



## **Procedimiento para medida de deflexiones en pavimentos mediante el deflectómetro de impacto (FWD)**

### **1. Propósito de este documento**

El propósito de este documento es establecer los procedimientos básicos para las medidas de deflexiones en los diversos tipos de pavimentos. En base a los requisitos de control de calidad establecidos y las normas internacionales, se proponen los siguientes criterios y procedimientos para los ensayos mediante el deflectómetro de impacto.

### **2. Generalidades**

El ensayo consiste en medir el desplazamiento vertical de varios puntos de la superficie de un pavimento bajo el centro de una placa circular rígida, sometida a un pulso de carga dinámica de magnitud predefinida, de forma de determinar el cuenco de deformaciones para un eje longitudinal al pavimento. Los ensayos se realizarán siguiendo las recomendaciones de la normas americanas ASTM D4695 de 2003, ASTM D4694 de 1996 y ASTM D5858 de 1996.

### **3. Descripción del dispositivo y consideraciones generales**

#### 3.1 Dispositivo de ensayo

##### *Placa de carga*

Placa de 300mm de diámetro.

##### *Dispositivo de carga*

Sistema hidráulico que elevará un conjunto de pesas, que cayendo en caída libre sobre un sistema amortiguador de buffers de goma transmiten la carga a la placa.

##### *Dispositivo para medición de cargas*

El equipo deberá disponer de una celda de carga, la cual medirá la carga aplicada a la placa, con una apreciación de 0,1 kN. La variación de la carga entre golpes consecutivos no deberá superar el 3%.

##### *Dispositivo para medida de deflexiones*

El equipo cuenta con 9 geófonos separados a distancias predefinidas, los mismos tienen una apreciación de 1 micra.

Medirán la aceleración de cada punto de la superficie durante la duración del impacto y determinarán la deflexión máxima en cada punto.



Laboratorio de Control de Calidad de Fundaciones  
Instituto de Estructuras y Transporte  
Tel.: 2711 0524 - 2711 2643  
lccfiet@fing.edu.uy  
Facultad de Ingeniería- Universidad de la República



### *Dispositivo para medidas de temperatura*

Se medirá la temperatura ambiente en cada punto, mediante un sensor que deberá estar aislado de las influencias de temperatura por acción directa del sol. A su vez se deberá medir la temperatura superficial del pavimento en cada punto.

### *Dispositivo de medición de distancia*

El equipo deberá contar con un odómetro que medirá la distancia que recorre el equipo durante las mediciones.

## 3.2 Consideraciones generales

### *Control del dispositivo*

El equipo puede accionarse tanto mediante medios informáticos como manuales, en caso de surgir inconvenientes permitiendo mover el equipo de forma inmediata.

### *Medidas de seguridad*

El equipo deberá constar con señalización clara y visible, debiendo de tener señales luminosas encendidas siempre que se estén ejecutando mediciones. En lo posible y si la situación lo amerita se deberá contar con un vehículo escolta de apoyo para mejorar la señalización. No deberán realizarse mediciones en horarios nocturnos o cuando la visibilidad se vea reducida por razones climáticas.

### *Magnitud de las cargas y secuencia*

Deberá de definirse previamente con que carga o cargas se realizarán las mediciones de deflexiones, dependiendo las mismas del tipo de estructura a evaluar. La carga deberá ser tal que no sea muy pequeña, para que desplace todo el paquete estructural, ni tan grande como para salir del período elástico de alguna de los materiales.

Se deberá definir una secuencia tal que siempre se realice un primer golpe, para acomodamiento de los sensores y placa en la superficie, ya que puede haber presencia de materiales sueltos en el pavimento. Este primer golpe puede registrarse o no pero no deben considerarse sus valores para realizar cálculos. A partir de este instante se asume que este primer golpe se realiza en todos los puntos, por lo que cuando se mencione un primer golpe ya se refiere al segundo de la secuencia, donde se registran sus datos.

Se deberá definir una secuencia que registre más de un golpe para la carga ya definida, que se realizará aproximadamente cada una hora de trabajo en un punto al azar para verificar que los datos obtenidos con cada uno de los golpes son similares y cerciorarse de que la carga aplicada al material no sea excesiva.



Laboratorio de Control de Calidad de Fundaciones  
Instituto de Estructuras y Transporte  
Tel.: 2711 0524 - 2711 2643  
lccfiet@fing.edu.uy  
Facultad de Ingeniería- Universidad de la República



### *Espaciado de mediciones*

El espaciado de las mediciones a realizar deberá de definirse previamente con el cliente, recomendándose utilizar los valores referidos en las normativas mencionadas, de acuerdo al nivel de estudio requerido. Teniendo espaciados para mediciones a nivel de red o distintos niveles de proyecto, disminuyendo el mismo a medida que se requiera mayor nivel de precisión en los cálculos.

### *Medición de temperatura en mezclas asfálticas*

Para estimar la temperatura en mezclas asfálticas se deberá de realizar mediciones en la mitad del espesor de la capa superficial realizando una perforación. Estas mediciones deberán de realizarse al menos una vez por hora de trabajo, y al inicio y fin de cada tramo de medición.

### *Recolección de datos*

Las medidas de deflexiones en cada punto deberán estar claramente identificadas con la progresiva de referencia, y presentar los datos de temperatura ambiente y del pavimento en cada punto. En caso de disponer de medidas de coordenadas de GPS, las mismas deberán registrarse también en cada punto de medida. La recolección de datos se realizará mediante el software adquirido con el equipo FVO.

### *Respaldo fotográfico*

En caso de contar con cámaras fotográficas se deberán tomar fotografías del pavimento en cada punto donde se noten defectos en la superficie o cambios que puedan ser relevantes a la hora de realizar un post-proceso. Las fotografías se deberán poder asociar fácilmente con una progresiva del pavimento en cuestión.

## **4. Procedimiento de medición**

### **4.1 Chequeo general**

Como medida rutinaria previo a cada salida se deberán chequear los siguientes ítems:

#### *Niveles de aceite*

Deberá de chequearse el nivel de aceite del motor de combustión, el mismo debe de cambiarse una vez por año.

También debe chequearse el nivel de aceite hidráulico y el filtro del mismo.



### *Inspección visual*

Se deberá verificar que todos los cables estén en correcta posición y no tengan riesgo de ser arrastrados o puedan engancharse debido al movimiento de los distintos componentes del equipo. A su vez deberá chequearse que no hayan piezas sueltas o flojas y estén todos los resortes correspondientes.

### *Unión con el vehículo*

Se debe enganchar el trailer mediante el enganche de perno correspondiente y también deben engancharse adecuadamente las dos cadenas de seguridad y la linga roja que activará el freno del trailer en caso de que el mismo se desprenda del vehículo.

Luego de conectar correctamente todo se debe de elevar la rueda de apoyo del trailer asegurando que la misma no pueda soltarse.

### *Luces*

Al conectar las luces al vehículo se deberá chequear que funcionen correctamente todas (Posición, freno y direccionales).

## 4.2 Antes de la salida de campo

### *Conexiones del equipo*

El equipo se conecta a una computadora que deberá tener el software correspondiente instalado y configurado. La conexión se realiza por medio de un **cable de red**. Se debe conectar el **visor de distancias** a la computadora (conexión USB) y colocar el mismo en un lugar que pueda ser fácilmente visible por el conductor del vehículo.

Se debe conectar el control manual (CPIC) (Foto 1) que deberá estar situado dentro de la camioneta y bajo control del operario al mando de la computadora. El mismo se conecta mediante la conexión dentro de la caja estanco ubicada en el trailer. Se deberá colocar precintos en el cable de forma de que no tenga riesgo de ser arrastrado.

### *Arranque del motor*

El motor puede encender tanto electrónicamente como de forma manual, en caso de que el primero falle. Antes de dar arranque al motor debe asegurarse de que el **Main Power esté apagado**, tanto en el control ubicado en el vehículo como en el panel central del trailer (CP1). El mismo cuenta con toma de aire, que se deberá activar junto con el encendido del motor y luego desactivarla unos segundos después.

### *Secuencia manual de chequeo*

Luego de encender el motor, se puede encender el **Main Power**, y se procede a realizar una secuencia de golpes de forma manual (controlado desde el control que está en el trailer (CP2)



(Foto 2). Para ello se debe cambiar la llave **Control Power** ubicada en el CP1 a la posición de **Trailer**.

Luego de ello puede manejarse el equipo desde el CP2 y se realizarán un par de golpes con diferentes alturas, siempre mirando el equipo en cada etapa de la secuencia para chequear que no haya elementos sueltos o en posiciones donde no deberían estar.

#### 4.3 En campo

##### *Presión de neumáticos*

Previo a cada medición y antes de realizar la calibración del odómetro, indicada en el punto 6, se deberá chequear la presión de los neumáticos, que deberá ser de 50 psi. La presión debe ser controlada siempre luego de que los neumáticos estén en caliente.

##### *Comienzo de las mediciones*

Luego de encender el motor de combustión de acuerdo a las indicaciones previas, se colocará la ficha **Control Power** en la posición **Computer**. En el control manual CPC1 se deberá encender el **Main Power, Warning Light y Safety Break**. Los mismos deberán estar encendidos hasta que se termine la jornada.

La computadora deberá tener conectado el cable de red y el visor USB. Luego se inicia el software FVO, controlando que en la pantalla inicial de chequeo esté todo correcto.

Se procederá a definir un **Test Mode**, donde se indica el espaciamiento entre puntos de medición, las secuencias de medición y si se desea guardar las coordenadas GPS en cada punto.

Luego ingresando al menú **DMI** se deberá definir la progresiva inicial e indicar si la misma va a decrecer o a crecer.

Para realizar las mediciones se necesitarán al menos dos operarios capacitados, preferentemente tres.

##### *Mediciones en conjunto con GPR*

En caso de que se estén realizando mediciones en paralelo con el Georradar, en el archivo de FWD generado deberá indicarse como comentario el **cada vez que inicia o finaliza un archivo** del mismo, para poder coordinar luego las progresivas de ambas mediciones.

##### *Medidas de seguridad*

Se deberá tener especial cuidado con el tránsito, evitando parar en puntos muy pegados a bajadas. Los operarios deberán tener experiencia en el manejo del equipo y deberán utilizar chalecos reflectivos durante las mediciones. El conductor del vehículo deberá prestar atención e intentar no desplazar el trailer hasta que el mismo no este en posición de transporte, lo que es indicado por el visor y en caso de haber errores lo confirmará el operario de la computadora. Salvo en excepciones el conductor no deberá bajarse del vehículo en ningún momento, a no ser que se ubique el mismo en la banquina y no esté obstruyendo el tránsito.

##### *Control de mediciones*



Laboratorio de Control de Calidad de Fundaciones  
Instituto de Estructuras y Transporte  
Tel.: 2711 0524 - 2711 2643  
lccfiet@fing.edu.uy  
Facultad de Ingeniería- Universidad de la República



El operario a cargo de la computadora deberá controlar que los datos obtenidos sean coherentes con el pavimento que se está evaluando y que la forma del cuenco de deflexiones no presente incoherencias, ya que de esa forma pueden detectarse errores que el software no indica (como que se enganche un cable y uno de los sensores no llegue a hacer contacto con la superficie). El operario de la computadora o el tercer operario será el encargado de realizar las mediciones de temperatura cada una hora y cada vez que inicie o finalice un tramo de medición.

## 5. Procesamiento de datos

El procesamiento de datos será realizado por personal capacitado en el tema y controlado por el ingeniero responsable. Se deberá tener en cuenta toda la información disponible acerca del pavimento en cuestión.

### *Software*

El procesamiento de datos se realizará mediante el software **PVD** suministrado por el proveedor del equipo, con ayuda de planillas de cálculo. Siempre se dejará copia de los archivos originales. Como primer paso se ingresarán los datos al software mencionado, normalizando las deflexiones de acuerdo a la carga que exige el cliente.

Luego de ello se procederá a pasar las deflexiones normalizadas a una planilla de cálculo y realizar un análisis estadístico, donde se descartarán los valores que estén fuera del rango de la media +/- dos desviaciones estándar, asegurando que los datos de un mismo tipo de pavimento se comportan de acuerdo a una distribución gaussiana, pudiendo así definir valores característicos. Se realizará un análisis con las propiedades del cuenco de deflexiones mediante la planilla de cálculo y podrán hacerse retro-cálculos en caso de que el cliente lo requiera y se disponga de información necesaria para que el mismo sea lo más preciso posible.

## 6. Calibración

### *Odómetro*

Antes de cada medición deberá de ajustarse la calibración del odómetro. Para la calibración del mismo se considerará una distancia de al menos 200 metros y deberá realizarse una vez que el equipo haya recorrido una distancia considerable y las cubiertas ya hayan sufrido deformaciones debido a la temperatura.

### *Celda de carga*

La misma deberá calibrarse cada dos años de acuerdo a las metodologías indicadas en la normativa AASHTO-R32-03.

### *Termómetros*

Deberán calibrarse de acuerdo a metodologías aprobadas por el fabricante del equipo y se realizarán cada dos años.



Acelerómetros

Laboratorio de Control de Calidad de Fundaciones  
Instituto de Estructuras y Transporte  
Tel.: 2711 0524 - 2711 2643  
lccfiet@fing.edu.uy  
Facultad de Ingeniería- Universidad de la República



Deberán calibrarse cada dos años de acuerdo a las metodologías indicadas en la normativa AASHTO-R32-03.

**PROYECTO**  
**ANII**

Este Procedimiento se produjo en el marco de la Beca ANII INI\_X\_2013\_1\_101036.

### Anexo. Fotos



Foto 1



Foto 2