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

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

TÍTULO: 07. Superficie de Rodadura

CAPÍTULO: *020. Determinación de las Deflexiones con Equipo de Impacto en Pavimentos Flexibles*

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento para determinar mediante un deflectómetro de impacto, las deflexiones causadas al pavimento a las que se refiere la Norma N·CSV·CAR·1·03·010, *Determinación de las Deflexiones de un Pavimento (DEF).*

B. OBJETIVO

Esta prueba permite obtener las deflexiones de un pavimento flexible. Consiste en colocar el equipo en un punto determinado del pavimento y aplicar un impacto sobre él, para determinar las deflexiones verticales a diferentes distancias del punto de aplicación.

C. REFERENCIAS

Este Manual se complementa con la Norma N·CSV·CAR·1·03·010, *Determinación de las Deflexiones de un Pavimento (DEF) y el Protocolo NMEA – 0183, publicado por la National Marine Electronics Association* del año 2001.

D. EQUIPO

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes y componentes. Se muestra en la Figura 1 de este Manual, un esquema de un equipo de impacto.

D.1. DISPOSITIVO GENERADOR DE FUERZA (CARGA DE IMPACTO)

Este dispositivo genera la carga mediante una masa en caída libre con una guía y un sistema de absorción de impacto. La masa y la altura de caída serán variables, a fin de permitir la generación de cargas de diferente magnitud con valor mínimo de 30 kN.

D.2. PLATO DE CARGA

Dispositivo para la distribución uniforme de la carga sobre la superficie, construido de manera que permita la medición de deflexiones en su centro. Para fines de este Manual, la placa de carga tendrá una dimensión de 300 mm de diámetro. Solo se permitirá el uso de una placa de carga de dimensiones diferentes para proyectos especiales.

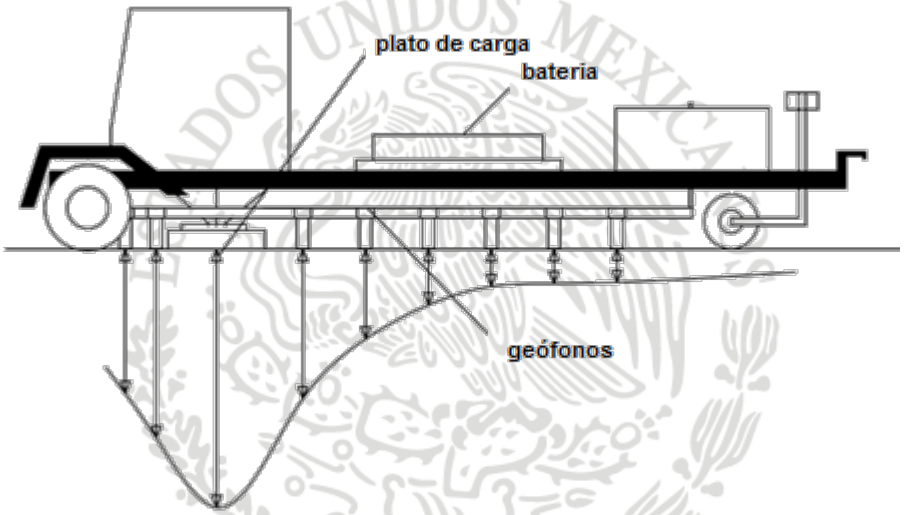

FIGURA 1.- Esquema de deflectómetro de Impacto

D.3. SENSORES DE DEFLEXIÓN (GEÓFONOS)

El equipo contará con al menos 7 sensores de deflexión, pudiendo implementarse hasta 15, en función de las necesidades del estudio. Los sensores de deflexión estarán espaciados adecuadamente para obtener la cuenca de deflexiones resultante de la aplicación de la carga. Cada sensor, tendrá un rango de medición mínimo de 0 a 2 200 µm, con una resolución mínima de 0,1 µm para estimar el desplazamiento vertical máximo. Su posición será normal con respecto a la superficie del pavimento en el momento de tomar las lecturas.

D.4. CELDA DE CARGA

Aditamento para la medición de la carga aplicada, la cual estará colocada de modo tal que no interfiera con la obtención de lecturas de deflexión debajo del centro del plato de carga, tendrá un rango de medición mínimo de 5 a 120 kN (acorde con la capacidad del dispositivo generador de fuerza), con una resolución mínima de 0,1 kN. La celda de carga será resistente al agua, así como al golpeo contra el pavimento que pudiera ocurrir al realizar las mediciones o transportar el equipo.

D.5. SISTEMA GUÍA

El desplazamiento de la masa utilizada para generar la carga estará restringido lateralmente mediante un sistema de guía, el cual provocará fuerzas de fricción despreciables y encauzará la masa en forma tal que la fuerza del impacto sea perpendicular a la superficie.

D.6. DISPOSITIVO MEDIDOR DE DISTANCIA DMI (DISTANCE MEASURE INSTRUMENT)

Permite cuantificar la distancia recorrida por el vehículo de medición. 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.

D.7. SENSORES DE TEMPERATURA

Contará con sensores para medir la temperatura del aire tipo RTD (detector de temperatura por resistencia) y de la superficie del pavimento (pirómetros) en cada punto de la medición de deflexión.

D.8. SISTEMA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS

Conjunto de componentes electrónicos y de cómputo necesarios para la operación automática del dispositivo generador de fuerza y para la adquisición de datos, procesamiento y almacenamiento de la información obtenida.

D.9. INSTRUMENTO DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

Ofrecerá una precisión mínima de ± 3 m en modalidad de navegación y de ± 1 cm en modo estático. Cumplirá con el Protocolo NMEA – 0183.

El equipo tendrá la capacidad para generar los datos durante los recorridos en coordenadas geográficas o UTM, (Universal Transverse Mercator), así como la distancia longitudinal recorrida.

E. CALIBRACIÓN

Es importante que el sistema y sus componentes se calibren periódicamente de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. El equipo será calibrado cuando se realice la sustitución de alguno de sus componentes o de acuerdo a lo que se indica en la Fracción D.3. de la Norma N·CSV·CAR·1·03·010, *Determinación de las Deflexiones de un Pavimento (DEF)*. Los registros que se generen serán conservados como evidencia de las calibraciones, entregando una copia a la Secretaría.

E.1. CALIBRACIÓN DEL DISPOSITIVO GENERADOR DE FUERZA

Antes de realizar la calibración de los sensores de carga y deflexión, el dispositivo se pre-acondiciona dejando caer la carga al menos cinco veces y verificando la diferencia relativa para cada carga. La diferencia relativa entre ellas no variará más del 3%, en caso contrario se limpiará el riel perfectamente y se verificarán las condiciones de uso del sistema de carga, las partes que no operan de forma apropiada se cambiarán o repararán antes de la calibración.

E.2. CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES DE DEFLEXIÓN (GEÓFONOS)

Los sensores de deflexión se verificarán de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

El procedimiento para calibrar la deflexión relativa, será usado para ajustar las medidas de deflexión para cada sensor (si fuera el caso), de tal manera que produzcan la misma medida de deflexión como se muestra a continuación:

E.2.1. Asegurar que el sitio de calibración se encuentre en una superficie firme, estable y limpia.

E.2.2. Abrir un archivo en el software del equipo en la opción “calibración”, el cual servirá de base para realizar la comprobación de la calibración y ajustes de los sensores, si fuera necesario.

E.2.3. Desmontar los sensores de la barra del deflectómetro en orden consecutivo a su numeración, evitando en todo momento cualquier daño físico a los componentes electrónicos.

E.2.4. Colocar los sensores en la torre de calibración uno encima de otro, de manera consecutiva a su numeración, a lo largo de su eje vertical y colocarla lo más cerca posible de la placa de carga. La posición de la torre se asegurará haciendo una pequeña ranura en el pavimento o cementando una tuerca para garantizar un punto de contacto sólido para el sistema guía. La torre se sostendrá manualmente con una ligera presión hacia abajo mientras se miden las deflexiones.

E.2.5. Bajar el plato de carga para ponerlo en contacto con la superficie del pavimento, levantar el generador de fuerza y dejar caer la masa, desde una altura que permita un rango de deflexiones del orden de 400 µm. Recopilar la información de cada sensor de deflexión.

E.2.6. Rotar los sensores, de tal manera que cada sensor ocupe cada uno de los niveles de la torre. Registrar cinco deflexiones para cada sensor por cada posición en la torre, repitiendo lo indicado en el Inciso E.2.3. de este Manual. Durante la calibración se mantendrá la misma altura de caída de la masa, de manera que la carga se mantenga constante.

E.2.7. Después de registrar las deflexiones para cada uno de los sensores en todas las posiciones señaladas, determinar la relación de deflexión para cada uno, dividiendo el promedio de todos los sensores entre el promedio de cada sensor.

E.2.8. Si algunas de las relaciones resultantes son mayores a 1,003 o menores de 0,997; todos los factores de calibración se multiplicarán por la relación, pero si alguno de los factores de calibración excede los límites establecidos por el fabricante, el dispositivo será recalibrado en el software del equipo aplicando las constantes y procedimientos respectivos, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Después de este ajuste, volver a repetir el proceso para comprobar si la calibración fue realizada correctamente. Si uno o más sensores de deflexión no se ajustan correctamente después del segundo proceso de calibración, éstos serán sustituidos.

E.3. CALIBRACIÓN DEL MEDIDOR DE DISTANCIA

Para la calibración del medidor de distancia es necesario contar con un tramo recto y plano con una longitud de al menos 1 km. Se medirá una longitud prestablecida de manera precisa con una cinta y se marcarán claramente los puntos de inicio y fin de tramo. Teniendo en cuenta lo anterior, se realizará lo siguiente:

E.3.1. Abrir el software de calibración del equipo, para realizar el procedimiento de calibración que el mismo equipo indica por medio del software.

E.3.2. Posicionar el equipo en el inicio del tramo de referencia y hacerlo circular en la distancia previamente fijada hasta llegar al punto final del tramo. Registrar la distancia medida en el programa del odómetro integrado en el equipo.

E.3.3. Realizar este procedimiento indicado en el Inciso E.3.1. de este Manual, por lo menos 4 veces y calcular el promedio de las lecturas. El promedio no será mayor o menor al 0,1 % de la distancia prestablecida.

E.3.4. Realizar los ajustes necesarios en el software y volver a realizar el proceso indicado en el Inciso E.3.2.y E.3.3. de este Manual, hasta lograr la calibración recomendada.

E.3.5. Si las lecturas se encuentran fuera del rango permitido se revisará el sistema de medición como lo indique el fabricante, sustituyendo los dispositivos necesarios.

E.4. CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA

Para la calibración de los sensores de temperatura (aire y superficie del pavimento) se seguirán los procedimientos indicados por el fabricante del equipo.

E.5. CALIBRACIÓN DE LA CELDA DE CARGA

La calibración de la celda de carga la realizará el proveedor del equipo de acuerdo al procedimiento establecido por el mismo, en las instalaciones diseñadas para tal fin, cada 12 meses. El usuario del equipo contará con el certificado de calibración expedido por el proveedor.

F. PREPARACIÓN DEL EQUIPO

F.1. Realizar una inspección general del equipo.

F.2. Conectar los componentes electrónicos y mecánicos requeridos en el sistema según las instrucciones del fabricante.

F.3. Encender por medio del software el equipo, iniciar la rutina de calentamiento y dejar trabajar el sistema durante un mínimo de 15 minutos o lo que indique el fabricante.

F.4. Revisar que los sistemas que integran el equipo se encuentren funcionando correctamente.

F.5. Realizar una medición de prueba para asegurar el correcto funcionamiento del equipo, con el fin de detectar alguna falla en el sistema.

G. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

G.1. Asegurar que el área de prueba esté libre de objetos como piedras o gravilla y deformaciones excesivas, para asegurar la colocación adecuada de los sensores de deflexión y del plato de carga.

G.2. Preparar el software para la adquisición de datos e ingresar la información necesaria para definir la configuración del equipo. Dentro de dicha configuración se considerará el tamaño del plato de carga, el número y posición de los sensores con respecto al punto de aplicación del impacto.

G.3. Medir y registrar las temperaturas del aire y de la superficie del pavimento. Se hace descender la barra con el plato de carga y los sensores hasta que entren en contacto con el pavimento. La medición se debe realizar sobre la rodera externa del carril por evaluar.

G.4. Aplicar el impacto de asentamiento, de acuerdo con las instrucciones que indique el fabricante del equipo.

G.5. Realizar un primer impacto en el punto de medición considerando las instrucciones del fabricante del equipo, de tal manera que se genere un esfuerzo de 700 ± 35 kPa. Para lograr el nivel de esfuerzo indicado, la altura de caída de los pesos que producen el impacto a través de la placa de carga será determinada en campo, en el sitio donde se realizarán las mediciones.

G.6. Repetir el procedimiento indicado en la Fracción G.5. de este Manual, en el mismo punto de medición (segundo impacto) y comparar las deflexiones obtenidas. La diferencia entre las deflexiones obtenidas entre ambos impactos no será mayor al 3% en cualquiera de los sensores. Cuando la diferencia sea mayor del 3% en cualquiera de los sensores, se repiten las pruebas en ese sitio, si nuevamente persiste la diferencia, se levanta la barra y se mueve el equipo a otro sitio de prueba.

G.7. UBICACIÓN DE LOS SENSORES DE DEFLEXIÓN

La distancia de la ubicación de cada sensor de deflexión se medirá a partir del centro de la placa de carga. El espaciamiento de los sensores será típicamente de 30 cm, aunque este arreglo puede ser modificado en función de las necesidades del estudio.

H. CÁLCULOS Y RESULTADOS

H.1. CÁLCULOS

Las deflexiones en el punto de medición serán las determinadas en el segundo impacto realizado en el sitio para todos los sensores de deflexión.

La deflexión normalizada a 700 kPa se calcula a partir del procedimiento indicado en el Inciso H.1.1. de este Manual.

H.1.1. Procedimiento para la normalización por esfuerzo

Con los valores de esfuerzo y deflexión del segundo impacto realizar el siguiente cálculo para cada uno de los sensores.

$$C = \frac{D * A}{B}$$

Donde:

C = Deflexión normalizada, mm

D = Deflexión máxima del segundo impacto para el punto de medición en mm

B = Esfuerzo del segundo impacto para el punto de medición en kPa

A = Esfuerzo de normalización de 700 kPa

H.1.2. Procedimiento para corrección por temperatura

Los valores de deflexión normalizados por esfuerzo serán corregidos posteriormente por temperatura. La corrección por temperatura es el cálculo que se realiza para determinar cuál es el valor de la deflexión a una temperatura de 20º C, cuando fue determinada a una temperatura diferente. Para la determinación del factor de corrección por temperatura se utilizan los gráficos que se presentan a continuación.

H.1.2.1. Pavimentos flexibles con bases hidráulicas, estabilizadas o tratadas con productos asfálticos y/o cal, el factor de corrección se determina según el gráfico mostrado en la Figura 2 de este Manual.

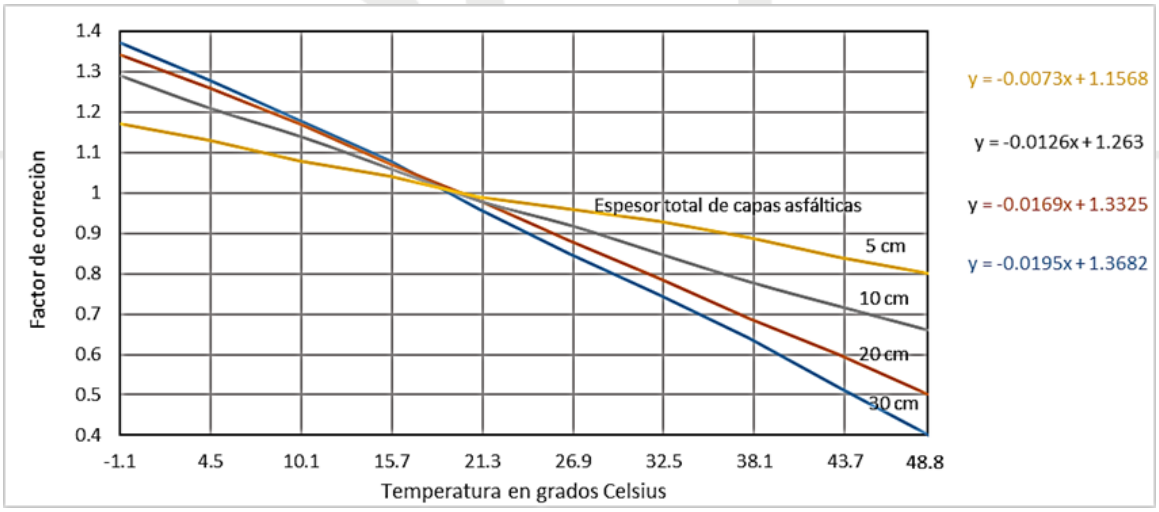

FIGURA 2.- Gráfico para determinación del factor de corrección de deflexiones por temperatura para pavimentos con bases hidráulicas o estabilizadas con asfalto y/o cal

H.1.2.2. Pavimentos flexibles con bases modificadas, tratadas o estabilizadas con cemento, el factor de corrección se determina según el gráfico mostrado en la Figura 3 de este Manual.

H.1.3. El valor de deflexión reportado será el que resulta de la normalización de los valores de campo y su posterior multiplicación por el factor de corrección por temperatura.

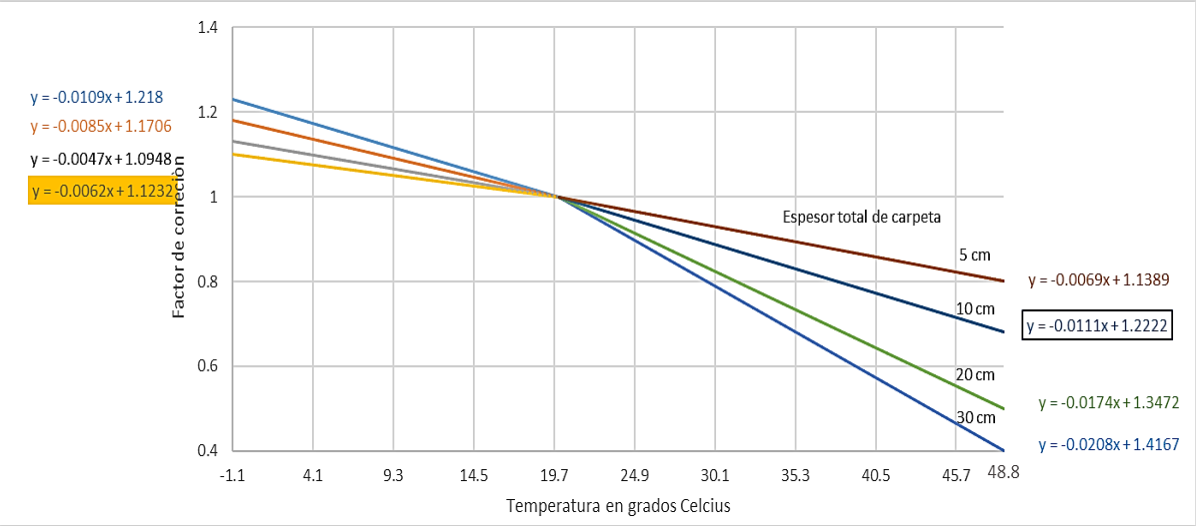

FIGURA 3.- Gráfico para determinación del factor de corrección de deflexiones por temperatura para pavimentos con bases estabilizadas con cemento

H.2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

H.2.1. Informe de los trabajos

Informe conciso, integrado por los conceptos que se indican a continuación:

H.2.1.1. Identificación del tramo

- Nombre y clave de la carretera a la que pertenece el tramo, los cuales serán congruentes según la nomenclatura de la Secretaría emitida a través de la Dirección General de Servicios Técnicos
- Origen y destino, referenciados mediante la información que se estipula en la Fracción E.1. de la Norma N·CSV·CAR·1·03·010, *Determinación de las Deflexiones de un Pavimento (DEF)*.

H.2.1.2. Características generales del tramo

- Longitud total.
- Tipo de pavimento existente, indicando las variaciones detectadas durante la medición.
- Número de carriles por sentido de circulación, señalando los cambios de configuración de la calzada observados.

H.2.1.3. Descripción general de los trabajos efectuados

- Características del equipo de medición utilizado, incluyendo la información sobre su calibración.
- Detalles del procedimiento de medición utilizado.

- Listado de los eventos relevantes que se presentaron durante el proceso de la medición.

H.2.1.4. Resumen de resultados de evaluación

En los trabajos de evaluación según se indica en la Fracción B.9. de la Norma N·CSV·CAR·1·03·010, *Determinación de las Deflexiones de un Pavimento (DEF),* el resumen de resultados se integrará con los productos que se indican a continuación, los cuales se elaborarán para cada segmento de medición mencionado en la Fracción B.11. de la Norma N·CSV·CAR·1·03·010, *Determinación de las Deflexiones de un Pavimento (DEF).*

- Larguillo con los valores de deflexión representativa con la información en segmentos de kilómetro, representando en el eje de las abscisas el kilómetro y en el eje de las ordenadas la deflexión en milímetros (mm). En este gráfico, se indicarán los rangos que delimitan la condición estructural a los que se hace referencia en la Fracción B.12. de la Norma N·CSV·CAR·1·03·010, *Determinación de las Deflexiones de un Pavimento (DEF)*, como se muestra en la Figura 4 de este Manual.

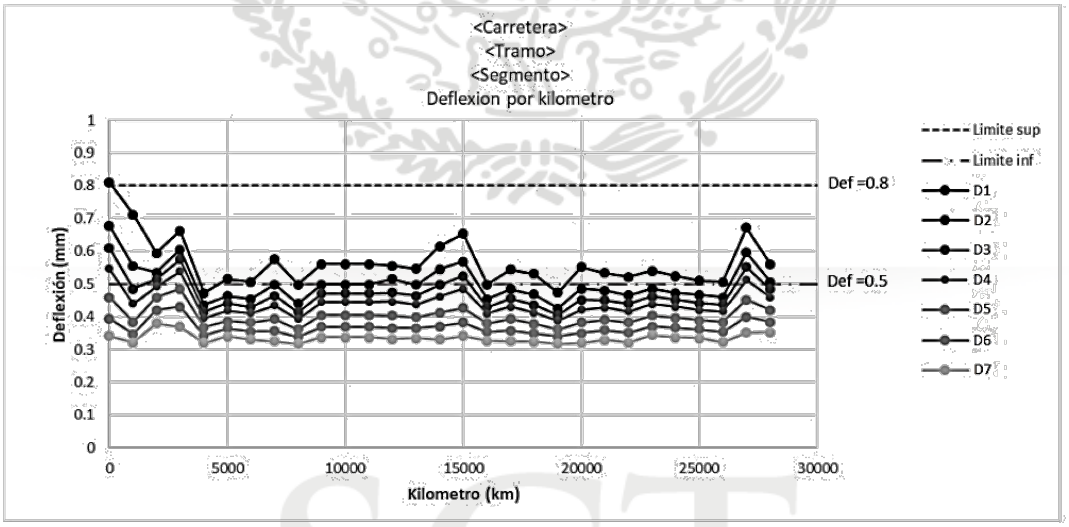

FIGURA 4.- Larguillo de Deflexiones por kilómetro

- Representación geográfica de los valores representativos por segmento de acuerdo a un código de colores en función de su condición estructural. La capa base del tramo sobre la que se mostrarán los valores representativos, se construirá con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, o bien con los datos que provea la contratista siempre y cuando la información se encuentre actualizada.

  Los porcentajes de la longitud en cada condición estructural en función de los rangos definidos en la Tabla 1 de la Norma N·CSV·CAR·1·03·010, *Determinación de las Deflexiones de un Pavimento (DEF)*, se ilustrarán mediante un gráfico circular.

- Cuando se tengan disponibles datos del año anterior se realizará una comparación de los valores de deflexión por kilómetro con los del año inmediato anterior, la cual se acompañará de una valoración general que explique, a satisfacción de la Secretaría, las causas de los posibles cambios observados.

H.2.1.5. Resumen de resultados de validación

En los trabajos de validación según se indica en la Fracción B.9. de la Norma N·CSV·CAR·1·03·010, *Determinación de las Deflexiones de un Pavimento (DEF),* el resumen de los trabajos de validación comprenderá los conceptos que se indican a continuación:

- Descripción general del tramo evaluado.
- Información teórica relativa a la medición de deflexiones.
- Descripción genérica de los equipos para la medición de deflexiones.
- Tabla comparativa de resultados.
- Coeficiente de correlación de los valores obtenidos con cada equipo.
- Conclusiones del proceso de validación.

H.2.2. Anexos

La información contenida en el cuerpo principal del informe, será complementada con los siguientes anexos:

H.2.2.1. Anexo "A": Bitácora del servicio

Reproducción en formato electrónico de la bitácora del servicio a la que se refiere la Fracción D.5. de la Norma N·CSV·CAR·1·03·010, *Determinación de las Deflexiones de un Pavimento (DEF).*

H.2.2.2. Anexo "B": Base de datos con información de campo

Base de datos en hoja de cálculo con los valores obtenidos en campo para cada punto de medición que contenga la siguiente información:

- Nombre de la carretera a la que pertenece el tramo o segmento evaluado, según la nomenclatura de la Secretaría emitida a través de la Dirección General de Servicios Técnicos.
- Sentido de circulación, de acuerdo con la nomenclatura especificada en la Fracción D.4. de la Norma N·CSV·CAR·1·03·010, *Determinación de las Deflexiones de un Pavimento (DEF).*
- Carril evaluado, de acuerdo con la misma nomenclatura.
- Kilómetro de medición.
- Valor de la deflexión para todos los sensores de desplazamiento.
- Esfuerzo aplicado en kPa.
- Temperatura del aire y de la superficie del pavimento en grados Celsius.
- Coordenadas geográficas.

H.2.2.3. Anexo "C": Reporte de datos procesados

Los informes relativos a los trabajos de evaluación, incorporarán un anexo con los valores procesados de las mediciones, almacenados en hojas de cálculo. Se presentará la información por cada kilómetro y segmento evaluado, se incluirán los elementos que se describen a continuación:

- Nombre de la carretera a la que pertenece el tramo o segmento evaluado, según la nomenclatura de la Secretaría emitida a través de la Dirección General de Servicios Técnicos.
- Sentido de circulación, de acuerdo con la nomenclatura especificada en la Fracción D.4. de la Norma N·CSV·CAR·1·03·010, *Determinación de las Deflexiones de un Pavimento (DEF.)*
- Carril evaluado, de acuerdo con la misma nomenclatura.

- Kilómetro inicial y final del segmento de medición (solo para trabajos realizados con equipos de alto rendimiento).
- Valor de la deflexión representativa del segmento o kilómetro.

H.2.2.4. Anexo "D": Resumen fotográfico

Conjunto de fotografías con resolución de al menos 118 pixeles por cm^2 (300 ppp) con formato "JPG".

El conjunto de imágenes constituirá una secuencia fotográfica que muestre, entre otros aspectos, el vehículo de medición, su equipamiento externo e interno, las características más relevantes del tramo a lo largo del recorrido y ejemplos de segmentos según su condición estructural.

I. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

I.1. Revise los datos registrados por el equipo después de cada medición para detectar a tiempo alguna inconsistencia en el registro y pueda repetir la prueba.

I.2. Verificar que las deflexiones de los sensores sean menores a medida que tengan una mayor distancia del plato de carga.

I.3. Evitar la determinación de deflexiones en puntos de medición que presenten baches, agrietamientos, desintegraciones, entre otros, con grado de severidad alto.

I.4. Conservar las deflexiones dentro del rango de medición de los sensores de deflexión.

I.5. Verificar que después de realizar la medición, las lecturas en los sensores de deflexión vuelvan a un valor cercano a cero dentro de los siguientes 60 ms.

I.6. Tomar la medición en sitios donde no exista influencia de cargas de otros vehículos pesados. La medición no se realizará cuando estén circulando vehículos pesados en el carril adyacente.

J. BIBLIOGRAFÍA

National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), Synthesis 381, "*Falling Weight Deflectometer Usage"*. Washington, DC 2008.

Pérez, A. y Garnica, P. *Uso y Calibración de Deflectómetros de Impacto en la Evaluación Estructural de Pavimentos*. Publicación Técnica No. 252.Sanfandila, Qro., 2004.

Federal Highway Administration (FHWA). Schmalzer, P.N. "*Long-Term Pavement Performance Program Manual for Falling Weight Deflectometer Measurements*. Publication No. FHWA-HRT-06-132. Diciembre 2006.

ASTM International, E 867-06(2012), *Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems*, EUA.

ASTM International, D 4694-09(2015), *Standard Test Method for Deflections with a Falling-Weight-Type Impulse Load Device,* EUA.

ASTM International, D 4695-03(2015), *Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements*, EUA.

Medida de deflexiones en firmes y pavimentos con Deflectómetro de Impacto, NLT – 338, España.

Método para medir deflexiones mediante Deflectómetro de Impacto, INVE E – 798, Colombia.

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