

# MEDIDAS DE DEFLEXIÓN EN PAVIMENTOS

INV E – 797 – 13

## 1 OBJETO

- 1.1** Esta norma proporciona procedimientos normalizados para medir deflexiones superficiales de pavimentos directamente debajo o en sitios radialmente ubicados fuera de una carga estática conocida, de condición estacionaria o de impacto. Las deflexiones se miden con sensores que monitorean el movimiento vertical de la superficie del pavimento debido a la carga. Esta norma de ensayo describe procedimientos para medir la deflexión usando varios dispositivos para este fin y proporciona la información general que se debe obtener, independientemente del tipo de dispositivo que se utilice.
- 1.2** Este método de prueba es aplicable para medidas de deflexión efectuadas en pavimentos flexibles de concreto asfáltico (CA), en pavimentos rígidos de concreto hidráulico (CCP) o en pavimentos compuestos (CA/CCP). Los pavimentos rígidos pueden ser de concreto simple con juntas, de concreto reforzado con juntas, de refuerzo continuo o de concreto fracturado.
- 1.3** Esta norma reemplaza la norma INV E-797-07.

## 2 DEFINICIONES

- 2.1** *Sensor de deflexión* – Dispositivo electrónico capaz de medir los movimientos verticales relativos de la superficie de un pavimento, instalado de tal manera que se minimice la rotación angular con respecto a su plano de medida para el movimiento esperado. Tales dispositivos pueden incluir sismómetros, transductores de velocidad o acelerómetros.
- 2.2** *Celda de carga* – Dispositivo capaz de medir con exactitud la carga que se aplica perpendicularmente a la placa de carga y que está colocado en una posición que minimice la masa entre la celda de carga y el pavimento. La celda de carga debe estar colocada de manera que no restrinja la capacidad de obtener medidas de deflexión bajo el centro de la placa de carga. Debe ser resistente al agua y a los golpes mecánicos producidos por impactos a la vía durante la prueba o durante el transporte.
- 2.3** *Placa de carga* – Dispositivo capaz de distribuir la carga uniformemente sobre la superficie del pavimento. Las placas de carga pueden ser de forma circular

(o en algunos casos rectangular), de una sola pieza o segmentadas, para medidas en calles y carreteras convencionales y pistas de aterrizaje o en pavimentos de similar rigidez. La placa deberá ser construida de manera adecuada para permitir las medidas de deflexión bajo el centro de ella.

- 2.4 *Cuenco de deflexión* – Es la forma de tazón idealizada de la superficie deformada del pavimento debido a una carga especificada como la describen las medidas máximas de una serie de sensores de deflexión colocados a diferentes distancias radiales del centro de la placa de carga.
- 2.5 *Prueba de cuenco de deflexión* – Es una prueba con sensores de deflexión, colocados a varias distancias radiales desde el centro de la placa de carga. La prueba se usa para registrar la forma del cuenco de deflexión resultante de una carga aplicada. La información obtenida de esta prueba se puede usar para estimar las propiedades de los materiales de una determinada estructura de pavimento.
- 2.6 *Prueba de transferencia de carga* – Es una prueba, generalmente realizada en un pavimento rígido, con sensores de deflexión en ambos lados de una junta transversal en el pavimento. La prueba se usa para determinar la capacidad del pavimento para transferir carga de un lado de la junta al otro. Los datos también se pueden usar para detectar la presencia de vacíos debajo del pavimento.
- 2.7 *Lugar de prueba* – Es el punto en el cual se localiza el centro de la carga o cargas aplicadas.

### 3 RESUMEN DEL MÉTODO DE ENSAYO Y SUS LIMITACIONES

---

- 3.1 Esta norma hace referencia a procedimientos normalizados para medir deflexiones de la superficie de pavimento debajo y/o en lugares apropiados desplazados del centro de la carga. Cada dispositivo de prueba no destructivo (NDT) se opera de acuerdo con el procedimiento normal aplicable a él.
- 3.2 La norma incluye descripciones generales de varios tipos de dispositivos de medida de deflexión, estáticos y semi–continuos, y procedimientos para medir la deflexión correspondiente a cada dispositivo.
- 3.3 Los procedimientos normalizados para obtener información general, tales como: preparación del ensayo, temperatura ambiente, temperatura del pavimento, calibración del equipo, número y lugares de los ensayos, son aplicables a todos los dispositivos.

## 4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1 La medida no destructiva de las deflexiones superficiales de los pavimentos brinda información que se puede utilizar para la evaluación estructural de pavimentos nuevos o en servicio. Estas medidas se pueden emplear para determinar las siguientes características de los pavimentos: (1) módulo de cada capa; (2) rigidez total de la estructura del pavimento; (3) eficiencia en la trasferencia de carga en pavimentos de concreto simple; (4) módulo de reacción de la subrasante; y (5) espesor efectivo, número estructural o valorde soporte del suelo.
- 4.2 Estos parámetros se pueden usar en el análisis y el diseño de pavimentos flexibles y rígidos reconstruidos y rehabilitados, en la evaluación de la suficiencia estructural del pavimento, en la detección de vacíos en los pavimentos rígidos, en la investigación, y en el inventario con fines de evaluación estructural de una red.

## 5 EQUIPO

- 5.1 El equipo usado en este método de ensayo deberá ser uno de los dispositivos que miden la deflexión descritos en el numeral 5.2, y deberá consistir en algún tipo de probador o sensor (es) de contacto superficial para medir movimientos verticales o deformaciones del pavimento cuando se somete a una carga determinada.

### 5.2 Dispositivos para medir deflexión:

- 5.2.1 *Dispositivo de carga estática no continua* – Es un dispositivo que funciona bajo el principio del brazo de palanca simple. Este dispositivo debe tener un brazo de prueba de, por lo menos, 2.5 m (8.2 pies) de largo, y su extensión debe bajar el deformímetro (dial medidor) o el sensor electrónico que mide la máxima deflexión de superficie del pavimento con una sensibilidad mínima de 0.025 mm (0.001"). El vehículo usado para transportar el dispositivo de deflexión estática y cargar el pavimento deberá ser un camión que lleve una carga de prueba de 80 kN (18 000 lbf) en un eje simple trasero. La configuración de la carga incluyendo cargas por eje, el tamaño de las llantas y la presión de inflado se pueden obtener a partir de las especificaciones aplicables; sin embargo, esta información se debe indicar claramente en el informe de ingeniería. Un ejemplo de este tipo de equipo es la viga Benkelman (Figura 797 - 1).



Figura 797 - 1. Viga Benkelman

**5.2.2 Dispositivo de carga estática semi–continua** – Es un equipo que opera basado en el principio de la palanca de doble brazo. El vehículo usado para transportar este dispositivo y para cargar el pavimento debe ser un camión con una carga de prueba de 130 kN (29 000 lbf) en el eje simple trasero. La configuración de la carga, incluyendo cargas por eje, el tamaño de las llantas y la presión de inflado se pueden obtener a partir de las especificaciones aplicables; sin embargo, esta información se debe indicar claramente en el informe de ingeniería. El vehículo de prueba deberá estar equipado con una palanca de doble brazo y puntas de prueba, cuya geometría y tamaño hagan posible el medir la máxima deflexión de la superficie del pavimento bajo las dos huellas que dejan ambas llantas a su paso y con una sensibilidad mínima de 0.025mm (0.001"). La extensión de cada brazo de palanca que sostiene la punta de prueba debe oprimir un sensor electrónico, que puede ser de cualquier tipo, siempre y cuando produzca una señal análoga o digital. La señal digital deberá estar correlacionada con el movimiento de esta extensión y, por lo tanto, con la deflexión de la superficie del pavimento bajo el efecto de la carga de prueba en movimiento. El camión debe estar capacitado para levantar y trasladar las palancas de un punto de medida al siguiente, bajarlas hasta la superficie del pavimento y efectuar otro juego de medidas en un proceso totalmente automatizado a una velocidad constante del vehículo. Un ejemplo de este tipo de instrumento es el deflectógrafo Lacroix (Figura 797 - 2).



Figura 797 - 2. Deflectógrafo Lacroix

**5.2.3 Dispositivo de carga estacionaria** – Este dispositivo usa un generador de fuerza dinámica para producir una carga dinámica. El generador de fuerza puede usar, por ejemplo, una masa contrarrotativa o un accionador hidráulico servo-controlado para producir la carga dinámica. El dispositivo que usa una masa contrarrotativa opera a una frecuencia fija para producir una carga dinámica bajo un peso estático aplicado a través de un par de ruedas rígidas de acero. La frecuencia y la magnitud de las cargas dinámicas pueden ser variadas por el operador de los dispositivos que usan un accionador hidráulico servo-controlado. Dependiendo del modelo, las frecuencias de operación normal fluctúan de 8 a 60 Hz y las fuerzas dinámicas máximas varían de 2.2 a 35.5 kN (500 a 8000 lbf) aplicadas a través de una sola placa circular o de una placa rectangular doble. Estos dispositivos de carga pueden ir montados en un furgón, en la parte delantera de un vehículo, o en un remolque. Los dispositivos para medir la deflexión deben tener cinco o más sensores para medir satisfactoriamente el cuenco de deflexión con una sensibilidad mínima de 0.001 mm (0.00004"). Un ejemplo de este tipo de dispositivo es el Dynaflect (Figura 797 - 3).



Figura 797 - 3. Dynaflect

**5.2.4 Dispositivo de carga por impacto** – Es aquel que crea una carga de impulso dejando caer una masa desde diferentes alturas sobre un sistema amortiguador de caucho o resortado. Generalmente conocido como deflectómetro de impacto [Falling Weight Deflectometer, (FWD)]. El dispositivo generador de la fuerza deberá estar capacitado para ser levantado a una o más alturas predeterminadas y luego dejarse caer. La fuerza de impacto resultante transmitida al pavimento a través de una placa de carga de 300 mm (11.8") de diámetro, no debe variar una de otra en más de 3 %. El pulso de la fuerza deberá aproximarse a la forma de medio seno verso o semisinusoide y deberá ser factible que la fuerza máxima pueda ser variada dentro del rango de 7 a 105 KN (1500 a 24 000 lbf). El dispositivo de carga por impacto deberá medir las deflexiones de la superficie del pavimento usando seis o más sensores, con una resolución mínima de 0.001mm (0.00004"). Ejemplos de estos dispositivos son los deflectómetros Dynatest, KUAB, Phoenix y el JILS (Figura 797 - 4).



Figura 797 - 4. Deflectómetro de impacto

## 6 CALIBRACIÓN

**6.1** El (los) sensor (es) de deflexión y la celda de carga (si aplica) del dispositivo de deflexión deben estar calibrados para asegurar la exactitud de todas las lecturas dentro de los límites especificados. Para los dispositivos en los cuales se asume que la carga es constante y no se mide, la exactitud de la magnitud de la carga aplicada debe ser verificada periódicamente.

**6.2** *Celda de carga:*

**6.2.1 Generalidades** – El procedimiento para calibrar la celda de carga (si el dispositivo usa una celda de carga) depende del tipo de dispositivo usado. La calibración de la celda de carga se puede revisar informalmente observando las lecturas de la celda de carga y comparándolas con las lecturas anticipadas basadas en la experiencia o en valores derivados de calibración en el caso del FWD. La calibración de la celda de carga de referencia (o absoluta) se debe ejecutar por lo menos una vez al año, excepto para dispositivos de carga no continuos y semi–continuos (Ver Tabla 797 - 1).

Tabla 797 - 1. Frecuencia de calibración de la celda de carga

TIPO DE DISPOSITIVO	FRECUENCIA DE CALIBRACIÓN
Tipos continuos y semi–continuos de carga estática	Antes de la prueba
Tipos de carga estacionaria (ver numeral 6.2.3) para dispositivos que no tengan una celda de carga)	Por lo menos una vez al año usando instrucciones del fabricante o el procedimiento citado en el Apéndice A del reporte SHRP P–661
Tipos de carga de impacto (FWD)	Por lo menos una vez al año usando el procedimiento del Apéndice A del reporte SHRP P–661

**6.2.2 Dispositivos de carga estática no-continuos y semi–continuos** – Inmediatamente antes de la prueba, se pesa la carga por eje del camión si el lastre es un material que puede absorber humedad (grava, arena, etc.) o puede haber variado por cualquier otra razón. Camiones cargados con acero o bloques de concreto solamente necesitan ser pesados si las cargas son cambiadas o han sufrido algún desplazamiento.

- 6.2.3 Dispositivos de carga estacionaria** – Los dispositivos que están equipados con celdas de carga pueden ser calibrados midiendo la señal de salida de la celda de carga bajo condiciones conocidas de carga estática, tales como el peso propio del mismo dispositivo. Las celdas de carga se deben calibrar por lo menos una vez al año, siguiendo las recomendaciones del fabricante o usando el procedimiento SHRP descrito en el Apéndice A del reporte SHRP P-661. Para la calibración de un dispositivo de aplicación de carga dinámica que no tenga celdas de carga se requiere de equipo especial que, generalmente, sólo posee el fabricante. El error potencial debido a variaciones en las cargas aplicadas para este dispositivo es nominal; probarlo después de haber salido de fábrica puede ser innecesario. La calibración para la carga aplicada se debe realizar indirectamente una vez al mes, inspeccionando la frecuencia de los volantes de contrarrotación con una luz estroboscópica.
- 6.2.4 Dispositivos de carga de impacto** – La calibración de la celda de carga de referencia se debe llevar a cabo por lo menos una vez al año. El Apéndice A del reporte SHRP P-661 contiene un resumen, a manera de ejemplo, para dichos trabajos.

**6.3 Sensores de deflexión:**

- 6.3.1 Generalidades** – El procedimiento para calibrar los sensores de deflexión depende del tipo de aparato que se emplee. La calibración de los sensores de deflexión se debe verificar por lo menos una vez al mes durante el tiempo que esté siendo utilizado, excepto en el caso de dispositivos de carga no-continuos y semi-continuos (ver Tabla 797 - 2)
- 6.3.2 Dispositivos de carga estática no continuos y semi-continuos** – Los dispositivos de carga estática se deben calibrar diariamente con plantillas de calibración. Al ejecutar la calibración del sensor de deflexión, las deflexiones inducidas deberán ser similares en magnitud a las encontradas durante las pruebas normales.
- 6.3.3 Dispositivos de carga estacionaria** – Se debe hacer mensualmente una inspección rutinaria de la calibración de los sensores de deflexión. Si se notan diferencias significativas en algún sensor, éste se deberá devolver al fabricante para inspección o calibración bajo vibraciones oscilatorias de calibración normalizada. Los sensores de deflexión deberán ser calibrados anualmente.

- 6.3.4 Dispositivos de carga por impacto** – La revisión de la calibración del sensor de deflexión se debe hacer de acuerdo con el protocolo de SHRP (ver Apéndice A de reporte SHRP P-661 sobre dispositivos de carga por impacto). Cada cuatro meses se debe realizar una calibración de verificación, usando el protocolo de SHRP (ver apéndice A del reporte SHRP P661).
- 6.4 Sensores de temperatura** – La calibración de los sensores de la temperatura de pavimento se debe llevar a cabo usando termómetros calibrados de referencia y dos superficies de referencia tales como superficie “fría” y “caliente”. La calibración del sensor de temperatura del aire (si lo hay) se debe realizar usando dos temperaturas de referencia; por ejemplo, agua helada agitada ( $0^{\circ}\text{ C}$ ) y agua hirviendo ( $100^{\circ}\text{ C}$ ). La calibración de los sensores de temperatura se debe efectuar, por lo menos, una vez al año.

Tabla 797 - 2. Frecuencia de calibración de sensores de deflexión

TIPO DE DISPOSITIVO	FRECUENCIA DE CALIBRACIÓN	FRECUENCIA MÍNIMA DE VERIFICACIÓN DE LA CALIBRACIÓN
Tipos de carga estática no continua y semi-continua	Diariamente durante la operación	Diariamente durante la operación
Tipos de carga de estado constante	Por lo menos una vez al año	Una vez al mes durante la operación
Tipos de carga por impacto (FWD)	Calibración de referencia por lo menos una vez al año usando el procedimiento del reporte SHRP P-661	Calibración de verificación una vez al mes durante la operación, usando el procedimiento del reporte SHRP P-661

## 7 RECOLECCIÓN DE DATOS EN EL TERRENO Y PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- 7.1 Generalidades** – El procedimiento que se debe seguir es, hasta cierto punto, dependiente del tipo de dispositivo que se use. La siguiente información general es sugerida para reunir el mínimo de datos requeridos, independientemente del tipo de dispositivo que se use.

- 7.1.1** *Carga* – Para dispositivos de carga por impulso, se registra la máxima carga aplicada a la superficie del pavimento por el dispositivo de deflexión. Para dispositivos de carga estacionaria se debe registrar la carga calculada entre picos. Para dispositivos de carga estática, se registra la carga por eje del vehículo de prueba.
- 7.1.2** *Frecuencia de la carga* – Si es aplicable, se registra la frecuencia de la carga oscilatoria calculada para dispositivos de carga vibratoria.
- 7.1.3** *Geometría del área cargada y posiciones de los sensores de deflexión* – Para una modelación apropiada de la estructura del pavimento y/o retrocalcular parámetros de capas, etc., es necesario que las ubicaciones de la carga, de los sensores de deflexión, de las grietas en la superficie y de las juntas en los pavimentos de concreto sean conocidas y registradas. Se registran la ubicación de las grietas y juntas entre la carga y cada sensor dentro de los 2 m (6.5 pies) desde el centro de la carga hacia los sensores. Se registran la ubicación y la orientación de todos los sensores, con mediciones radiales desde el centro de la carga hacia afuera; por ejemplo, “a 300 mm (11.8”) adelante de la carga aplicada”. De acuerdo con el método seleccionado para evaluar la eficiencia de las juntas o la transferencia de carga, la (s) carga (s) y sensor (es) de deflexión deben quedar correctamente colocados; por ejemplo, con uno o más sensores a cada lado de la junta y la carga colocada lo más cerca posible del lado que queda hacia adelante (en el sentido del flujo del tránsito) de la junta en cuestión. Una omisión en detectar o notar la presencia de juntas y grietas dentro de la zona de influencia de la carga se podría traducir en errores en el análisis subsecuente de los registros de las deflexiones. Igualmente, una omisión en anotar correctamente la posición real de los sensores de deflexión podrá producir graves errores en el análisis.
- 7.1.4** *Hora de la prueba* – Se deben registrar la fecha y la hora en que fueron obtenidas las medidas de deflexión.
- 7.1.5** *Abscisa o referencia del sitio de prueba* – Se debe registrar la abscisa o el punto de referencia que se esté utilizando para ubicar cada punto de prueba de deflexión.
- 7.1.6** *Temperaturas del aire y del pavimento* – Como mínimo, se deben registrar la temperatura ambiental y de la superficie del pavimento a intervalos especificados, según recomendación del ingeniero. Se pueden requerir temperaturas adicionales para métodos específicos de

análisis y procesamiento de los registros. Por ejemplo, las temperaturas de las capas del pavimento se pueden determinar haciendo orificios a una o más profundidades en la capa y llenándolos con agua, glicerina, o algún producto de base aceitosa y registrando la temperatura del fluido al fondo de cada orificio. Si la prueba se lleva a cabo durante un largo periodo de tiempo, se deben tomar las temperaturas del fluido cada hora, con el fin de establecer una correlación directa entre las medidas de las temperaturas del aire, de la superficie del pavimento y/o la profundidad de las medidas de temperatura. Si esto no es posible, existen también algunos procedimientos para calcular la temperatura del pavimento en función de la profundidad, usando las temperaturas del aire alta y baja de las 24 horas del día previo y la temperatura actual de la superficie del pavimento.

- 7.2 Sítios de prueba** – Se registran los lugares de prueba al comienzo de la secuencia de ensayo. La frecuencia de la prueba de campo depende del nivel de ensayo seleccionado, tal como se discute en la Sección 8 de esta norma.
- 7.3 Método de ensayo** – Dependiendo del tipo de equipo usado, se pueden emplear diferentes métodos de ensayo. Los dispositivos de carga estacionaria capaces de trabajar con cargas y frecuencias variables, se pueden usar para realizar pruebas múltiples a diferentes frecuencias en los mismos sitios de ensayo bajo la misma carga (“barrido de frecuencia”). Por lo general, los dispositivos de carga por impacto son capaces de aplicar varias cargas; algunos dispositivos pueden controlar la forma y la duración del pulso de la carga. Se pueden llevar a cabo medidas de la eficiencia de las juntas en pavimentos rígidos con juntas, empleando dispositivos equipados con sensores múltiples de deflexión colocando la carga a un lado de la junta y ubicando uno o más sensores a cada lado de ella.
- 7.4 Procedimiento para las medidas de deflexión:**
- 7.4.1 General** – Los procedimientos para hacer pruebas específicas de deflexión deben ser los que recomienda el fabricante del dispositivo, complementados para reflejar los parámetros generales descritos en esta norma. Se deberán ejecutar los siguientes pasos, independientemente del dispositivo que se use.
- 7.4.1.1** Se calibran los sensores de deflexión y la celda de carga (si aplica) del dispositivo, siguiendo el procedimiento descrito en la Sección 6.

- 7.4.1.2** Se transporta el dispositivo al sitio de prueba y se coloca sobre el punto deseado para el ensayo.
- 7.4.1.3** Se miden la temperatura ambiente y las temperaturas del pavimento de acuerdo con lo especificado en el numeral 7.1.6.
- 7.4.1.4** Se anota la siguiente información para cada pavimento ensayado: localización del proyecto, nombre del operador, la fecha y la hora, los factores de calibración, la referencia de las estaciones inicial y final o su ubicación física, como, por ejemplo, “cruce de carreteras A y B”, los sitios de relleno o de corte, la ubicación de las alcantarillas, puentes y otras características de control vertical, los límites y la extensión de los deterioros de la superficie, las condiciones climáticas y una descripción del tipo de pavimento.
- 7.4.1.5** El lugar de la prueba deberá estar libre de piedras y escombros, para asegurar que la placa de carga, si aplica, quede asentada correctamente. Las superficies de grava o suelo deben presentar la mayor lisura que sea posible y todo material suelto se debe evitar o retirar.
- 7.4.2** *Dispositivo de carga estática no continua (por ejemplo, viga Benkelman):*
- 7.4.2.1** Se coloca la viga de manera que el extremo de prueba quede entre las ruedas del eje posterior del camión y perpendicular al eje trasero.
- 7.4.2.2** Se ajusta el dial de medición para que quede en 0.000 mm (0.000") ( $D_0$ ).
- 7.4.2.3** Se aleja el vehículo de prueba por lo menos 5 m hacia adelante a una velocidad mínima y después de que la aguja del dial se haya estabilizado, se registra la lectura final ( $D_f$ ) con una aproximación de 0.025 mm (0.001") o mejor.
- 7.4.2.4** Se calcula la deflexión de la superficie del pavimento, deflexión  $= (D_f - D_0) \times \text{constante de la viga}$ .
- 7.4.2.5** Se repite este proceso en los intervalos de medida especificados en la Sección 8. Normalmente se toman medidas bajo las dos huellas de las llantas usando dos

dispositivos. Sin embargo, si se usa un solo instrumento, la prueba puede ser alternada entre las huellas de las llantas obteniéndose dos o más medidas en la huella de la llanta exterior por cada medida en la llanta interior a través de toda la sección de prueba.

- 7.4.2.6** Se reporta la deflexión promedio para cada huella de una llanta.

**7.4.3** *Dispositivo de carga estática semi–continua:*

- 7.4.3.1** Se obtienen medidas de deflexión de la superficie del pavimento de ambas huellas de las llantas como se especifica en la Sección 8, haciendo un registro continuo.

- 7.4.3.2** Se leen las medidas de deflexión en las huellas, con una aproximación de 0.025 mm (0.001") o mejor y se tabulan usando los datos de las hojas de datos de deflexión junto con cualquier nota adicional que los acompañe.

- 7.4.3.3** Se calculan y anotan las deflexiones promedio bajo ambas huellas de las ruedas.

**7.4.4** *Dispositivo de carga estacionaria:*

- 7.4.4.1** Se registra la información que identifica la configuración exacta del dispositivo de deflexión en el momento del ensayo. Usualmente, los datos de la configuración del dispositivo incluyen el número, el espaciamiento y la orientación de los sensores de deflexión.

- 7.4.4.2** Se coloca el dispositivo de manera que el centro de la carga quede en el lugar seleccionado para el ensayo y la barra sensora esté paralela a la dirección de viaje (o a través de la junta, para el caso de juntas longitudinales u oblicuas).

- 7.4.4.3** Se baja la barra sensora para posicionar los sensores y la placa (o placas) de carga o las ruedas de carga. Se inicia la generación de fuerza hasta alcanzar la estabilidad a la frecuencia y a la magnitud de carga seleccionadas.

- 7.4.4.4** Se leen y registran las deflexiones medidas por cada uno de los sensores, ya sea manualmente en hojas de datos o directamente si el registro de datos es automático.

**7.4.5 Dispositivo de carga por impacto:**

- 7.4.5.1** Se prepara el software para la anotación de datos.
- 7.4.5.2** Se introduce la información que identifica la configuración exacta del dispositivo de deflexión al momento de la prueba. Los datos de la configuración del dispositivo están guardados en el archivo de salida de datos y son un dato de entrada directo para el análisis de datos. Esta información incluye, generalmente, el tamaño de la placa de carga, el número, el espaciamiento y la orientación de los sensores de deflexión con respecto a la placa de carga.
- 7.4.5.3** Se selecciona el formato apropiado para el archivo de datos. Existen varios formatos disponibles, tales como: unidades inglesas, unidades SI, y otras opciones.
- 7.4.5.4** Se baja la placa de carga y los sensores para asegurarse que estén descansando sobre una superficie firme y estable.
- 7.4.5.5** Se sube el generador de esfuerzo hasta alcanzar la altura deseada y se deja caer la “masa” libremente. Se ejecuta, por lo menos, una caída de asentamiento y una o más caídas de prueba para cualquier nivel de carga. Se anotan las deflexiones máximas de superficie y la carga pico (excluyéndolas caídas de asentamiento), o se anota la respuesta a la carga total y el historial tiempo-deflexión, como lo recomiende el ingeniero.
- 7.4.5.6** Cuando se desee determinar la no linealidad de los materiales del pavimento, se deben realizar pruebas con niveles múltiples de carga. El analista puede usar el promedio del cuenco, si el error aleatorio no es de importancia.

**8 UBICACIÓN Y FRECUENCIA DE MUESTREO**

- 8.1** La ubicación de las pruebas variará según el propósito para el cual se obtengan los datos. Por lo general, el método que se utiliza comúnmente es el de realizar la prueba principalmente en las huellas de las llantas, puesto que la reacción del pavimento en estos lugares refleja el efecto del daño que se ha estado acumulando. Se pueden efectuar pruebas de deflexión entre las huellas

de circulación en pavimentos flexibles, para comparar con los resultados bajo las huellas de las llantas, de manera de conocer el daño relativo.

- 8.2** *Ensayos a nivel de red* – Este nivel de prueba proporciona una perspectiva general de la capacidad de resistencia del pavimento con un número limitado de ensayos. Las pruebas de deflexión se ejecutan generalmente a intervalos de 200 a 500 m (656 a 1640 pies), dependiendo de las condiciones específicas del pavimento. Se recomienda un mínimo de siete pruebas por sección de pavimento uniforme para asegurar una muestra estadísticamente significativa. Como mínimo, la carga para los pavimentos de concreto asfáltico (AC) y los de concreto con refuerzo continuo (CRPC) debe ser posicionada a lo largo del trayecto de la llanta externa o, alternativamente, a lo largo de la línea central de las losas del CRCP. Para pavimentos de concreto con juntas, la carga se debe colocar primero en el centro geométrico de la losa. Para los ensayos a nivel de red, por lo menos el 10% de las losas cubiertas deberán ser probadas también en sus juntas para conocer la deflexión o la eficiencia en la transferencia de carga.
- 8.3** *Ensayos a nivel de proyecto general* – Este nivel de prueba proporciona un análisis más detallado del pavimento, por ejemplo: para el diseño de un refuerzo o una rehabilitación. Las pruebas se deberán hacer a intervalos de 50 a 200 m (164 a 656 pies), dependiendo de las condiciones específicas del pavimento, con un mínimo recomendado de 15 ensayos por cada sección de pavimento uniforme. Como mínimo, la carga para pavimentos de concreto asfáltico o rígidos con refuerzo continuo, se coloca generalmente a lo largo de la trayectoria de la llanta externa o, alternativamente, a lo largo de la línea central de las losas del pavimento con refuerzo continuo. Para pavimentos de concreto simple con juntas, la carga se debe posicionar primero en o cerca del centro geométrico de la losa y luego se debe mover a la junta más cercana y posicionarla a lo largo de la misma línea, generalmente en el lado de salida de la junta. En calles y carreteras, las pruebas en las juntas se hacen generalmente a lo largo de la trayectoria de la llanta externa. Para ensayos a nivel de proyecto general, usualmente no se cubren todas las juntas asociadas con cada losa interior ensayada; sin embargo, se recomienda una tasa mínima de cobertura de juntas del 25%. En pavimentos de concreto simple de aeropuertos se deben tomar medidas de eficiencia de las juntas tanto en las juntas transversales como en las longitudinales.
- 8.4** *Ensayos a nivel de proyecto detallado* – Este nivel de prueba proporciona un análisis altamente detallado y específico del pavimento para propósitos tales como la identificación de áreas de alta deflexión o para detectar vacíos sub-superficiales en pavimentos de concreto, etc. Para pavimentos de concreto

asfáltico (AC) o de concreto con refuerzo continuo, las pruebas se hacen, generalmente, a intervalos de 10 y 50 m (32.8 a 164 pies), según recomienda el ingeniero. En calles y carreteras, la prueba se hace a menudo en ambas huellas de las llantas. Para pavimentos de concreto simple, la carga se deberá posicionar primero en o cerca del centro geométrico de cada losa a lo largo de la longitud de la sección de ensayo y luego moverse a la junta o grieta más cercana a cada losa, ya sea a lo largo de las huellas de la llanta externa o a la esquina de la losa o ambas. En pavimentos de concreto simple de aeropuertos se deben tomar medidas de eficiencia de las juntas tanto en las juntas transversales como en las longitudinales.

## 9 OTROS DATOS NECESARIOS PREVIOS AL ANÁLISIS DE DEFLEXIONES

- 9.1** Los siguientes datos del sistema de pavimentos pueden ser necesarios para facilitar el análisis de las deflexiones bajo carga: (1) Tipos de materiales y espesores de las diferentes capas del pavimento; (2) profundidad hasta el lecho rocoso o capa rígida; y (3) identificación del proyecto, nombre de la vía y sector.

## 10 INFORME DE LAS PRUEBAS DE DEFLEXIÓN

- 10.1** Los reportes de campo para cada prueba de deflexión (electrónico e impreso) deben contener, por lo menos, la siguiente información:

**10.1.1** Propósito de las pruebas de deflexión.

**10.1.2** Fecha y hora de las pruebas.

**10.1.3** Identificación del operador.

**10.1.4** Información del vehículo.

**10.1.5** Condiciones climáticas.

**10.1.6** Temperaturas del aire y del pavimento.

**10.1.7** *Información de la sección* – Usualmente incluye lo siguiente: (1) identificación y localización de la vía sobre la que se realizó el trabajo; (2) tipo de pavimento ensayado; (3) dirección del recorrido, y (4) carril ensayado.

## 10.2 Datos de carga y de deflexión.

**10.2.1** Tipo de dispositivo utilizado para la medida de la deflexión.

**10.2.2** Tipo de prueba de deflexión (por ejemplo, el cuenco de deflexión o la transferencia de carga).

**10.2.3** Posición de los sensores.

**10.2.4** Carga aplicada y frecuencia de carga.

**10.2.5** Deflexiones medidas bajo la carga.

## 11 SOFTWARE PARA ADQUISICIÓN DE DATOS

---

**11.1** Algunos dispositivos para la medida de deflexiones usan sus propios programas para adquirir los datos de carga y de deflexión. Tradicionalmente, las bases de datos de deflexión de la superficie del pavimento han sido estructuradas usando formatos ASCII que son muy dependientes del dispositivo. Aunque el formato ASCII permite a los usuarios un fácil acceso a las bases de datos, se necesita un programa separado para acceder a los archivos de salida de cada tipo de dispositivo de ensayo. Para mitigar este problema, la AASHTO ha desarrollado un formato universal que especifica un intercambio de datos (PDDX) de deflexión superficial del pavimento. Una descripción de esta especificación se encuentra en el reporte AASHTO denominado *Pavement Deflection Data Exchange: Technical Data Guide*, Version 1.0 April 1998.

## 12 SOFTWARE PARA PROCESO DE DATOS (PARA REFERENCIA)

---

**12.1** Se han desarrollado varios programas de software que hacen retrocálculos para el procesamiento y el análisis de los datos de deflexión. La norma ASTM D 5858 proporciona una discusión sobre algunas de las principales diferencias entre los programas de retrocálculo de mayor utilización. Si se emplean técnicas de retrocálculo, se debe usar la última versión del programa para el retrocálculo de los módulos de las capas de pavimento.

## 13 PRECISIÓN Y SESGO

**13.1** Puesto que esta norma de ensayo comprende el uso de varios dispositivos de ensayos no destructivos sobre cualquier tipo de superficie de pavimento, su precisión y sesgo serán función tanto de las características del pavimento ensayado, como del dispositivo usado. Información sobre la confiabilidad, la exactitud y la repetibilidad de algunos dispositivos vibratorios y de impacto se puede hallar en el experimento adelantado en el Waterways Experiment Station (WES) en Vicksburg, Mississippi, sobre el cual se presenta información en el Sección 14.

## 14 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

AASHTO T 256 – 01 (2006)

Bentsen, Nazarian, and Harrison, “Reliability Testing of Seven Nondestructive Pavement Testing Devices.” Nondestructive Testing of Pavements and Backcalculation of Moduli, ASTM STP 1026, A.J. Bush, III and G.Y. Baladi, Eds, American Society of Testing and Materials, Philadelphia, 1989, pp. 41-58