

ENSAYO DE PLACA DE CARGA DINÁMICA DE 300 MM DE DIÁMETRO

Carlos Fernández Tadeo

Ingeniero de Caminos

Publicado en el Boletín de la Asociación de Laboratorios Acreditados de la Comunidad de Madrid (ALACAM), Diciembre 2006

Introducción

Los ensayos de placa de carga se utilizan con profusión para comprobar el módulo de deformación de capas de terraplenes y de firmes. El módulo de deformación es un parámetro cada vez más importante en el proyecto de firmes, como se puede comprobar en la más reciente versión de la norma 6.1-IC “Secciones de Firme” (2003) de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. El método habitualmente utilizado es el estático, con carga aplicada sobre una placa circular mediante un gato hidráulico, utilizando un camión cargado o una máquina pesada como reacción para el gato. La sistemática de actuación es compleja, delicada y larga, ya que requiere el montaje de un puente de referencia para la medida del asentamiento de la placa, la instalación de varios comparadores o lectores de los movimientos de la placa, la aplicación de varios escalones de carga y descarga con tiempos de espera en cada uno de ellos para la estabilización de asentamientos, con las consiguientes lecturas de todos los instrumentos (manómetro del gato, comparadores) y su introducción en impresos de datos generalmente de forma manual.

Todo ello lleva a que sea un ensayo lento y caro. Además, la presentación de resultados no suele ser inmediata, ya que los responsables de los laboratorios prefieren analizar cuidadosamente los datos de campo en oficina, y solo después realizar los cálculos algo prolijos que especifican las normas española (NLT-357) o alemana (DIN 18134) para obtener el módulo de deformación del suelo o capa granular en el punto ensayado.

Como consecuencia, se trata de un ensayo que no se realiza con la frecuencia y extensión que se debería esperar para la importancia que tiene el parámetro del módulo de deformación del suelo. Hasta hace unos años, la única alternativa al ensayo convencional de placa de carga estática eran los pesados y sofisticados deflectómetros y deflectógrafos, que son capaces de tomar un gran volumen de datos y analizar de manera automatizada la información obtenida. Sin embargo, requieren de grandes campañas de auscultación para resultar económicamente atractivos, y su alto coste no les hace asequibles para la gran mayoría de laboratorios comerciales, que no están en el mercado de los grandes contratos de auscultación de carreteras.

Para responder a la necesidad de disponer de equipos sencillos, económicos y de alta producción para determinar el módulo de deformación de las capas compactadas de suelo y granulares, nacieron hace 20 años en Centro Europa los equipos ligeros de impacto que realizan ensayos de placa de carga dinámica de 300 mm de diámetro, utilizando una maza de accionamiento manual como elemento de carga, y un dispositivo electrónico de medida de los movimientos de la placa. En la actualidad estos equipos están ya disponibles en España, habiendo tenido una gran acogida entre administraciones, laboratorios y contratistas, y estando ya muy avanzada la elaboración de una norma UNE sobre este método de ensayo.

Descripción del equipo de ensayo ligero de impacto

El equipo comprende:

- placa de carga
- medidor del asiento situado en el centro de la placa de carga en ángulo recto con la superficie receptora de la carga
- equipo de carga consistente en un peso suspendido, conjunto de muelles, y barra o tubo guía con un resorte de liberación

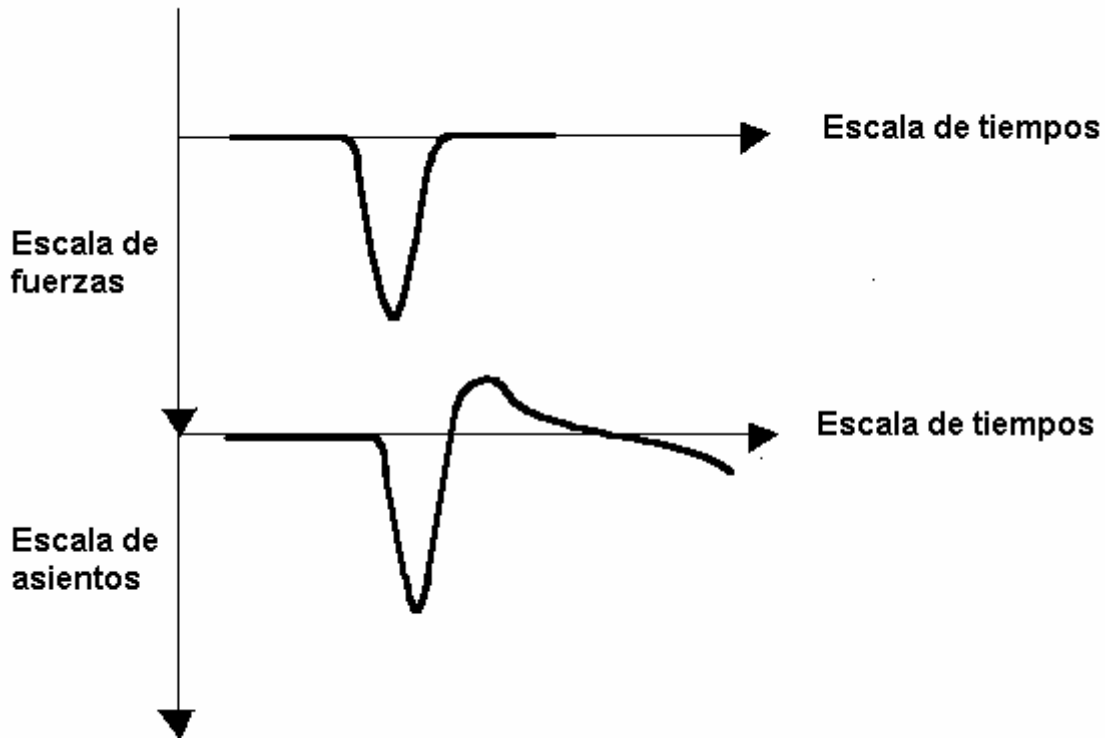


Figura 1: Secuencia temporal de la fuerza de impacto ejercida por el equipo de ensayo ligero de impacto y el asiento que genera.

Las características del mecanismo de carga son los siguientes:

- Masa de la maza = $10 \pm 0,1$ kg
- Masa total de la barra guía = $5 \pm 0,1$ kg (incluidos los componentes (5) a (8) de la Figura 2)
- Fuerza de impacto $F_s = 7,07 \pm 1\%$ kN
- Duración del impacto $t_s = 17$ ms $\pm 1,5$ ms

El conjunto de muelles y maza debe estar calibrado, de modo que el promedio de la desviación de la fuerza de impacto sobre el valor especificado no sea mayor de un 1% en el rango de temperaturas comprendido entre 0 °C y 40 °C. La calibración del equipo también debe comprobar que la duración del impacto está en el rango de valores especificado.

La maza es de acero de tipo S355JO, y la barra guía o tubo guía de acero cromado. La tiene una forma que permita cogerla con la mano fácilmente antes y después del impacto en la placa de carga. Además la fricción entre la maza y la barra guía es mínima.

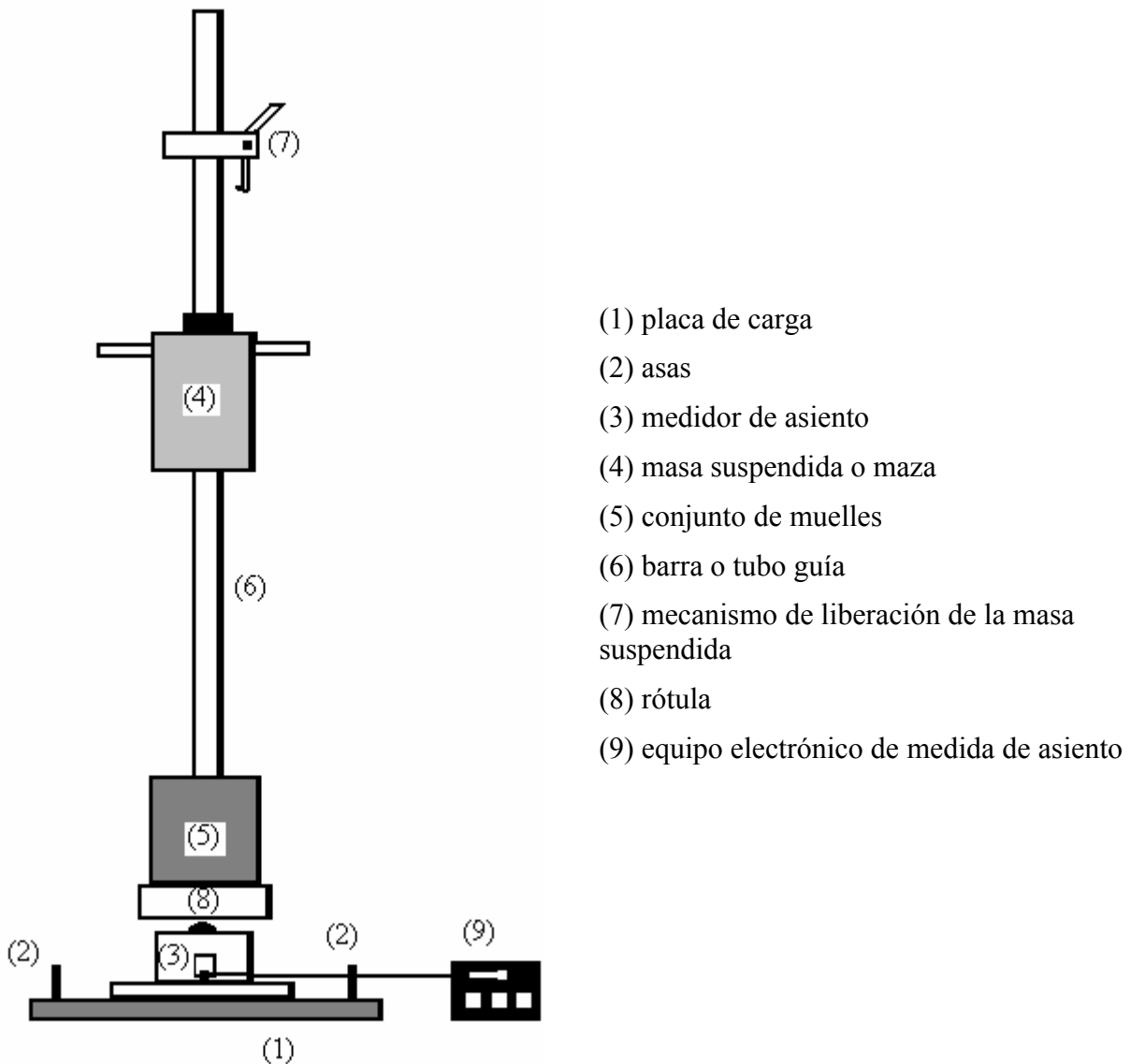


Figura 2. Esquema simplificado del equipo

El dispositivo para la medida de asiento comprende un sensor (acelerómetro) y un equipo electrónico de registro de datos y cálculo. El equipo electrónico utiliza la señal del sensor para determinar el asiento s de la placa al recibir el impacto de la maza. El equipo electrónico muestra y almacena el asiento máximo de cada impacto y el módulo de deformación dinámico E_{vd} calculado. Por otra parte, el equipo electrónico muestra y almacena la velocidad v bajo la carga del impacto. Tal equipo permite medidas de asiento comprendidas en el rango de 0,3 mm a 1,5 mm, en el rango de frecuencias desde 8 Hz hasta 100 Hz y para un rango de temperaturas del aire de 0°C a 40°C. Además el equipo electrónico de lectura permite la calibración del dispositivo.



Foto 1: Dispositivo preparado para el ensayo.

Campo de aplicación y procedimiento operativo

El ensayo dinámico de carga con placa puede ser utilizado en suelos de grano grueso y en suelos de grano mixto así como en suelos de grano fino firmes o duros. El porcentaje de granos en el suelo de más de 63 mm debe ser insignificante. Puede ser aplicado para determinar el módulo de deformación dinámico E_{vd} en el rango de 15 a 70 MN/m^2 .

Si el ensayo es realizado en arenas uniformes secas, en costras, o en suelos saturados cuyo nivel superior ha sido perturbado de algún otro modo, la zona alterada debe ser siempre retirada antes del inicio del ensayo. La densidad del suelo que se ensaya debe alterarse lo menos posible.

Los resultados del ensayo para suelos de grano fino (limos, arcillas) solo pueden ser obtenidos satisfactoriamente y evaluados cuando estos suelos son de consistencia dura.

La pendiente del área de ensayo no debe ser superior a 6%.

El área de ensayo debe ser preparada para que la placa de carga pueda ser colocada en una superficie lo más plana posible. Esta superficie se debe haber nivelado con las herramientas convenientes (regla o paleta de acero) o empujando y rotando la placa de carga. Las partículas sueltas de suelo deben ser retiradas. La cara inferior de la placa de carga debe estar completamente en contacto con el suelo. En caso de necesidad, se debe rellenar cualquier desigualdad con arena seca de grano medio. Sin embargo, el relleno no debe desbordar de los huecos de debajo de la placa de carga.

Una vez la superficie de ensayo ha sido preparada y la placa de carga ha sido posicionada en el

suelo, el dispositivo de carga se coloca centrado en la placa de carga, y el acelerómetro para leer la amplitud de asiento que se encuentre embutido en el centro de la placa de carga está listo para el ensayo. La barra de guía se debe sostener verticalmente, incluso cuando la superficie del suelo no esté perfectamente horizontal.

El ensayo debe ser precedido por tres impactos preliminares para que la placa de carga haga perfecto contacto con el suelo. La maza debe caer libremente desde la altura calibrada, y se captura y sujeta después de cada impacto.

Después de que el dispositivo electrónico de lectura de medidas haya sido encendido, la maza se suelta tres veces, y los asientos resultantes de los tres impactos son medidos con una precisión de $\pm 0,02$ mm. Se debe cuidar que la maza caiga exactamente desde la altura especificada y se capture después de cada impacto.

El módulo dinámico de deformación E_{vd} en MN/m^2 es calculado mediante la ecuación (1) en función de la máxima tensión normal $\sigma_{max} = 0,1 MN/m^2$ bajo la placa de carga, el diámetro de la placa $2 \times r = 300 mm$ y el valor medio s_{max} (mm) de los tres asientos medidos, de la siguiente forma:

$$E_{vd} = 1,5 \times r \times \frac{\sigma_{max}}{s_{max}} = 1,5 \times 0,15 m \times \frac{0,1 MN/m^2}{s_{max}} = \frac{22,5}{s_{max}} \quad (1)$$

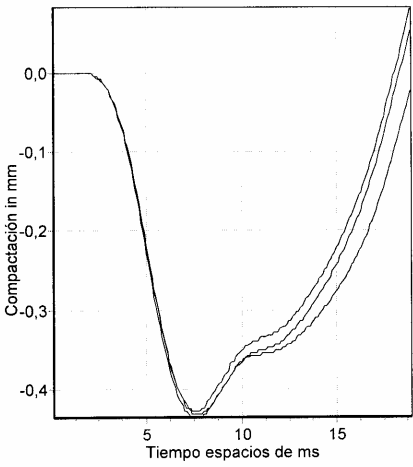
El módulo dinámico de deformación E_{vd} se expresa en MN/m^2 sin fracciones decimales (ej. 41 MN/m^2).

El resultado del ensayo no es válido si hay algún movimiento lateral de la placa de carga como consecuencia del impacto de la maza. Este podría ser el caso si la pendiente del suelo es demasiado grande.

Ventajas y aplicaciones

Podemos citar las siguientes ventajas del equipo ligero de impacto para realizar ensayos de placa dinámica de carga:

- Resultados inmediatos en obra tras cada ensayo, incluso impresión inmediata en impresora portatil.
- Bajo peso del equipo que permite un fácil accionamiento manual.
- Ahorro de tiempo en el ensayo, ya que en un minuto se puede realizar todo el ensayo y obtener los resultados.
- Permite ensayar en lugares de difícil acceso.
- No requiere camión para reacción de la carga del gato, imprescindible en el ensayo de placa de carga estática convencional.
- Software de tratamiento de datos ya preparado, que permite el traspaso de datos al ordenador de oficina y la edición automatizada de informes.

prueba kk k k k k	Nombre fichero: <i>prueba1.dat</i> Operador: <i>k</i> Temp./Cond. meteo.: Serie de mediciones: <i>1</i> Fecha/hora: <i>12.05.2004/10:26</i>
Ensayo dinámico de carga con placa según TP BF-StB apartado B 8.3	
Proyecto de obra: <i>k</i> Tipo de suelo: <i>k</i> Cama de apoyo: <i>k</i> Nivel: <i>k</i> Lugar de medición:	Device: HMP LFG-K N°. <i>2280</i>
Valores de medición Compact.: s(1)= 0,432 mm Velocidad: v(1)= 111,0 mm/s s(2)= 0,436 mm v(2)= 113,0 mm/s s(3)= 0,428 mm v(3)= 111,4 mm/s Val.medios: s(m)= 0,432 mm v(m)= 111,81 mm/s <u>Evd= 52,08 MN/m²</u> <u>s/v= 3,86 ms</u>	
Diagrama de tiempo de compactación 	
Comentarios: k k k	
k, elk	

Software LFGKURV 1.75 HMP Magdeburger Prüfgerätekau GmbH 2002

Figura 3. Informe personalizado

Entre las aplicaciones estandar están las siguientes:

- Control de capas de terraplenes

- Control de explanadas para pavimentos y carreteras
- Control de compactación de rellenos de zanjas para canalizaciones
- Control de calidad de construcción de canales
- Control de capas de forma y subbalasto ferroviarias
- Control del relleno del trasdós de muros y de huecos en cimentaciones

Siendo de fácil manejo y proporcionando resultados instantáneos de las medidas, el equipo ligero de impacto es muy adecuado para el autocontrol interno por parte de empresas constructoras y contratistas de movimiento de tierras, ya que facilita rápidas decisiones a pie de obra para la continuidad de la construcción.

Normativa de referencia

El equipo ligero de impacto lleva más de 20 años de desarrollo en Alemania, donde la normativa de construcción de carreteras y ferrocarriles contempla la utilización de las placas de carga dinámicas de 300 mm de diámetro como instrumento para el control de calidad.

El método de ensayo está normalizado por la FGSV (Asociación Alemana para la Investigación de Carreteras y Transportes). FGSV es un organismo que concentra la investigación y la normalización sobre tecnología de carreteras y transportes, en asociación con el Ministerio de Transportes alemán. En concreto se trata de la norma TP BF-StB Parte B 8.3 “Dynamischer Plattendruckversuch mit Leichtem Fallgewichtsgerät”.

En España está en avanzado estado de tramitación una nueva norma Aenor UNE 103807-2 titulada “Ensayo de carga vertical de suelos mediante placa dinámica. Parte 2: Placa rígida, diámetro $2r = 300$ mm, Método 2”. El equipo ligero de impacto está ya en uso en numerosos laboratorios públicos y privados, como los laboratorios de Geotecnia y Transportes del CEDEX y otros laboratorios autonómicos.

Numerosos pliegos técnicos de carreteras y ferrocarriles incorporan el ensayo dinámico de placa de carga entre sus especificaciones. Los más importantes son:

- ZTVE-StB 94 Pliego de condiciones técnicas alemán para las obras de tierras en la construcción de carreteras.
- ZTVE-StB 95 Pliego de condiciones técnicas alemán para subbases de carreteras.
- ZTVE-StB 97 Pliego de condiciones técnicas alemán para las excavaciones de zanjas y rellenos en zonas de tráfico.
- NGT-39 Normas alemanas para el uso del equipo ligero de impacto en la construcción ferroviaria.

En varios de estos pliegos se introducen valores especificados para el módulo de deformación dinámica medido con el equipo ligero de impacto E_{vd} . En base a ellos, se pueden establecer correlaciones orientativas entre el módulo de deformación E_{v2} del ensayo de placa de carga estático convencional y el módulo dinámico. Estas correlaciones conviene contrastarlas en cada tipo de suelo o capa granular de empleo habitual en una zona u obra. Una correlación estandar es la siguiente:

E_{v2} en MN/m²	E_{vd} en MN/m²
180	80
150	70
120	60
100	50
80	40
60	30
45	25
20	15