

Febrero 2006

TÍTULO

Ensayo de carga vertical de suelos mediante placa estática

Load test of plate soils.

Essai de charge verticale de sols par plaque statique.

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 8372:2006

© AENOR 2006
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

19 Páginas

Grupo 10

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma tiene por objeto la determinación de los denominados **módulo de deformación vertical** E_v , y **módulo de reacción** K_s , de un suelo.

El ensayo consiste en medir el desplazamiento vertical de un punto de la superficie de un suelo situado bajo el centro de una placa circular rígida, sometida a uno o varios ciclos de carga predefinidos. De este modo se determina la curva carga-asiento y, a partir de ella, los módulos citados.

2 SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

Símbolo	Significado
E_v	Módulo de deformación vertical
E_{v1}	Módulo de deformación vertical obtenido en el primer ciclo
E_{v2}	Módulo de deformación vertical obtenido en el segundo ciclo
K_s	Módulo de reacción
σ	Presión normal media bajo el centro de la placa de carga
$\sigma_{\text{máx.}}$	Presión máxima aplicada en un ciclo de carga
s	Asiento de la placa de carga
r	Radio de la placa de carga

3 DEFINICIONES

3.1 curva carga-asiento: Diagrama en el que se representan las tensiones normales medias bajo el centro de la placa, σ , y los correspondientes asientos, s , producidos en los distintos escalones de carga.

3.2 módulo de deformación vertical: Parámetro representativo de la deformabilidad del suelo en dirección vertical, cuyos valores se calculan a partir de la curva carga-asiento, teniendo en cuenta para ello la inclinación de la secante entre los puntos correspondientes a un treinta y a un setenta por ciento de la presión máxima ($0,3 \sigma_{\text{máx.}}$ y $0,7 \sigma_{\text{máx.}}$) aplicada en un determinado ciclo de carga, por medio de la expresión siguiente:

$$E_v = 1,5 r \frac{\Delta \sigma}{\Delta s}$$

3.3 módulo de reacción: Parámetro representativo de las propiedades elásticas de la superficie de un suelo sometido a carga. Se determina a partir de la curva carga-asiento obtenida en un único ciclo de carga, bajo determinadas condiciones, mediante la expresión siguiente:

$$K_s = \frac{\sigma}{s}$$

4 EQUIPOS Y MATERIAL NECESARIO

4.1 Placas de carga

Las placas de carga serán de acero, con superficie inferior plana y espesor mínimo de veinticinco milímetros (25 mm). Para facilitar el ajuste horizontal se usará un nivel de burbuja, que puede estar dispuesto en la propia placa o formar parte de los elementos auxiliares, permitiéndose compensaciones de inclinación de hasta siete grados sexagesimales (7°). Asimismo, la placa podrá contar con asas para su transporte.

Se debe disponer de placas con los siguientes diámetros y características:

- a) Placa de carga de trescientos milímetros (300 mm) de diámetro, que contará con los dispositivos adecuados para efectuar mediciones en tres puntos distribuidos radialmente a ciento veinte grados sexagesimales (120°) entre sí. Asimismo, deberá llevar en su parte superior un patín de rótula o elemento análogo, rígidamente unido a la placa, que permita el emplazamiento del dispositivo de carga y garantice una correcta aplicación de la misma (véase la figura B.1).
- b) Placas de carga de seiscientos milímetros (600 mm) y setecientos sesenta y dos milímetros (762 mm) de diámetro.

Cuando se utilice alguna de estas placas, la disposición más habitual será la siguiente:

- Cuando se opere con la placa de seiscientos milímetros (600 mm) se colocará concéntricamente sobre su cara superior la de trescientos milímetros (300 mm). El contacto entre ambas deberá ser total en la superficie común (véase la figura B.2).
- Cuando se opere con la placa de setecientos sesenta y dos milímetros (762 mm) se colocarán concéntricamente sobre su cara superior las otras dos placas de seiscientos (600 mm) y trescientos milímetros (300 mm) de diámetro respectivamente, quedando en la posición superior esta última (véase la figura B.3) por ser la que cuenta con los dispositivos adecuados para efectuar las mediciones.

Para conseguir un correcto centrado y ajuste de las placas, se requiere el empleo de grapas de sujeción.

4.2 Sistema de reacción

Para la realización del ensayo es necesario un sistema de reacción cuya carga útil sea superior, en al menos diez kilonewton (10 kN), a la máxima necesaria durante la realización del mismo. Se pueden utilizar entre otros, un camión, un remolque cargado o bien un apoyo fijo adecuado.

4.3 Dispositivo de carga

Debe ser capaz de efectuar la carga y descarga de la placa de forma escalonada y rápida, por lo que, en general, resultará adecuado el uso de un cilindro o gato hidráulico conectado a una bomba hidráulica, mediante una manguera para altas presiones.

4.3.1 Bomba hidráulica. La presión de aceite debe generarse por medio de una bomba de émbolo de dos etapas que cambie automáticamente de baja a alta presión. Para poder reducir la presión de forma precisa y escalonada durante la descarga, la bomba debe disponer de una válvula reductora de presión.

Tras periodos prolongados de inactividad deberá evacuarse el aire acumulado en el sistema hidráulico antes de iniciar el primer ciclo de carga.

4.3.2 Manguera para alta presión. Se utilizará una manguera para alta presión con una longitud mínima de tres metros (3 m), que disponga de racores de cierre automático en ambos extremos.

4.3.3 Cilindro o gato hidráulico. Para cargar la placa se utilizará un cilindro o gato hidráulico de acción simple. Durante el proceso de descarga el émbolo debe retornar automáticamente a su posición inicial, lo que puede lograrse gracias a la acción de un muelle recuperador situado en el interior del mismo. A fin de conseguir una adecuada transmisión de la carga, el cilindro (dinamómetro incluido) debe disponer de rótulas en ambos extremos.

Para compensar posibles diferencias de altura de los vehículos empleados como reacción, se pueden utilizar suplementos de longitud regulable que permitan la prolongación del émbolo hasta alcanzar la altura necesaria.

Se debe tener especial precaución para garantizar que el conjunto (cilindro y suplementos) sea suficientemente rígido, empleando preferiblemente para ello, pasadores entre los diferentes suplementos. Estos pasadores pueden ser de longitudes diferentes, debiendo disponer uno de ellos de una zona roscada con tuerca.

El cilindro debe incorporar los medios necesarios para evitar su posible vuelco. Para evitar su pandeo o acodamiento debe presentar una guía de suficiente longitud en la que se solapen los dos segmentos, incluso en la posición de máxima extensión.

4.4 Dispositivo para medición de cargas

Entre la placa y el sistema de aplicación de las cargas debe colocarse un dispositivo de medida, mecánico o electrónico, que permita obtener, de forma directa, la carga aplicada, independientemente del control que se realice en el sistema de presión de aceite.

Este dispositivo debe medir la carga con una precisión del uno por ciento (1%) de la máxima que se prevea alcanzar en el ensayo, habiendo de calibrarse al menos cada dos (2) años y cuando se observe un comportamiento anómalo del mismo.

4.5 Dispositivos de medida de los asientos

La medida de los asientos de las superficies cargadas durante el ensayo se realizará generalmente con la ayuda de un puente de referencia (véase la figura B.4) y de tres comparadores o transductores, calculándose el asiento medio de la placa como valor medio de los obtenidos en los tres puntos. Los dispositivos de medida deben permitir el cálculo del asiento medio de la placa con una precisión de una centésima de milímetro (0,01 mm).

El movimiento de la placa se medirá según el eje vertical que pasa por el centro de gravedad del triángulo equilátero formado por los tres puntos que, al inicio del ensayo, deben equidistar del centro y encontrarse sobre radios que formen entre sí ángulos de ciento veinte grados (120°).

La placa deberá tener barras de soporte, marcas de posición para bases magnéticas o dispositivos de función análoga, dispuestos de forma radial, para la colocación de los comparadores o transductores, que en general deberán situarse a cien milímetros (100 mm) del centro de la placa, a una misma altura (véase la figura B.5) y apoyarse sobre los suplementos de longitud situados en el puente de referencia. No obstante, en ocasiones, podrán hacerlo directamente sobre la placa de trescientos milímetros (300 mm) de diámetro.

El puente de referencia debe permitir su fácil transporte y manipulación y ser suficientemente estable, para lo que se precisa su apoyo sobre tres puntos; asimismo, para compensar posibles irregularidades del terreno, la altura de los soportes del puente debe ser regulable. Resulta conveniente que su forma en planta sea la de una letra i griega mayúscula (Y) con distancias entre apoyos inferiores o iguales a cuatro metros (4 m), así como que tenga largueros telescópicos, de acero inoxidable o de aluminio, suficientemente resistentes a la flexión, cuyo momento resistente sea mayor o igual que ocho centímetros cúbicos ($W \geq 8 \text{ cm}^3$). También se puede emplear un puente de madera con tratamiento antihumedad.

Sobre el puente de referencia se podrán colocar suplementos, de longitud regulable en sentido horizontal, desplazables sobre el larguero, con superficie plana para situar los comparadores o transductores.

4.6 Equipos auxiliares

Adicionalmente podrán precisarse palas, reglas de acero, cepillo de cerdas, llana, espátula, nivel de burbuja, plomada, metro plegable, arena seca de granulometría media, escayola, aceite, lona u otro elemento para protección contra el sol y el viento, etc.

5 CONDICIONES DE ENSAYO

El ensayo de carga con placa debe realizarse sobre suelos de compacidad rígida a firme. Directamente debajo de la placa no debe encontrarse material de tamaño superior a una cuarta parte del diámetro de la placa.

El resultado del ensayo de carga con placa depende de la humedad del suelo, por lo que conviene asegurarse que ésta se corresponda con las condiciones para las que pretende ensayarse. En caso de duda sobre dicho aspecto, se determinará la humedad del suelo a diferentes profundidades hasta llegar a dos veces el radio ($2r$) de la placa bajo la superficie del punto de medición.

En caso de que se trate de arenas que se resequen con rapidez, suelos que formen costras o se reblandezcan transitoriamente o que se alteren de cualquier otro modo en superficie, el ensayo de carga con placa debe realizarse siempre por debajo de esta primera capa afectada.

En el caso de suelos de granulometría fina, el ensayo de carga con placa sólo podrá realizarse y valorarse adecuadamente cuando aquéllos posean una consistencia que varíe de rígida a firme.

6 PROCEDIMIENTO

6.1 Preparación de la superficie de ensayo

En el emplazamiento en que se vaya a realizar el ensayo se preparará una superficie plana lo suficientemente grande como para situar adecuadamente la placa, utilizándose para ello los medios auxiliares necesarios (regla de acero o llana). Se eliminarán las partículas granulares que se encuentren sueltas, empleando el cepillo.

6.2 Instalación del equipo de carga con placa

Se situará la placa en el lugar elegido y se presionará de forma tal que no queden puntos en los que no exista contacto entre el suelo y aquélla. Si fuera preciso enrasar o nivelar desigualdades, se extendería una capa de arena seca de granulometría media o incluso pasta de escayola de pocos milímetros de espesor¹⁾. Si la superficie de ensayo se encontrara ligeramente inclinada, se enrasaría con ayuda del nivel esférico hasta disponerse horizontalmente.

Posteriormente se colocará el cilindro hidráulico sobre la placa formando ángulo recto con ella, de tal forma que quede protegido contra posibles vuelcos. La distancia entre la placa de carga y la superficie de apoyo de la reacción será normalmente de unos setenta y cinco centímetros (75 cm) para la placa de trescientos milímetros (300 mm) de diámetro, de ciento diez centímetros (110 cm) para la placa de seiscientos milímetros (600 mm) y de ciento treinta centímetros (130 cm) para la placa de setecientos sesenta y dos milímetros (762 mm). A fin de impedir desplazamientos en dirección transversal a la de la carga, se debe asegurar convenientemente el apoyo.

6.3 Colocación de los dispositivos para la medición de asientos

Deberá comprobarse que el puente de referencia se encuentre nivelado y que no esté en contacto con ningún otro elemento interviniente en el ensayo.

Una vez colocados los dispositivos de medida conforme a lo especificado en el apartado 4.5, se aplicará sobre la placa una precarga de una centésima de megapascal (0,01 MPa) durante aproximadamente treinta segundos (30 s). Se descargará seguidamente y se ajustarán a cero los comparadores o se tomarán sus lecturas, como valor de referencia para el ensayo.

Todo el conjunto deberá estar adecuadamente protegido contra vibraciones durante la realización del ensayo. Si fuese preciso, se protegería el dispositivo instalado para la toma de mediciones de los asientos con una lona contra sol y viento.

1) Si se utiliza pasta de escayola se deberá aplicar una película de aceite a la superficie de la placa, procediéndose a continuación al ajuste de la placa haciéndola girar y golpeándola suavemente. Se deberá retirar con una espátula el material que rebose lateralmente antes de que solidifique. No deberá iniciarse el ensayo antes de que la escayola se haya secado, pudiéndose controlar el proceso de fraguado por medio de los restos de escayola retirados de los bordes.

6.4 Procesos de carga y descarga

6.4.1 Principio. La carga máxima, el asiento máximo, o ambas magnitudes, dependen de la finalidad del ensayo, así como de las características del suelo y del tamaño de la placa.

6.4.2 Proceso para la determinación del módulo de deformación vertical E_v . Para determinar el módulo de deformación vertical E_v , resulta práctica habitual realizar el ensayo utilizando una placa de trescientos milímetros (300 mm) de diámetro y aumentar progresivamente la carga hasta alcanzar un asiento de unos cinco milímetros (5 mm), o una tensión normal bajo la placa de aproximadamente cinco décimas de megapascal (0,5 MPa).

Si se utiliza la placa de seiscientos milímetros (600 mm) los valores límite correspondientes son de siete milímetros (7 mm) y veinticinco centésimas de megapascal (0,25 MPa), mientras que con la placa de setecientos sesenta y dos milímetros (762 mm) los valores son de trece milímetros (13 mm) y dos décimas de megapascal (0,2 MPa), respectivamente.

El ensayo se interrumpirá en caso de que se produzcan hundimientos con la consiguiente descarga, en materiales de baja resistencia, o si al aumentar la carga se produce un fuerte incremento del asiento indicando la inminencia de una rotura.

El proceso de carga debe incluir, como mínimo, seis escalones con incrementos aproximadamente iguales entre sí. En caso de comprobarse que, a lo largo del ensayo, los primeros incrementos de carga elegidos han resultado excesivamente elevados o pequeños, se seleccionarán otros más adecuados. La carga aplicada debe permanecer constante durante cada escalón de carga. El intervalo de tiempo entre cada dos escalones sucesivos debe ser mayor o igual que dos minutos (2 min).

En los ciclos de carga y descarga únicamente se puede pasar al siguiente escalón cuando las variaciones de levantamiento o asiento, medidas cada dos minutos (2 min), sean inferiores o iguales a dos centésimas de milímetro por minuto (0,02 mm/min).

Si al efectuar la carga se aplicara, por error, una carga superior a la debida, ésta no se debería reducir, sino mantenerse y efectuar la anotación pertinente en el impreso de datos, junto con los valores medidos.

El proceso de descarga se debe realizar en tres escalones del cincuenta, veinticinco y cero por ciento (50%, 25% y 0%) de la carga máxima. Una vez finalizada la descarga del primer ciclo, se debe realizar otro nuevo ciclo de carga, en el que sólo se llegue hasta el penúltimo escalón de los aplicados en el primer ciclo, a fin de permanecer dentro de la condición de precarga.

Para comprobar el segundo ciclo de carga se puede efectuar, después de su descarga completa por etapas, un tercer ciclo de carga en forma análoga, pero aplicando después del segundo escalón de carga, la carga final del segundo ciclo, sin necesidad de aplicar las cargas correspondientes a las etapas intermedias.

6.4.3 Proceso para la determinación del módulo de reacción K_s . Para determinar el módulo de reacción²⁾ K_s , como norma general, se debe realizar el ensayo con una placa de setecientos sesenta y dos milímetros (762 mm) de diámetro.

Se debe mantener la precarga de una centésima de megapascal (0,01 MPa) hasta que la variación del asiento de la placa sea inferior a dos centésimas de milímetro por minuto (0,02 mm/min). A partir de este momento, la carga se incrementará en escalones de carga con una tensión normal de cuatro, ocho, catorce y veinte centésimas de megapascal (0,04 MPa; 0,08 MPa; 0,14 MPa y 0,20 MPa). Antes de aplicar cada escalón de carga, se debe esperar hasta que la variación del asiento no supere las dos centésimas de milímetro por minuto (0,02 mm/min). Para la descarga, basta con introducir un escalón intermedio de ocho centésimas de megapascal (0,08 MPa).

6.5 Preparación de la superficie de apoyo de la placa mediante excavación

En caso de obtenerse unos resultados de ensayo anómalos, por ejemplo una acusada inclinación transversal de la placa de carga (que la burbuja del nivel se salga por completo del centro de círculo) o hundimientos grandes de la placa, será necesario proceder a la excavación del lugar en que se ha realizado el ensayo hasta alcanzar una profundidad equivalente al diámetro de la placa.

2) Al determinar el módulo de reacción para losas de cimentación, se debe tener en cuenta la dependencia que dicho módulo tiene de la superficie cargada.

Si en este proceso aparecen piedras, suelos de compacidad inferior a rígida, o con contenidos de agua muy altos o muy bajos, estos hechos se deben hacer constar en el parte del ensayo.

7 EVALUACIÓN Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS RESULTADOS

7.1 Curva carga-asiento

Los valores de la tensión normal σ , y del asiento s , obtenidos en cada escalón de carga, se anotarán en los correspondientes impresos y se representarán gráficamente, trazándose a continuación la correspondiente curva carga-asiento, en la que se deben incluir flechas que indiquen el sentido de recorrido del ensayo (véase el anexo A), para diferenciar entre procesos de carga y descarga.

En el caso de suelos con módulos de deformación vertical muy elevados y, particularmente cuando se utilicen en el ensayo las placas de seiscientos (600 mm) o setecientos sesenta y dos milímetros (762 mm), se deberá tener en cuenta la flexión que experimenta la placa. Para ello, es preciso controlar la deformación de la placa mediante la utilización de comparadores o transductores complementarios.

En el resultado del ensayo³⁾ deben reflejarse los siguientes aspectos:

- Localización del ensayo.
- Tipo de suelo.
- Diámetro de la placa de carga.
- Tipo de dispositivo utilizado en la medición de asientos; si fuera preciso se utilizaría un factor de conversión.
- Tipo de base de la placa.
- Comentarios acerca de la excavación llevada a cabo en el lugar de ensayo, cuando se hubiera efectuado.
- Tiempos de comienzo y finalización del ensayo.
- Condiciones atmosféricas y temperatura.
- Personal participante en el ensayo.
- Valores de las tensiones aplicadas y de las lecturas correspondientes de los medidores de asientos.
- Curvas carga-asiento.
- Descripción de cualquier anomalía observada durante el ensayo y de los cambios que haya sido necesario efectuar con respecto al procedimiento indicado en esta norma.
- Cualquier otro aspecto que se considere relevante.

7.2 Cálculo del módulo de deformación vertical E_v

Los módulos de deformación vertical E_{v1} y E_{v2} , se calculan por medio de la curva carga-asiento del primer y segundo ciclo de carga respectivamente, a partir de la inclinación de la secante entre los puntos correspondientes al treinta y al setenta por ciento de la tensión máxima ($0,3 \sigma_{m\acute{a}x.}$ y $0,7 \sigma_{m\acute{a}x.}$) en cada uno de ellos, mediante la expresión:

3) En las hojas de ejemplo 1 y 2 se recogen los datos correspondientes al primer y segundo ciclo de carga de un ensayo realizado con la placa de 300 mm. De igual manera se recopilan en la hoja de ejemplo 3 los obtenidos durante un ensayo realizado con placa de 762 mm.

$$E_v = 1,5 r \frac{\Delta\sigma}{\Delta s} \quad [MPa]$$

$$\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1$$

$$\Delta s = s_2 - s_1$$

donde

σ_1 es la tensión normal media bajo la placa, correspondiente al valor de $0,3 \sigma_{\text{máx.}}$ (MPa).

s_1 es el asiento medio de la placa correspondiente a la presión σ_1 , expresado en milímetros (mm).

σ_2 es la tensión normal media bajo la placa, correspondiente al valor de $0,7 \sigma_{\text{máx.}}$ (MPa).

s_2 es el asiento medio de la placa correspondiente a la presión σ_2 , expresado en milímetros (mm).

r es el radio de la placa de carga expresado en milímetros (mm).

7.3 Cálculo del módulo de reacción K_s

Cuando se desee obtener el módulo de reacción K_s , solamente se realizará un ciclo de carga. En la curva carga-asiento se leerá la presión σ , que corresponde al asiento s prefijado. El módulo de reacción se calculará mediante la expresión:

$$K_s = \frac{\sigma}{s} \quad [MPa/m]$$

En general se determinará la tensión σ , medida con una placa de carga de setecientos sesenta y dos milímetros (762 mm), que equivalga a un asiento medio de ciento veinticinco centésimas de milímetro ($s = 1,25$ mm).

Según la forma que presente la curva carga-asiento, puede ser necesario realizar una corrección del punto cero por medio de la tangente en el punto de inflexión, relacionando el asiento obtenido con el nuevo cero ya corregido (véase el anexo A).

8 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

Esta norma es técnicamente equivalente a la Norma NLT-357/98 "Ensayo de carga con placa".

ANEXO A (Informativo)**EJEMPLOS DE APLICACIÓN****A.1 Determinación de los módulos de deformación vertical E_{v1} Y E_{v2}**

De las hojas de ejemplo 1 y 2 se toman los datos para confeccionar las tablas A.1 y A.2, así como la correspondiente curva carga-asiento (véase la figura A.1).

En la tabla A.3 se resumen los datos obtenidos de esta curva, y se efectúan las operaciones matemáticas necesarias para la obtención de los módulos E_{v1} y E_{v2} .

A.2 Determinación del módulo de reacción K_s

De la hoja de ejemplo 3, se obtienen los datos para la obtención de la curva carga-asiento (véase la figura A.2), a partir de la que se obtiene la tabla A.4 y el valor del módulo de reacción K_s .

A.1 DETERMINACIÓN DE LOS MÓDULOS DE DEFORMACIÓN VERTICAL E_{v1} , E_{v2}

IMPRESO TIPO. HOJA DE EJEMPLO nº 1

ENSAYO DE CARGA VERTICAL DE SUELOS MEDIANTE PLACA ESTÁTICA, UNE 103808									
ENSAYO Nº: XX			SITUACIÓN: XXX			CLASE DE SUELO: XXXX			
DIÁMETRO DE LA PLACA: 300 mm			BASE DE LA PLACA: XXX						
FECHA: XXX			HORA COMIENZO: XXX			HORA TERMINACIÓN: XXXX			
CICLO Nº	Carga (kN)	Tensión normal (MPa)	Tiempo (min)	Lectura de comparadores (10 ⁻² mm)			(a + b + c)/3 (10 ⁻² mm)	Asiento (mm)	Observaciones
				a	b	c			
1									
	0,00	0,00		0	0	0	0	0,00	
	5,65	0,08	2	7	6	8			
	5,65	0,08	4	7	6	8			
	5,65	0,08	6	7	6	8	7	0,07	
	11,31	0,16	2	19	18	20			
	11,31	0,16	4	20	19	21			
	11,31	0,16	6	20	19	21	20	0,20	
	16,86	0,24	2	30	31	30			
	16,86	0,24	4	31	31	31			
	16,86	0,24	6	31	31	31	31	0,31	
	22,62	0,32	2	52	53	51			
	22,62	0,32	4	53	54	53			
	22,62	0,32	6	53	54	53	53	0,53	
	28,27	0,40	2	79	78	81			
	28,27	0,40	4	80	79	81			
	28,27	0,40	6	80	82	81	81	0,81	
	31,81	0,45	2	95	84	95			
	31,81	0,45	4	96	86	97			
	31,81	0,45	6	96	96	97	96	0,96	
	35,34	0,50	2	127	127	128			
	35,34	0,50	4	128	128	129			
	35,34	0,50	6	128	128	129	128	1,28	
	17,67	0,25	2	113	112	113			
	17,67	0,25	4	113	113	113			
	17,67	0,25	6	113	113	113	113	1,13	
	8,48	0,12	2	94	96	95			
	8,48	0,12	4	94	96	95			
	8,48	0,12	6	95	96	95	95	0,95	
	0,00	0,00	2	75	74	74			
0,00	0,00	4	75	74	75				
0,00	0,00	6	75	75	75	75	0,75		

IMPRESO TIPO. HOJA DE EJEMPLO nº 2

ENSAYO DE CARGA VERTICAL DE SUELOS MEDIANTE PLACA ESTÁTICA, UNE 103808

ENSAYO Nº: XX

SITUACIÓN: XXX

CLASE DE SUELO: XXXX

DIÁMETRO DE LA PLACA: 300 mm

BASE DE LA PLACA: XXX

FECHA: XXX

HORA COMIENZO: XXX

HORA TERMINACIÓN: XXXX

CICLO Nº	Carga (kN)	Tensión normal (MPa)	Tiempo (min)	Lectura de comparadores (10 ⁻² mm)			(a + b + c)/3 (10 ⁻² mm)	Asiento (mm)	Observaciones
				a	b	c			
2									
	0,00	0,00		75	75	75	75	0,75	
	5,65	0,08	2	79	81	80			
	5,65	0,08	4	80	82	81			
	5,65	0,08	6	80	82	81	81	0,81	
	11,31	0,16	2	88	87	85			
	11,31	0,16	4	89	88	85			
	11,31	0,16	6	89	88	86	88	0,88	
	16,86	0,24	2	96	97	96			
	16,86	0,24	4	97	97	96			
	16,86	0,24	6	97	97	96	97	0,97	
	22,62	0,32	2	104	104	104			
	22,62	0,32	4	104	105	104			
	22,62	0,32	6	104	105	104	104	1,04	
	28,27	0,40	2	115	116	114			
	28,27	0,40	4	115	116	115			
	28,27	0,40	6	115	116	115	115	1,15	
	31,81	0,45	2	123	123	124			
	31,81	0,45	4	123	123	124			
	31,81	0,45	6	123	123	124	123	1,23	

Tabla A.1
Valores medidos en el primer ciclo de carga y descarga (hoja de ejemplo nº 1)

Nº	Carga (kN)	Tensión normal σ (MPa)	Asiento en el centro de la placa s (mm)
0	0	0	0
1	5,65	0,08	0,07
2	11,31	0,16	0,20
3	16,86	0,24	0,31
4	22,62	0,32	0,53
5	28,27	0,40	0,81
6	31,81	0,45	0,96
7	35,34	0,50	1,28
8	17,67	0,25	1,13
9	8,48	0,12	0,95
10	0	0	0,75

Tabla A.2
Valores medidos en el segundo ciclo de carga (hoja de ejemplo nº 2)

Nº	Carga (kN)	Tensión normal σ (MPa)	Asiento en el centro de la placa s (mm)
10	0	0	0,75
11	5,65	0,08	0,81
12	11,31	0,16	0,88
13	16,86	0,24	0,97
14	22,62	0,32	1,04
15	28,27	0,40	1,15
16	31,81	0,45	1,23

Tabla A.3
Determinación de E_{v1} , E_{v2}

	Primer ciclo de carga	Segundo ciclo de carga
$\sigma_{\text{máx.}}$	0,50	0,45
$\sigma_2 = 0,7 \sigma_{\text{máx.}}$	0,35	0,315
$\sigma_1 = 0,3 \sigma_{\text{máx.}}$	0,15	0,135
$\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1$	0,20	0,18
s_2	0,63	1,04
s_1	0,18	0,86
$\Delta s = s_2 - s_1$	0,45	0,18
$E_v = 1,5 r \frac{\Delta\sigma}{\Delta s}$	100	225
E_{v2}/E_{v1}	2,25	

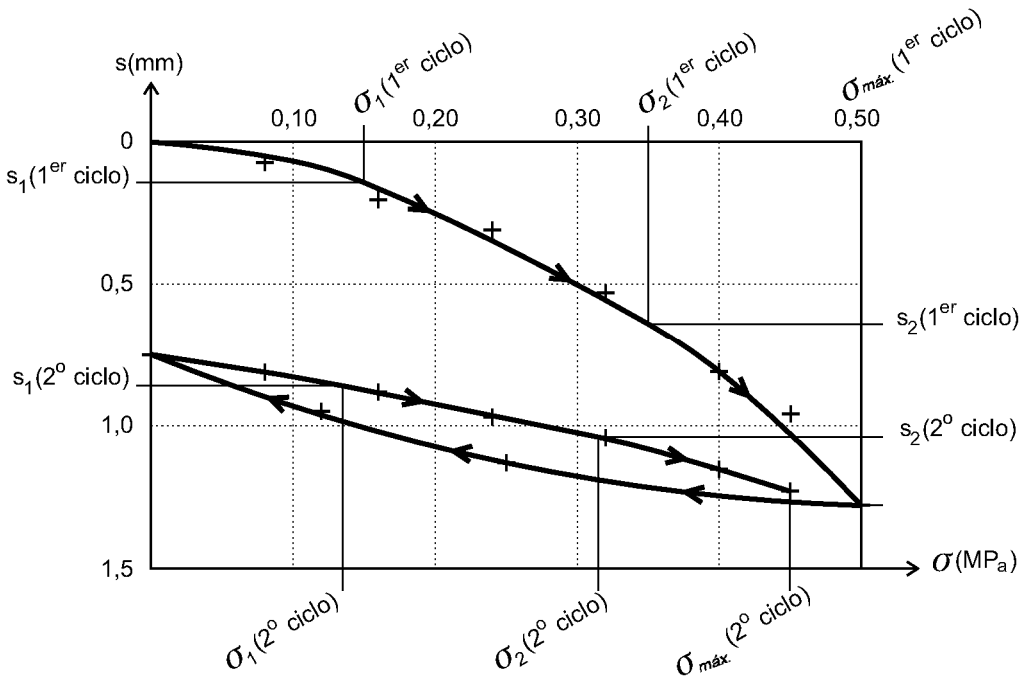


Fig. A.1 – Curva carga-asiento (obtenida a partir de las hojas de ejemplo nº 1 y 2)

A.2- DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE REACCIÓN K_s

IMPRESO TIPO. HOJA DE EJEMPLO nº 3

ENSAYO DE CARGA VERTICAL DE SUELOS MEDIANTE PLACA ESTÁTICA, UNE 103808									
ENSAYO Nº: XX			SITUACIÓN: XXX			CLASE DE SUELO: XXXX			
DIÁMETRO DE LA PLACA: 762 mm			BASE DE LA PLACA: XXX						
FECHA: XXX			HORA COMIENZO: XXX			HORA TERMINACIÓN: XXXX			
CICLO Nº	Carga (kN)	Tensión normal (MPa)	Tiempo (min)	Lectura de comparadores (10 ⁻² mm)			(a + b + c)/3 (10 ⁻² mm)	Asiento (mm)	Observaciones
				a	b	c			
1	4,38	0,01	6	0	0	0	0	0,00	
	18,24	0,04	2	29	31	30			
	18,24	0,04	4	30	32	31			
	18,24	0,04	6	30	32	31	31	0,31	
	36,48	0,08	2	54	57	54			
	36,48	0,08	4	55	58	55			
	36,48	0,08	6	55	58	55	56	0,56	
	63,85	0,14	2	96	97	97			
	63,85	0,14	4	96	98	97			
	63,85	0,14	6	96	98	97	97	0,97	
	91,21	0,20	2	153	152	151			
	91,21	0,20	4	154	153	152			
	91,21	0,20	6	154	153	152	153	1,53	
	36,48	0,08	2	115	116	116			
	36,48	0,08	4	116	116	117			
	36,48	0,08	6	116	116	117	116	1,16	
	0,00	0,00	2	127	127	128			
	0,00	0,00	4	128	128	129			
0,00	0,00	6	58	57	56	57	0,57		

Tabla A.4
Valores medidos y determinación de K_s (hoja de ejemplo nº 3)

Nº	Carga (kN)	Tensión normal σ (MPa)	Asiento en el centro de la placa s (mm)
0	4,38	0,01	0
1	18,24	0,04	0,31
2	36,48	0,08	0,56
3	63,85	0,14	0,97
4	91,21	0,20	1,53
5	36,48	0,08	1,16
6	0,00	0,00	0,57

Resultado de la valoración con punto cero corregido:

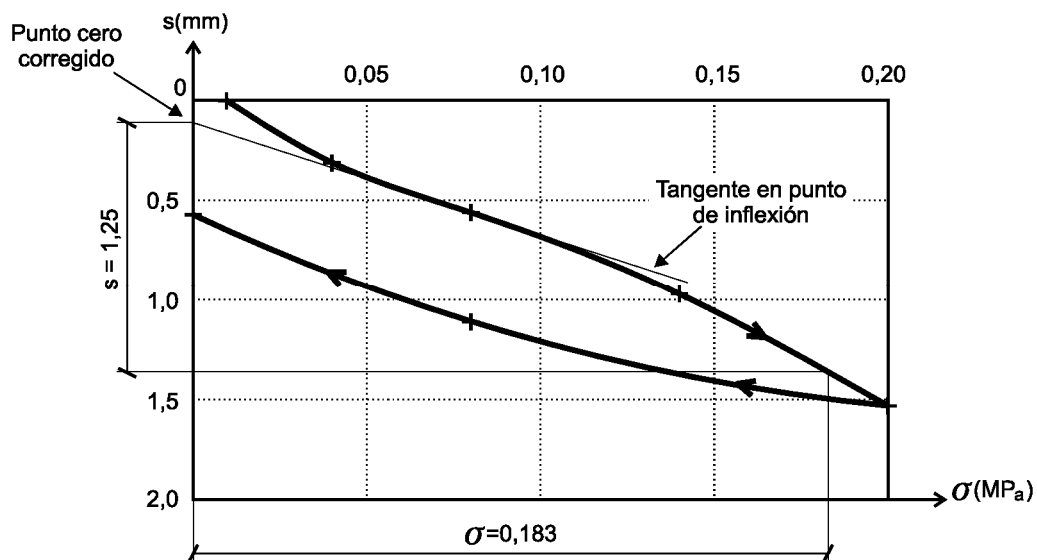
$$K_s = \frac{\sigma}{s} = \frac{0,183}{0,00125} = 146,4 \text{ MPa / m}$$


Fig. A.2 – Curva carga-asiento, y determinación de parámetros para la obtención de K_s (obtenida a partir de la hoja de ejemplo nº 3)

ANEXO B (Informativo)

FIGURAS

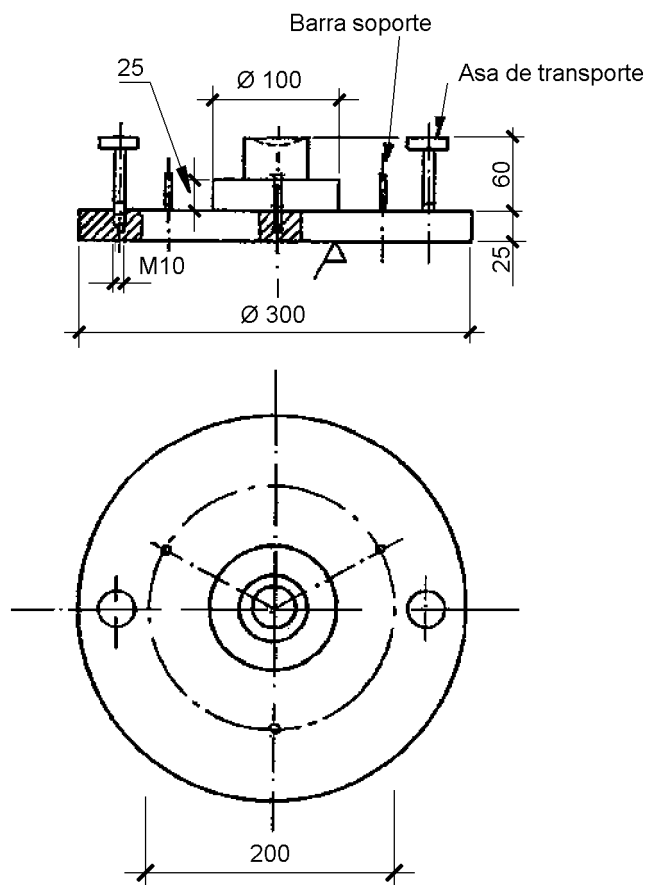


Fig. B.1 – Ejemplo de placa de carga de 300 mm de diámetro, para mediciones en tres puntos con un puente de referencia

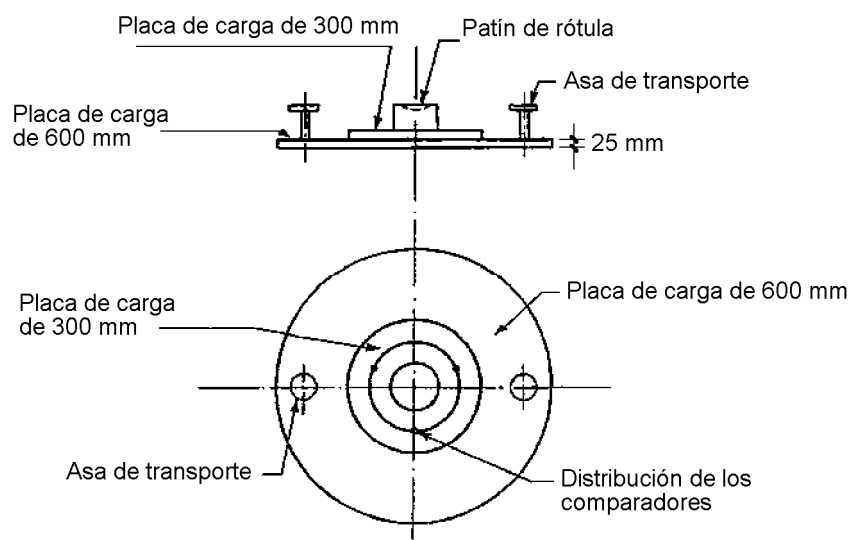


Fig. B.2 – Ejemplo de placa de 600 mm de diámetro, rigidizada mediante la colocación sobre ella de la placa de 300 mm en forma concéntrica

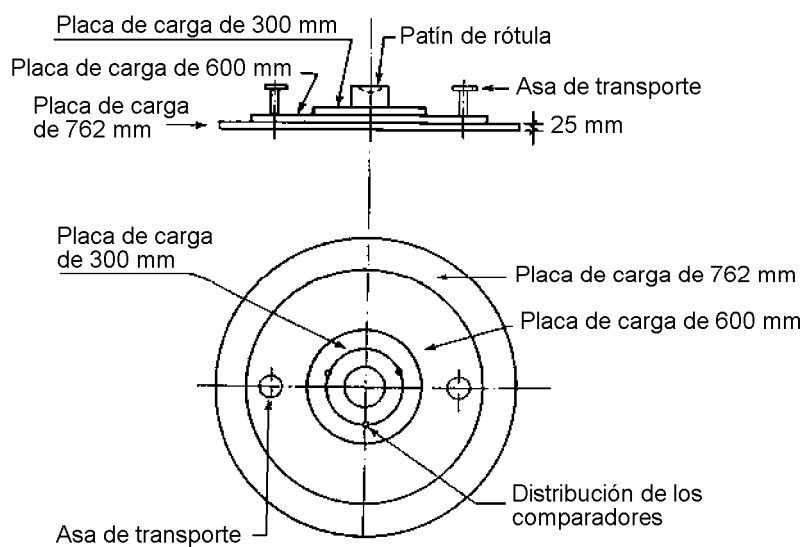


Fig. B.3 – Ejemplo de placa de 762 mm de diámetro, rigidizada mediante la colocación sobre la misma de otras dos placas concéntricas (600 mm y 300 mm)

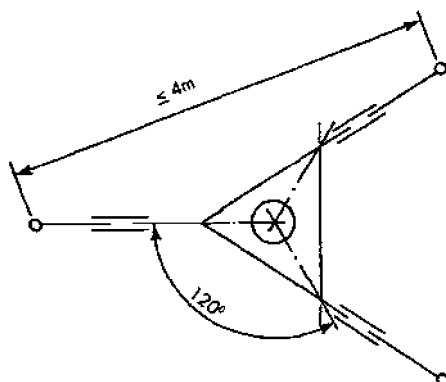


Fig. B.4 – Ejemplo de planta del puente de referencia

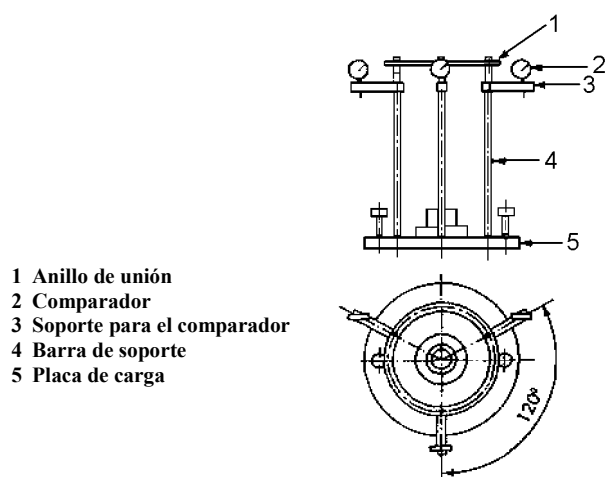


Fig. B.5 – Ejemplo de disposición de los tres comparadores o transductores para efectuar la medición en tres puntos

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32