

Octubre 2005

TÍTULO

Ensayo de carga vertical de suelos mediante placa dinámica

Parte 1: Placa rígida, diámetro $2r = 600$ mm, Método 1

Plate loading test of soils by means of dynamic plate. Part 1: Rigid plate, diameter $2r = 600$ mm. Method 1.

Essai de charge verticale de sols par plaque dynamique. Partie 1: Plaque rigide, diamètre $2r = 600$ mm. Méthode 1.

CORRESPONDENCIA

OBSERVACIONES

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 103 *Geotecnia* cuya Secretaría desempeña AENOR.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 40866:2005

© AENOR 2005
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR

C Génova, 6
28004 MADRID-España

Asociación Española de
Normalización y Certificación

Teléfono 91 432 60 00
Fax 91 310 40 32

11 Páginas

Grupo 6

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma tiene por objeto la determinación del denominado *módulo de deformación vertical bajo carga dinámica* de un suelo, E_{vd} . El ensayo se puede aplicar en aquellos suelos o capas granulares cuyo tamaño máximo de partícula sea inferior a doscientos milímetros ($D_{m\acute{a}x} < 200 \text{ mm}$).

Se describe el fundamento físico, equipo, procedimiento operativo y presentación de resultados del ensayo de carga dinámica de un suelo por medio de una placa circular rígida de seiscientos milímetros de diámetro ($2r = 600 \text{ mm}$).

El rango de medida del módulo de deformación vertical bajo carga dinámica, E_{vd} , determinado según esta norma, está comprendido entre veinte y doscientos cincuenta megapascals:

$$20 \text{ MPa} \leq E_{vd} \leq 250 \text{ MPa}$$

Los resultados obtenidos fuera de dicho rango de medida deben interpretarse según lo especificado en la tabla 1, recogida en el capítulo 6 de esta norma.

2 SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Símbolo	Significado
c	Coeficiente de amortiguamiento del suelo
$D_{m\acute{a}x}$	Tamaño máximo de las partículas del suelo
E_{vd}	Módulo de deformación vertical bajo carga dinámica
E_{vd3}	Módulo de deformación vertical obtenido en el tercer ciclo de carga
$F(t)$	Fuerza ejercida sobre la cara superior de la placa de carga en función del tiempo
k	Rigidez del suelo
m	Masa de la placa de carga
r	Radio de la placa de carga
$z(t)$	Asiento de la placa de carga en función del tiempo
ν	Coeficiente de Poisson del terreno ¹⁾

3 FUNDAMENTO FÍSICO DEL ENSAYO

La carga dinámica, de intensidad y duración definida, se realiza por medio de la caída libre de una masa sobre una placa rígida. El impacto se amortigua por un elemento visco-elástico.

El valor del módulo de deformación vertical bajo carga dinámica, E_{vd} , se calcula a partir de la relación de Boussinesq:

$$E_{vd} = \frac{1 - \nu^2}{2r} k$$

La rigidez del suelo k , se determina suponiendo que el comportamiento de la placa de carga y del terreno bajo la misma es asimilable al de un sistema tipo masa/muelle/amortiguador, por lo que el equilibrio dinámico de la placa se rige por la ecuación:

1) Se adoptará como coeficiente de Poisson del terreno un valor medio de veinticinco centésimas ($\nu = 0,25$). No obstante, en caso de no considerarse adecuado este valor al terreno ensayado, se podrá corregir el resultado del módulo de deformación vertical bajo carga dinámica E_{vd} , de acuerdo con la fórmula indicada en el capítulo 3. En este caso, dicho aspecto deberá hacerse constar en el correspondiente informe de ensayo.

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} + c \frac{dz}{dt} + kz = F(t)$$

A partir del conocimiento de la masa de la placa m , de la medida del asiento en función del tiempo $z(t)$, y de la fuerza ejercida sobre su cara superior en función del tiempo $F(t)$, pueden obtenerse los parámetros del terreno k , c .

4 EQUIPO

El equipo consta de generador de impactos y dispositivo de medida (véase la figura A.1).

4.1 Generador de impactos

El generador de impactos está constituido por una placa de carga y un dispositivo de carga dinámica.

La carga dinámica ejercida sobre el suelo debe resultar equivalente al paso de un eje de ciento treinta kilonewtons de peso (130 kN) a una velocidad de sesenta kilómetros por hora (60 km/h).

El generador de impactos debe permitir la obtención, sobre un banco de ensayos en el que el módulo de elasticidad esté comprendido entre cuarenta y ciento ochenta megapascals (40 MPa y 180 MPa), de los siguientes valores de fuerza y duración:

- Valor máximo de la fuerza: setenta kilonewtons, con una tolerancia de diez kilonewtons ($70 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$).
- Duración de la aplicación de la carga dinámica: quince milésimas de segundo, con una tolerancia de cinco milésimas de segundo ($0,015 \text{ s} \pm 0,005 \text{ s}$).

En el banco de ensayos se determinará la altura de caída de la masa móvil que permita la obtención de la referida pareja de valores (fuerza, duración). Dicha altura será, para cada equipo, la que se aplique en la realización de los ensayos en campo.

4.1.1 Placa de carga. El diámetro de la placa de carga debe ser de seiscientos milímetros con una tolerancia de un milímetro ($2r = 600 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$).

La rigidez de la placa se determina en laboratorio mediante la colocación de la misma sobre tres apoyos semiesféricos equidistantes entre sí y dispuestos sobre una circunferencia de trescientos ochenta milímetros (380 mm) de diámetro (véase la figura A.3). Los tres apoyos referidos descansarán sobre un macizo de reacción que presente una rigidez aproximada equivalente a la de un bloque cúbico de hormigón de dos metros (2 m) de lado.

En tales circunstancias, ha de cumplirse que la flecha producida por la aplicación de una carga estática en el centro de la placa, de cien kilonewtons con una tolerancia de un kilonewton ($100 \text{ kN} \pm 1 \text{ kN}$), sea inferior a setenta y cinco centésimas de milímetro ($0,75 \text{ mm}$) en ese mismo punto. El dispositivo de medida de la flecha utilizado para la obtención de la rigidez de la placa debe tener una precisión de veinticinco milésimas de milímetro ($\pm 0,025 \text{ mm}$).

4.1.2 Dispositivo de carga dinámica. La carga dinámica se genera por la caída libre de una masa sobre un elemento visco-elástico solidario a la placa de carga.

La masa de caída se guía mediante una varilla centrada en la placa.

El elemento visco-elástico está compuesto por un cojín de material elastomérico con una rigidez de dos mil doscientos cincuenta newtons por milímetro y una tolerancia de quinientos newtons por milímetro ($2250 \text{ N/mm} \pm 500 \text{ N/mm}$).

4.2 Dispositivo de medida

El dispositivo de medida debe permitir:

- Medir la fuerza de reacción del suelo sobre la placa de carga en función del tiempo, por medio de un sensor con un rango de medida de ciento veinticinco kilonewtons con una tolerancia de veinticinco kilonewtons ($125\text{ kN} \pm 25\text{ kN}$) y una incertidumbre relativa acumulada en las distintas fases que constituyen el proceso de toma de datos del uno por ciento ($\pm 1\%$) del rango de medida.
- Medir el asiento del centro de la placa de carga durante el impacto, en función del tiempo, mediante un dispositivo que permita obtener las siguientes especificaciones:
 - Rango de medida superior a ocho milímetros (8 mm).
 - Incertidumbre acumulada en las distintas fases que constituyen el proceso de toma de datos, de veinticinco milésimas de milímetro más el uno por ciento del valor del asiento medido ($\pm [0,025\text{ mm} + 0,01\text{ z}]$).
 - Frecuencia de muestreo superior a un kilohercio (1 kHz).

4.2.1 Verificación de los equipos. Los métodos de verificación en origen y periódicos se describen en el anexo B de esta norma.

Cada equipo deberá ser verificado al menos una vez al año y cuando, por cualquier circunstancia, se aprecie un funcionamiento anómalo del mismo.

5 PROCEDIMIENTO OPERATIVO

5.1 Preparación del ensayo

El punto de ensayo debe ser representativo de una única clase de terreno o capa granular y reunir los siguientes requisitos mínimos:

- El ensayo requiere para su materialización una superficie aproximada de setecientos milímetros por setecientos milímetros ($700\text{ mm} \times 700\text{ mm}$), homogénea, plana, limpia y libre de incrustantes, sobre la que la placa de carga debe apoyarse de modo uniforme.
- La superficie de ensayo no debe presentar encharcamientos, material suelto, barro, cristales de hielo, etc.
- La pendiente de la zona a auscultar debe ser inferior al cinco por ciento (5%).

5.2 Realización del ensayo

Tras la definición del punto de ensayo se coloca la placa de carga directamente sobre el terreno y se procede a la aplicación de tres ciclos o escalones de carga dinámica sucesivos sobre el mismo punto, debiendo comprobarse que la posición de la placa no varía entre cada dos cargas consecutivas.

La carga aplicada en cada uno de los tres ciclos o escalones referidos será la misma.

Debe comprobarse que el punto de ensayo no presente irregularidades superficiales tras el tercer escalón de carga. En caso contrario no deberá tenerse en cuenta el resultado del ensayo, debiendo repetirse en otro punto diferente.

6 EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS

El valor numérico del módulo de deformación vertical bajo carga dinámica, E_{vd} , que deberá considerarse como resultado del ensayo, es el obtenido durante el tercer ciclo de carga, E_{vd3} , siempre que se encuentre comprendido dentro del rango de medida definido en el capítulo 1 de esta norma.

Así pues, cuando el resultado numérico del tercer ciclo de carga sea inferior a veinte megapascuales ($E_{vd3} < 20$ MPa), únicamente podrá concluirse que el módulo de deformación vertical bajo carga dinámica, E_{vd} , es inferior a dicho valor, sin mayor concreción en cuanto al resultado numérico del ensayo, por encontrarse fuera de su rango de validez.

Análogamente, cuando el resultado numérico del tercer ciclo de carga sea superior a doscientos cincuenta megapascuales ($E_{vd3} > 250$ MPa), únicamente podrá concluirse que el módulo de deformación vertical bajo carga dinámica, E_{vd} , es superior a dicho valor, sin mayor concreción en cuanto al resultado numérico del ensayo, por encontrarse fuera de su rango de validez.

En consecuencia, el resultado numérico del ensayo se interpretará de conformidad con lo especificado en la tabla 1:

Tabla 1
Valor del módulo de deformación vertical bajo carga dinámica, E_{vd} , en función del resultado numérico obtenido en el tercer escalón de carga, E_{vd3}

E_{vd3}	E_{vd}
$E_{vd3} < 20$ MPa	$E_{vd} < 20$ MPa
$20 \leq E_{vd3} \leq 250$ MPa	$E_{vd} = E_{vd3}$
$E_{vd3} > 250$ MPa	$E_{vd} > 250$ MPa

7 INFORME DE ENSAYO

El informe del ensayo contendrá, al menos, la siguiente información:

- Identificación del organismo que haya realizado el ensayo.
- Nombre del operador.
- Referencia a esta norma.
- Número de informe.
- Fecha de ensayo.
- Equipo utilizado y certificado de verificación.
- Localización de los puntos de ensayo.
- Valor del coeficiente de Poisson adoptado, cuando fuera diferente de veinticinco centésimas ($\nu \neq 0,25$).
- Desviaciones, adiciones o exclusiones respecto al método de ensayo, e información sobre las condiciones específicas de ensayo.
- Valores del módulo de deformación vertical bajo carga dinámica, E_{vd} , en cada uno de los puntos.

ANEXO A (Informativo)

FIGURAS

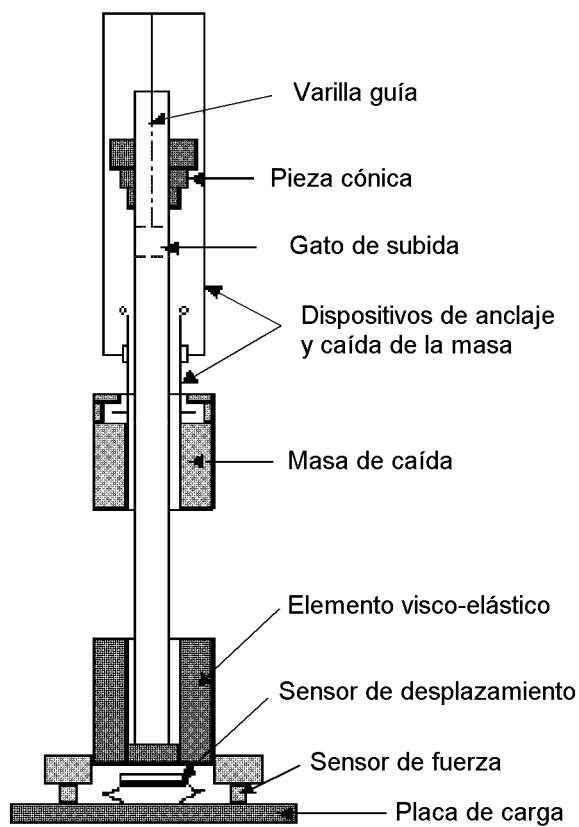


Fig. A.1 – Esquema general del equipo

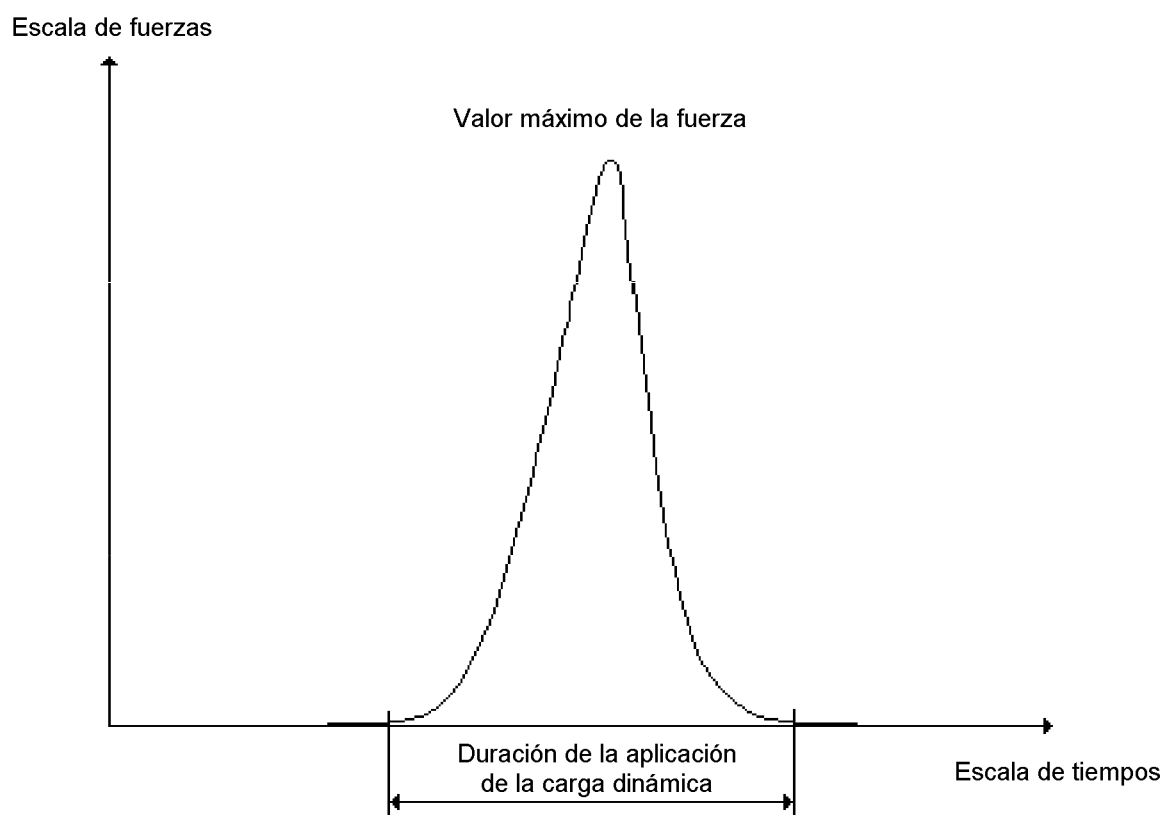
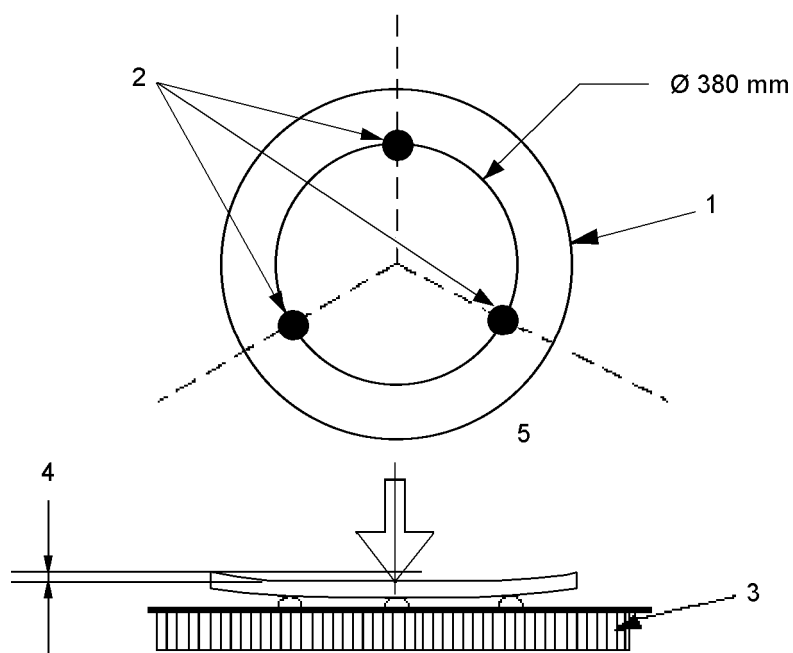


Fig. A.2 – Representación esquemática de la aplicación de la carga dinámica



Leyenda

- 1 Placa de carga rígida de diámetro $2r = 600 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$
- 2 Terna de apoyos semiesféricos equidistantes entre sí, dispuestos sobre una circunferencia de 380 mm de diámetro
- 3 Macizo de reacción
- 4 Flecha $\leq 0,75 \text{ mm}$
- 5 Fuerza estática, $F = 100 \text{ kN} \pm 1 \text{ kN}$

Fig. A.3 – Esquema de disposición de la placa para la determinación de su rigidez

ANEXO B (Informativo)**VERIFICACIONES DEL EQUIPO****B.1 Verificación en origen**

Tras su construcción, el equipo será sometido a un procedimiento de verificación por parte del fabricante, que se concretará con la emisión de un certificado de verificación.

- Los aspectos a controlar serán los siguientes:
 - Diámetro de la placa de carga.
 - Rigidez de la placa de carga.
 - Calibración de los dispositivos de medida de la fuerza de reacción del suelo y del asiento de la placa de carga, en función del tiempo.
 - Características del dispositivo de carga dinámica (valor máximo de la fuerza y duración de la aplicación de la carga) sobre un banco de ensayos específico en el que el módulo de elasticidad esté comprendido entre cuarenta y ciento ochenta megapascals (*40 MPa y 180 MPa*).
- Además de los controles sobre los aspectos ya referidos, cada equipo deberá ser objeto de prueba en un banco de ensayos específico donde los diferentes módulos de elasticidad sean conocidos, llevándose a cabo dos tipos de análisis:
 - De ajuste: Los valores medios de los módulos de deformación vertical bajo carga dinámica, E_{vd} , que se hayan obtenido, deberán presentar una tolerancia del nueve por ciento ($\pm 9\%$) respecto de los valores de referencia del banco de ensayos.
 - De repetibilidad: Los coeficientes de variación de los valores medios de los módulos de deformación vertical bajo carga dinámica, E_{vd} , que se hayan obtenido, deberán ser inferiores al tres coma setenta y cinco por ciento (*3,75%*).

En caso de que el equipo supere el procedimiento de verificación, se declarará apto para la realización de ensayos en campo y se entregará acompañado del correspondiente certificado.

B.2 Verificación periódica

La verificación periódica consistirá en la realización de las pruebas en banco de ensayos y el análisis de ajuste y repetibilidad descrito en el capítulo anterior, a intervalos regulares de tiempo o ante cualquier posible anomalía detectada en el funcionamiento del equipo.

- En caso de que resulten satisfactorios, el equipo se declarará apto para la realización de ensayos en campo, renovándose el certificado de verificación.
- En caso contrario, después de realizarse las correcciones necesarias, se llevará a cabo una calibración de los dispositivos de medida de la fuerza de reacción del suelo y del asiento de la placa de carga, así como un control y ajuste de las características del dispositivo de carga dinámica sobre el banco de ensayos. Seguidamente se repetirán las pruebas en el banco de ensayos.

Este proceso deberá repetirse hasta que los resultados sean satisfactorios, momento en el que se expedirá el certificado de verificación del equipo.

Cada equipo dispondrá de un certificado de verificación que se expedirá en cada una de las verificaciones a que sea sometido.

Respecto a la frecuencia de verificación se estará a lo especificado al respecto en el apartado 4.2.1 de esta norma.

B.3 Contenido mínimo del certificado de verificación

El certificado de verificación del equipo deberá contener, al menos, la siguiente información:

- Identificación completa del equipo:
 - Marca y modelo
 - Número de serie
 - Propietario del equipo
 - Fabricante
- Procedimiento de verificación, equipos auxiliares y patrones utilizados.
- Fecha de verificación y de emisión del certificado.
- Número de certificado.
- Entidad emisora del certificado.
- Signatario autorizado.
- Altura de caída de la masa móvil.

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A UNIVERSIDAD POLITECNICA MADRID