

Noviembre 2010

### TÍTULO

**Investigación y ensayos geotécnicos**

**Ensayos de campo**

**Parte 12: Ensayo de penetración con el cono mecánico (CPTM)**

(ISO 22476-12:2009)

*Geotechnical investigation and testing. Field testing. Part 12: Mechanical cone penetration test (CPTM). (ISO 22476-12:2009).*

*Reconnaissance et essais géotechniques. Essais en place. Partie 12: Essai de pénétration statique au cône à pointe mécanique. (ISO 22476-12:2009).*

### CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 22476-12:2009, que a su vez adopta la Norma Internacional ISO 22476-12:2009.

### OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE 103804:1993 IN.

### 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 48515:2010

© AENOR 2010  
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

**AENOR**

Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Génova, 6  
28004 MADRID-España

info@aenor.es  
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201  
Fax: 913 104 032

30 Páginas

**Grupo 19**



Versión en español

**Investigación y ensayos geotécnicos**  
**Ensayos de campo**  
**Parte 12: Ensayo de penetración con el cono mecánico (CPTM)**  
**(ISO 22476-12:2009)**

Geotechnical investigation and testing.  
Field testing. Part 12: Mechanical cone  
penetration test (CPTM).  
(ISO 22476-12:2009).

Reconnaissance et essais géotechniques.  
Essais en place. Partie 12: Essai de  
pénétration statique au cône à pointe  
mécanique. (ISO 22476-12:2009).

Geotechnische Erkundung und  
Untersuchung. Felduntersuchungen.  
Teil 2: Drucksondierungen mit  
mechanischen Messwertaufnehmern.  
(ISO 22476-12:2009).

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2009-04-16.

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, Bulgaria, 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, Rumanía, Suecia y Suiza.

**CEN**  
**COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN**  
European Committee for Standardization  
Comité Européen de Normalisation  
Europäisches Komitee für Normung  
**CENTRO DE GESTIÓN: Avenue Marnix, 17-1000 Bruxelles**

## PRÓLOGO

El texto de la Norma EN ISO 22476-12:2009 ha sido elaborado por el Comité Técnico CEN/TC 341 *Investigación y ensayos geotécnicos*, cuya Secretaría desempeña ELOT, 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 noviembre de 2009, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deben anularse antes de finales de noviembre de 2009.

Se llama la atención sobre la posibilidad de que algunos de los elementos de este documento estén sujetos a derechos de patente. CEN y/o CENELEC no es(son) responsable(s) de la identificación de dichos derechos de patente.

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, Bulgaria, 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, Rumanía, Suecia y Suiza.

## ÍNDICE

	Página
PRÓLOGO .....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
1 Objeto y campo de aplicación.....	8
2 Normas para consulta .....	8
3 TÉRMINOS, DEFINICIONES, SÍMBOLOS Y TÉRMINOS ABREVIADOS.....	9
3.1 Términos y definiciones .....	9
3.2 Símbolos y términos abreviados.....	12
4 EQUIPOS.....	13
4.1 Sensores de carga del penetrómetro cónico .....	13
4.2 Tolerancias.....	13
4.3 Rugosidad superficial.....	13
4.4 Penetrómetro cónico.....	13
4.5 Cono.....	15
4.6 Manguito de fricción .....	17
4.7 Varillas de empuje.....	18
4.8 Varillas interiores.....	18
4.9 Sistema de medición .....	18
4.10 Máquina de empuje.....	19
5 PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO.....	19
5.1 Selección del tipo de ensayo de penetrómetro con cono .....	19
5.2 Selección del equipo y de los procedimientos .....	20
5.3 Posición y verticalidad de la máquina de empuje.....	22
5.4 Preparación.....	22
5.5 Empuje del penetrómetro cónico .....	22
5.6 Uso de reductor de fricción.....	22
5.7 Frecuencia de registro de parámetros .....	22
5.8 Medida de la fuerza de penetración del cono para ensayos de penetración discontinuos.....	22
5.9 Medida de la fuerza de penetración del cono para ensayos de penetración continuos .....	23
5.10 Medida de la fuerza de rozamiento lateral para ensayos discontinuos con penetrómetros cónicos del tipo M2 .....	23
5.11 Medida de la fuerza de penetración total para ensayos discontinuos .....	23
5.12 Medida de la fuerza de penetración total para ensayos continuos (TM4).....	23
5.13 Medida de la longitud de penetración .....	23
5.14 Finalización del ensayo .....	23
5.15 Comprobaciones y calibraciones del equipo .....	24
6 RESULTADOS DEL ENSAYO .....	24
6.1 Parámetros medidos.....	24
6.2 Parámetros calculados .....	24
7 INFORMES .....	24
7.1 Aspectos generales.....	24

7.2 Informe de los resultados del ensayo ..... 24

7.3 Presentación de los resultados ..... 26

ANEXO A (Normativo) MANTENIMIENTO, COMPROBACIONES Y CALIBRACIÓN..... 28

BIBLIOGRAFÍA ..... 30

## PRÓLOGO

ISO (Organización Internacional de Normalización) es una federación mundial de organismos nacionales de normalización (organismos miembros de ISO). El trabajo de preparación de las normas internacionales normalmente se realiza a través de los comités técnicos de ISO. Cada organismo miembro interesado en una materia para la cual se haya establecido un comité técnico, tiene el derecho de estar representado en dicho comité. Las organizaciones internacionales, públicas y privadas, en coordinación con ISO, también participan en el trabajo. ISO colabora estrechamente con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) en todas las materias de normalización electrotécnica.

Las normas internacionales se redactan de acuerdo con las reglas establecidas en la Parte 2 de las Directivas ISO/IEC.

La tarea principal de los comités técnicos es preparar normas internacionales. Los proyectos de normas internacionales adoptados por los comités técnicos se envían a los organismos miembros para votación. La publicación como norma internacional requiere la aprobación por al menos el 75% de los organismos miembros que emiten voto.

Se llama la atención sobre la posibilidad de que algunos de los elementos de este documento puedan estar sujetos a derechos de patente. ISO no asume la responsabilidad por la identificación de cualquiera o todos los derechos de patente.

La Norma ISO 22476-12 fue preparada por el Comité Europeo de Normalización (CEN), el Comité Técnico CEN/TC 341, en colaboración con el Comité Técnico ISO/TC 182 *Geotecnia*, Subcomité 1 *Investigación y ensayos geotécnicos*, siguiendo el Acuerdo de cooperación técnica entre ISO y CEN (Acuerdo de Viena).

La Norma ISO 22476-12 consiste en las siguientes partes, bajo el título general de *Investigación y ensayos geotécnicos. Ensayos de campo*:

- *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 7: Ensayo de perforación tipo jack.*
- *Parte 10: Ensayo con sonda lastrada.*
- *Parte 11: Ensayo con el dilatómetro plano.*
- *Parte 12: Ensayo de penetración con el cono mecánico (CPTM).*

Los ensayos de penetración con el cono eléctrico y el piezocono, el ensayo con presiómetro autoperforante, el ensayo presiométrico con desplazamiento completo y el ensayo de molinete son objeto de las futuras partes 1, 6, 8 y 9.

## INTRODUCCIÓN

El ensayo de penetración con el cono mecánico (CPTM) consiste en empujar un penetrómetro cónico, por medio de una serie de varillas de empuje, en el suelo a un ritmo de penetración constante. Durante la penetración se pueden registrar las medidas de la resistencia a la penetración del cono, la resistencia a la penetración total y/o el rozamiento por fuste. Los resultados del ensayo se pueden usar para interpretar la estratificación, clasificación del tipo de suelo y la evaluación de los parámetros geotécnicos.

La *resistencia del cono* es el término que se usa en la práctica; sin embargo, la *resistencia a la penetración del cono* es una descripción más precisa del proceso y es el término que se usa en esta parte de la Norma ISO 22476.

## 1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta parte de la Norma ISO 22476 especifica un ensayo de penetración con cono mecánico (CPTM), incluyendo los requisitos del equipo, la ejecución y realización de informes. Los resultados de tal ensayo geotécnico son especialmente adecuados para la determinación cualitativa y/o cuantitativa de un perfil de suelo – junto con investigaciones directas – o como una comparación relativa con otros ensayos *in situ*.

El resultado de un ensayo de penetración con cono se puede usar principalmente para evaluar la estratificación, el tipo de suelo y los parámetros geotécnicos tales como la densidad del suelo, la resistencia al corte y las características de deformación y consolidación.

Esta parte de la Norma ISO 22476 especifica lo siguiente:

- tipo de ensayo de penetración con cono (véase la tabla 1);
- clase de aplicación (véase la tabla 2);
- longitud o profundidad de penetración;
- cota desde la superficie del terreno o bajo la superficie del nivel freático en la localización del ensayo de penetración con cono referenciada a un datum;
- localización del ensayo de penetración con cono en relación a un punto de referencia de localización fijo reproducible.

NOTA La planificación y evaluación de un programa de investigación y la aplicación de su resultado para el diseño se recoge en las Normas EN 1997-1 y EN 1997-2.

## 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).

ISO 8503 (todas las partes) *Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos afines. Características de rugosidad de los sustratos de acero chorreados.*

ISO 10012:2003 *Sistemas de gestión de las mediciones. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición.*

### 3 TÉRMINOS, DEFINICIONES, SÍMBOLOS Y TÉRMINOS ABREVIADOS

Para los fines de este documento, se aplican los términos y definiciones siguientes:

#### 3.1 Términos y definiciones

##### 3.1.1 rugosidad superficial media, $R_a$ :

Desviación media entre la superficie real de la sonda y un plano de referencia medio situado a lo largo de la longitud de la sonda.

##### 3.1.2 cono:

Parte inferior con forma cónica del penetrómetro cónico.

NOTA Cuando el penetrómetro cónico se empuja en el terreno, la resistencia a la penetración del cono se transfiere a través del cono por el varillaje interno hasta el dispositivo de medida en superficie.

##### 3.1.3 ensayo de penetración con cono, CPT:

Empuje en el terreno de un penetrómetro cónico al final de una serie de varillas cilíndricas de empuje a un ritmo de penetración constante.

##### 3.1.3.1 CPT eléctrico, CPTU:

Ensayo de penetración de cono en el que las fuerzas se miden eléctricamente en el penetrómetro cónico.

NOTA Los ensayos de CPT eléctrico y de piezocono (CPTU) son objeto de una futura parte 1 de la Norma ISO 22476.

##### 3.1.3.2 CPT mecánico, CPTM:

CPT en el que las fuerzas se miden mecánica o eléctricamente a nivel de superficie.

##### 3.1.4 penetrómetro cónico:

Montaje que contiene el cono, manguito de fricción (opcional), conexión al varillaje de empuje y dispositivos de medida para la determinación de la resistencia a la penetración del cono y, si aplica, la resistencia total y/o el rozamiento lateral local.

##### 3.1.5 resistencia a la penetración del cono; resistencia del cono:

Resistencia a la penetración del cono.

##### 3.1.6 ensayo de penetración continua:

Método de ensayo en el cual la resistencia a la penetración del cono se mide mientras el cono y el varillaje de empuje se mueven de forma continua hasta que se interrumpe para añadir más varillaje de empuje.

##### 3.1.7 ensayo de penetración discontinua:

Método de ensayo en el cual la resistencia a la penetración del cono y, opcionalmente, el rozamiento por fuste se miden durante una parada del varillaje de empuje.

##### 3.1.8 fuerza actuante en el fuste de fricción, $F_s$ :

Fuerza que se obtiene al restar la fuerza medida en el cono de la fuerza medida en el cono y en el manguito de fricción.

##### 3.1.9 relación de fricción, $R_f$ :

Relación entre el rozamiento por fuste y la resistencia a la penetración del cono medidos a la misma profundidad y expresada como porcentaje:

$$R_f = \frac{f_s}{q_c} \times 100\%$$

NOTA En algunos casos se usa la inversa de la relación de fricción, llamada el *índice de fricción*.

#### **3.1.10 reductor de fricción:**

Ensanchador local y simétrico del diámetro del varillaje de empuje para reducir la fricción a lo largo de dicho varillaje.

#### **3.1.11 manguito de fricción:**

Sección del penetrómetro de cono donde se determina el rozamiento por fuste.

#### **3.1.12 varillaje interno:**

Varillaje interior sólido y deslizante del varillaje de empuje, que transfiere las fuerzas del cono y, opcionalmente, el rozamiento por fuste al sistema de medida.

#### **3.1.13 resistencia medida a la penetración del cono, $q_c$ :**

Cociente entre la fuerza medida,  $Q_c$ , y el área de la sección del cono,  $A_c$ :

$$q_c = \frac{Q_c}{A_c}$$

NOTA La resistencia a la penetración del cono medida obtenida de un CPT mecánico puede diferir de la obtenida de un CPT eléctrico.

#### **3.1.14 rozamiento por fuste medido, $f_s$ :**

Fuerza,  $F_s$ , que actúa en el manguito de fricción dividido por el área del fuste,  $A_s$ :

$$f_s = \frac{F_s}{A_s}$$

NOTA El rozamiento por fuste medido obtenido de un CPT mecánico puede diferir del obtenido de un CPT eléctrico.

#### **3.1.15 fuerza de penetración total medida, $Q_t$ :**

Fuerza necesaria para empujar el cono y el varillaje juntos dentro del terreno.

#### **3.1.16 sistema de medida:**

Todos los sensores y partes auxiliares usadas para transferir y/o almacenar las señales generadas durante el ensayo de penetración con cono.

NOTA La fuerza en el cono y, si corresponde, la resistencia a la penetración total y/o el rozamiento por fuste se miden con manómetros o con sensores de carga eléctrica.

#### **3.1.17 profundidad de penetración, $z$ :**

Profundidad en la base del cono con respecto de un plano horizontal fijo.

Véase la figura 1.

NOTA 1 Se mide en metros.

NOTA 2 Con el CPT mecánico no se puede determinar la profundidad de penetración pues no hay medidas de inclinación para la corrección de profundidad.

**3.1.18 longitud de penetración,  $l$ :**

Suma de las longitudes del varillaje de empuje y el penetrómetro cónico, reducida por la altura de la parte cónica, medido con respecto de un plano horizontal fijo.

Véase la figura 1.

NOTA 1 Se mide en metros.

NOTA 2 El plano horizontal fijo normalmente corresponde con un plano horizontal a través de la superficie del terreno en el emplazamiento del ensayo.

**3.1.19 varillaje de empuje:**

Parte del varillaje para la transferencia de las fuerzas al penetrómetro cónico.

**3.1.20 máquina de empuje:**

Equipo que empuja al penetrómetro cónico y al varillaje dentro del terreno a un ritmo constante de penetración.

NOTA La reacción requerida para la máquina de empuje se puede suministrar por pesos muertos y/o anclajes al terreno.

**3.1.21 fuerza de rozamiento lateral total,  $Q_{st}$ :**

Fuerza necesaria para vencer el rozamiento lateral en el varillaje de empuje, cuando éste se empuja dentro del terreno.

NOTA La fuerza de rozamiento lateral total se obtiene restando la fuerza en el cono ( $Q_c$ ) de la fuerza de penetración total medida ( $Q_t$ ).

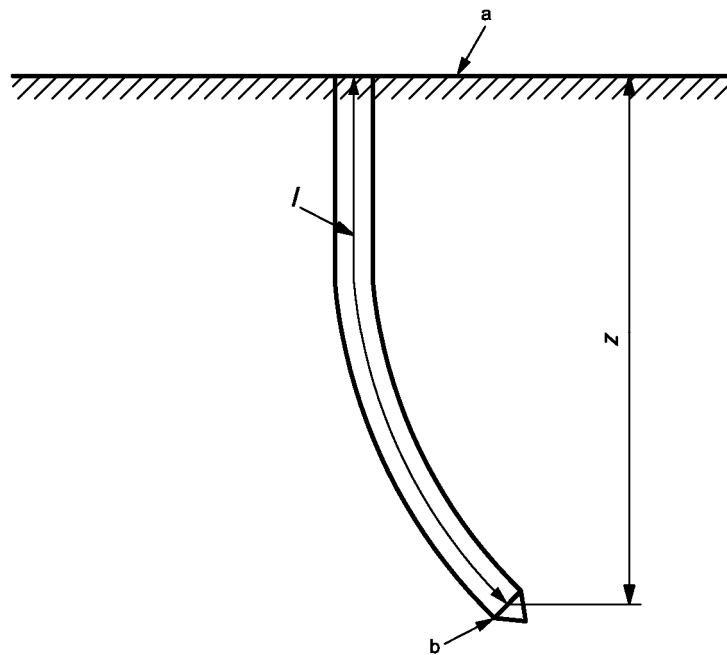
$$Q_{st} = Q_t - Q_c$$

**3.1.22 desviación de cero:**

Diferencia absoluta entre la lectura cero de un sistema de medidas al comienzo y después de completar un ensayo de penetración con cono.

**3.1.23 lectura cero:**

Lectura estable de un sistema de medida cuando la carga es cero en el sensor, es decir, el parámetro a medir tiene un valor de cero, mientras que cualquier suministro de alimentación requerido para hacer funcionar el sistema de medidas está conectado.



## Leyenda

- $z$  Profundidad de penetración, m  
 $l$  Longitud de penetración, m  
 $a$  Plano horizontal fijo  
 $b$  Base de la parte cónica del cono

Figura 1 – Longitud y profundidad de penetración

## 3.2 Símbolos y términos abreviados

$A_c$	sección transversal del área proyectada del cono	$\text{mm}^2$
$A_s$	sección transversal del manguito de fricción	$\text{mm}^2$
$d_c$	diámetro de la parte superior cilíndrica del cono	mm
$d_2$	diámetro del manguito de fricción	mm
$F_s$	fuerza medida axialmente en el manguito de fricción	kN
$f_s$	rozamiento por fuste medido	MPa
$h_c$	altura de la parte cónica del cono	mm
$h_e$	longitud de la extensión cilíndrica del cono	mm
$l$	longitud de penetración	m
$l_s$	longitud del manguito de fricción	mm

M1, M2, M4	tipos de penetrómetros cónicos	—
$Q_c$	fuerza medida en el cono axialmente	kN
$Q_{st}$	fuerza de rozamiento lateral total	kN
$Q_t$	fuerza de penetración total medida	kN
$q_c$	resistencia de penetración del cono medida	MPa
$R_a$	rugosidad superficial media	$\mu\text{m}$
$R_f$	relación de fricción	%
TM1...TM4	métodos de ensayo de 1 a 4	—
$t$	tiempo	s
$z$	profundidad de penetración	m

## 4 EQUIPOS

### 4.1 Sensores de carga del penetrómetro cónico

El penetrómetro cónico no tiene ningún sensor de carga interno, pues las medidas se hacen a nivel de superficie. El eje de todas las partes del penetrómetro cónico debe ser coincidente.

### 4.2 Tolerancias

Las tolerancias dimensionales mencionadas en este capítulo son operacionales. Las tolerancias de fabricación deberían ser más estrictas.

La tolerancia en la rugosidad superficial es una tolerancia de fabricación.

### 4.3 Rugosidad superficial

La rugosidad superficial se refiere a la rugosidad media,  $R_a$ , determinada con un perfil comparador de superficie de acuerdo con la Norma ISO 8503 y/o una normativa equivalente. La intención del requisito de rugosidad superficial es prevenir el uso de un manguito de fricción “inusualmente suave” o “inusualmente rugoso”. El acero, incluyendo el acero templado, se desgasta en el terreno (en particular en arenas) y el manguito de fricción desarrolla su propia rugosidad con el uso. Por tanto, es importante que la rugosidad de fabricación se aproxime a la rugosidad adquirida con el uso. Se considera que el requisito de rugosidad superficial se alcanzará normalmente en la práctica con los tipos de acero comunes usados para la fabricación de penetrómetros y para las condiciones de terreno comunes (arena y arcilla).

### 4.4 Penetrómetro cónico

De acuerdo con su geometría, se consideran tres tipos de penetrómetro cónicos:

- M1 (manguito), se usa para medir la resistencia a la penetración con cono;
- M2 (manguito de fricción), se usa para medir la resistencia a la penetración con cono y el rozamiento lateral local;
- M4 (cono simple), se usa para medir la resistencia a la penetración con cono.

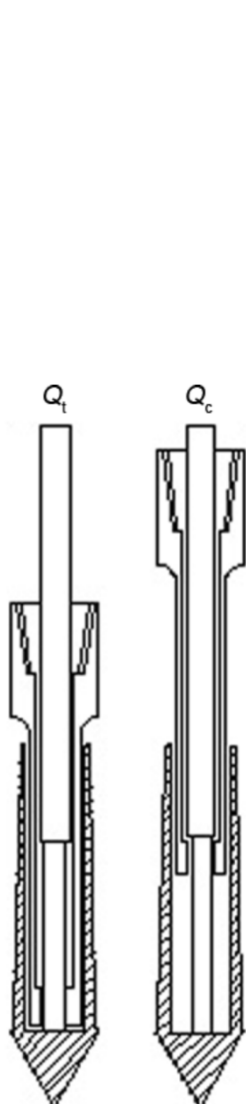
NOTA El penetrómetro cónico M3 es un tipo que en la práctica ya no se utiliza y por tanto no se trata en esta parte de la Norma ISO 22476. Por motivos de continuidad, los tipos de penetrómetro cónico relevantes no han sido renombrados.

Se pueden usar otros tipos de penetrómetros no considerados en esta parte de la Norma ISO 22476, pero deben mencionarse en los resultados del ensayo junto con sus especificaciones.

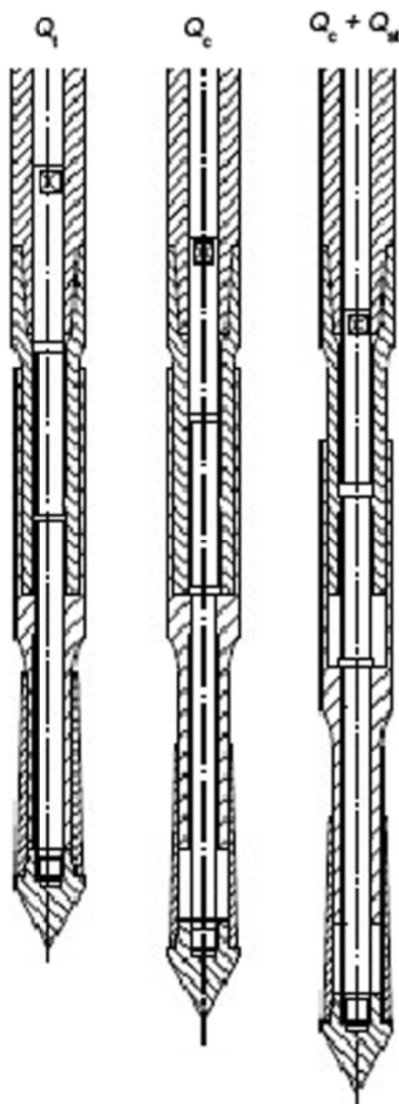
La geometría de los penetrómetros relevantes se muestra en las figuras 2, 3 y 4. Las posiciones abiertas de los penetrómetros cónicos M1 y M4 se indican en las figuras 2 y 4 con " $Q_c$ ", mientras que el penetrómetro cónico M2 mostrado en la figura 3 tiene dos posiciones abiertas indicadas como " $Q_c$ " y " $Q_c + Q_{st}$ ".

Para un penetrómetro cónico con un manguito de fricción, ninguna parte del mismo debe sobresalir del diámetro del manguito. El área transversal de la parte superior del manguito de fricción no debe ser menor que el área transversal del extremo inferior.

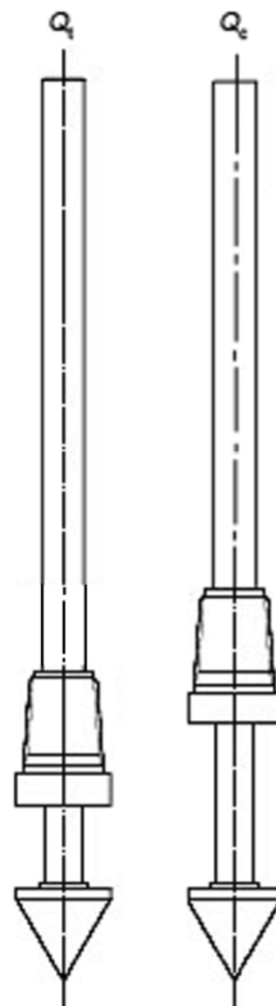
Las partes móviles del penetrómetro cónico (manguito, manguito de fricción) se deben limpiar y lubricar antes del ensayo para permitir movimiento libre.



**Figura 2 – M1 penetrómetro cónico (manguito)**



**Figura 3 – M2 penetrómetro cónico (manguito de fricción)**



**Figura 4 – M4 penetrómetro cónico (cono simple)**

#### 4.5 Cono

Los conos de los penetrómetros cónicos M1 y M2 están formados por una parte cónica con un tope y una extensión cilíndrica interior que funciona como tapa. El cono de un penetrómetro M4 está formado por una parte cónica con un tope, el cual se conecta directamente con el varillaje interior, sin una extensión cilíndrica.

El cono debe tener un ángulo nominal en el vértice de 60°.

Se permiten que los conos con un ángulo entre 60° y 90° se usen para obtener el perfil del terreno si se recoge en el informe del ensayo. La interpretación de los resultados del ensayo en términos de parámetros ingenieriles solamente se puede realizar si se han establecido las correlaciones específicas para este tipo de cono.

El área de la sección transversal de los conos estándar debe ser de  $1\,000\text{ mm}^2$ , los cuales se corresponden con un diámetro de 35,7 mm.

El diámetro exterior del tope debe estar dentro del requisito de tolerancia mostrado en la figura 5:

$$35,3\text{ mm} \leq d_c \leq 36,0\text{ mm}$$

La longitud del tope debe estar dentro del siguiente requisito de tolerancia:

$$2,0\text{ mm} \leq h_e \leq 5,0\text{ mm}$$

La altura de la sección cónica debe estar dentro del siguiente requisito de tolerancia:

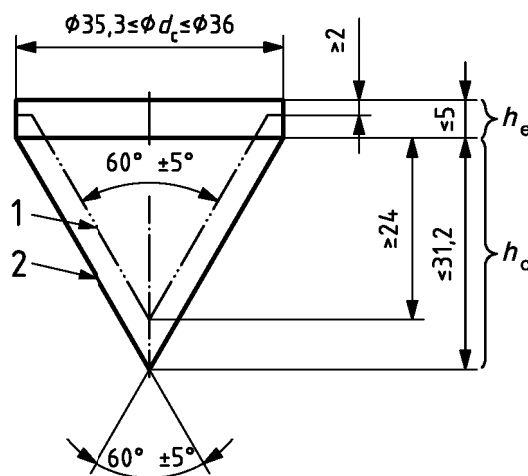
$$24,0\text{ mm} \leq h_c \leq 31,2\text{ mm}$$

La superficie del cono debe ser suave.

El cono se debería fabricar con una rugosidad superficial,  $R_a$ , de menos de  $5\text{ }\mu\text{m}$ .

No se debe usar el cono si se ha gastado asimétricamente, incluso si cumple con los requisitos de tolerancia.

Medidas en milímetros



Leyenda

- 1 Forma mínima del cono después de desgastarse
- 2 Forma máxima del cono

**Figura 5 – Requisitos de tolerancia para el uso del penetrómetro cónico**

Dependiendo de las condiciones del terreno, se permiten los conos con un diámetro exterior entre 25 mm ( $A_c = 500\text{ mm}^2$ ) y 80 mm ( $A_c = 5\,027\text{ mm}^2$ ). En este caso, la geometría del cono se debe ajustar proporcionalmente al diámetro. La geometría del manguito de fricción debería ajustarse para obtener resultados comparables. Se debe informar del uso de un cono con  $A_c \neq 1\,000\text{ mm}^2$ .

#### 4.6 Manguito de fricción

El manguito de fricción debe situarse por encima del cono.

El área superficial nominal debe ser de 15 000 mm<sup>2</sup>.

La geometría y tolerancias del manguito de fricción deben estar dentro de los requisitos de tolerancia que se muestran en la figura 6:

$$d_c \leq d_2 < d_c + 0,35 \text{ mm}$$

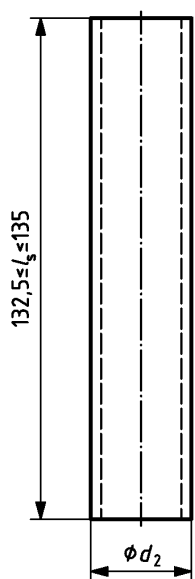
y

$$d_2 < 36,1 \text{ mm}$$

La longitud de la parte cilíndrica debe estar dentro del siguiente requisito de tolerancia:

$$132,5 \text{ mm} < l_s \leq 135 \text{ mm}$$

Medidas en milímetros



$$A_s = 15\,000 \text{ mm}^2$$

$$d_2 \geq d_c$$

$$d_2 < d_c + 0,35$$

$$d_2 < 36,1$$

Leyenda

$A_s$  Área superficial del manguito de fricción

$l_s$  Longitud del manguito de fricción

$d_c$  Diámetro del cono

$d_2$  Diámetro del manguito de fricción

**Figura 6 – Requisitos de tolerancia para el manguito de fricción**

El manguito de fricción debe fabricarse con una rugosidad superficial media,  $R_a$ , de  $0,4 \mu\text{m} \pm 0,25 \mu\text{m}$ , medida en la dirección longitudinal.

El manguito de fricción no se debe usar si una comprobación visual indica que está rayado, gastado asimétricamente o es inusualmente rugoso, incluso si cumple con los requisitos de tolerancia.

Se pueden usar los manguitos de fricción con un diámetro exterior entre 25 mm y 80 mm para fines especiales si se usan con conos del diámetro correspondiente sin la aplicación de factores de corrección. La relación entre la longitud y el diámetro debería ser preferentemente de 3,75. Se permiten relaciones de 3 a 5.

NOTA El desgaste del cono puede afectar la medida del rozamiento por fuste.

#### 4.7 Varillas de empuje

Las varillas de empuje deben tener el mismo diámetro que el cono durante al menos 400 mm, medido desde la base del cono para conos con una base de área  $1\,000 \text{ mm}^2$ . Para otros tamaños de cono, se debe escalar esta distancia linealmente en proporción al diámetro.

Las varillas de empuje no deben tener partes salientes en su interior para así permitir el movimiento libre del varillaje interior.

La rectitud de las varillas de empuje, tal como se especifica a continuación, se debe determinar en intervalos regulares. Antes de cada uso, se debe verificar esta rectitud por medio de uno de los métodos del apartado A.1.1:

- ninguna de las cinco varillas inferiores se debe desviar más de 1 mm del eje central;
- las otras varillas no se deben desviar más de 2 mm.

Los requisitos anteriores son válidos para varillas de 1 m de longitud. Si se usan varillas de otras longitudes para fines especiales, entonces los requisitos se deberían ajustar en consecuencia.

La fricción a lo largo de las varillas de empuje se puede disminuir aumentando localmente el diámetro de la varilla (reductor de fricción). La fricción también se puede reducir usando varillas reducidas, situadas al menos 400 mm por encima de la base cónica.

Por encima del nivel del terreno, las varillas se deberían guiar con rodamientos, una camisa o un dispositivo similar para reducir el riesgo de pandeo. Las varillas de empuje también se pueden guiar con un revestimiento en agua o en estratos blandos para evitar el pandeo.

#### 4.8 Varillas interiores

Se debe asegurar la rectitud de las varillas interiores para permitir un movimiento suave, sin ninguna obstrucción, dentro del varillaje de empuje. La separación entre las varillas interiores y las de empuje debe ser de 0,5 mm a 1 mm. Si las varillas no se enroscan entre ellas, la punta del varillaje interior debe ser cuadrado (en ángulos rectos) y debe tener una superficie suave.

#### 4.9 Sistema de medición

La fuerza que actúa en el cono y, si aplica, la fuerza en el cono y en el manguito de fricción, al igual que la fuerza de penetración total, se debe medir mediante dispositivos adecuados de acuerdo con la tabla 1.

Las fuerzas medidas en el cono y, si aplica, en el manguito de fricción durante la penetración se transmiten por el varillaje interior a los dispositivos de medida en el nivel de superficie.

Se debe usar uno de los siguientes tipos de sistema de medición (tipo a, b o c).

**a) Tipo a**

Este tipo consiste en manómetros que miden las presiones hidráulicas generadas por la fuerza que actúa en el cono y que se transmiten a la parte superior del varillaje interno y, si aplica, por la fuerza en el cono y el manguito de fricción, y por la fuerza total en el varillaje de empuje. Para este tipo de dispositivo de medida se recomienda el uso simultáneo de dos rangos significativamente diferentes para los manómetros y el cambio frecuente al rango adecuado.

**b) Tipo b**

Este tipo está formado por sensores eléctricos que miden las presiones hidráulicas generadas por la fuerza que actúa en el cono y que se transmite a la parte superior del varillaje interno y, si aplica, por la fuerza en el cono y el manguito de fricción, y por la fuerza total en el varillaje de empuje.

**c) Tipo c**

Este tipo está formado por sensores eléctricos que miden directamente las fuerzas que se producen en el penetrómetro cónico. Para este tipo de sistema de medición se recomienda el uso de dispositivos separados para medir las fuerzas necesarias para determinar la resistencia a la penetración del cono, el rozamiento por fuste y la resistencia a la penetración total.

Independientemente del sistema de medición utilizado, los resultados del ensayo deben ser directamente accesibles durante el ensayo. Las presiones medidas y/o fuerzas se deben registrar, y el máximo valor alcanzado para cada golpe se debe guardar como un valor nominal del parámetro medido.

**4.10 Máquina de empuje**

El equipo debe ser capaz de introducir el penetrómetro cónico a un ritmo constante de penetración de  $(20 \pm 5)$  mm/s y se debe cargar o anclar de modo que los movimientos de la máquina de empuje con respecto del nivel del terreno sean limitados mientras se produce la penetración. No se permite ni el giro ni el golpeo del varillaje de penetración durante la medición.

El peso muerto y/o los anclajes al suelo pueden suministrar la reacción requerida (contrapeso) para la máquina de empuje.

**5 PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO****5.1 Selección del tipo de ensayo de penetrómetro con cono**

Se debe seleccionar el procedimiento de ensayo de entre aquellos especificados en la tabla 1.

Se debe seleccionar el tipo de ensayo (TM1, TM2, TM3 o TM4) de acuerdo con la clase de aplicación aplicable dada en la tabla 2.

**Tabla 1 – Tipos de ensayos de penetración con cono**

<b>Tipo de ensayo</b>	<b>Parámetros medidos y derivados</b>	<b>Sistema de medida</b>
TM1	Resistencia a la penetración con cono y resistencia a la penetración total o resistencia a la penetración con cono y rozamiento por fuste	Sensor eléctrico (tipo c, véase 4.9) – ensayo discontinuo
TM2	Resistencia a la penetración con cono y resistencia a la penetración total o resistencia a la penetración con cono y rozamiento por fuste	Manómetros o sensores eléctricos que convierten la presión hidráulica (tipo a y b, véase 4.9) – ensayo discontinuo
TM3	Resistencia a la penetración con cono	Manómetros o sensores eléctricos que convierten la presión hidráulica (tipo a y b, véase 4.9) – ensayo discontinuo
TM4	Resistencia a la penetración con cono	Manómetros o sensores eléctricos que convierten la presión hidráulica (tipo a y b, véase 4.9) – ensayo continuo
NOTA Los números que indican los tipos de ensayo de penetración con cono TM1 a TM4 no se corresponden con aquellos de los tipos de cono M1, M2 y M4 (véase 4.4), ni tampoco con los números que identifican las clases de aplicación (véase la tabla 2).		

## 5.2 Selección del equipo y de los procedimientos

La precisión requerida es función del uso que se pretende hacer de los resultados. Las clases de aplicación se han desarrollado para orientar a la hora de elegir el tipo de CPTM y la precisión requerida. La clase de aplicación especifica el tipo de penetrómetro cónico a usar y sugiere el uso de los resultados del CPTM para los perfiles de suelo dados. El uso de los resultados del CPTM se establece en términos de obtención del perfil del terreno, identificación del material y la definición de los parámetros del suelo.

Se deben seleccionar el equipo y los procedimientos de acuerdo con la clase de aplicación requerida dada en la tabla 2.

Tabla 2 – Clases de aplicación

Clase de aplicación	Tipo de ensayo de penetración con cono	Precisión mínima permitida <sup>a</sup>	Uso sugerido	
			Tipo de suelo <sup>b</sup>	Interpretación <sup>c</sup>
5	TM1	$q_c$ 500 kPa o 5%	A	F
		$Q_t$ 1 kN o 5%	B	G, H*
		$f_s$ 50 kPa o 20%	C	G, H*
		$l$ 0,2 m o 2%	D	G, H*
6	TM2	$q_c$ 500 kPa o 5%	B	G, H*
		$Q_t$ 1 kN o 5%	C	G, H*
		$f_s$ 50 kPa o 20%	D	G, H*
		$l$ 0,2 m o 2%		
7	TM3	$q_c$ 500 kPa o 5%	B	F*
		$Q_t$ 1 kN o 5%	C	F*
	TM4	$f_s$ 50 kPa o 20%	D	F*
		$l$ 0,2 m o 2%		

La aplicación de las clases 5 a 7 son las usadas para el CPTM mecánico (las clases de 1 a 4 son para el CPT/CPTU eléctrico).

- **Clase 5** es para la evaluación de capas de suelo mezcladas y suelos de los tipos A a D. Para los suelos de los tipos B a D, se puede obtener el perfil del terreno, la identificación del material y la interpretación indicativa en términos de parámetros ingenieriles. Para capas muy blandas (suelos del tipo A) sólo es posible la obtención del perfil del terreno. La identificación del material y la interpretación en términos de parámetros ingenieriles, especialmente para capas muy blandas, es solamente posible si se dispone de información geológica y geotécnica adecuada y complementaria. Los ensayos que se deben realizar son del tipo TM1.

NOTA Los perfiles de suelo de capas mezcladas se refieren a condiciones de suelo que normalmente contienen suelos densos y compactos, pero posiblemente también capas blandas.

- **Clase 6** es para la evaluación de capas de suelo mezcladas, con tipos de suelo de B a D, en términos de obtención del perfil del terreno e identificación de material. La evaluación de las capas muy blandas se limita a la detección de dichas capas. Los ensayos que se deben realizar son del tipo TM2.
- **Clase 7** es para la obtención indicativa del perfil de capas de suelo mezcladas, con tipos de suelo de B a D. No se puede dar ninguna interpretación en términos de identificación de material y parámetros ingenieriles basándose solamente en los resultados de estos ensayos. Los ensayos que se deben realizar son del tipo TM3 y TM4.

Aunque se prefiere el CPT eléctrico al CPT mecánico, puede ser preferible el CPT mecánico en el caso de riesgo de daños, como por ejemplo, por escombros, adoquines o roca firme.

La precisión que se puede alcanzar depende también del error causado por la fricción entre el varillaje interno y el varillaje de empuje. El orden de magnitud de este error depende entre otros de la longitud de penetración, la fuerza en el varillaje interno y la inclinación del cono.

<sup>a</sup> La precisión mínima admisible del parámetro medido es el mayor de las dos propuestas. La precisión relativa se refiere al valor medido y no al rango medido.

- <sup>b</sup>
- A Suelos con capas homogéneas (normalmente  $q_c < 2$  MPa).
  - B Arcillas, limos y arenas (normalmente  $2 \text{ MPa} \leq q_c < 4$  MPa).
  - C Arcillas, limos, arenas y gravas (normalmente  $4 \text{ MPa} \leq q_c \leq 10$  MPa).
  - D Arcillas, limos, arenas y gravas (normalmente  $q_c > 10$  MPa).

- <sup>c</sup>
- F Obtención de perfiles de terreno.
  - F\* Es posible la obtención del perfil del terreno si se da información extra.
  - G Obtención del perfil del terreno e identificación de materiales.
  - G Obtención del perfil del terreno e identificación indicativa de materiales.
  - H\* Interpretación en términos de parámetros ingenieriles.
  - H\* Interpretación indicativa en términos de parámetros ingenieriles.

Si se añaden todas las posibles fuentes de error, la precisión de las medidas tomadas debe ser mejor que el mayor de los valores dados en la tabla 2. La evaluación de la imprecisión debe incluir el rozamiento interno, errores en la adquisición de datos, los efectos de la temperatura (ambiente y sus variaciones) y errores dimensionales.

La confirmación meteorológica se debe desarrollar de acuerdo con la Norma ISO 10012.

NOTA 1 La longitud de penetración que se puede alcanzar depende de las condiciones del suelo, la fuerza de penetración admisible, las fuerzas admisibles en el varillaje de empuje y en los conectores de las varillas, la aplicación de un reductor de fricción y/o el encamisado de las varillas de empuje y el rango de medida del penetrómetro cónico.

NOTA 2 Si los tipos de penetrómetros cónicos usados son diferentes de los tipos normalizados, la interpretación en términos de parámetros ingenieriles se pueden desarrollar sólo si se han establecido correlaciones específicas para ese tipo de penetrómetro cónico.

### 5.3 Posición y verticalidad de la máquina de empuje

La distancia entre la localización del ensayo y la localización de puntos de investigación previos debería ser suficiente para prevenir los efectos de interacción.

Una distancia de 1 m es suficiente entre ensayos de penetración con cono. La distancia a una perforación previa debería ser al menos 20 veces el diámetro del taladro. Algunas técnicas de perforación, tales como la perforación con aire, pueden necesitar mayores distancias. Se deberían evitar las excavaciones cercanas.

La máquina debe empujar el varillaje de empuje de modo que el eje de la fuerza de empuje sea lo más vertical posible; la desviación del eje previsto debería ser menor de 2°. El eje del penetrómetro debe corresponder al eje de carga al comienzo de la penetración.

### 5.4 Preparación

Si se usan sensores eléctricos, se deben registrar las medidas cero de la resistencia a la penetración del cono, la longitud de penetración y el rozamiento por fuste.

Se puede realizar una pre-perforación en capas densas, gruesas o con muchas piedras, en donde la penetración se detiene. La pre-perforación se puede usar en capas gruesas superiores, a veces en combinación con encamisados para prevenir que el taladro se colapse.

### 5.5 Empuje del penetrómetro cónico

Durante el ensayo de penetración, se debe empujar el penetrómetro cónico en el terreno a un ritmo constante de penetración  $(20 \pm 5)$  mm/s. Esta velocidad se debe comprobar regularmente.

### 5.6 Uso de reductor de fricción

Se permite el uso de un reductor de fricción. El penetrómetro cónico y, si es relevante, el varillaje de empuje deben tener el mismo diámetro por al menos 400 mm, medidos desde la base del cono antes de introducir el reductor de fricción, si aplica.

### 5.7 Frecuencia de registro de parámetros

El intervalo de longitud máximo para medir los parámetros debe ser de 200 mm para ensayos de penetración discontinuos y de 50 mm para ensayos de penetración continuos.

### 5.8 Medida de la fuerza de penetración del cono para ensayos de penetración discontinuos

Se mide la fuerza de penetración del cono durante una penetración del varillaje interno y del cono de no más de

- 70 mm para el penetrómetro cónico M1,

- 35 mm para el penetrómetro cónico M2, y
- 65 mm para el penetrómetro cónico M4.

Se registra el valor máximo de la fuerza de penetración del cono medida durante esta penetración. En el caso en que solamente se midan la fuerza de penetración del cono y la longitud de penetración, el intervalo puede ser menor o las lecturas pueden ser continuas.

### **5.9 Medida de la fuerza de penetración del cono para ensayos de penetración continuos**

Para ensayos continuos (TM4) el cono debe permanecer en posición abierta (véanse las figuras 2 a 4). La abertura debe ser suficiente para compensar la compresión elástica en el varillaje interno, de modo que la fuerza en el cono se transmita totalmente a las varillas internas.

### **5.10 Medida de la fuerza de rozamiento lateral para ensayos discontinuos con penetrómetros cónicos del tipo M2**

Se mide la suma de las fuerzas actuando en el cono durante una segunda penetración sin sobrepasar 40 mm (después de la primera penetración), cuando el cono y el manguito de fricción se introducen en el terreno. Se registra el valor máximo medido durante esta penetración. Se resta la fuerza de penetración del cono de esta medida acumulativa para obtener el rozamiento por fuste.

### **5.11 Medida de la fuerza de penetración total para ensayos discontinuos**

Se mide la fuerza de penetración total al final de una penetración en las juntas de las varillas de empuje y las varillas internas con una penetración máxima de 200 mm.

### **5.12 Medida de la fuerza de penetración total para ensayos continuos (TM4)**

Se mide la fuerza de penetración total simultáneamente con la resistencia a la penetración del cono, usando un dispositivo de medida distinto.

### **5.13 Medida de la longitud de penetración**

Se determina como la diferencia de cotas entre la base del cono y el nivel del terreno u otro sistema de referencia fijo (no la máquina de empuje). La resolución de la medida de la longitud de penetración debe ser al menos 10 mm.

Para ensayos de penetración del tipo TM1, la longitud de penetración se mide con un sensor.

Para todos los tipos de ensayos de penetración, se debería comprobar la longitud de la penetración manualmente y registrarse al final del ensayo.

**NOTA** Los parámetros medidos para un penetrómetro cónico con una gran inclinación se pueden desviar de los valores que se hubieran medido si el penetrómetro cónico hubiera estado vertical.

Durante el ensayo de penetración con cono, se debe registrar cualquier particularidad o desviación de esta parte de la Norma ISO 22476 que pudiera afectar a los resultados de las medidas y sus correspondientes longitudes de penetración.

### **5.14 Finalización del ensayo**

La introducción del penetrómetro cónico y del varillaje de empuje se debe terminar cuando

- se ha alcanzado la longitud de penetración requerida, o
- se ha alcanzado el empuje máximo acordado o la capacidad máxima del sistema de medida.

También puede ser una razón para finalizar el ensayo algún posible daño al equipo.

Si se mide con sensores eléctricos, se miden las lecturas cero de los parámetros de medida y se registran después de la finalización del ensayo. La desviación del cero de los parámetros medidos debe ser menor que la mínima precisión admisible de acuerdo con la clase de aplicación requerida (véase la tabla 2).

NOTA La desviación del cero determinada de la salida de la carga cero antes y después del ensayo es una medida del correcto funcionamiento del equipo y se usa para verificar si se han cumplido los requisitos de la tabla 2.

Se debe inspeccionar el penetrómetro cónico y se debe registrar cualquier desgaste o daño excesivo.

### 5.15 Comprobaciones y calibraciones del equipo

Las comprobaciones y calibraciones del equipo se deben realizar de acuerdo con el anexo A.

## 6 RESULTADOS DEL ENSAYO

### 6.1 Parámetros medidos

Se deben determinar los siguientes parámetros:

- longitud de penetración,  $l$ ;
- fuerza que actúa en el cono,  $Q_c$ ;
- fuerza de penetración total,  $Q_t$ .

### 6.2 Parámetros calculados

Se deben calcular los siguientes parámetros:

- fuerza que actúa en el manguito de fricción,  $F_s$ ;
- fuerza de fricción lateral total,  $Q_{st}$ ;
- resistencia a la penetración del cono medida,  $q_c$ ;
- fricción por fuste medida,  $f_s$ ;
- relación de fricción,  $R_f$ .

## 7 INFORMES

### 7.1 Aspectos generales

En la presentación de los resultados del ensayo, la información debería ser accesible con facilidad, por ejemplo, presentada en tablas o como un esquema normalizado. Se permite la presentación en formato digital para facilitar el intercambio de datos.

### 7.2 Informe de los resultados del ensayo

Los informes se deben realizar de acuerdo con la tabla 3, la cual especifica si la información se debe registrar en

- el registro de campo de los resultados del ensayo;
- el informe del ensayo; o
- cada tabla y cada gráfico de los resultados del ensayo.

El registro de campo, completado en el emplazamiento, y el informe del ensayo deben incluir la información especificada en la tabla 3. Se debe informar sobre los resultados del ensayo para que terceros puedan comprobar y comprender los resultados.

**Tabla 3 – Informe de los resultados del ensayo**

A informar sobre	Registro de campo	Informe del ensayo	Cada gráfico
<b>7.2.1 Información general</b>			
a) Referencia a esta norma		x	x
b) Clase de aplicación	x	x	x
c) Tipo de ensayo (TM1, TM2, TM3 o TM4)	x	x	x
d) Nombre del cliente		x	
e) Nombre y localización del proyecto		x	
f) Identificación del trabajo	x	x	x
g) Nombre y firma del operador que ejecuta el ensayo	x		
h) Nombre y firma del responsable de campo del proyecto		x	
i) Particularidades o desviaciones de esta norma	x	x	
j) Empresa que ejecuta el proyecto		x	x
k) Profundidad del nivel freático (si se ha registrado)	x	x	
l) Profundidad de la pre-perforación o profundidad de la zanja	x	x	x
m) Descripción de los materiales encontrados (si es posible)	x	x	
n) Longitud de penetración y posibles causas de cualquier interrupción	x	x	
o) Criterio de finalización aplicado, por ejemplo profundidad objetivo, fuerza de penetración máxima e indicación de la desviación de la vertical	x	x	
p) Método de relleno del taladro, si aplica	x		
q) Observaciones hechas en el ensayo, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> <li>– presencia de piedras,</li> <li>– ruido en el varillaje de empuje</li> <li>– incidencias,</li> <li>– varillas torcidas,</li> <li>– desgaste anormal,</li> <li>– cambios significativos en las lecturas cero</li> </ul>	x	x	

A informar sobre	Registro de campo	Informe del ensayo	Cada gráfico
<b>7.2.2 Localización del ensayo</b>			
a) Identificación del ensayo	x	x	x
b) Cota del ensayo de penetración con cono		x	x
c) Coordenadas locales o generales y/o un diagrama de localización <sup>a</sup>		x	x
d) Sistema de referencia y tolerancias		x	
e) Cota de referencia con respecto de un datum conocido		x	x
<b>7.2.3 Equipo de ensayo</b>			
a) Tipo de penetrómetro cónico (M1, M2 o M4)	x	x	x
b) Geometría y dimensiones del penetrómetro cónico	x	x	
c) Tipo de máquina de empuje usada, capacidad de empuje, sistemas de gatos y anclajes asociados	x	x	
d) Fabricante del penetrómetro cónico		x	
e) Número de identificación del penetrómetro	x		
f) Rangos de medida de los transductores		x	
g) Fecha de la última calibración de los sensores		x	
<b>7.2.4 Procedimiento de ensayo</b>			
a) Fecha del ensayo	x	x	x
b) Tiempo de comienzo del ensayo	x		
c) Profundidad de comienzo de la penetración con respecto de la superficie del terreno	x	x	x
<b>7.2.5 Resultados del ensayo</b>			
a) Parámetros medidos de acuerdo con el apartado 6.1	x	x	
b) Parámetros calculados de acuerdo con el apartado 6.2		x	
c) Lecturas cero de la resistencia a la penetración del cono, rozamiento por fuste y, si aplica, la resistencia total antes y después del ensayo y desviación del cero (en unidades ingenieriles), si se usan sensores eléctricos	x	x	
d) Correcciones aplicadas durante el procesado de datos (por ejemplo, desviaciones del cero)		x	
e) Longitud de penetración, <i>l</i> , después de la finalización del ensayo y posibles causas de cualquier interrupción	x	x	x
<sup>a</sup> El contrato debe especificar quien es el responsable de dar las coordenadas y los niveles de los puntos de investigación.			

### 7.3 Presentación de los resultados

Los resultados del ensayo se deben presentar como perfiles en función de la longitud de penetración.

Los resultados que se deben presentar de acuerdo con el apartado 7.2 son los siguientes:

- resistencia a la penetración del cono – longitud  $q_c$  (MPa) –  $l$  (m)
- resistencia por fuste – longitud  $f_s$  (MPa) –  $l$  (m)
- fuerza de penetración total – longitud  $Q_t$  (kN) –  $l$  (m)
- fuerza de rozamiento lateral total – longitud  $Q_{st}$  (kN) –  $l$  (m)
- relación de fricción – longitud  $R_f$  (%) –  $l$  (m)

Se pueden usar kilopascales (kPa) en lugar de megapascuales (MPa) como unidad para la resistencia a la penetración del cono y resistencia por fuste, dependiendo de la magnitud de los parámetros.

**ANEXO A (Normativo)****MANTENIMIENTO, COMPROBACIONES Y CALIBRACIÓN****A.1 Mantenimiento y comprobaciones****A.1.1 Linealidad de las varillas de empuje**

Antes de añadir una varilla de empuje, se debería comprobar la linealidad (rectitud) de las varillas usando los siguientes métodos:

- se sujeta la varilla en vertical y se gira – si la varilla parece temblar, la rectitud es inaceptable;
- se giran las varillas en una superficie plana – si, al rodarla, la distancia entre cualquier punto en la varilla y la superficie excede de las tolerancias especificadas en el apartado 4.7, la rectitud es inaceptable;
- se desliza sobre la varilla un tubo hueco y recto que sea un poco más largo que la varilla y cuyo diámetro interior sea igual al diámetro de la varilla con la tolerancia especificada en el apartado 4.7 – si la varilla puede pasar a través del tubo sin atascarse, la rectitud es aceptable.

Si aparece cualquiera de las indicaciones de flexión, el uso de las varillas se debería suspender hasta que se asegure, por medio de una inspección y cualquier reparación necesaria, que la rectitud de las varillas cumplen con los requisitos.

Se debe comprobar la rectitud de las varillas internas para permitir el movimiento suave, sin ninguna obstrucción, dentro del varillaje de empuje.

**A.1.2 Desgaste y doblado del cono**

Se debe comprobar visualmente el desgaste y el doblado del cono y del manguito de fricción después de cada ensayo para asegurar que la geometría cumple con las tolerancias. En este control se puede usar un patrón geométrico estándar similar al de un penetrómetro cónico nuevo o sin usar.

**A.1.3 Manómetros**

Antes de empezar un CPTM, se debe realizar una inspección visual para comprobar la indicación correcta del valor cero. Se debe también comprobar la compatibilidad de los valores medidos con manómetros de rangos menores y mayores cuando se cargan hasta el 70% del rango de medida del manómetro del rango menor. En el caso de discrepancia, se debe reemplazar el manómetro que da valores incorrectos y se debe realizar una nueva comprobación después de quitar el aire a la unidad de lectura hidráulica.

**A.1.4 Procedimientos de mantenimiento**

El mantenimiento y la calibración del equipo deben estar de acuerdo con la tabla A.1 y con el manual del fabricante para el equipo particular.

**Tabla A.1 – Esquema de control para comprobaciones rutinarias**

Comprobación	Comienzo del ensayo	Finalización del ensayo	Cada 6 meses
Verticalidad de la máquina de empuje	x		
sensor de profundidad			x
Varillas de empuje	x		
Desgaste	x	x	
Valores cero	x	x	
Desviación cero		x	
Manómetros	x		
Calibración			x <sup>a</sup>
<sup>a</sup> Adicionalmente en intervalos durante ensayos a largo plazo (véase A.2.1).			

## A.2 Calibración

### A.2.1 Procedimientos generales

Se deben calibrar las células de carga y los transductores de presión, y se deben verificar regularmente los sensores de profundidad y los manómetros en los siguientes intervalos:

- al menos cada 6 meses para transductores de presión, manómetros y células de carga con uso continuo o después de aproximadamente 500 sondeos;
- después de que el sistema de medición de carga se haya cargado cerca de su capacidad.

Las calibraciones deben incluir todo el sistema de medida, es decir, los transductores montados, el sistema adquisición de datos y los cables. La calibración se realiza como “sistema de calibración”, es decir, se lleva a cabo usando el mismo sistema de adquisición de datos, incluyendo cables, como en el ensayo de campo, siendo éste una comprobación de posibles errores inherentes del sistema. Durante los trabajos de campo, el equipo debe estar sujeto a controles funcionales regulares. Los controles funcionales regulares deberían hacerse al menos una vez por emplazamiento y/o una vez por día. Si el operador sospecha de sobrecarga en los sensores de carga (pérdida de calibración), se debe realizar un control funcional y posiblemente una recalibración.

En general, se deberían seguir los requisitos presentados en la Norma ISO 10012.

### A.2.2 Calibración de las células de carga y transductores de presión

La calibración de las células de carga y los transductores de presión se lleva a cabo por medio de cargas y descargas incrementales. Se deben calibrar las células de carga y los transductores de presión en varios rangos de medida, con especial énfasis en aquellos rangos relevantes para el próximo ensayo. Cuando se calibra una célula de carga y/o un transductor de presión, los sensores deberían estar sujetos a ciclos de carga repetidos hasta la máxima carga antes de la calibración real.

### A.2.3 Calibración de los manómetros y sensores de profundidad

Los manómetros se deben calibrar al menos cada 6 meses, como parte de todo el sistema hidráulico. Los sensores de profundidad se deben calibrar al menos cada 6 meses y después de cada reparación.

**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] ISO 14688-2:2004, *Geotechnical investigation and testing. Identification and classification of soil. Part 2: Principles for a classification.*
- [2] ISO 22475-1, *Geotechnical investigation and testing. Sampling methods and groundwater measurements. Part 1: Technical principles for execution.*
- [3] ISO 22476-1, *Geotechnical investigation and testing. Field testing. Part 1: Electrical cone and piezocone penetration tests.*
- [4] EN 1997-1, *Eurocode 7: Geotechnical design. Part 1: General rules.*
- [5] EN 1997-2, *Eurocode 7: Geotechnical design. Part 2: Ground investigation and testing.*
- [6] CASSAN, M. 1987. *Les essais in situ en mécanique des sols. tome I: Réalisation et interprétation*, Eyrolles chap. II-5-2 pp. 125 to 127.
- [7] *International reference test procedure*. Report by the committee on penetration testing TC 16. ISSMFE. 1989.
- [8] LUNNE, T., ROBERTSON, P.K. and POWELL, J.J.M. 1997. *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*. London: E & FN Spon, an imprint of Routledge.
- [9] DE BEER, E.E., GOELEN, E., HEYNEN, W.J. and JOUSTRA, K. March 1988. *Cone penetration test (CPT): International reference test procedure*. International symposium on penetration testing, 1, ISOPT-1, Orlando, Proceedings, Vol. 1 Publ.data: pp. 27-51.
- [10] BERGDAHL, U. 1989. *Report of the ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing of Soils*. TC 16 with Reference Test Procedures: CPT - SPT - DP - WST. Statens Geotekniska Institut. SGI Information 7, 49 s Linköping.



---

---

**AENOR** Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Génova, 6  
28004 MADRID-España

[info@aenor.es](mailto:info@aenor.es)  
[www.aenor.es](http://www.aenor.es)

Tel.: 902 102 201  
Fax: 913 104 032