻⁰³	0,8332105	7,105564E ⁻⁰³	0,1523053
	2,908761	0,2901964	-33,84164	0,5574984	30,93289
dx = 250 mm dt = 0,01125 s					
ST=	0,9966071	1,091514E ⁻⁰²	-2,083274E ⁻⁰³	3,190145E ⁻⁰⁴	5,476107E ⁻⁰³
	-0,5563044	,9438768	-0,8324718	5,064701E ⁻⁰²	1,388776
	2,153176E ⁻⁰²	2,126763E ⁻⁰³	0,7508714	8,221888E ⁻⁰³	0,2275968
	3,335013	,3376467	-39,12762	0,4347564	35,79262
dx = 304,8 mm (1,00ft), dt = 0,013716 s					
ST=	,9951219	1,323022E ⁻⁰²	-4,721649E ⁻⁰³	4,516408E ⁻⁰⁴	9,599989E ⁻⁰³
	-,6468806	0,9338062	-1,319262	5,659404E ⁻⁰²	1,966143
	3,018876E ⁻⁰²	3,010939E ⁻⁰³	0,6487856	9,129263E ⁻⁰³	0,3210257
	3,661957	0,3772937	-43,40468	0,3016807	39,74273
dx = 333,3 mm, dt = 0,0149985 s					
ST=	0,9942636	1,442457E ⁻⁰²	-6,590556E ⁻⁰³	5,25773E ⁻⁰⁴	1,232715E ⁻⁰²
	-0,6911992	0,9287472	-1,597666	5,892596E ⁻⁰²	2,288865
	3,496214E ⁻⁰²	3,505154E ⁻⁰³	0,592043	9,472713E ⁻⁰³	0,3729946
	3,775608	0,392839	-45,01348	0,2341656	41,23787
dx = 500 mm, dt = 0,0225 s					
ST=	0,9881727	2,128394E ⁻⁰²	-2,520931E ⁻⁰²	9,923165E ⁻⁰⁴	3,703847E ⁻⁰²
	-0,928516	0,9001616	-3,391369	6,280167E ⁻⁰²	4,319885
	6,386326E ⁻⁰²	6,615445E ⁻⁰³	0,2402896	9,862685E ⁻⁰³	0,6958473
	3,743294	0,4186779	-46,67883	-0,1145251	42,93555
dx = 609,6 mm (2,00ft), dt = 0,027432 s					
ST=	0,9832207	2,567633E ⁻⁰²	-0,0448194	1,291335E ⁻⁰³	6,159972E ⁻⁰²
	-1,080368	0,8808161	-4,541246	5,758515E ⁻⁰²	5,621614
	8,111078E ⁻⁰²	8,608906E ⁻⁰³	2,055522E ⁻⁰²	8,861093E ⁻⁰³	0,898334
	3,194438	0,3839011	-41,76972	-,2822351	38,57529

I.2.1. Gráficos

Se recomienda una gráfica de elevación contra distancia longitudinal para cada perfil.

I.2.2. Reportes de resultados finales de regularidad

Los reportes de resultados finales de regularidad tendrán la siguiente información:

- I.2.2.1.** Fecha de medición (dd/mm/aaaa).
- I.2.2.2.** Nombres y cargos de cada uno de los integrantes del equipo que participaron en la medición
- I.2.2.3.** Registrar todas las lecturas tomadas a lo largo de la medición, indicando carril, sentido, cadenamiento, identificación del tramo, entre otros.
- I.2.2.4.** Datos de perfil y/o perfilograma del tramo en el que se realizó la medición.

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

Una medición de perfil involucra por lo menos 265 lecturas individuales, las cuales serán escritas en notas de campo y posteriormente registradas en la computadora. Un error en el registro de datos se refleja como una gran protuberancia en el perfil. Por lo que es importante verificar que cualquier protuberancia registrada, no sea el producto de un error de las notas de campo; en caso de existir alguna duda se verificará el valor registrado nuevamente en campo.

J.2. COLOCACIÓN CORRECTA DEL NIVEL

El instrumento de nivelación proporcionará un punto de referencia horizontal verdadera. Además, el soporte (trípíe) no puede moverse durante o entre las mediciones. Si el instrumento es golpeado, un nuevo punto de pivote será utilizado para establecer la altura del instrumento nuevo. El nuevo punto de giro será la última ubicación en el perfil que esté correctamente marcado, de forma tal que permita repetir una medición sobre el mismo punto.

J.3. ERROR ACUMULADO

En el análisis de regularidad se hace hincapié en el perfil de los cambios de altura que se producen dentro de los 15 m. Por lo tanto, el error es acumulativo con cada configuración del instrumento de nivelación.

K. PRECISIÓN E INCERTIDUMBRE**K.1. PRECISIÓN**

Los datos disponibles limitados indican que las especificaciones para las mediciones de la clase 1 resultan en una repetitividad de precisión que está dentro de 2 % del valor medio de mediciones para la regularidad (IRI) de un perfil de 160 m de largo. Para obtener una medición de clase 2 la precisión es de 5% del valor de IRI por unos 160 m. Se obtiene una mayor precisión para longitudes de perfil más largo.

K.2. INCERTIDUMBRE

Cualquier tipo de error de medida causa una incertidumbre al alza en el índice de regularidad obtenido con ese método de ensayo. Por ejemplo, si se utiliza equipo de topografía convencional con una resolución vertical de 3 mm, el IRI calculado a partir del perfil puede ser alto por 0,3 m/km, que es excesivo para pavimentos lisos. Por otra parte, aumentando el

intervalo de muestreo a más de 30,48 cm permitido para una medición de clase 1 produce una incertidumbre hacia abajo. Para una medición de clase 2, el error de precisión es menor del 2 % del valor del IRI obtenido con una medida de la clase 1. Todavía no se ha determinado la incertidumbre para una medición de clase 1.

L. BIBLIOGRAFÍA

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).

Sayers, M.W. y Gillespie, T.D., *Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements*, World Bank Technical Paper Number 46, The World Bank, Washington, DC, EUA (1986).

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