

Julio 2006

TÍTULO

Investigación y ensayos geotécnicos

Ensayos de campo

Parte 3: Ensayo de penetración estándar

(ISO 22476-3:2005)

Geotechnical investigation and testing. Field testing. Part 3: Standard penetration test. (ISO 22476-3:2005).

Reconnaissance et essais géotechniques. Essais en place. Partie 3: Essais de pénétration au carottier. (ISO 22476-3:2005).

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 22476-3 de enero de 2005, que a su vez adopta íntegramente la Norma Internacional ISO 22476-3:2005.

OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE 103800 de septiembre de 1992.

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 33769:2006

© 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

20 Páginas

Grupo 14

ICS 93.020

Versión en español

**Investigación y ensayos geotécnicos
Ensayos de campo
Parte 3: Ensayo de penetración estándar
(ISO 22476-3:2005)**

**Geotechnical investigation and testing.
Field testing. Part 3: Standard penetration
test. (ISO 22476-3:2005).**

**Reconnaissance et essais géotechniques.
Essais en place. Partie 3: Essais de
pénétration au carottier.
(ISO 22476-3:2005).**

**Geotechnische Erkundung und
Untersuchung. Felduntersuchungen.
Teil 3: Standard penetration test.
(ISO 22476-3:2005).**

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2004-11-04. Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional.

Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse en el Centro de Gestión de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada al Centro de Gestión, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

CEN
COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung
CENTRO DE GESTIÓN: Rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles

© 2005 Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.

ÍNDICE

	Página
PRÓLOGO	5
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	6
2 NORMAS PARA CONSULTA	6
3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES.....	6
4 EQUIPO	7
5 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	9
6 RESULTADOS DEL ENSAYO.....	10
7 INFORMES.....	10
ANEXO A (Informativo) FACTORES DE CORRECCIÓN.....	13
A.1 Energía transmitida a las barras de hincá.....	13
A.2 Pérdidas de energía debidas a la longitud del varillaje	13
A.3 Otros factores de corrección	14
A.4 Efecto del exceso de presión en arenas.....	14
A.5 Uso de los factores de corrección.....	15
ANEXO B (Informativo) MÉTODO RECOMENDADO PARA MEDIR LA ENERGÍA REAL	16
B.1 Principio	16
B.2 Equipo.....	16
B.3 Mediciones	17
B.4 Cálculos.....	17
BIBLIOGRAFÍA.....	20

PRÓLOGO

El texto de la Norma EN ISO 22476-3:2005 ha sido elaborado por el Comité Técnico CENTC 341 *Investigación y ensayos geotécnicos*, cuya Secretaría desempeña DIN, en colaboración con el Comité Técnico ISO/TC 182 *Geotecnia*.

Esta norma europea debe recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a la misma o mediante ratificación antes de finales de julio de 2005, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deben anularse antes de finales de julio de 2005.

La Norma EN ISO 22476 – *Investigación y ensayos geotécnicos. Ensayos de campo*, consta de las siguientes partes:

- *Parte 1: Ensayos de penetración con el cono eléctrico y el piezocono.*
- *Parte 2: Ensayo de penetración dinámica.*
- *Parte 3: Ensayo de penetración estándar.*
- *Parte 4: Ensayo presiométrico de Menard.*
- *Parte 5: Ensayo con dilatómetro flexible.*
- *Parte 6: Ensayo con presiómetro autopercutor.*
- *Parte 7: Ensayo de perforación tipo jack.*
- *Parte 8: Ensayo presiométrico con desplazamiento completo.*
- *Parte 9: Ensayo de molinete*
- *Parte 10: Ensayo con sonda lastrada.*
- *Parte 11: Ensayo con el dilatómetro plano.*
- *Parte 12: Ensayo de penetración con el cono.*
- *Parte 13: Ensayo de carga con placa.*

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, están obligados a adoptar esta norma europea los organismos de normalización de los siguientes países: Alemania, Austria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma especifica los requisitos para las investigaciones indirectas del terreno, por medio del ensayo de penetración estándar, como una parte de la investigación y ensayos geotécnicos de acuerdo con las Normas EN 1997-1 y EN 1997-2 para complementar las investigaciones directas (por ejemplo, toma de muestras de acuerdo con el proyecto de Norma prEN ISO 22475-1).

El ensayo de penetración estándar (SPT) tiene por objeto valorar, en el fondo de un sondeo, la resistencia de los suelos a la penetración dinámica de un tomamuestras tubular partido y la recuperación de muestras alteradas con propósitos de identificación. En los suelos con gravas y en las rocas blandas se usa también un cono sólido (SPT(C)).

El ensayo de penetración estándar se utiliza principalmente para determinar los parámetros de resistencia y de deformación de los suelos sin cohesión, aunque se pueden obtener algunos datos de interés en otros tipos de suelo.

El fundamento del ensayo consiste en hincar un tomamuestras dejando caer una maza de 63,5 kg sobre una cabeza de impacto o yunque desde una altura de 760 mm. El número de golpes (N) necesario para alcanzar una penetración del tomamuestras de 300 mm (después de su penetración por gravedad y por debajo de una penetración de asiento) es la resistencia a la penetración.

2 NORMAS PARA CONSULTA

Las normas que a continuación se indican son indispensables para la aplicación de esta norma. Para las referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de la norma (incluyendo cualquier modificación de ésta).

prEN ISO 22475-1 – *Investigación y ensayos geotécnicos. Muestreo por métodos de sondeo y excavación, y medidas de agua subterránea. Parte 1: Principios técnicos de ejecución.*

3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para los propósitos de esta norma, son de aplicación los términos y definiciones siguientes:

3.1 cabeza de impacto o yunque: Parte del dispositivo de hincia sobre la que golpea la maza y a través de la cual pasa la energía a las barras de hincia.

3.2 maza: Parte del dispositivo de hincia consistente en una masa de 63,5 kg que sucesivamente se levanta y se deja caer para proporcionar la energía necesaria para producir la penetración y la toma de muestras.

3.3 altura de caída: Altura de caída libre de la maza después de ser soltada.

3.4 dispositivo de hincia: Conjunto formado por la maza, la guidera, la cabeza de impacto y el sistema de elevación y escape.

3.5 barras o varillaje de hincia: Barras que conectan el dispositivo de hincia con el tomamuestras.

3.6 energía real, E_{med} : Valor medido de la energía aplicada por el dispositivo de hincia a las barras situadas inmediatamente por debajo de la cabeza de impacto.

3.7 energía teórica, E_{teor} : Energía calculada para el dispositivo de hincia, obtenida como:

$$E_{\text{teor}} = m \times g \times h$$

donde

m es la masa de la maza;

g es la aceleración de la gravedad;

h es la altura de caída de la maza.

3.8 relación de energías, E_r : Relación entre las energías real E_{med} y teórica E_{teor} , expresada en porcentaje.

3.9 índice N : Número de golpes requeridos para hincar el tomamuestras una longitud de ensayo de 300 mm, a continuación de la penetración de asiento.

4 EQUIPO

4.1 Equipo de perforación

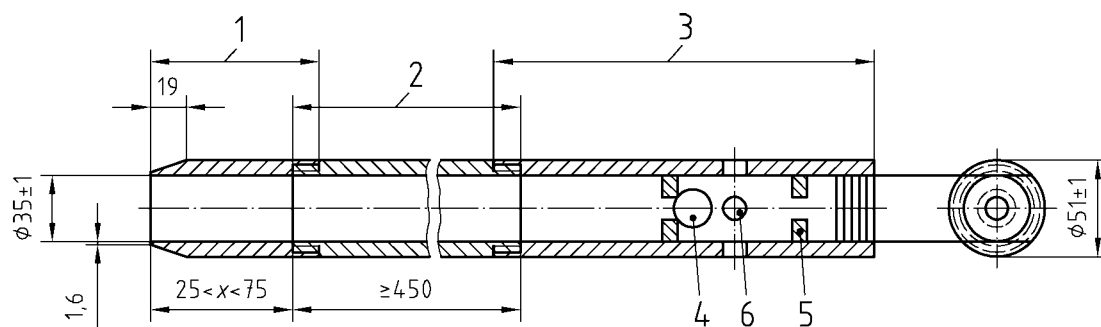
El equipo de perforación debe ser capaz de efectuar un sondeo limpio para asegurar que el ensayo de penetración se realiza en suelo esencialmente inalterado.

El que presente el fondo del sondeo antes de la realización del ensayo puede influir en los resultados, y en consecuencia se debe informar siempre del diámetro del sondeo. Cuando el diámetro sea de 150 mm o mayor, pueden producirse variaciones significativas.

4.2 Tomamuestras

El tomamuestras tubular partido metálico debe tener las dimensiones indicadas en la figura 1 y estar provisto de una válvula antirretorno con una abertura suficiente para permitir el libre flujo de agua o lodo durante la hinca.

El diámetro interno del tomamuestras puede ser hasta 3 mm más grande que el de la zapata, para permitir la colocación de una funda o camisa. En arenas con gravas, se puede utilizar una puntaza cónica ciega de 60° en lugar de la zapata normalizada. En este caso se denomina al ensayo SPT(C).



Leyenda

- 1 Zapata de hinca
- 2 Tubo partido
- 3 Cabeza de acoplamiento
- 4 Válvula antirretorno (diámetro de la bola recomendado: 25 mm; asiento de la bola recomendado: 22 mm)
- 5 Clavijas de retención de la bola
- 6 Cuatro agujeros de ventilación (diámetro mínimo: 12 mm)
- x Longitud de la zapata de hinca

Fig. 1 – Sección longitudinal por un plano diametral de un tomamuestras SPT, sin previsión de espacio para una camisa (dimensiones en mm)

4.3 Barras de hinca (varillaje)

Las barras deben tener una rigidez tal que se evite el pandeo durante la hinca. No se deben utilizar barras con una masa de más de 10 kg/m. Solamente se deben utilizar barras rectas, y se deben realizar verificaciones periódicas *in situ*, incluyendo las uniones entre barras consecutivas. La desviación relativa de cada barra, medida a lo largo de toda su longitud, no debe ser mayor que 1/1 200.

4.4 Dispositivo de hinca

El dispositivo de hinca, con una masa total que no exceda 115 kg, debe constar de:

- una maza metálica de $63,5 \text{ kg} \pm 0,5 \text{ kg}$, convenientemente guiada para asegurar una resistencia mínima (rozamiento) durante la caída;
- un mecanismo automático de liberación o de escape que asegure una altura de caída libre constante de valor $(760 \pm 10) \text{ mm}$, una velocidad despreciable de la maza cuando se libera, y que no se induzcan movimientos parásitos en las barras de hinca;
- una cabeza de impacto o yunque metálico rígidamente conectado a la parte superior de las barras de hinca. Puede ser una parte interna del dispositivo, tal como los martillos de seguridad.

4.5 Equipo opcional

4.5.1 Contador de golpes. Se puede colocar en el sistema un dispositivo para medir los impulsos mecánicos o eléctricos para contar el número de golpes de la maza.

4.5.2 Dispositivo para medir la longitud de penetración. La longitud de penetración se mide contando sobre una escala en las barras o mediante sensores de registro. En este último caso, la resolución debe ser menor que 1/100 de la longitud medida.

5 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

5.1 Verificación del equipo y calibraciones

Se debe verificar el tomamuestras antes de cada serie de ensayos para asegurar que tiene las características apropiadas (dimensiones). Se debe verificar la rectitud de las barras en cada nuevo emplazamiento, y al menos, una vez cada 20 ensayos de penetración en el mismo lugar. Después de cada ensayo, se debe hacer una verificación visual de la rectitud de las barras.

En el lugar del ensayo se debe verificar la altura de caída, la fricción en la caída libre de la maza, el estado de la cabeza de impacto y que el mecanismo de liberación opere satisfactoriamente, todo lo cual se debe asegurar para toda la serie de ensayos. Adicionalmente, cuando se utilice un equipo de registro automático, se debe verificar que funcione correctamente.

Cuando sea aplicable, se debe verificar la precisión de los equipos de medida después de cualquier daño, sobrecarga o reparación, y al menos, cada seis meses, siempre que el manual del fabricante no requiera intervalos de inspección más cortos. Se deben reemplazar las partes que fallen. Se deben mantener los registros de calibración junto con el equipo.

Las pérdidas de energía se producen, por ejemplo, debido a la fricción en la maza (pérdida de velocidad respecto de la caída libre) o debido a pérdidas de energía durante el impacto de la maza sobre la cabeza de impacto. Por lo tanto, se debe conocer la relación de energías E_r del equipo utilizado, si los valores de N se van a utilizar para la evaluación cuantitativa de las cimentaciones o para la comparación de resultados. Debe disponerse de un certificado de calibración del valor de E_r bajo la cabeza de impacto o yunque.

NOTA – En el anexo B se proporciona un método recomendado para determinar la energía real.

5.2 Preparación del sondeo

Se debe preparar el sondeo para la profundidad de ensayo especificada. El fondo del sondeo debe estar limpio, esencialmente inalterado a la cota de ensayo y sin existencia de gradientes hidráulicos.

Cuando se utilicen brocas de perforación, éstas deben estar provistas de descarga lateral y no de descarga de fondo, a partir de una distancia de seguridad respecto de la cota de ensayo.

Cuando se ensaye por debajo del nivel freático, se debe tener especial precaución para evitar cualquier entrada de agua por el fondo del sondeo, puesto que ello tenderá a aflojar el suelo o incluso podría llevar a su sifonamiento. Con este propósito, se debe mantener, en todo momento, el nivel del agua o del fluido de perforación a una altura suficiente por encima del nivel freático en la capa con la presión (potencial) más alta, incluso durante la extracción de los útiles de perforación. Se debe realizar su extracción lentamente y con los útiles de perforación, dejando una distancia libre suficiente para evitar los efectos de succión en el fondo.

Cuando se utilice tubería de revestimiento, ésta no se debe hincar por debajo del nivel en el cual empezará el ensayo.

5.3 Ejecución del ensayo

Se deben bajar el tomamuestras y las barras de hincia hasta el fondo del sondeo y después acoplar el dispositivo de hincia. Se debe registrar la penetración inicial. Se debe hacer penetrar el tomamuestras una longitud inicial de 150 mm, denominada "penetración de asiento", golpeando con la maza de caída libre, de 63,5 kg, desde una altura de 760 mm, y se debe registrar el número de golpes N_0 . A continuación, se debe hincar el tomamuestras de la misma manera, la longitud de ensayo de 300 mm, en al menos dos tramos de 150 mm. Se debe registrar el número de golpes necesarios en cada uno de estos tramos (N_n). Si se alcanza un total de 50 golpes para llegar a la longitud de ensayo, se puede finalizar la prueba ($N = 50$); en rocas blandas se puede aumentar este límite a 100 golpes ($N = 100$). Se denomina resistencia a la penetración de esa capa de suelo ($N = N_n + N_{n+1}$) al número total de golpes requeridos para la penetración de 300 mm después de la penetración de asiento.

En suelos duros o en rocas blandas donde la resistencia a la penetración sea muy alta, se puede registrar la penetración que se obtiene para un determinado número de golpes.

Si el tomamuestras penetra bajo el fondo del sondeo por acción de la carga estática de las barras de hincas y el dispositivo de hincas, no se debe considerar la penetración correspondiente como de asiento, y se debería registrar esta información. En ningún caso, el material introducido en el tomamuestras debe alcanzar el nivel de la válvula antirretorno.

Se deben registrar y manipular las muestras recuperadas de acuerdo con el proyecto de Norma prEN ISO 22475-1.

5.4 Requisitos de seguridad

Se deben seguir las reglamentaciones nacionales sobre seguridad y salud; por ejemplo para:

- salud personal y equipo de seguridad;
- aire limpio, si se trabaja en espacios confinados;
- asegurar la seguridad del equipo.

6 RESULTADOS DEL ENSAYO

Se deben registrar e interpretar los resultados del ensayo como N , o golpeo para la obtención de la penetración de ensayo.

Los valores de N pueden variar con el equipo de ensayo y con la forma de ejecución, así como con las condiciones geotécnicas (véase el anexo A). Se deben considerar las correcciones del anexo A.

7 INFORMES

7.1 Informe de campo

7.1.1 Aspectos generales. Se debe realizar un informe de campo en el lugar del ensayo. Este informe de campo debe consistir en lo siguiente, cuando sea aplicable:

- a) resumen del perfil de acuerdo con el proyecto de Norma prEN ISO 22475-1;
- b) registro de los valores medidos y de los resultados del ensayo.

Se deben preparar informes de todas las investigaciones de campo de forma que terceras personas puedan verificar y entender los resultados.

7.1.2 Registro de los valores medidos y de los resultados del ensayo. En el lugar del proyecto se debe registrar, para cada ensayo, la información siguiente:

- a) información general:
 - 1) nombre del cliente;
 - 2) nombre del contratista;
 - 3) clave de obra o de proyecto;
 - 4) nombre y situación del proyecto;
 - 5) nombre y firma del operador a cargo del equipo de ensayo;

b) información sobre la ubicación del ensayo:

- 1) número del sondeo;
- 2) esquema de campo (con o sin escala);
- 3) cota del terreno referida a un punto fijo;
- 4) coordenadas x, y, z de la boca del sondeo;
- 5) emplazamiento en tierra o sobre el agua;

c) información sobre el equipo utilizado en el ensayo:

- 1) método de perforación y diámetro del sondeo a la profundidad del ensayo;
- 2) fabricante, modelo y número del equipo de ensayo;
- 3) tipos y tamaños de las barras de hincia;
- 4) tipo y tamaño de la maza y del mecanismo de liberación y peso de la cabeza de impacto;
- 5) tomamuestras de cuchara partida, con o sin camisa;
- 6) puntaza cónica ciega (SPT(C)), si se utiliza;
- 7) relación de energías E_r e informe de calibración;

d) información sobre el ensayo propiamente dicho:

- 1) fecha y número de ensayo;
- 2) documentación sobre la verificación y calibración del equipo, llevada a cabo de acuerdo con el apartado 5.1;
- 3) registro del ensayo con:
 - el valor no corregido de N para cada ensayo, en el intervalo de profundidad correspondiente;
 - N_n , N_{n-1} , si se requiere;
 - la penetración correspondiente, si el ensayo se termina a 50 golpes (o 100 en rocas blandas);
 - la penetración por golpe, si se requiere en condiciones de terreno difíciles;
 - penetración del tomamuestras bajo carga estática;
- 4) testificación de las muestras recuperadas;
- 5) nivel freático o condiciones artesianas, si se conocen;
- 6) nivel del agua o fluido de perforación durante la preparación y ejecución de cada ensayo;
- 7) profundidad del ensayo y del revestimiento;
- 8) condiciones climatológicas;

- 9) anomalías u observaciones durante la ejecución (por ejemplo, golpeo bajo, penetración sin golpes, obstrucciones temporales, funcionamiento inadecuado del equipo);
- 10) observaciones sobre el tomamuestras recuperado y/o barras;
- 11) todas las interrupciones durante el trabajo, con indicación de la duración y del cambio de barra;
- 12) razones en caso de finalización prematura del ensayo;
- 13) relleno posterior de la penetración de acuerdo con el proyecto de Norma prEN 22475-1, si se requiere.

7.2 Informe del ensayo

Para verificar la calidad de la información, el informe del ensayo debe incluir lo siguiente, además de la información referida en el apartado 7.1:

- a) informe de campo (en formato original y/o informatizado);
- b) presentación gráfica de los resultados del ensayo;
- c) correcciones aplicadas, si hay alguna, y valor corregido de N ;
- d) representación gráfica respecto de la profundidad de N y de N corregido, si procede;
- e) cualquier limitación de la información (por ejemplo, resultados del ensayo irrelevantes, insuficientes, inexactos o adversos);
- f) nombre y firma del responsable de campo.

Se deben registrar los resultados del ensayo de forma que terceras personas sean capaces de verificarlos y entenderlos.

ANEXO A (Informativo)

FACTORES DE CORRECCIÓN

A.1 Energía transmitida a las barras de hincia

Las pérdidas de energía inducidas por el dispositivo de golpeo debido a la fricción y a otros efectos parásitos, provocan que la velocidad de la maza al impactar sea menor que la velocidad de caída libre. Otras pérdidas adicionales se originan por el impacto sobre la cabeza de hincia, dependiendo de su masa y de otras características. El tipo de máquina, la destreza del operador y otros factores pueden influir también sobre la energía transmitida a las barras de hincia.

El valor del golpeo, N , en arenas es inversamente proporcional a la relación de energías, E_r , de manera que:

$$N_a \times E_{r,a} = N_b \times E_{r,b} \quad (\text{A.1})$$

Para el cálculo y el establecimiento de comparaciones en arenas, los números valores de N se deberían ajustar a una relación de energía de referencia del 60% mediante la ecuación siguiente:

$$N_{60} = \frac{E_r}{60} N \quad (\text{A.2})$$

donde

N es el golpeo;

E_r es la relación de energías del equipo de ensayo específico.

Si se ha optado por un criterio de proyecto en arenas para un valor de E_r diferente del 60%, se debería determinar el valor de N corregido correspondiente, basado en la ecuación A.1.

A.2 Pérdidas de energía debidas a la longitud del varillaje

Los factores de corrección mostrados en la tabla A.1 se pueden aplicar al golpeo obtenido en arenas si la longitud total del varillaje es menor que 10 m; en caso contrario, no debería aplicarse ninguna corrección.

Tabla A.1
Factores de corrección en arenas debido a la longitud total del varillaje

Longitud de varillaje debajo de la cabeza de impacto m	Factor de corrección λ
>10	1,0
6 a 10	0,95
4 a 6	0,85
3 a 4	0,75

A.3 Otros factores de corrección

Si el diámetro interior del tomamuestras es 3,0 mm más grande que el de la zapata, como se indica en el apartado 4.2, no es necesaria ninguna corrección si se utiliza una funda o camisa de espesor apropiado, de manera que el interior de todo el tomamuestras presente un diámetro uniforme de 35 mm. No obstante, se debería prestar atención al posible daño de la camisa durante la hinca y su influencia sobre el golpeo correspondiente. Si no se utiliza la camisa, la holgura adicional del interior del tubo, en relación con la zapata, lleva a valores de N entre un 10% y un 20% más bajos, en arenas.

A.4 Efecto de la sobrecarga del terreno en arenas

Se puede tener en cuenta el efecto de la sobrecarga del terreno en arenas, sobre el valor de N , por ejemplo, mediante la aplicación del factor de corrección C_N dado en la tabla A.2, referido al tipo de consolidación y al índice de densidad I_D .

Tabla A.2
Factores de corrección C_N en función de la tensión vertical σ'_v
(en kPa debido a la sobrecarga del terreno en arenas)

Tipo de consolidación	Índice de densidad I_D %	Factor de corrección C_N
Normalmente consolidado	40 a 60	$\frac{200}{100+\sigma'_v}$
	60 a 80	$\frac{300}{200+\sigma'_v}$
Sobreconsolidado	—	$\frac{170}{70+\sigma'_v}$

Otro ejemplo de la corrección para arena normalmente consolidada es el empleo de C_N conforme a la siguiente expresión:

$$C_N = \sqrt{\frac{98}{\sigma'_v}} \quad (\text{A.3})$$

No se deberían aplicar valores del factor de corrección C_N mayores de 2,0 y preferiblemente de 1,5.

El número de golpes corregido para una relación de energías, E_r , del 60%, normalizado para una tensión vertical efectiva $\sigma'_v = 100$ kPa, resulta por lo tanto:

$$(N_1)_{60} = \frac{E_r \times N \times C_N}{60} \quad (\text{A.4})$$

A.5 Empleo de los factores de corrección

En los párrafos precedentes se han incluido diferentes factores de corrección. Como los métodos de cálculo de cimentaciones basados en el ensayo SPT son de naturaleza empírica, solamente se deberían utilizar los factores de corrección que resulten específicos para cada caso concreto, salvo justificación en contra.

Si todos los factores de corrección se aplican a un método de cálculo basado en una relación de energías del 60%, se obtendría el valor de golpeo final siguiente (sin incluir el mencionado en el capítulo A.3):

$$N_{60} = \frac{E_r}{60} \times \lambda \times C_N \times N \quad (\text{A.5})$$

donde

λ es el factor de corrección por pérdidas de energía debida a la longitud del varillaje en arenas;

C_N es el factor de corrección por tensión vertical debida a la sobrecarga del terreno, en arenas.

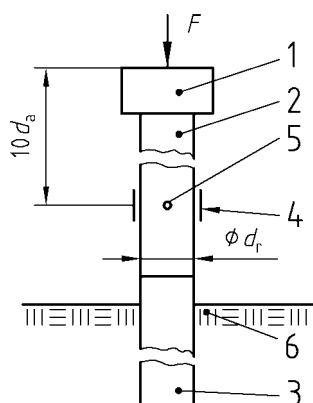
ANEXO B (Informativo)

MÉTODO RECOMENDADO PARA MEDIR LA ENERGÍA REAL

B.1 Principio

Se puede medir la energía transmitida a las barras de hinca por medio de una sección de barra instrumentada situada a una distancia mayor que 10 veces el diámetro de la barra, por debajo del punto de impacto de la maza sobre la cabeza de impacto (véase la figura B.1).

Véanse las referencias [1] a [6] de la bibliografía para obtener información adicional.



Leyenda

- 1 Cabeza de impacto o yunque
- 2 Parte de la barra instrumentada
- 3 Barra de hinca
- 4 Medidor de deformación (transductor de medida)
- 5 Acelerómetro
- 6 Terreno
- F Fuerza
- d_r Diámetro de la barra

Fig. B.1 – Barra instrumentada (ejemplo)

B.2 Equipo

El dispositivo de medida está compuesto por una barra instrumentada desmontable que se fija entre la cabeza de impacto y la cabeza del varillaje. Este dispositivo incluye:

- un sistema para la medida de la aceleración vertical, que tiene una respuesta lineal de hasta 5 000 g;
- un sistema para la medida de la deformación axial inducida en la barra;
- un aparato, con una resolución mayor que 1×10^{-5} s, para ver, registrar y pretratar las señales;
- un sistema para procesar los datos (registrador de datos y ordenador).

Cuando se utilicen los medidores de deformación para determinar la deformación axial, éstos deberían estar uniformemente distribuidos alrededor de la barra instrumentada.

B.3 Mediciones

Se verifica, en cada impacto, el funcionamiento correcto del equipo de medición y de los sensores mediante la visualización de los resultados de las mediciones.

Se debería verificar que las señales de los acelerómetros y de los medidores de deformación sean nulas antes y después del impacto.

La precisión, en la medición de la aceleración y de la deformación, debería ser mayor que el 2% del valor medido.

B.4 Cálculos

B.4.1 Se calcula la fuerza F transmitida a las barras como sigue:

$$F(t) = A_a \times E_a \times \varepsilon_m(t) \quad (\text{B.1})$$

donde

$\varepsilon_m(t)$ es la deformación axial de la barra instrumentada medida en el tiempo t ;

A_a es el área de la sección transversal de la barra instrumentada;

E_a es el módulo de Young de la barra instrumentada.

B.4.2 Se calcula la velocidad de partícula $v(t)$ de la sección de medida mediante la integración de la aceleración $a(t)$ en el tiempo t .

B.4.3 La ecuación básica para la energía E que pasa a través de las barras de hincas es:

$$E(t') = \int_0^{t'} F(t) v(t) dt \quad (\text{B.2})$$

donde

$E(t')$ es la energía de hincas que pasa a través de las barras de hincas hasta el tiempo t' después del impacto.

En la bibliografía se pueden encontrar métodos diversos e información adicional para desarrollar la ecuación anterior.

B.4.4 La energía de la maza que se debe tener en cuenta es el valor medio obtenido en al menos cinco mediciones:

$$E_{\text{med}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \quad (\text{B.3})$$

B.4.5 La relación de energías de la maza que caracteriza cada penetrómetro dinámico viene dado por:

$$E_r = \frac{E_{\text{med}}}{E_{\text{teor}}} \leq 1 \quad (\text{B.4})$$

donde

$$E_{\text{teor}} = m \times g \times h; ;$$

h es la altura de caída de la maza;

m es la masa de la maza;

g es la aceleración de la gravedad.

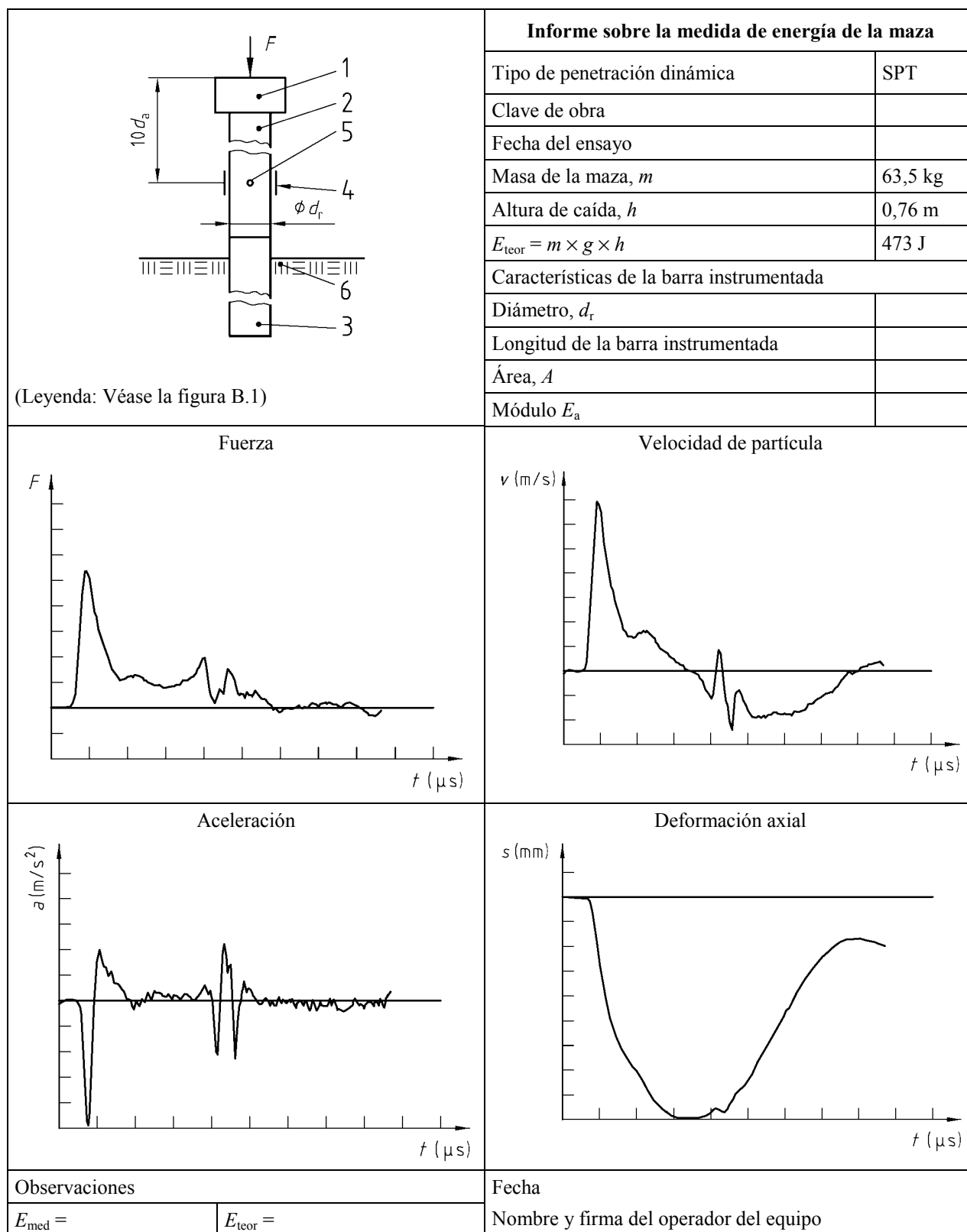


Fig. B.2 – Ejemplo de informe sobre la medida de energía de la maza

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ASTM D 4633-86: *Standard test method for stress wave energy measurements for dynamic penetrometer testing systems*. American Society for Testing and Materials, Philadelphia 1986.
- [2] Butler, J.J., Caliendo, J.A., Goble, G.G.: *Comparison of SPT energy measurements methods*. Proc. 1st Int. Conf. on Site Characterization, Atlanta 1998, Vol. 2, 901–905.
- [3] Farrar, J.A.: *Summary of Standard Penetration Test (SPT) energy measurements experience*. Proc. 1st Int. Conf. on Site Characterization, Atlanta 1998, Vol. 2, 919–926.
- [4] Gonin, H.: *Du Pénétrömètre dynamique au battage des pieux*. Revue Française de Géotechnique No 76, 1996.
- [5] Gonin, H.: *La formule des Hollandais ou le conformisme dans l'enseignement*. Revue Française de Géotechnique No 87, 1999.
- [6] Matsumoto, T; Sekeguchi, H., Yoshida, H. & Kita, K.: Significance of two-point strain measurements in SPT. Soils and Foundations, JSSMFE, Vol. 32, 1992, No 2, pp. 67-82.
- [7] EN 1997-1 – *Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico. Parte 1: Reglas generales*.
- [8] EN 1997-2 – *Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico. Parte 2: Investigación y ensayos del terreno*.

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32