

Abril 2008

TÍTULO

Investigación y ensayos geotécnicos

Ensayos de campo

Parte 2: Ensayo de penetración dinámica

(ISO 22476-2:2005)

Geotechnical investigation and testing. Field testing. Part 2: Dynamic probing (ISO 22476-2:2005).

Reconnaissance et essais géotechniques. Essais en place. Partie 2: Essai de pénétration dynamique (ISO 22476-2:2005).

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 22476-2:2005, que a su vez adopta la Norma Internacional ISO 22476-2:2005.

OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a las Normas UNE 103801:1994, UNE 103802:1998 y EN ISO 22476-2:2005 (ratificada por AENOR).

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 19284:2008

© AENOR 2008
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

37 Páginas

Grupo 23

Versión en español

Investigación y ensayos geotécnicos
Ensayos de campo
Parte 2: Ensayo de penetración dinámica
(ISO 22476-2:2005)

Geotechnical investigation and testing.
Field testing. Part 2: Dynamic probing
(ISO 22476-2:2005).

Reconnaissance et essais géotechniques.
Essais en place. Partie 2: Essai de
pénétration dynamique
(ISO 22476-2:2005).

Geotechnische Erkundung und
Untersuchung. Felduntersuchungen.
Teil 2: Rammsondierungen
(ISO 22476-2:2005)

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.....	8
5 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO.....	11
6 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS	13
7 INFORMES.....	13
ANEXO A (Informativo) RESUMEN DEL PERFIL DE UN ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA	16
ANEXO B (Informativo) REGISTRO DE LOS VALORES MEDIDOS Y DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA	17
ANEXO C (Informativo) MÉTODO RECOMENDADO PARA MEDIR LA ENERGÍA REAL.....	18
ANEXO D (Informativo) CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS Y DEL EQUIPO QUE INFLUYEN EN LOS RESULTADOS DE LA PENETRACIÓN DINÁMICA.....	22
ANEXO E (Informativo) INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO USANDO LA RESISTENCIA DINÁMICA POR PUNTA	34
BIBLIOGRAFÍA.....	37

PRÓLOGO

El texto de la Norma EN ISO 22476-2:2005 ha sido elaborado por el Comité Técnico CEN/TC 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 ella 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 Europea 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 mecánica 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 suelo mediante el ensayo de penetración dinámica como una parte de la investigación y ensayos geotécnicos de acuerdo con las Normas Europeas EN 1997-1 y EN 1997-2.

Esta norma abarca la determinación *in situ* de la resistencia de los suelos y de las rocas blandas a la penetración dinámica de una puntaza cónica. Para hincar la puntaza cónica se utiliza una maza de masa y altura de caída conocidas. Se define la resistencia a la penetración como el número de golpes requeridos para hincar la puntaza cónica una longitud determinada. Se proporciona un registro continuo en función de la profundidad pero no se recuperan muestras.

Se incluyen cuatro procedimientos que cubren un intervalo amplio de trabajo específico por golpe:

- ensayo de penetración dinámica ligera (DPL): ensayo que representa el extremo más bajo del intervalo de masa de los equipos dinámicos;
- ensayo de penetración dinámica mediana (DPM): ensayo que representa el intervalo de masa medio de los equipos dinámicos;
- ensayo de penetración dinámica pesada (DPH): ensayo que representa el intervalo de masa medio a muy pesado de los equipos dinámicos;
- ensayo de penetración dinámica súper pesada (DPSH): ensayo que representa el extremo más alto del intervalo de masa de los equipos dinámicos.

Los resultados de los ensayos de esta norma son especialmente adecuados para la determinación cualitativa del perfil de un suelo junto con las investigaciones directas (por ejemplo, la toma de muestras de acuerdo con el proyecto de Norma Europea prEN ISO 22475-1) o como una comparación relativa de otros ensayos *in situ*. Se pueden utilizar también para la determinación de las propiedades de resistencia y deformación de suelos, generalmente del tipo sin cohesión, pero también es posible en los suelos finos a través de correlaciones adecuadas. Los resultados se pueden utilizar también para determinar la profundidad de capas de terreno muy densas, por ejemplo, para determinar la longitud de pilotes que trabajen de punta, y para detectar terrenos muy sueltos, con oquedades o rellenos.

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).

EN 10204 *Productos metálicos. Tipos de documentos de inspección.*

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, se aplican los términos y definiciones siguientes.

3.1 penetrómetro dinámico:

Puntaza cónica y barras de hincar (varillaje).

3.2 equipo para ensayos de penetración dinámica:

Penetrómetro y todo el equipo necesario para hincarlo.

3.3 cabeza de impacto o yunque:

Parte del dispositivo de hinca sobre la que golpea la maza y a través de la cual pasa la energía a las barras de hinca.

3.4 colchón; amortiguador:

Se coloca sobre la cabeza de impacto para minimizar el daño al equipo.

3.5 maza:

Parte del dispositivo de hinca que se levanta y se deja caer sucesivamente para proporcionar la energía que consiga la penetración de la puntaza cónica.

3.6 altura de caída:

Altura de caída libre de la maza después de ser soltada.

3.7 dispositivo de hinca:

Conjunto formado por la maza, la guiadera, la cabeza de impacto y el sistema de elevación y escape.

3.8 barras o varillaje de hinca:

Barras que conectan el dispositivo de hinca con la puntaza cónica.

3.9 puntaza cónica:

Puntaza de dimensiones normalizadas que se utiliza para medir la resistencia a la penetración (véase la figura 1).

3.10 energía real; energía de hinca, E_{med} :

Valor medido de la energía aplicada por el dispositivo de hinca a las barras situadas inmediatamente por debajo de la cabeza de impacto.

3.11 energía teórica, E_{teor} :

Energía calculada para el dispositivo de hinca, 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.

3.12 relación de energías, E_r :

Relación entre las energías real E_{med} y teórica E_{teor} de la maza, expresada en porcentaje.

3.13 índice, N_{xy} :

Número de golpes requeridos por el penetrómetro tipo y para hincar la puntaza cónica una longitud definida x (expresada en cm).

3.14 trabajo específico por golpe, E_n :

Valor calculado mediante la fórmula:

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

donde

m es la masa de la maza;

g es la aceleración de la gravedad;

h es la altura de caída de la maza;

A es el área nominal de la base (calculada utilizando el diámetro de la base D);

E_{teor} es la energía teórica.

4 EQUIPO**4.1 Dispositivo de hinca**

En la tabla 1 se recogen las dimensiones y las masas de los componentes del dispositivo de hinca. Se deben cumplir los requisitos siguientes:

- la maza se debe guiar convenientemente durante la caída para asegurar que la resistencia sea mínima;
- el mecanismo de liberación automático debe asegurar una caída libre constante, con una velocidad insignificante de la maza cuando se libera y sin movimientos parásitos inducidos en las barras de hinca;
- la cabeza de impacto de acero debería estar conectada rígidamente a la parte superior de las barras de hinca. Se puede elegir una conexión con holgura;
- debería formar parte del dispositivo de hinca una guía soporte, para asegurar la verticalidad y el soporte lateral del tramo del varillaje que sobresale del terreno.

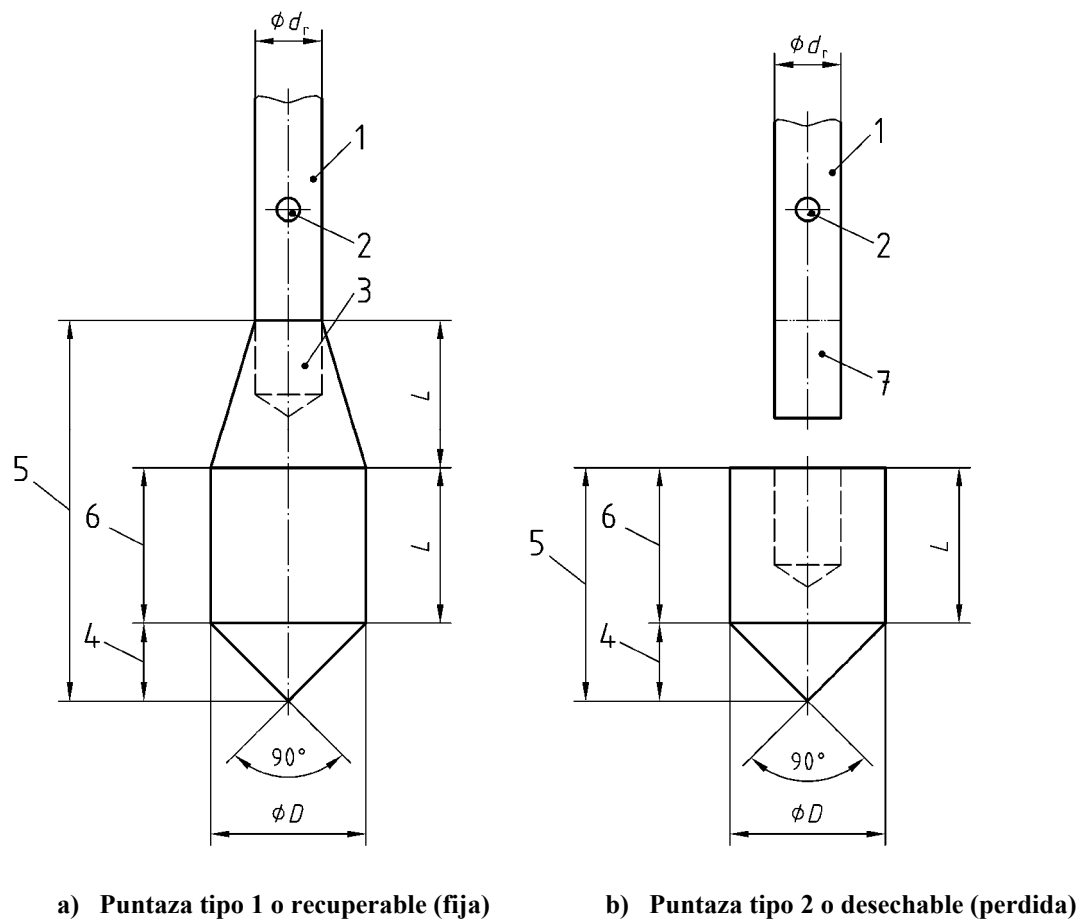
Si se utiliza un sistema neumático para levantar la maza, éste debe suministrarse con los documentos de inspección estipulados por la Norma Europea EN 10204 debido a que la energía de hinca no está siempre asegurada.

4.2 Cabeza de impacto

La cabeza de impacto debe fabricarse con acero de alta resistencia. Se puede colocar un amortiguador entre la maza y la cabeza de impacto.

4.3 Puntaza cónica

La puntaza cónica de acero debe tener un ángulo de 90° en el vértice, una camisa cilíndrica de prolongación superior y un tramo de transición hasta las barras de hinca de prolongación según se muestra en la figura 1 y con las dimensiones y tolerancias indicadas en la tabla 1. La puntaza cónica puede ser recuperable (fija) o desechable (perdida). Cuando se usa una puntaza recuperable, el extremo de la barra de hinca debe encajar sin holgura en la puntaza. En la figura 1 se recogen especificaciones alternativas para las puntazas cónicas.



Leyenda

- 1 Barra de hincia de prolongación
- 2 Agujero de inyección (opcional)
- 3 Montaje a rosca
- 4 Punta del cono
- 5 Puntaza
- 6 Camisa cilíndrica
- 7 Montaje por penetración
- L Longitud de la camisa cilíndrica
- D Diámetro de la base
- d_r Diámetro de la barra

**Figura 1 – Formas alternativas de las puntazas cónicas para el ensayo de penetración dinámica
(para los valores de L , D y d_r véase la tabla 1)**

4.4 Barras de hincia

El material de las barras debe ser acero de alta resistencia con características apropiadas para el trabajo, que se debe realizar sin deformaciones y desgaste excesivos. Las barras deben ser de junta lisa, deben estar rectas y pueden tener partes rebajadas donde encajen las llaves para ajustarlas o desajustarlas. Las deformaciones deben ser tales que puedan ser corregidas. La deflexión en el punto medio de una barra de prolongación, medida a partir de una línea recta que pase por sus extremos, no debe superar 1 unidad de medida en 1 000, es decir 1 mm en 1 m. En la tabla 1 se indican las dimensiones y las masas de las barras de hincia.

Se deberían utilizar barras huecas.

4.5 Dispositivo para medir el par de torsión

Se mide el par de torsión necesario para girar las barras de hincia mediante una llave con medidor de par de torsión o un dispositivo de medida similar. El aparato debe ser capaz de medir un par de torsión de al menos 200 Nm y debe graduarse para leer al menos incrementos de 5 Nm.

Se puede utilizar un sensor para el registro del par de torsión.

Se puede utilizar la parte rebajada de las barras de hincia para fijar las llaves con medidor de par de torsión o el dispositivo de medida.

4.6 Equipo opcional

4.6.1 Contador de golpes

Se puede colocar en el sistema un dispositivo para contar el número de golpes de la maza por medio de la medición de impulsos mecánicos o eléctricos.

4.6.2 Dispositivo para medir la longitud de penetración

Se mide la longitud de penetración contando sobre una escala situada en las barras o mediante sensores de registro. En este último caso, la resolución debe ser mejor que 1/100 de la longitud medida.

4.6.3 Sistema de inyección

El sistema de inyección incluye:

- barras huecas;
- extremo macizo de la barra inferior cuando se utiliza puntaza desechable (perdida);
- bomba de lodo conectada a un dispositivo colocado por debajo de la cabeza de impacto, con el objeto de asegurar el relleno del espacio anular entre el terreno y las barras de hincia, creado por el sobreancho de la puntaza en comparación con las barras.

El flujo de la bomba es tal que siempre se asegurará que el espacio anular entre el terreno y las barras de hincia se rellene.

NOTA 1 El lodo, por ejemplo, puede ser una mezcla de bentonita y agua con una relación de masa entre las partículas secas y el agua del 5% al 10%.

NOTA 2 No es obligatoria la circulación de lodos hacia la superficie. La presión de inyección debe ser tal que se corresponda, después de deducir las pérdidas en cabeza, con la presión hidrostática, debida al lodo, a nivel de la puntaza.

Se puede utilizar una bomba manual.

4.6.4 Aparato para la medición de las dimensiones de la puntaza

Se hace la medición del diámetro y de la longitud de la puntaza por medio de un calibre deslizante con resolución de 1/10 mm o mediante un sistema equivalente.

4.6.5 Dispositivo para controlar la desviación del varillaje respecto de la vertical

Se debería disponer de un sistema o guía que soporte la parte de las barras que sobresalen del terreno para garantizar y verificar que las barras de hincia mantienen la alineación vertical.

Tabla 1 – Dimensiones y masas de los cuatro tipos de aparatos para ensayos de penetración dinámica

Aparato para ensayos de penetración dinámica	Símbolo	Unidad	DPL (ligero)	DPM (mediano)	DPH (pesado)	DPSH (súper pesado)	
						DPSH-A	DPSH-B
Dispositivo de hinca masa de la maza, nueva altura de caída	m h	kg mm	$10 \pm 0,1$ 500 ± 10	$30 \pm 0,3$ 500 ± 10	$50 \pm 0,5$ 500 ± 10	$63,5 \pm 0,5$ 500 ± 10	$63,5 \pm 0,5$ 750 ± 20
Cabeza de impacto diámetro masa (máx.) (barra guía incluida)	d m	mm kg	$50 < d < D_h^a$ 6	$50 < d < D_h^a$ 18	$50 < d < 0,5 D_h^a$ 18	$50 < d < 0,5 D_h$ 18	$50 < d < 0,5 D_h^a$ 30
Puntaza de 90° área nominal de la base diámetro de la base, nuevo diámetro de la base, gastada (mín.) longitud de la camisa cilíndrica longitud de la punta cónica desgaste máx. permisible de la punta	A D L	cm ² mm mm mm	10 $35,7 \pm 0,3$ 34 $35,7 \pm 1$	15 $43,7 \pm 0,3$ 42 $43,7 \pm 1$	15 $43,7 \pm 0,3$ 42 $43,7 \pm 1$	16 $45,0 \pm 0,3$ 43 $90,0 \pm 2^b$	20 $50,5 \pm 0,5$ 49 51 ± 2
Barras de hincac masa (máx.) diámetro exterior (máx.) desviación de la barra ^d : en los 5 m inferiores en el resto	m d_r	kg/m mm % %	3 22 0,1 0,2	6 32 0,1 0,2	6 32 0,1 0,2	6 32 0,1 0,2	8 35 0,1 0,2
Trabajo específico por golpe	mgh/A E_n	kJ/m ²	50	100	167	194	238
^a D_h : diámetro de la maza. En caso de forma rectangular, se asume la menor dimensión como equivalente al diámetro. ^b Puntaza desechable (perdida) solamente. ^c La longitud máxima de las barras no debe exceder de 2 m. ^d Desviación de la barra respecto de la vertical. NOTA Las tolerancias indicadas son las tolerancias de fabricación.							

5 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

5.1 Verificación del equipo y calibraciones

Antes de cada ensayo se debe hacer una verificación de las dimensiones para asegurar que están dentro de los valores recogidos en la tabla 1. 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 velocidad de golpeo, la altura de caída, el rozamiento 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 equipo de registro automático, se debe verificar que funciona 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.

Para verificar los penetrómetros dinámicos neumáticos se debe medir directamente la energía de hinca por impacto (energía real E_{med}). Cuando se divide esta energía por el área de la puntaza, el valor obtenido no se debe desviar en más de un 3% del valor teórico del trabajo específico por golpe, indicado en la tabla 1. Se debe verificar la energía de hinca por impacto cada seis meses.

Las pérdidas de energía se producen, por ejemplo, debido al rozamiento 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 debería determinar la energía real transmitida a las barras de hinca para cada dispositivo de hinca nuevo.

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

5.2 Preparación del ensayo

Los ensayos de penetración dinámica se realizan, en general, desde la superficie del terreno.

El equipo de penetración dinámica debe posicionarse con el penetrómetro vertical y de manera tal, que no haya desplazamiento durante el ensayo. La proyección sobre el terreno de la inclinación del mecanismo de hinca y de las barras de hinca no debe ser mayor que el 2% con respecto a la vertical. En caso contrario, se debe detener el ensayo de penetración dinámica. En terrenos difíciles se pueden admitir desviaciones de hasta un 5% que deben registrarse.

Los equipos de ensayo de penetración dinámica montados sobre remolque deben apoyarse de manera tal, que el recorrido de la suspensión del remolque no pueda afectar al ensayo.

El equipo debe posicionarse a una distancia apropiada de estructuras, pilotes, sondeos, etc., para estar seguro de que no influirán sobre el resultado del ensayo de penetración dinámica.

Cuando se lleven a cabo ensayos de penetración dinámica en situaciones en las que las barras tienen libertad para moverse lateralmente, por ejemplo, sobre agua o en sondeos, éstas se deben sujetar con apoyos de bajo rozamiento, separados no más de 2 m entre sí, para prevenir su pandeo durante la hinca.

5.3 Ejecución del ensayo

Se deben hincar las barras de hinca y la puntaza verticalmente y sin que se incline demasiado la parte de las barras de extensión que sobresale del terreno.

No se debe aplicar carga a la cabeza de impacto y a las barras durante el levantamiento de la maza.

Se debe hincar el penetrómetro de forma continua en el terreno. Se debe mantener la velocidad de hinca entre 15 y 30 golpes por minuto. Se deben registrar todas las interrupciones superiores a 5 min.

Se deben rotar las barras 1,5 vueltas o hasta que se alcance el par de torsión máximo, al menos, cada 1,0 m de penetración. Se debe medir y registrar el par de torsión máximo requerido para girar las barras, utilizando una llave con medidor de par de torsión o un dispositivo equivalente.

Durante una hinca pesada se deben rotar las barras 1,5 vueltas cada 50 golpes para ajustar las conexiones entre ellas.

Para disminuir el rozamiento superficial, se puede inyectar lodo de perforación o agua a través de agujeros horizontales o inclinados hacia arriba, efectuados en las barras huecas cerca de la puntaza. En algunos casos se puede utilizar una tubería de revestimiento con el mismo propósito.

Se debe registrar el número de golpes cada 100 mm de penetración en el caso del DPL, del DPM y del DPH, y cada 100 mm o 200 mm de penetración en el caso del DPSH-A y DPSH-B.

El intervalo normal de operación en término de golpes debería estar entre $N_{10} = 3$ y 50 para el DPL, el DPM y el DPH y entre $N_{20} = 5$ y 100 para el DPSH-A y el DPSH-B. Se pueden exceder estos intervalos para propósitos específicos. En casos fuera de estos intervalos, cuando la resistencia a la penetración es baja, por ejemplo, en arcillas blandas, se puede registrar la profundidad de penetración por golpe. En suelos duros o rocas blandas, cuando la resistencia a la penetración es muy alta o excede el intervalo normal de golpes, se puede registrar la penetración para un cierto número de golpes como una alternativa a los índices N .

En general, se debería detener el ensayo cuando el número de golpes excede dos veces los valores máximos citados anteriormente o se excede el valor máximo continuamente durante 1 m de penetración.

5.4 Factores que influyen

Factores geotécnicos o relacionados con el equipo pueden influir en la selección y operación del equipo y en los resultados de los ensayos.

NOTA En el anexo D se recogen ejemplos.

5.5 Requisitos de seguridad

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

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

6 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Se deben registrar e interpretar los resultados de los ensayos basándose en los índices de N_{10} para el DPL, el DPM y el DPH y N_{10} o N_{20} para el DPSH-A y el DPSH-B.

La utilización de la resistencia dinámica por punta (véase el anexo E) es otra posibilidad para la interpretación de los resultados de los ensayos.

Se debe considerar la influencia sobre los índices N_{xy} registrados, del rozamiento en las barras debido a la adherencia al suelo o de su pandeo (véase el anexo D).

Cuando este ensayo se utiliza con propósitos de evaluación cuantitativa, se recomienda conocer mediante calibración, la energía real E_{med} transmitida a las barras de hincia, debido a las pérdidas de energía de la maza durante su caída.

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, por ejemplo de acuerdo con el anexo A;
- 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 de 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 situación del ensayo:

- 1) fecha y número del ensayo;
- 2) esquema de campo (con o sin escala) que incluya las investigaciones directas (por ejemplo: sondeos);
- 3) lugar en el que está o lugar más cercano a la posición del ensayo de penetración;
- 4) cota del terreno referida a un punto fijo;
- 5) coordenadas x, y, z de la localización del ensayo de penetración;
- 6) ensayo realizado en tierra o sobre el agua;

c) información sobre el equipo utilizado en el ensayo:

- 1) tipo de ensayo de penetración dinámica (DPL, DPM, DPH, DPSH-A o DPSH-B);
- 2) fabricante, modelo y número del equipo de ensayo;
- 3) tipo de puntaza cónica (desechable o fija);
- 4) tipo de cabeza de impacto (fija o suelta);
- 5) uso de amortiguadores;

d) información sobre el procedimiento de ensayo:

- 1) condición climatológica;
- 2) documentación sobre la verificación y calibración del equipo llevada a cabo de acuerdo con el apartado 5.1;
- 3) registro del ensayo con:
 - los índices N_{10}/N_{20} en cada profundidad medida de la punta del cono;
 - par de torsión máximo en cada profundidad medida;
- 4) diferentes precauciones adoptadas contra el rozamiento en las barras (por ejemplo: utilización de tubería de revestimiento, lodo de perforación o agua);

- 5) perforación previa, si se utiliza;
- 6) frecuencia de golpeo con que opera el equipo;
- 7) nivel freático, condiciones artesianas, si se conocen;
- 8) anomalías u observaciones durante la ejecución (por ejemplo, golpeo bajo, penetración sin golpes, obstrucciones temporales, funcionamiento inadecuado del equipo);
- 9) observaciones sobre la puntaza recuperada y/o barras;
- 10) todas las interrupciones durante el trabajo, con indicación de la duración y del cambio de barra;
- 11) razones en caso de finalización prematura del ensayo;
- 12) relleno posterior de la penetración, si se requiere.

NOTA Los anexos A y B recogen ejemplos de informes de campo.

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 papel y/o informatizado);
- b) representación gráfica en función de la profundidad de los datos siguientes:
 - número de golpes registrados para hincar la puntaza cónica 100 mm en el DPL, el DPM y el DPH o 100 mm o 200 mm para el DPSH-A y el DPSH-B, como un diagrama de barras con el número de golpes en el eje horizontal y la profundidad en el vertical;
 - par de torsión máximo requerido para girar el penetrómetro en cada nivel del ensayo (en Nm);
 - todas las interrupciones durante el ensayo mayores de 5 min;
- c) cualquier corrección en los datos presentados;
- d) cualquier limitación de la información (por ejemplo, resultados del ensayo irrelevantes, insuficientes, inexactos o adversos);
- e) 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)**RESUMEN DEL PERFIL DE UN ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA**

Lugar en el que está o lugar más cercano* a la localización del ensayo de penetración: _____

Coordenadas x, y, z: _____

Número de trabajo/cliente: _____

Nombre y situación del proyecto: _____

Contratista: _____ Operador del equipo: _____

Fecha del ensayo: _____

Tipo de ensayo de penetración dinámica*: DPL, DPM, DPH, DPSH-A, DPSH-B: _____

Equipo verificado y conforme con el apartado 5.1 de la Norma Europea EN ISO 22476-2; Si/No* en: _____

Esquema de campo (escala 1: ____ / sin escala)***con las investigaciones geotécnicas directas (por ejemplo, sondeos) representadas:**

Otros datos importantes: _____

Firma: _____

Nombre del operador a cargo: _____

* Se tacha lo que no sea aplicable.

ANEXO B (Informativo)

REGISTRO DE LOS VALORES MEDIDOS Y DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA

Contratista:		Número de trabajo:		Recinto:					
Cliente/nombre del proyecto:									
Ensayo de penetración dinámica N°:					Fecha:				
Tipo de ensayo de penetración dinámica*: DPL, DPM, DPH, DPSH-A o DPSH-B:									
Puntaza perdida o fija*					Cabeza de impacto fija/suelta*				
Coordenadas x, y, z									
Profundidad; se añaden 10 m, 20 m ó 30 m (cuando la profundidad sea > 10 m): + m									
Profundidad	N_{10}/N_{20}^*	Profundidad	N_{10}/N_{20}^*	Profundidad	N_{10}/N_{20}^*	Profundidad	N_{10}/N_{20}^*	Profundidad	N_{10}/N_{20}^*
0,10		2,10		4,10		6,10		8,10	
0,20		2,20		4,20		6,20		8,20	
0,30		2,30		4,30		6,30		8,30	
0,40		2,40		4,40		6,40		8,40	
0,50		2,50		4,50		6,50		8,50	
0,60		2,60		4,60		6,60		8,60	
0,70		2,70		4,70		6,70		8,70	
0,80		2,80		4,80		6,80		8,80	
0,90		2,90		4,90		6,90		8,90	
1,00		3,00		5,00		7,00		9,00	
**	Nm	**	Nm	**	Nm	**	Nm	**	Nm
1,10		3,10		5,10		7,10		9,10	
1,20		3,20		5,20		7,20		9,20	
1,30		3,30		5,30		7,30		9,30	
1,40		3,40		5,40		7,40		9,40	
1,50		3,50		5,50		7,50		9,50	
1,60		3,60		5,60		7,60		9,60	
1,70		3,70		5,70		7,70		9,70	
1,80		3,80		5,80		7,80		9,80	
1,90		3,90		5,90		7,90		9,90	
2,00		4,00		6,00		8,00		10,00	
**		**		**		**		**	

* se tacha lo que no sea aplicable.
 ** par de torsión medido.

Otros datos

Nivel freático: m debajo del punto de partida

Nombre y firma del operador a cargo:

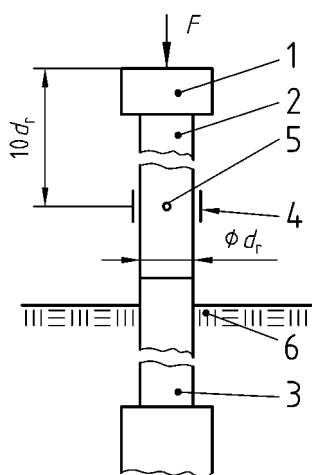
ANEXO C (Informativo)

MÉTODO RECOMENDADO PARA MEDIR LA ENERGÍA REAL

C.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 C.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

Figura C.1 – Barra instrumentada (ejemplo)

C.2 Equipo

El dispositivo de medida se compone de 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, preferiblemente en dos pares ortogonales.

C.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.

C.4 Cálculos

C.4.1 Se calcula la fuerza F transmitida a las barras como se indica a continuación:

$$F(t) = A_a \times E_a \times \varepsilon_m(t) \quad (C.1)$$

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.

C.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 .

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

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

donde

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

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

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

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

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

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

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.

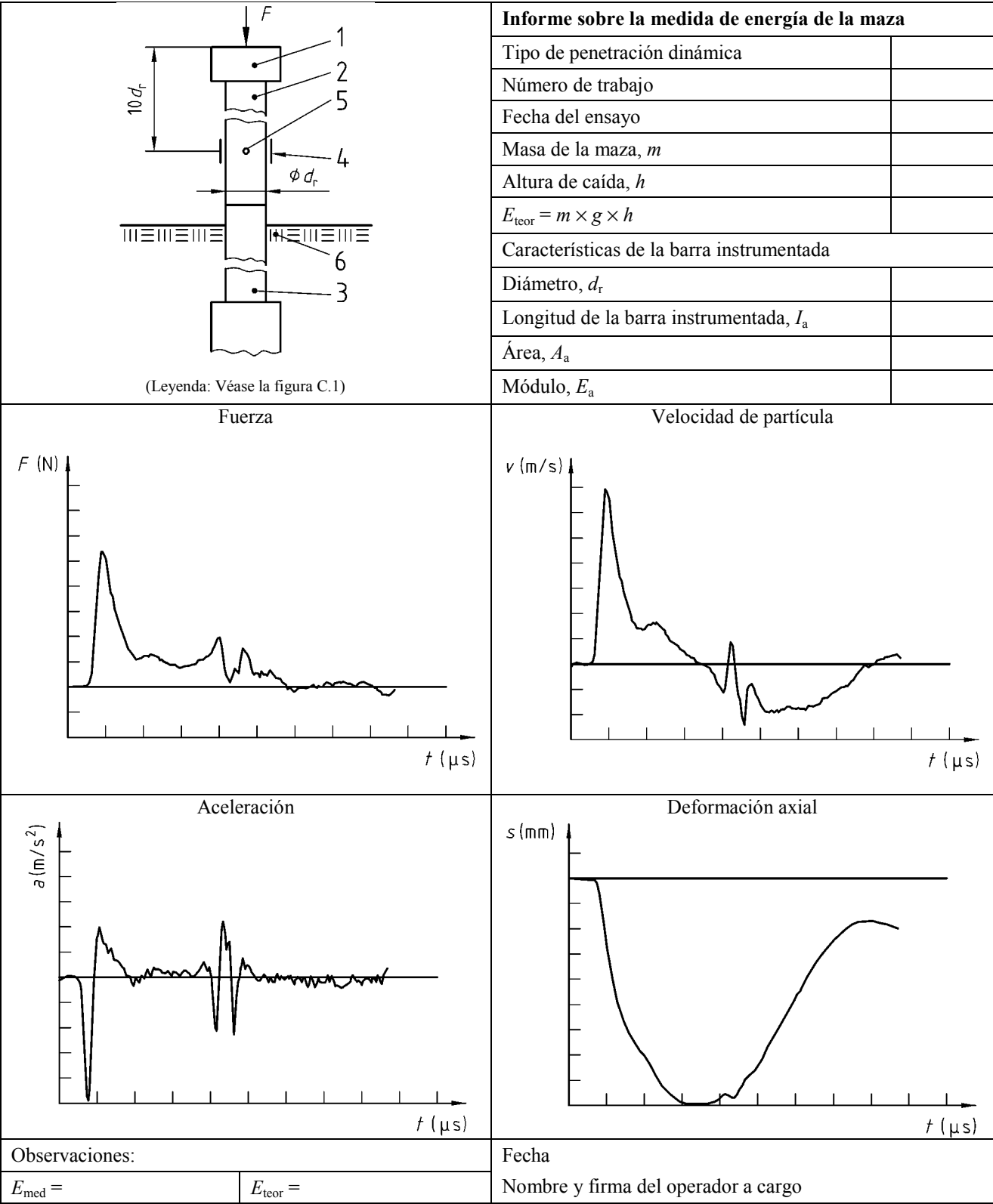


Figura C.2 – Ejemplo de informe sobre la medida de energía de la maza

ANEXO D (Informativo)**CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS Y DEL EQUIPO QUE INFLUYEN EN LOS RESULTADOS DE LA PENETRACIÓN DINÁMICA****D.1 Introducción****D.1.1 Generalidades**

Los factores siguientes pueden afectar los resultados:

- Las características geotécnicas debido a que la resistencia a la penetración depende de la resistencia al corte del suelo y del nivel del esfuerzos a la profundidad de penetración;
- Las características del equipo.

Estos factores se deberían considerar en la selección y utilización del equipo para evitar malas interpretaciones de los resultados de las penetraciones dinámicas; también debería disponerse de los resultados de las investigaciones directas (por ejemplo, la toma de muestras de acuerdo con el proyecto de Norma Europea prEN ISO 22475-1).

D.1.2 Influencias de las características geotécnicas**D.1.2.1 Influencia del tipo de suelo, grupo y características de los suelos**

En suelos granulares gruesos, además de la densidad, la estructura de granos, la distribución granulométrica, la forma y rugosidad de los granos, el tipo de mineral, el grado de cementación y las condiciones de deformación de los suelos pueden afectar a los resultados.

En las figuras D.2 a D.4 se dan ejemplos de la influencia del tipo, grupo y características de los suelos.

En la figura D.5 se da un ejemplo de la influencia de la profundidad límite.

En los suelos granulares finos, el rozamiento en la barra puede tener una influencia significativa sobre el valor registrado del número de golpes. Este efecto se puede reducir por medio de la utilización de lodo de perforación y de agua (véase la figura D.3).

D.1.2.2 Influencia del nivel freático

En suelos granulares gruesos, cuando las otras características del terreno son iguales, el número de golpes es inferior por debajo del nivel freático; esto es especialmente destacable para resistencias a la penetración bajas. En la figura D.6 se recogen ejemplos de la influencia del nivel freático.

En suelos limosos, cuando las otras características del terreno son iguales, el número de golpes puede ser igual o mayor por debajo del nivel freático.

D.1.3 Influencia de las características del equipo

Se debe considerar que las características del equipo siguientes influyen sobre la resistencia a la penetración:

- diámetro de la puntaza cónica;
- longitud de las barras;

- desviación de las barras;
- pérdidas de energía en los sistemas de hinka.

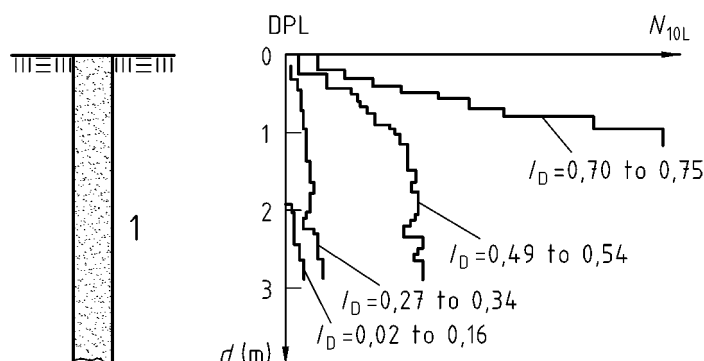
En la figura D.7 se recogen ejemplos de la influencia de algunas de las características del equipo.

D.2 Ejemplos de resultados de penetración dinámica en suelos granulares gruesos

Si las demás condiciones permanecen iguales, son aplicables las siguientes premisas:

- la resistencia a la penetración aumenta con el incremento del índice de densidad del suelo, en una proporción superior a la lineal; por lo tanto, mediante penetración dinámica se puede detectar un cambio en el índice de densidad, por ejemplo como resultado de una compactación dinámica;
- los suelos de partículas con bordes afilados o rugosos tienen una resistencia a la penetración más alta que los suelos de partículas redondas o lisas;
- cantos y bolos pueden aumentar significativamente la resistencia a la penetración;
- la distribución del tamaño de partículas (coeficientes de uniformidad y de curvatura) influye en la resistencia a la penetración;
- la resistencia a la penetración aumenta considerablemente debido a la cementación.

La figura D.1 muestra los resultados de un ensayo de penetración dinámica ligera (DPL) en un relleno.



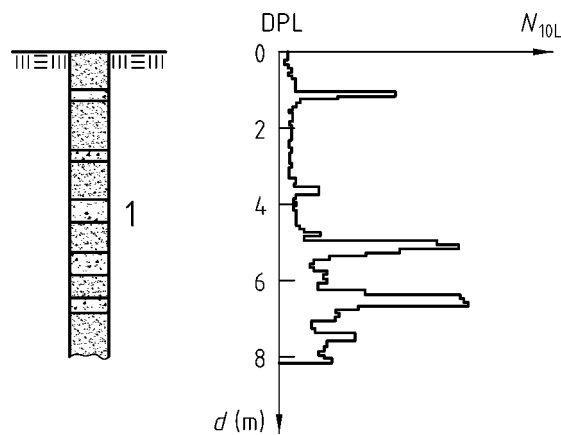
Leyenda

- 1 Arena de partícula mediana y gruesa
- I_D Índice de densidad
- d Profundidad

Figura D.1 – Cambios en la resistencia a la penetración en función del índice de densidad I_D en un relleno homogéneo

Los ensayos se hicieron en una cata de prueba donde se había colocado arena de grano medio y grueso en capas con densidades relativas diferentes. La resistencia a la penetración aumenta bruscamente con el aumento del índice de densidad del suelo; la pauta por tanto es, que la resistencia a la penetración se vuelve más sensible.

La figura D.2 muestra el aumento en la resistencia a la penetración cuando hay capas delgadas con cantos incrustados. Los picos en la resistencia a la penetración que se producen localmente no representan una medida de la capacidad portante de toda la capa.



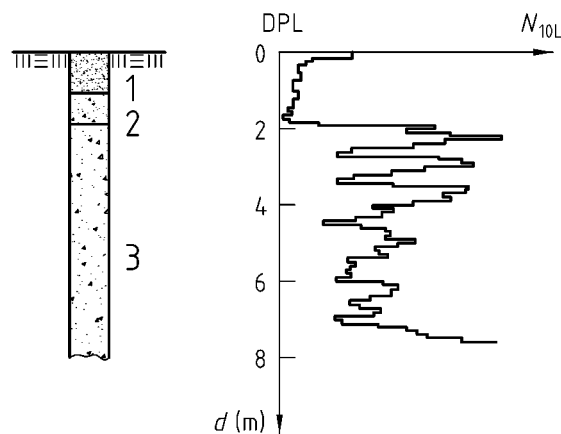
Leyenda

- 1 Limo grueso, fino arenoso con capas de piedras
 d Profundidad

Figura D.2 – Aumento en la resistencia a la penetración debido a los cantos incrustados

La figura D.3 muestra que la resistencia a la penetración fluctúa de forma más brusca en los suelos granulares gruesos que en los de grano fino. El intervalo de variación es más pronunciado en las gravas que en las arenas.

Las variaciones absolutas en la resistencia a la penetración obtenidas con el penetrómetro dinámico ligero (DPL), no son sólo el resultado de densidades relativas diferentes, si no también de la mayor resistencia a la penetración debida al desplazamiento o rotura de las partículas incrustadas más grandes.

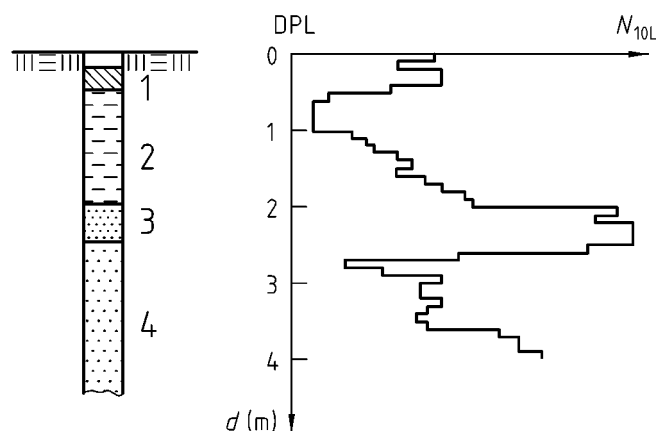


Leyenda

- 1 Limo arenoso
 2 Limo
 3 Grava
 d Profundidad

Figura D.3 – Variaciones en la resistencia a la penetración en suelos de grano fino y en granulares gruesos

La figura D.4 muestra el efecto de la cementación de las partículas de una capa de arena sobre la resistencia a la penetración de un penetrómetro dinámico ligero (DPL). Este tipo de cementación puede no detectarse por los sondeos. Se observó la cementación en la campaña de catas.



Leyenda

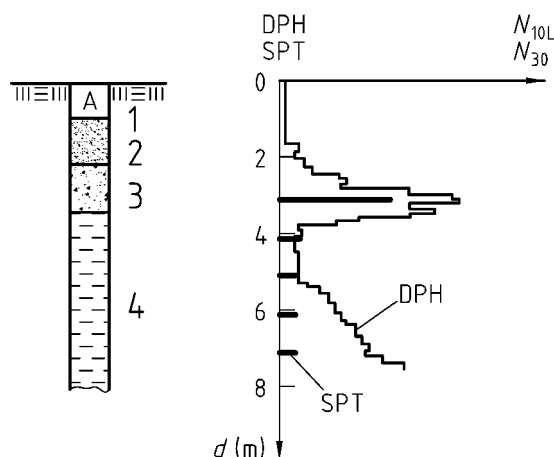
- 1 Limo arcilloso
- 2 Arcilla
- 3 Arena de grano medio, cementada
- 4 Arena de grano medio
- d Profundidad

Figura D.4 – Incremento en la resistencia a la penetración en una arena cementada de partícula mediana

D.3 Ejemplos de resultados de penetración dinámica en suelos de grano fino

En los suelos finos, el rozamiento superficial a lo largo de la barra tiene una influencia considerable sobre la resistencia a la penetración. Esto puede significar, por ejemplo, que cavidades en el subsuelo no se reconozcan como tales.

La figura D.5 refleja que el ensayo de penetración estándar (SPT), a diferencia del resultado producido por el penetrómetro dinámico pesado (DPH), muestra prácticamente las mismas resistencias a la penetración en arcilla porque, en este caso, el rozamiento superficial a lo largo de la barra se ha eliminado mediante la realización del SPT en un sondeo.

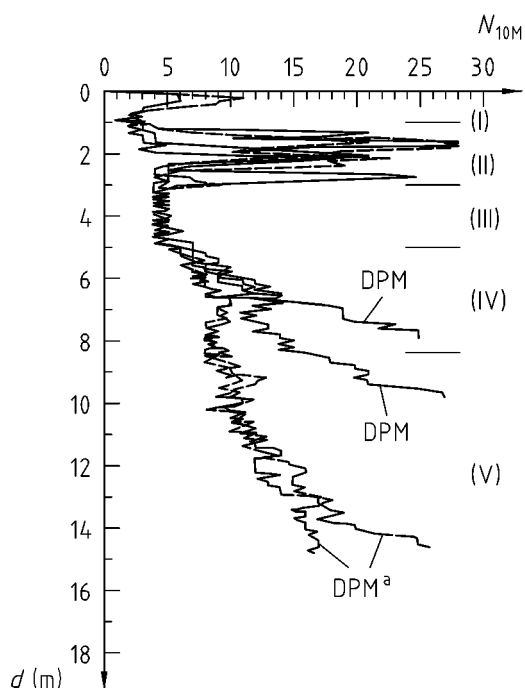


Leyenda

- 1 Relleno
- 2 Limo arenoso con grava
- 3 Grava arenosa
- 4 Arcilla
- d Profundidad

Figura D.5 – Incremento en la resistencia a la penetración como resultado del rozamiento superficial a lo largo de la barra utilizando un penetrómetro dinámico pesado (DPH), en comparación con el ensayo de penetración estándar (SPT)

La figura D.6 muestra perfiles de DPM hincado con y sin la ayuda de lodo de perforación. El lodo de perforación reduce el rozamiento en las barras de hinca permitiendo la penetración hasta una profundidad mayor. Estos datos no se han corregido por el efecto del rozamiento utilizando medidas de par de torsión.



Leyenda

DPM Penetración dinámica media sin lodo de perforación

DPM^a Penetración dinámica media con lodo de perforación

I Costra superficial

II Grava

III Arcilla meteorizada, remoldeada

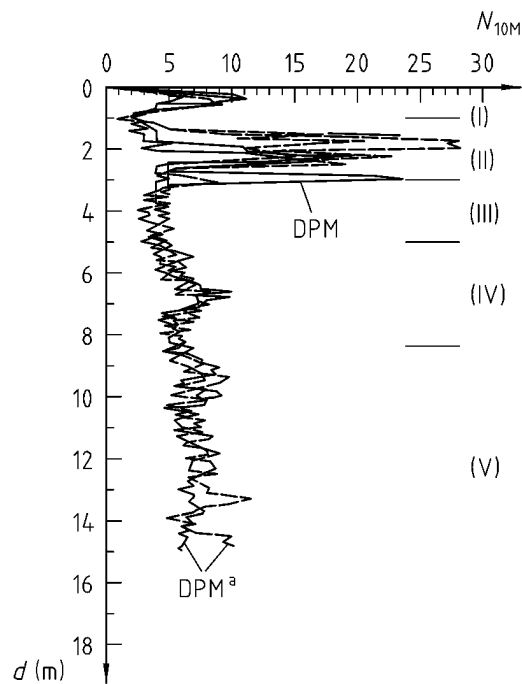
IV Arcilla meteorizada

V Arcilla no meteorizada

d Profundidad

Figura D.6 – Reducción del rozamiento superficial debido al lodo de perforación

La figura D.7 muestra los datos del DPM de la figura D.6 corregidos por el efecto del rozamiento sobre las barras, utilizando las lecturas del par de torsión. La corrección reduce los índices de N_{10M} a las profundidades mayores y presenta un perfil de profundidad reproducible, tanto con lodo de perforación como sin él. Todos los datos caen dentro de una banda.



Leyenda

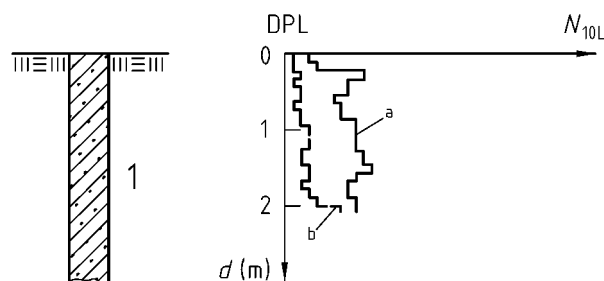
DPM Penetración dinámica media sin lodo de perforación
 DPM^a Penetración dinámica media con lodo de perforación

I Costra superficial
 II Grava
 III Arcilla meteorizada, remoldeada
 IV Arcilla meteorizada
 V Arcilla no meteorizada
 d Profundidad

Figura D.7 – Ejemplo del efecto de la corrección por medición del par de torsión en un suelo granular fino

La figura D.8 muestra el resultado de una penetración dinámica utilizando el penetrómetro dinámico ligero (DPL) en relación con los cambios estructurales en los suelos siguientes:

- limo natural y
- relleno de limo, sólo ligeramente compactado.

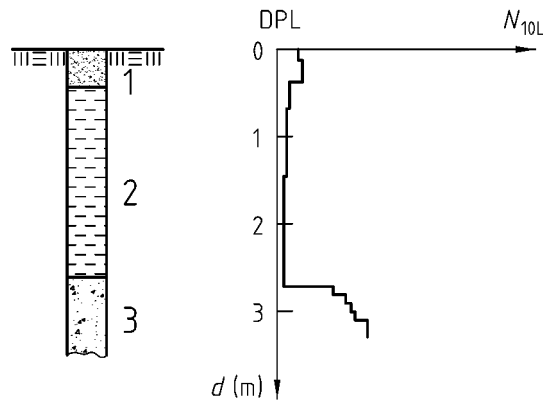


Leyenda

a Limo natural
 b Relleno de limo, sólo ligeramente compactado
 1 Limo medio, ligeramente arcilloso (limo arcilloso loésico)
 d Profundidad

Figura D.8 – Resistencia a la penetración en limo natural y en relleno de limo, sólo ligeramente compactado, de aproximadamente la misma densidad

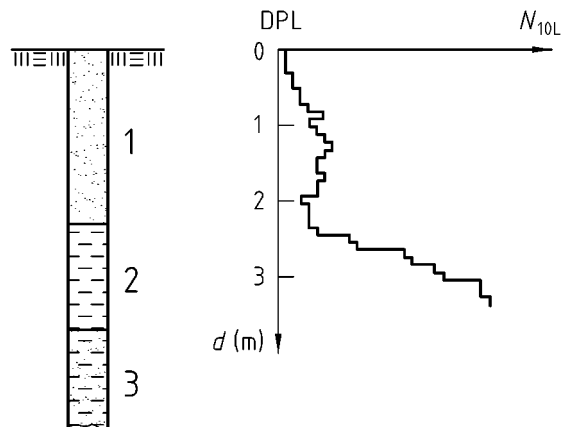
La figura D.9 muestra que una turba descompuesta tiene una resistencia a la penetración muy baja.



Leyenda
 1 Arcilla limosa
 2 Turba descompuesta
 3 Arcilla arenosa, muy limosa
 d Profundidad

Figura D.9 – Penetración dinámica en turba descompuesta

La figura D.10 refleja que una turba fibrosa y escasamente descompuesta, muestra niveles altos de resistencia a la penetración, incluyendo el razonamiento superficial. Se pueden observar efectos similares en limos y arcillas con alto contenido orgánico.



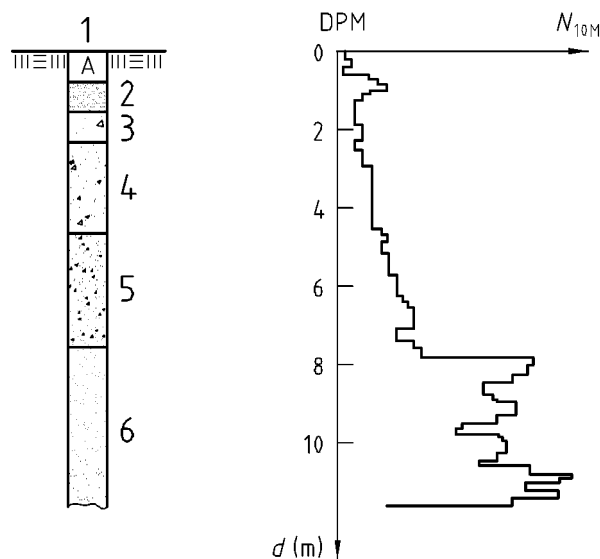
Leyenda
 1 Grava y arena
 2 Turba fibrosa
 3 Arena fina y limo, ligeramente arcilloso
 d Profundidad

Figura D.10 – Penetración dinámica en turba fibrosa, escasamente descompuesta

D.4 Ejemplos de resultados de penetración dinámica en suelos granulares mixtos

Puesto que las influencias mencionadas antes pueden coincidir en parte en los suelos granulares mixtos, la posibilidad de una interpretación incorrecta es relativamente grande.

La figura D.11 muestra las fluctuaciones en la resistencia a la penetración en diversos tipos de suelos, utilizando un penetrómetro dinámico medio (DPM). Las fluctuaciones son mayores en los suelos con tamaños de grano mixtos (por ejemplo, arena gruesa limosa) debido a que, la proporción de granos gruesos es más alta que en los suelos de grano fino con agregados orgánicos (por ejemplo, marga lacustre).



Leyenda

- 1 Relleno
- 2 Arena arcillosa, grava limosa
- 3 Turba
- 4 Marga lacustre con restos de plantas
- 5 Marga lacustre arcillosa
- 6 Arena gruesa limosa con grava fina
- d Profundidad

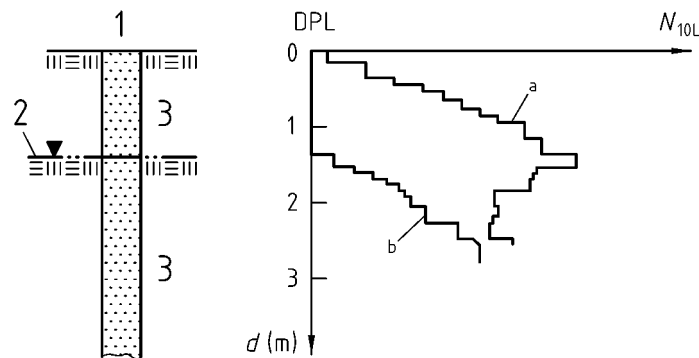
Figura D.11 – Variaciones en la resistencia a la penetración en suelos diversos

D.5 Ejemplos de resultados de resistencia a la penetración en capas poco profundas

En los suelos granulares gruesos, la profundidad límite o crítica (1 m a 2 m debajo de la superficie del terreno) aumenta con el índice de densidad y con el diámetro de la puntaza. Adicionalmente, la resistencia a la penetración aumenta bruscamente hasta que se alcanza la profundidad límite. Debajo de la profundidad límite, la resistencia a la penetración se mantiene casi constante cuando las otras condiciones permanecen iguales.

La sobrecarga de la capa investigada (por ejemplo, mediante un relleno) o cualquier otra carga adicional del subsuelo (por ejemplo, las cargas de cimentaciones) pueden incrementar la resistencia a la penetración.

La figura D.12 muestra dos resultados de ensayos de penetración dinámica con un penetrómetro dinámico ligero en una cata de prueba, en la cual se ha colocado una arena de grano medio a grueso con la misma densidad a lo largo de toda la profundidad. El ensayo, llevado a cabo desde la superficie del relleno, mostró inicialmente un aumento en la resistencia a la penetración con la profundidad y después un valor prácticamente constante. Se llevó a cabo un segundo ensayo después de quitar una capa de 1,3 m de espesor. Empezando desde la nueva superficie, inicialmente se obtuvo una resistencia a la penetración más baja en las zonas cercanas a la superficie, en comparación con el primer ensayo, pero después de un aumento brusco en la resistencia a la penetración, se recogieron los mismos valores a profundidades mayores, que en el primer ensayo, es decir, desde la superficie del relleno.



Leyenda

- a Ensayo desde la superficie del relleno
- b Ensayo desde el fondo de la cata
- 1 Superficie del relleno
- 2 Fondo de la cata
- 3 Arena de grano medio o grueso, densa
- d Profundidad

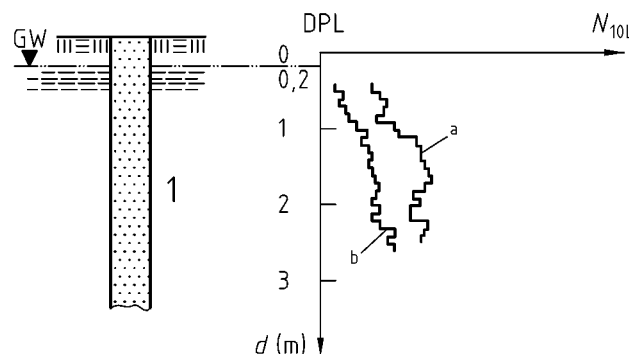
Figura D.12 – Resistencia a la penetración baja de una arena de grano medio densa en la zona cercana a la superficie

D.6 Ejemplo de la influencia del nivel freático

En los suelos granulares gruesos, siendo las demás condiciones similares, la resistencia a la penetración por debajo del nivel freático es más baja que por encima del mismo, debido a que la presión vertical efectiva es más baja.

En los suelos de grano fino, debido al efecto de capilaridad, la resistencia a la penetración puede ser igual o mayor. Los resultados de los ensayos de penetración también pueden estar influidos por las presiones de poro y el flujo del agua subterránea.

Los resultados reflejados en la figura D.13 muestran la influencia del nivel freático en los suelos granulares gruesos. Cuando hay agua subterránea, se obtienen resistencias a la penetración más bajas, incluso si el índice de densidad es el mismo.



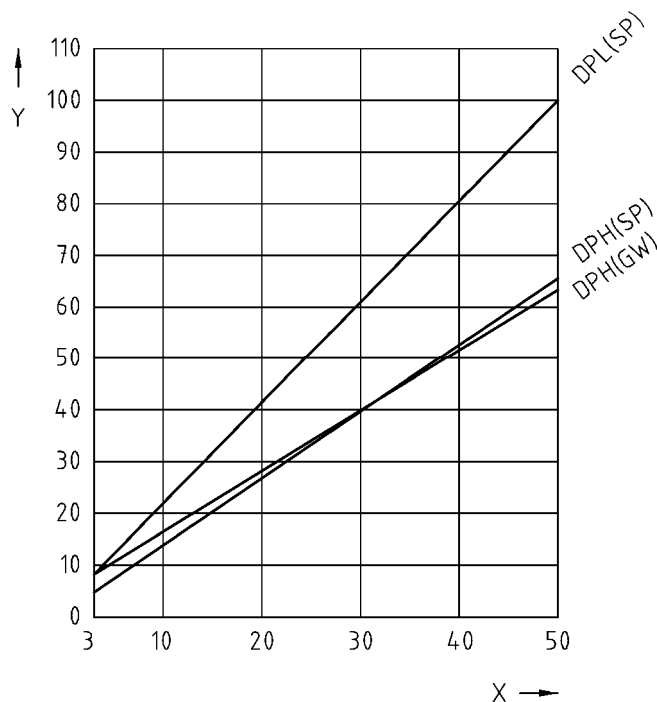
Leyenda

- a Sin agua subterránea
- b Agua subterránea a 0,2 m debajo de la superficie del terreno
- 1 Arena de grano medio y fino
- d Profundidad

Figura D.13 – Cambio en la resistencia a la penetración de una arena de grano medio y fino debido al nivel freático

El siguiente es un ejemplo donde se cuantifica la influencia del nivel freático sobre los resultados de los ensayos de penetración dinámica en suelos no cohesivos. Se llevaron a cabo ensayos comparativos con DPL y DPH en una arena mal graduada (SP) y con DPH en una mezcla bien graduada de arena y grava (GW), bajo condiciones controladas, por encima y por debajo del nivel freático. La figura D.14 muestra la relación correspondiente entre el número de golpes N_{10L} y N_{10H} por encima, y el número de golpes N'_{10L} y N'_{10H} por debajo del nivel freático. Las relaciones tienen la forma general:

$N_{10} = a_1 N'_{10} + a_2$; son de naturaleza determinística y dan estimaciones conservadoras.



Clasificación del suelo	Coeficiente de uniformidad	Coeficientes			
		DPL		DPH	
	$U_c = d_{60}/d_{10}$	a_1	a_2	a_1	a_2
SP	≤ 3	2,0	2,0	1,3	2,0
GW	≥ 6	—	—	1,2	4,5

Leyenda

X Número de golpes N'_{10L} y N'_{10H} por debajo del nivel freático

Y Número de golpes N_{10L} y N_{10H} por encima del nivel freático

SP Arena mal graduada

GW Mezcla de arena y grava bien graduada

Figura D.14 – Ejemplos de la influencia del nivel freático sobre los resultados de penetraciones dinámicas

D.7 Ejemplos de la influencia de las características del equipo

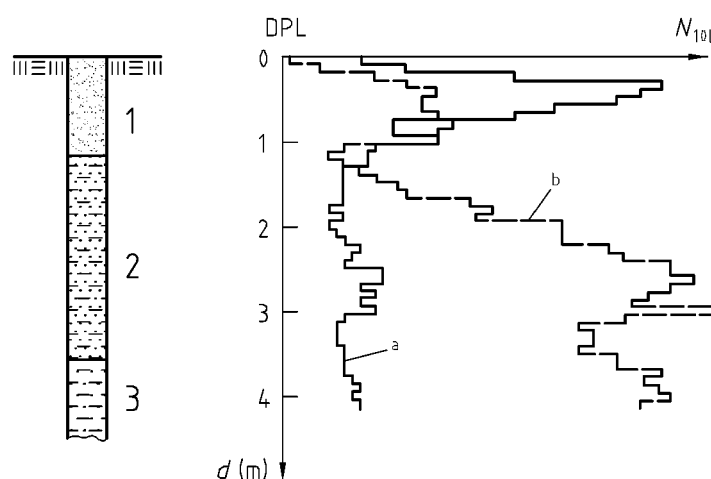
En los ensayos de penetración dinámica, la resistencia a la penetración aumenta con el incremento de la sección transversal de la puntaza del penetrómetro. Esto influye en la resistencia a la penetración hasta tal punto que, depende de cómo afecte la relación entre el diámetro del cono y el diámetro de la barra al rozamiento superficial a lo largo de la barra. Esta influencia depende también del tipo de suelo, de la secuencia de las capas y de la profundidad de penetración.

En suelos de grano fino, el rozamiento superficial a lo largo de la barra puede aumentar rápidamente, cuando la relación entre la sección transversal de la puntaza y el diámetro de la barra es pequeña.

La figura D.15 muestra que, en capas cercanas a la superficie, la resistencia a la penetración es generalmente más elevada con un diámetro de puntaza del penetrómetro, que con uno más pequeño, para un diámetro de barra constante. En capas más profundas, el cambio en la resistencia a la penetración depende del tipo y de la condición del suelo. Por lo tanto, en ensayos de penetración dinámica en capas de limo, la resistencia a la penetración de un cono de diámetro más pequeño es mayor que la de un cono de diámetro más grande debido al rozamiento superficial.

Con diámetro de puntaza más pequeño, el rozamiento superficial a lo largo de la barra tiene un efecto muy importante debido a que el cono es sólo ligeramente más ancho que la barra.

En el ensayo de penetración dinámica, manteniendo las otras condiciones iguales, es necesario un número de golpes mayor según aumenta la longitud de la barra, ya que la eficiencia decrece.

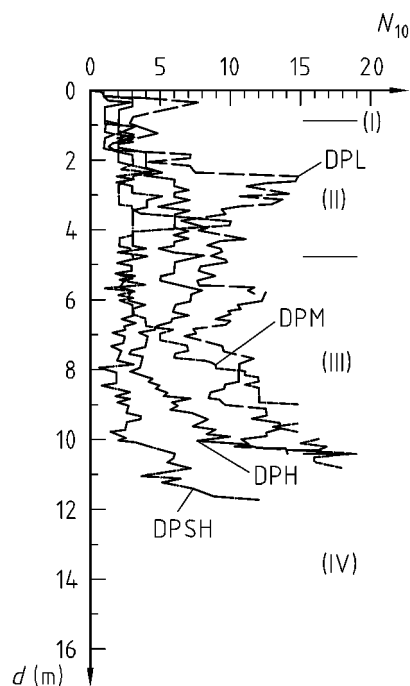


Leyenda

- a Diámetro de puntaza más grande
- b Diámetro de puntaza más pequeño
- 1 Grava arenosa
- 2 Limo arenoso, ligeramente arcilloso (duro)
- 3 Limo arcilloso (blando)
- d Profundidad

Figura D.15 – Influencia de la sección transversal de la puntaza en los resultados de la penetración dinámica

La figura D.16 muestra datos de N_{10} obtenidos para cuatro configuraciones diferentes del equipo de penetración dinámica. Debido a su sensibilidad, las configuraciones más ligeras muestran mayores variaciones en cada capa de suelo y las configuraciones más pesadas recogen índices de N_{10} cercanos o más bajos que el valor mínimo aceptable recomendado. Se utilizó lodo de perforación para disminuir el rozamiento en las barras de hincia para todos los casos excepto para el ensayo DPSH, obteniéndose una reducción significativa de la profundidad de penetración.



Leyenda

- I Costra superficial
- II Arcilla de morrena meteorizada
- III Arcilla de morrena no meteorizada
- IV Arena limosa
- d Profundidad

Figura D.16 – Comparación entre diferentes configuraciones del equipo de penetración dinámica

ANEXO E (Informativo)

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ENSAYO USANDO LA RESISTENCIA DINÁMICA POR PUNTA

Los resultados de penetración dinámica se presentan normalmente como números de golpes por cada 10 cm de penetración (N_{10}) en función de la profundidad como un registro directo de campo, y deberían estar dentro del intervalo normalizado de valores (típicamente 3 a 50). Los índices N_{10} se pueden interpretar para obtener la resistencia por punta unitaria r_d y la resistencia por punta dinámica q_d . El valor de r_d es una evaluación del trabajo de hincia realizado para penetrar el terreno. Para obtener q_d , se necesita otro cálculo que modifica el valor r_d , para tener en consideración la inercia de las barras de hincia y de la maza después del impacto sobre la cabeza de impacto. El cálculo de r_d incluye los diferentes pesos de las mazas, la altura de caída y los diferentes tamaños de puntaza. Se incluyen en el cálculo de q_d los diferentes tamaños y número de barras de prolongación y, por lo tanto, esto debería permitir la comparación de diferentes configuraciones de equipos.

Las ecuaciones utilizadas típicamente son:

$$r_d = \frac{E_{\text{teor}}}{A \times e} \quad (\text{E.1})$$

o

$$r_d = \frac{E_{\text{med}}}{A \times e} \quad (\text{E.2})$$

y

$$q_d = \left(\frac{m}{m + m'} \right) r_d \quad (\text{E.3})$$

donde

r_d y q_d son valores de resistencia, en Pa;

m es la masa de la maza, en kg;

g es la aceleración de la gravedad, en m/s^2 ;

h es la altura de caída de la maza, en m;

A es el área de la base de la puntaza, en m^2 ;

e es la penetración media, en m por golpe
(0,1/ N_{10} de DPL, DPM y DPH, y 0,1/ N_{10} y 0,2/ N_{20} de DPSH);

N_{10} número de golpes cada 100 mm;

N_{20} número de golpes cada 200 mm;

m' masa total de las barras de prolongación, la cabeza de impacto y las barras guía a la longitud considerada, en kg.

La figura E.1 recoge datos de DPL, DPM y DPH de un emplazamiento con arcilla dura preconsolidada. Mientras que cada configuración del equipo de ensayo recoge un índice diferente de N_{10} , el cálculo de r_d muestra valores más cercanos para el DPM y el DPH y el cálculo de q_d refleja que las tres configuraciones obtienen perfiles muy similares.

La figura E.2 muestra datos de una arcilla morrena glacial preconsolidada e incluye datos de DPL, DPM, DPH y DPSH. En este caso, de nuevo, los valores de r_d muestran perfiles más cercanos, pero el cálculo de q_d obtiene perfiles muy similares.

La utilización de q_d tiene el potencial de permitir que la configuración del equipo sea variada en un mismo perfil, si el golpeo cae a valores demasiado bajos (se reduce la masa de la maza) o si aumenta a valores demasiado altos (se incrementa la masa de la maza).

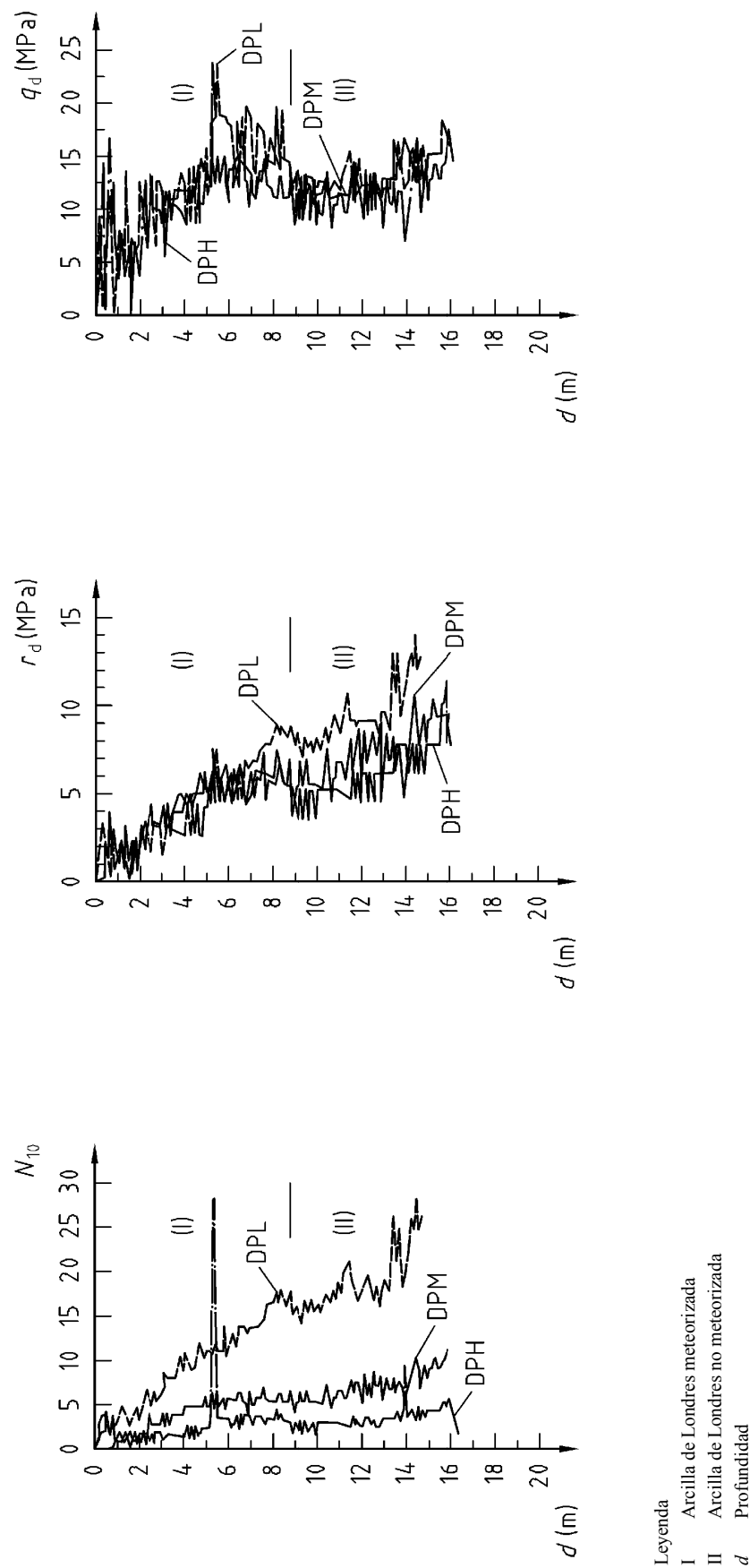


Figura E.1 – Datos de DPL, DPM y DPH de un emplazamiento con arcilla dura preconsolidada

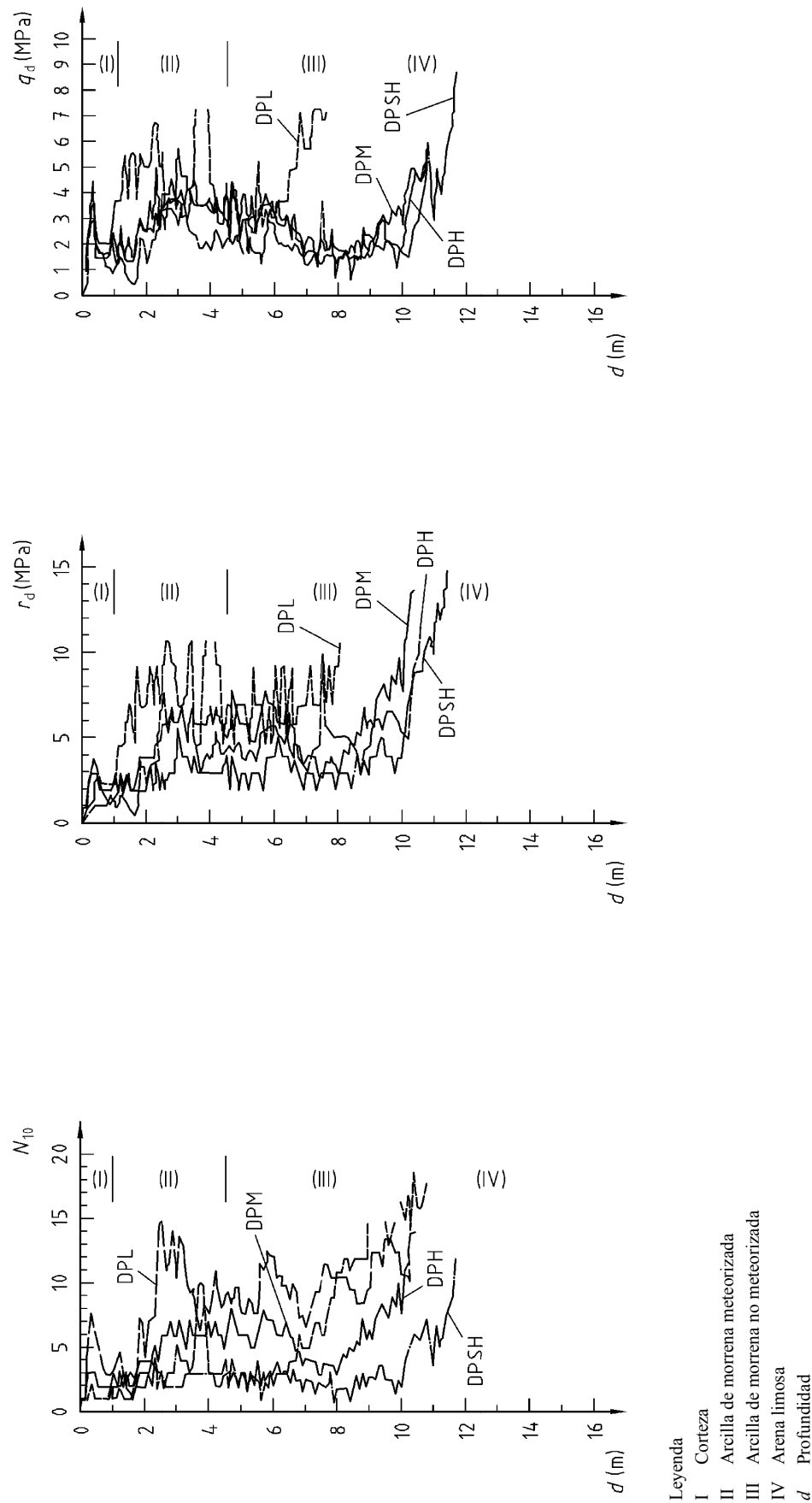


Figura E.2 – Datos de DPL, DPM, DPH y DPSH de una arcilla morrena glacial preconsolidada

BIBLIOGRAFIA

- [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 Géotéchnique No 76, 1996.
- [5] Gonin, H.: *La formule des Hollandais ou le conformisme dans l'enseignement*. Revue Française de Géotéchnique 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*.
- [9] EN ISO 22476-3 *Investigación y ensayos geotécnicos. Ensayos de campo. Parte 3: Ensayo de penetración estándar (ISO 22476-3:2005)*.

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32