

MÉTODO PARA MEDIR DEFLEXIONES MEDIANTE UN DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO (FWD)

INV E – 798 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Este método se refiere a la medición de deflexiones en superficies pavimentadas o no, con el dispositivo llamado comúnmente deflectómetro de impacto o FWD.
- 1.2** Este método de prueba describe la medición, en deflexiones verticales, de la respuesta de la estructura de la calzada a un impulso de carga aplicado en la superficie. Las deflexiones verticales se miden en el eje de aplicación de la carga y en puntos espaciados a distintas distancias radiales de él.
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E-798-07.

2 RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1** Este método de ensayo es una prueba del tipo de placa de carga. La carga es un pulso de fuerza generado por la caída de una masa sobre un sistema amortiguado y es transmitido a través de una placa que descansa sobre la superficie del pavimento. El equipo de ensayo puede ser montado en un vehículo o en un sistema de remolque tirado por un vehículo.
- 2.2** Se detiene el vehículo, posicionando la placa en el lugar del ensayo junto a los sensores de deflexión, hasta que descansen perpendicularmente sobre la superficie. Luego se levanta la masa hasta una altura tal, que al caer libremente aplique al pavimento la fuerza de impacto deseada. Se deja caer la masa y en el momento del impacto se miden los movimientos verticales o deflexiones del pavimento mediante la instrumentación adecuada. Se pueden efectuar varios ensayos a la misma o a diferente altura de caída, antes de levantar el aparato y moverlo al siguiente sitio de prueba.
- 2.3** Las deflexiones máximas del pavimento, resultantes del pulso de fuerza aplicado en cada sitio donde se efectúe la prueba, son registradas en μm , en mm o en mils, como se considere más apropiado.

- 2.4** La carga máxima aplicada por la caída de la masa, es medida por una celda de carga y registrada como fuerza en kN, lbf o esfuerzo promedio (la carga dividida por el área de la placa) en kN/m² o lbf/pg², como se considere más apropiado.

3 IMPORTANCIA Y USO

- 3.1** Este método sirve para determinar las deflexiones superficiales en un pavimento como resultado de la aplicación de una carga de impacto en la superficie. Las deflexiones se miden en el centro de la carga aplicada y a distintas distancias del lugar de aplicación de la carga. Las deflexiones se pueden correlacionar directamente con el comportamiento del pavimento, o utilizar para determinar in-situ las propiedades de los materiales de las capas que conforman la estructura del pavimento.
- 3.2** Algunas aplicaciones de la información obtenida en el campo incluyen la evaluación estructural que permite estimar la capacidad de carga y la determinación de los espesores requeridos de refuerzo en pavimentos decalles, carreteras y aeropistas.

4 EQUIPO

- 4.1** *Sistema de instrumentación* – Se debe ajustar a los siguientes requerimientos generales:
- 4.1.1** *Instrumentos expuestos a los elementos (por fuera del vehículo)* – Deberán ser operables en el rango de –10 a 50° C (10 a 120° F) y deberán tolerar una humedad relativamente alta, lluvia o rocío, y todas las demás condiciones adversas como el polvo, las sacudidas o las vibraciones que se puedan encontrar normalmente.
- 4.1.2** *Instrumentos no expuestos a los elementos (dentro del vehículo)* – Deberán ser operables en el rango de 5 a 40° C (40 a 105° F).
- 4.2** *Dispositivo generador de fuerza con un sistema guía (carga de impacto)* – El mecanismo generador de la carga de impacto debe ser capaz de ser levantado a diferentes alturas y luego liberado. El pulso de fuerza resultante que se transmite al pavimento debe ser reproducible de acuerdo con los requisitos establecidos en el numeral 6.1. El pulso de fuerza debe tener una forma

aproximada de seno verso o de medio seno verso y debe poder alcanzar una fuerza máxima de 50 kN (11 000 lbf).

Nota 1: Es práctica común usar pulsos de fuerza con duración de 30 a 60 ms o un tiempo de subida de 10 a 30 ms.

- 4.2.1 Sistema guía** – Diseñado para operar con mínima fricción o resistencia a la caída de la masa, y de manera que ésta golpee perpendicularmente la superficie del pavimento.
- 4.3 Placa de carga** – Capaz de distribuir uniformemente la carga en la superficie del pavimento. Los platos típicos tendrán 300 o 450 mm de diámetro, para mediciones en vías convencionales y aeropuertos o pavimentos rígidos. El plato debe permitir la medición de deflexión en el centro de éste.
- 4.4 Sensores de deflexión** – Deben ser capaces de medir el desplazamiento vertical máximo del pavimento. Deben ir montados de manera que se minimice la rotación angular con respecto a su plano de medida para el máximo movimiento esperado. El número y la separación de los sensores son opcionales y dependerán del objetivo del ensayo y de las características de las capas del pavimento. Normalmente se usa una separación de 300 mm (12") entre uno y otro sensor. Los sensores pueden ser de diferente tipo, como transductores de desplazamiento, transductores de velocidad o acelerómetros.
- 4.5 Sistema de almacenamiento y procesamiento de datos** – Los datos de carga y deflexión se deben registrar y guardar en un computador personal. Información de apoyo como, por ejemplo, la temperatura del aire, la temperatura de la superficie del pavimento, la distancia entre medidas y la identificación o referencia de cada punto de medida, se pueden registrar manual o automáticamente.
- 4.6 Celda de carga** – Para medir la carga aplicada en cada impacto. Se debe ubicar de manera que se minimice la masa entre la celda de carga y el pavimento. La celda de carga se debe colocar de manera que no interfiera la lectura de las mediciones de deflexión bajo el centro de la placa de carga. La celda debe ser resistente al agua y a las sacudidas provocadas por los impactos durante el ensayo y/o el traslado del equipo.

5 SEGURIDAD

- 5.1** Tanto el vehículo de ensayo como todos los equipos e instrumental que lo complementan, deben cumplir la legislación vigente. Se deben tomar precauciones más allá de las que impone la ley para garantizar la máxima seguridad del personal de operarios y de los usuarios de la vía.

6 CALIBRACIÓN

- 6.1** *Dispositivo generador de fuerza* – Antes de calibrar los sensores de carga y de deflexión, el dispositivo se debe pre-acondicionar dejando caer la masa por lo menos cinco veces y verificando la diferencia relativa en cada carga. Las cargas no deben variar una de otra en más de 3 %. Si las variaciones exceden esta tolerancia, se deben revisar la altura de caída y la limpieza de la guía, así como cualquier resorte o almohadilla de caucho que se usen para acondicionar la carga. Las partes que no operen en forma apropiada se deben cambiar o reparar antes de la calibración, para minimizar las fuerzas horizontales.
- 6.2** *Plataforma de calibración de la carga* – Teniendo en cuenta que diversos dispositivos de este tipo están disponibles en el mercado, se deben seguir las recomendaciones del fabricante para su calibración.
- 6.3** *Sensores de deflexión* – Se deben calibrar por lo menos una vez al mes o de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
- 6.3.1** *Calibración de la deflexión relativa* – El procedimiento para calibrar la deflexión relativa se debe usar para ajustar las medidas de deflexión desde cada sensor de deflexión, de manera que ellos produzcan la misma medida de deflexión (con la precisión establecida en el numeral 7.2). La calibración de la deflexión relativa requiere una torre que sostenga los sensores, la cual debe ser suministrada por el fabricante. La torre debe tener suficientes posiciones para acomodar todos los sensores usados durante el ensayo. La torre debe permitir fijar los sensores uno encima del otro a lo largo de un eje vertical. La base de la torre debe tener un poste sencillo de soporte en el mismo eje vertical. La torre debe tener suficiente rigidez para permitir que todos los sensores experimenten la misma deflexión producida por el mecanismo generador de fuerza. Los sensores se deben colocar en la torre y ubicar tan cerca de la placa de carga como sea posible. La posición de la torre se debe asegurar haciendo una pequeña ranura en

el pavimento o cementando una tuerca en el pavimento para garantizar un punto de contacto sólido para el poste de soporte. La placa de carga debe estar en continuo contacto con la superficie del pavimento mientras se recopila la información de la calibración. Durante la calibración, se deben rotar los sensores de manera que cada sensor ocupe cada uno de los niveles en la torre. En cada posición en la torre, se deben registrar cinco deflexiones para cada sensor. La torre se debe sostener manualmente con una ligera presión hacia abajo mientras se miden las deflexiones. Es deseable que las deflexiones sean de una magnitud aproximada a $400 \mu\text{m}$ (16 mils). Se debe mantener la misma carga durante la calibración. Se deben determinar relaciones de deflexión para cada sensor, dividiendo la deflexión promedio para todos los sensores por la deflexión promedio de ese sensor. Si alguna de las relaciones resultantes es mayor de 1.003 o menor de 0.997, todos los factores de calibración del sensor se deben reemplazar por el factor de calibración existente multiplicado por la relación. Si alguno de los factores de calibración excede los límites establecidos por el fabricante, el dispositivo se debe reparar y recalibrar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

- 6.3.2** Para asegurar que las deflexiones pequeñas (como es típico encontrar cerca del borde exterior del cuenco de deflexión) sean verificadas con un razonable grado de exactitud, se repite el procedimiento descrito anteriormente a una distancia de 1 a 1.5 m (3 a 5 pies) de la placa de carga. En este caso, es deseable que las deflexiones se encuentren entre 50 y $100 \mu\text{m}$ (2 y 4 mils). Se debe asegurar que la diferencia promedio entre las lecturas de dos sensores es menor o igual a $2 \mu\text{m}$ (0.08 mils). Los factores de calibración no se deben alterar. Si en el promedio de las deflexiones se encuentran diferencias superiores a $2 \mu\text{m}$ (0.08 mils), el dispositivo se debe reparar y recalibrar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

Nota 2: Se han desarrollado varios métodos por agencias diferentes al fabricante para calibrar estos dispositivos utilizando celdas de carga o sensores de deflexión. Uno de ellos es el desarrollado por el programa SHRP en desarrollo del LTPP de la Federal Highway Administration (FHWA). Los centros de calibración se han establecido en Pennsylvania, Minnesota, Texas y Nevada. Otro método es un sistema de calibración móvil desarrollado por la Universidad de Texas en El Paso (UTEP) para el Departamento del Transporte de Texas.

7 ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL Y DEL SISTEMA DE REGISTRO

- 7.1** Todo el acondicionamiento de la señal y el equipo para el registro deben permitir que la resolución de la lectura cumpla los siguientes requisitos:
- 7.1.1** Las medidas de carga se deben mostrar y almacenar con una resolución de 200 N (50 lbf) o menos.
- 7.1.2** Las medidas de deflexión se deben mostrar y almacenar con una exactitud de $\pm 1 \mu\text{m}$ (0.04 mils) o mayor.
- 7.2** Las medidas de carga y de deflexión se deben registrar como se especifica en los numerales 7.1.1 y 7.1.2 respectivamente, dentro de un periodo de tiempo o ventana de medición de, al menos, 60 ms, con una exactitud en el momento de medir la carga pico y la deflexión de $\pm 2\%$, y una precisión en la medida de las deflexiones de $\pm 2 \mu\text{m}$ (0.08 mils).

8 PROCEDIMIENTO PARA UNA MEDICIÓN

- 8.1** Se transporta el dispositivo al sitio de ensayo y se coloca la placa de carga sobre el punto escogido para la prueba. El sitio de la prueba debe estar tan limpio como sea posible de piedras y escombros, con el fin de asegurar que la placa de carga quede completamente asentada. Las superficies de grava o de suelo deberán estar tan lisas como sea posible y se debe retirar todo el material suelto.
- 8.2** Se bajan el plato de carga y los sensores hasta asegurar que reposen sobre una superficie firme y estable.
- 8.3** Se levanta el generador de fuerza a la altura deseada y se deja caer la masa. Se registran las deflexiones superficiales y la carga pico.

Nota 3: Si se produce una deformación permanente significativa bajo la placa de carga, se debe mover el aparato y reducir la fuerza aplicada hasta que la deformación permanente no tenga ninguna importancia para la primera prueba en el sitio de ensayo.

- 8.4** Se llevan a cabo por lo menos dos series de la carga (numeral 8.3) y se compararan sus resultados. Si la diferencia es mayor que 3 % para cualquiera sensor, se debe registrar la variación en el informe. Se pueden ejecutar pruebas adicionales con las mismas o diferentes cargas.

9 PRECISIÓN Y SESGO

- 9.1** *Precisión* – Hasta la fecha, no hay datos de precisión obtenidos de series de pruebas diseñadas estadísticamente con diferentes equipos. Los resultados obtenidos por el mismo o por varios dispositivos pueden variar debido a variaciones en la rigidez del amortiguador o del pavimento. Cada dispositivo, sin embargo, debe ser capaz de reunir los requisitos de exactitud indicados en el numeral 7.2 y los requisitos de calibración establecidos por el fabricante y por SHRP.
- 9.2** *Sesgo* – Hasta la fecha no se ha establecido ningún criterio sobre sesgo para esta prueba.

10 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 4694 – 09