

## **NOTA IMPORTANTE:**

La entidad sólo puede hacer uso de esta norma para si misma, por lo que este documento NO puede ser reproducido, ni almacenado, ni transmitido, en forma electrónica, fotocopia, grabación o cualquier otra tecnología, fuera de su propio marco.

**ININ/ Oficina Nacional de Normalización**

## GEOTECNIA. METODO DE ENSAYO DE PENETRACION ESTATICA EN SUELOS

Geotechnics. Deep Quasi-Static. Cone and  
Friction-Cone Penetration Test of Soil

---

Descriptores: Suelo; terreno; ensayo de penetración; pro-  
piedad estática

1. Edición

1998

ICS: 93.020

REPRODUCCION PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La Habana. Te-  
léf.: 30-0835 Fax: (537) 33-8048 E-mail: [ncnorma@ceniai.inf.cu](mailto:ncnorma@ceniai.inf.cu)



## **Prefacio**

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba que representa al país ante las Organizaciones Internacionales y Regionales de Normalización.

La preparación de las Normas Cubanas se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. La aprobación de las Normas Cubanas es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en evidencias de consenso.

- La presente norma ha tomado como base pura su elaboración la norma ASTM D 3441-86
- Ha sido elaborada por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) del Ministerio de la Construcción en consenso con el Comité Técnico de Normalización NC/CTN 20 de Geotecnia.
- Sustituye a la NC 54 - 296 : 84
- Las principales modificaciones están relacionadas con lo establecido en las normas ASTM D 3441 - 86, BS 1377 parte 9 (1990) y otros documentos de diferentes artículos nacionales.
- Consta de los Anexos A , B , C y D, informativos.

**© NC, 1998**

**Todos los derechos reservados, a menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada por alguna forma o medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias o microfilmes, sin el permiso previo escrito de:**

**Oficina Nacional de Normalización (NC).**

**Calle E No. 261 Ciudad de La Habana, Habana 3. Cuba.**

**Impreso en Cuba**

## Indice

1. Objeto .....	1
2. Generalidades .....	1
3. Términos y definiciones .....	2
4. Aparatos, utensilios y medios de medición.....	3
5. Procedimiento .....	7
6. Expresión de los resultados .....	8
Anexos .....	10
A. Bibliografía .....	10
B. Modelo de ensayo de penetración estática .....	11
C. Modelo de cálculo de los parámetros.....	12
D. Modelo para la presentación gráfica del ensayo.....	17



## GEOTECNIA. MÉTODO DE ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁTICA EN SUELOS

### 1 Objeto

Esta Norma Cubana especifica el método de ensayo de penetración estática para suelos arenosos y arcillosos, que se realiza durante las investigaciones ingeniero-geológicas con los siguientes objetivos:

- Precisión de la estratigrafía de las capas de suelo y su homogeneidad tanto en profundidad como en planta.
- Determinación de las capas más firmes, localización de cavidades y otras discontinuidades.
- Identificación del suelo.
- Valoración de las propiedades físico-mecánicas del suelo.
- Determinación de la carga resistente por estabilidad de cálculo de pilotes aislados, así como la profundidad de colocación de la punta y la posibilidad de realizar la hincas de estos elementos.

### 2 Generalidades

- Los ensayos de penetración estática (CPT) se realizan mediante el sondeo del suelo con un sistema de varillas terminado en cono, midiendo continuamente o a intervalos prefijados la resistencia a la penetración de sus distintas partes para determinar: la resistencia a la penetración del cono ( $q_c$ ), la resistencia de fricción lateral específica ( $f_s$ ) o total ( $Q_{st}$ ) y la resistencia a la penetración total ( $R_t$ ) en dependencia de las posibilidades del equipo utilizado.
- La realización del CPT forma parte del conjunto de investigaciones ingeniero - geológicas, en estrecha combinación con los diferentes métodos de perforación, muestreo, ensayos de laboratorio y de campo y por tanto los volúmenes, ubicación y profundidad de los ensayos serán establecidos en el programa de trabajo de la investigación, teniendo en cuenta los objetivos que se persiguen.
- Para las investigaciones de obra de primera categoría se deben prever como mínimo 6 ensayos que abarquen todos los elementos ingeniero - geológicos de interés.
- En caso de investigaciones de segunda o tercera categoría se preverá la realización de 2 ó 3 ensayos como mínimo en dependencia de las características de los objetos de obra.
- Para obras con pilotes se deben realizar como mínimo 6 ensayos de CPT por cada condición geotécnica diferente.
- En cualquiera de los casos anteriores se debe realizar un número de penetraciones cercanas a las calas para correlacionar sus resultados con la litología, la cantidad de estas será inversamente proporcional a la homogeneidad de las condiciones ingeniero - geológicas y al conocimiento de la zona.

- Los ensayos pueden ser ubicados también cercanos a calas y calicatas con muestreo y ensayos, tanto de campo como de laboratorio.
- La distancia mínima de aproximación del CPT a las calas y calicatas debe ser no menor de 1,5 m y no mayor de 5 m .
- Para obras con pilotes se debe realizar el CPT a una distancia de 1 m a 5 m del pilote si el objetivo de los mismos es determinar la carga última. Si el objetivo del CPT es verificar la variación de las propiedades del suelo, producto de la puesta en obra, se admite realizar los ensayos antes y después de la misma, lo más cercano posible al pilote. La profundidad del CPT para calcular pilotes tendrá que ser como mínimo de 4 veces el diámetro por debajo de la punta del pilote.
- Los penetrómetros pueden estar dotados de otros instrumentos de medición, como inclinómetros y celdas de presión de poros en la punta.

### 3 Términos y definiciones

**3.1** Ensayo de penetración estática: Constituye lo que de forma diversa se ha llamado Ensayo de penetración de cono, Ensayo de penetración cuasi - estático o Sondeo holandés y cuya denominación unificada es CPT.

**3.2** Punta del penetrómetro: Cuerpo terminal situado al final del sistema de varillas que contienen los elementos activos que detectan la resistencia a la punta y la resistencia de rozamiento lateral local.

**3.3** Cono: Parte del penetrómetro sobre la que se desarrolla la resistencia de la punta.

**3.4** Punta de penetración de cono libre: Aquella en que el cono se puede mover libremente con relación a los otros elementos de la punta.

**3.5** Manguito de fricción: Parte de la punta del penetrómetro sobre la cual se desarrolla el rozamiento lateral local a medir.

**3.6** Penetrómetro eléctrico: Aquel que emplea dispositivos eléctricos instalados dentro de la punta, tales como extensómetros, cuerdas vibrantes y otros.

**3.7** Penetrómetro mecánico: Aquel que emplea un conjunto de varillas interiores para operar sobre la punta.

**3.8** Penetrómetro neumático o hidráulico: Aquel que utiliza dispositivos neumáticos o hidráulicos instalados dentro de la punta.

**3.9** Varillas exteriores: Tubos de pared gruesa empleados para hacer avanzar la punta del penetrómetro y además para guiar y proteger el sistema de medición.

**3.10** Varillas interiores: Varillas macizas que se deslizan dentro de las varillas exteriores para hacer avanzar la punta y el manguito de fricción o sólo la punta de los penetrómetros mecánicos.

**3.11** Ensayo de penetración continuo: En el que la resistencia de cono se mide cuando todos los elementos de la punta permanecen estacionarios y la resistencia a la fricción específica se mide cuando avanzan conjuntamente el cono y el manguito de fricción y el resto de los elementos permanecen inmóviles.

#### 4 Aparatos, utensilios y medios de medición

Equipo penetrómetro estático que consta de las siguientes partes principales:

- Punta normalizada. Para las dimensiones geométricas ( véase la figura 1). ( Punta Begeman con área de cono de  $10 \text{ cm}^2$  y ángulo de vértice de  $60^\circ$ ). Esta compuesta por el manguito de fricción y la varilla interior central. El manguito de fricción de  $150 \text{ cm}^2$  de área esta situado con respecto a la base del cono a 4 veces el diámetro del mismo. La varilla interior central de  $12,5 \text{ mm}$  de diámetro propicia el trabajo mecánico y la medición independiente y discontinua de la resistencia a la penetración del cono (  $R_p$  ), la resistencia de fricción lateral específica (  $R_f$  ) y la resistencia a la penetración total (  $R_t$  ).

#### NOTA 1

- El cono y el manguito de fricción deben desplazarse fácilmente con respecto al cuerpo de la punta.
- Se admite utilizar otro tipo de punta siempre que el cono cumpla con las exigencias que se plantean, ofreciéndose junto con los datos del ensayo la aplicación de todas las diferencias, tanto geométricas, como de funcionamiento de la punta.
- El funcionamiento de la punta mecánica se puede ver obstruido por las partículas de suelo. Se debe interrumpir la penetración si esto ocurre.
- Deben mantenerse limpias y lubricadas las varillas interiores. La presencia de partículas de suelos puede causar serios errores en las mediciones de los componentes de la resistencia.
- Deben ser desechadas las puntas desgastadas que no cumplan las tolerancias de uso que se especifican a continuación:
- Rugosidad del cono  $5 \mu\text{m}$ .
- Rugosidad del manguito de fricción  $0,5 \mu\text{m}$  .
- Diámetro del manguito de fricción de fabricación y de uso  $\phi + 0,35 \text{ mm}$  .
- Área de la superficie del manguito de fricción  $150 \text{ cm}^2 \pm 2 \%$  .
- Ángulo del cono  $\pm 5^\circ$  .
- Radio mínimo del extremo del cono  $3 \text{ mm}$  .
- Diámetro mínimo del cono  $34,7 \text{ mm}$ .
- Longitud mínima del cono  $24 \text{ mm}$ .

- Varillas exteriores con una longitud de 1 000 mm y un diámetro de 36 mm . Las conexiones entre las varillas serán de roscas y no podrán tener ningún borde saliente por dentro (véase la figura 2 ).

NOTA 2. Puede ser utilizado un reductor de fricción (con el objetivo de lograr mayor profundidad), consistente en una varilla especial de diámetro mayor que el estándar. Cualquier reductor de fricción o cambio en el diámetro debe comenzar o estar situado como mínimo a 40 cm desde el tope superior del manguito de fricción.

- Varillas interiores de aceros especiales de 1 000 mm de longitud y diámetro de 0,5 mm a 1 mm menor al diámetro interior de las varillas exteriores. Los extremos de las varillas deben estar cortados y rectificadas perpendicularmente al eje de la varilla y se empalman a tope. Las varillas deben deslizarse fácilmente dentro de las varillas exteriores (véase la figura 2 ).
- Sistema de fuerza compuesto por un motor de combustión interna que acciona una bomba hidráulica con capacidad suficiente para proporcionar el trabajo de un cilindro hidráulico de doble efecto que produce el avance y la extracción de las varillas, de 1 m como mínimo, a velocidad constante.
- Sistema de reacción formado por 4 barrenas helicoidales roscadas en el suelo que anclan el chasis al mismo, o mediante lastre colocado directamente sobre el chasis.

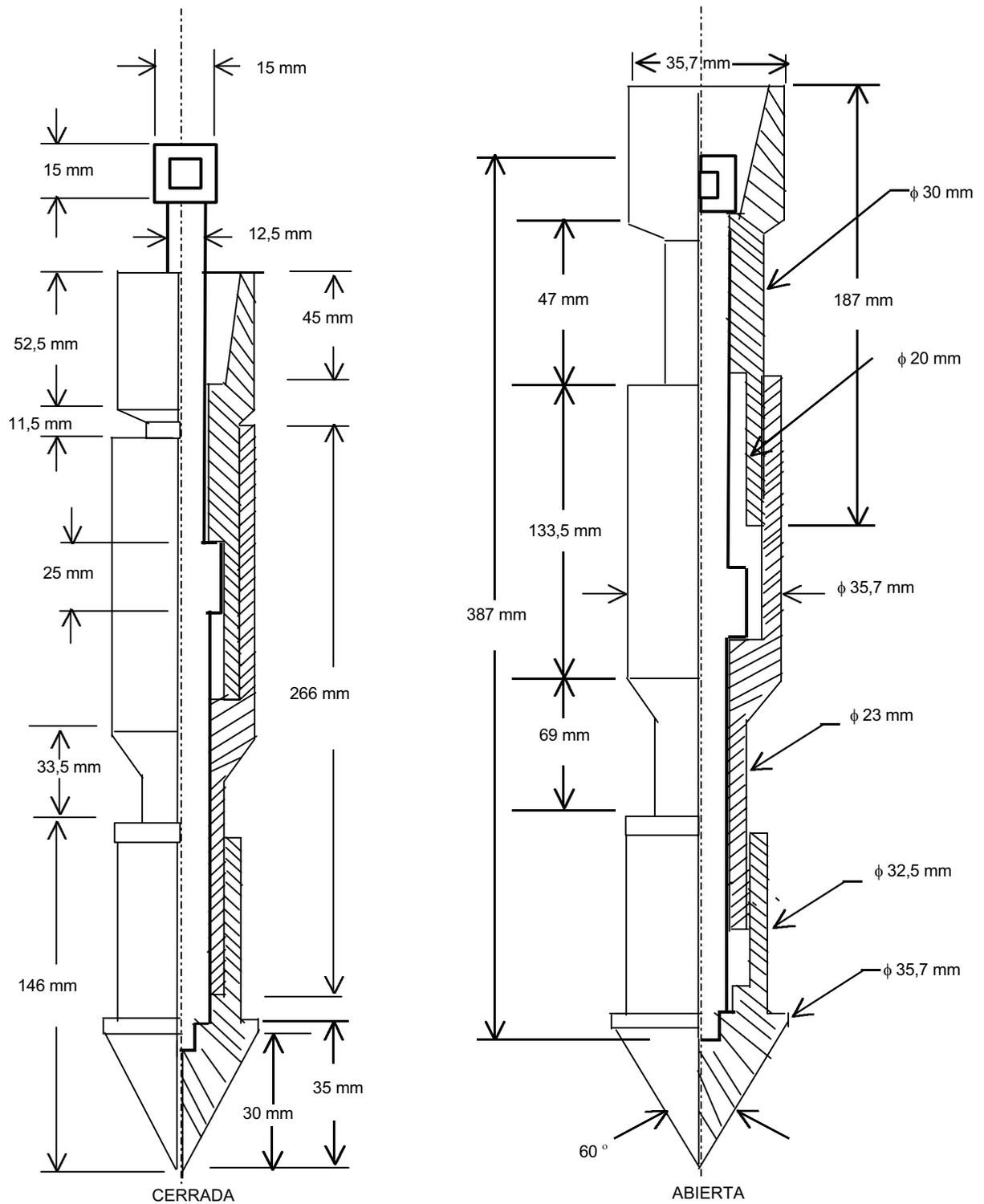


Figura 1. Dimensiones geométricas de la punta del penetrómetro de cono libre con manguito de fricción.

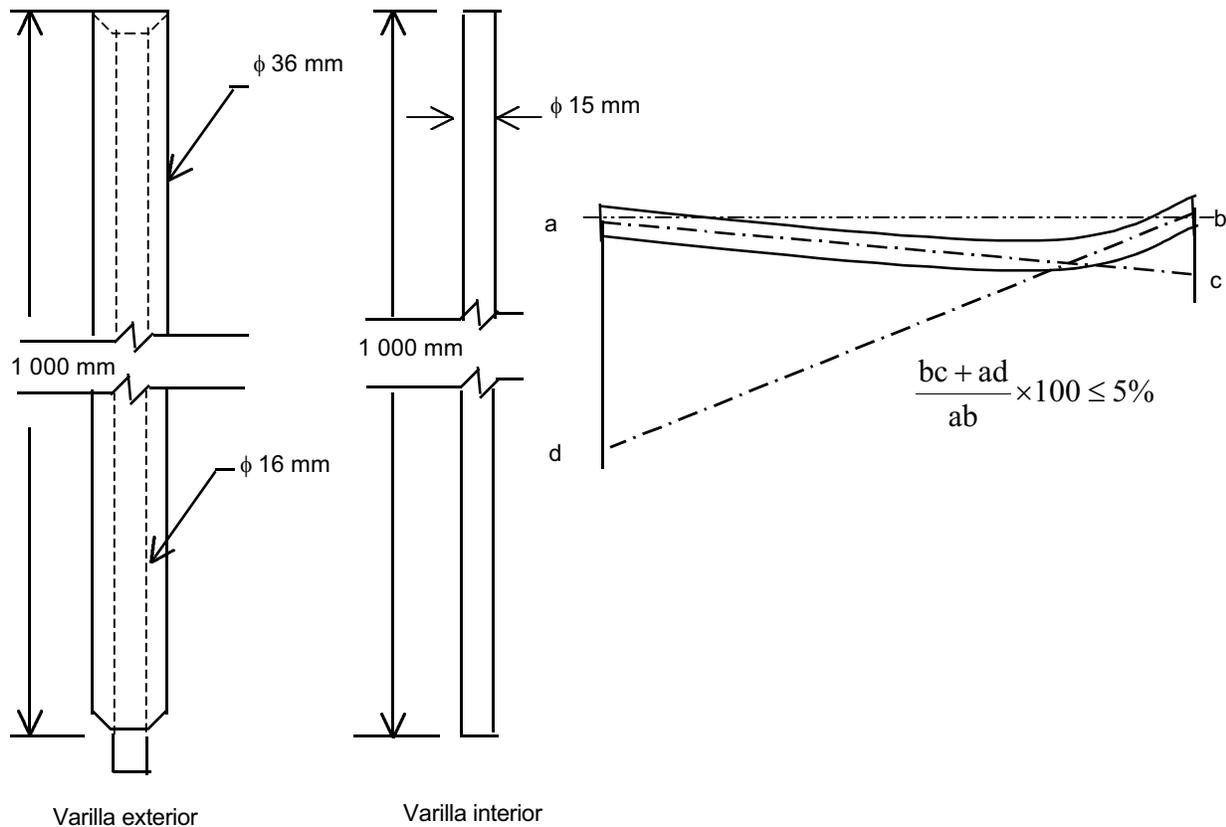


Figura 2. Dimensiones geométricas de las varillas

NOTA 3

- Tolerancias de fabricación y de uso de las varillas:
- Rugosidad de las varillas exteriores  $\leq 5 \mu\text{m}$ .
- Diámetro de las varillas exteriores  $36 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ .
- Desviación con respecto al eje longitudinal  $\frac{bc + ad}{ab} \times 100 \leq 5\%$ .
- Diámetro de las varillas interiores  $\geq 15 \text{ mm}$ , pero 1 mm menor que el diámetro interior de la varilla exterior.
- Rugosidad de las varillas interiores  $\leq 0,25 \mu\text{m}$ .

NOTA 4. La magnitud de la resistencia puede ser registrada por otros métodos: celdas dinamométricas eléctricas, dinamómetros, dispositivos hidráulicos y otros.

- Dos manómetros con rango de medición de 10 MPa y 60 MPa y precisión de 0,2 MPa como mínimo, para el sistema de medición. Los manómetros se revisarán y calibrarán cada 6 meses.
- Regla graduada de 1 m de longitud con precisión mínima de 5 cm, fijada a la torre del equipo.
- Nivel de burbuja.

## 5 Procedimiento

### 5.1 Preparación para el ensayo

**5.1.1** El equipo deberá situarse sobre el punto indicado de modo que el vástago de penetración quede en posición vertical. Se admite como máximo una desviación de la vertical del 2 % .

**5.1.2** El eje de las varillas exteriores debe coincidir con la dirección del empuje.

**5.1.3** Posteriormente se procederá a anclar o lastrar el equipo. El sistema de reacción garantizará que toda la máquina no se mueva con respecto a la superficie del suelo durante la penetración.

**5.1.4** Se introducen las varillas por dentro de la guía si es necesario y se hince la punta dentro del suelo 40 cm . En este momento el penetrómetro está listo para comenzar el ensayo.

### 5.2 Realización del ensayo

**5.2.1** El procedimiento normalizado para el penetrómetro de cono libre y manguito de fricción con funcionamiento mecánico es el ensayo discontinuo con lecturas cada 20 cm con velocidad de penetración constante de  $( 2 \pm 0,5 )$  cm / s .

**5.2.2** Mediante el mecanismo de hince se hace penetrar el cono 4 cm estando los demás elementos estacionarios. Se realiza la lectura de la resistencia del cono (  $R_p$  ).

A continuación se procede a hincar el manguito de fricción conjuntamente con la punta un tramo de 6 cm, registrando la fricción lateral más la resistencia de cono (  $R_f$  ).

Posteriormente se hince todo el sistema punta - varillas un tramo de 10 cm para registrar la resistencia total a la penetración (  $R_t$  ) que incluye la fricción lateral total y la resistencia de cono.

**5.2.3** Este proceso se repite cada 20 cm hasta la profundidad indicada o hasta que se detenga el avance del penetrómetro por la presencia de capas de suelo impenetrables.

**5.2.4** Las mediciones de  $R_p$ ,  $R_f$  y  $R_t$  se realizan tomando las lecturas en el manómetro de bajas presiones; cuando la resistencia total alcance valores mayores de 10 MPa se tomará la lectura por el manómetro de 60 MPa.

**5.2.5** Para otros tipos de penetrómetros el procedimiento de ensayo y el registro de los valores podrá ser continuo o discontinuo en dependencia del tipo y sus posibilidades.

**5.2.6** Los valores registrados y todos los datos serán anotados en el modelo de ensayo de penetración estática que se adjunta ( véase el Anexo B ).

## 6. Expresión de los resultados

**6.1** En base a los datos del modelo de ensayo se realiza el cálculo de los parámetros: resistencia del cono a la penetración (  $q_c$  ), resistencia de fricción específica (  $f_s$  ) y la resistencia a la fricción total (  $Q_{st}$  ), según las fórmulas que aparecen a continuación y se anotarán en el modelo de cálculo que adjunta ( véase el Anexo C ).

$$q_c = 2R_p \quad \text{MPa}$$

$$f_s = \frac{(R_f - R_p)20}{150} \quad \text{MPa}$$

$$Q_{st} = (R_t - R_p)20 \quad \text{kN}$$

NOTA 5. Es necesario tener en consideración el peso de las varillas interiores, en el caso de valores de resistencia en punta muy bajos.

NOTA 6. Debe tenerse en cuenta que en arenas y para punta normalizada, el valor de la fricción puede estar influenciado por la forma del manguito, produciéndose valores hasta 2 / 3 mayores que los valores reales.

**6.2** Se confeccionará un gráfico que represente en el eje de las ordenadas las profundidades y en el eje de las abscisas los parámetros calculados según el apartado anterior para el penetrómetro normalizado, o según la metodología correspondiente al penetrómetro utilizado, si este es de otro tipo.

**6.2.1** Para los gráficos se deberán utilizar las siguientes relaciones entre las magnitudes:

Profundidad: Una unidad de longitud arbitraria para 1 m .

Resistencia al cono (  $q_c$  ): La misma unidad de longitud para 2 MPa .

Resistencia de fricción específica (  $f_s$  ): La misma unidad de longitud para 0,5 MPa .

Resistencia de fricción total (  $Q_{st}$  ): La misma unidad de longitud para 5 kN .

**6.2.2** Mientras se respeten las relaciones mencionadas en el apartado anterior se puede utilizar cualquier escala, de modo que sean utilizables formatos normalizados.

**6.2.3** El gráfico de penetración estática estará reflejado conjuntamente con la columna litológica de la cala de referencia, si la tiene y sus principales datos, así mismo deberá contener toda la información necesaria para la interpretación como es: el tipo de penetrómetro y de punta, funcionamiento, cota de la superficie natural del terreno, datos sobre la presencia de rellenos y su espesor, existencia y profundidad de excavación y nivel de comienzo del ensayo con respecto a la superficie original o artificial del suelo, identificación del punto de sondeo y de la cala de referencia y sus coordenadas, observaciones del operador sobre el pandeo de las varillas, interrupción del ensayo o del trabajo de la punta y sus posibles motivos, ruidos, movimientos del equipo, posición del nivel de las aguas y otros.

**6.2.4** Se adjunta el modelo para la presentación gráfica del ensayo ( véase el Anexo D ).

**6.3** Los datos del gráfico CPT podrán ser utilizados para calcular la carga última de pilotes hincados según las metodologías existentes. Para pilotes hormigonados “in situ” y sobre todo en suelos friccionales, esta metodología podrá ser empleada pero con reserva y sólo por personal de gran experiencia práctica, sirviendo solamente de forma orientativa.

**6.4** Según los resultados del ensayo podrán ser calculados, para los diferentes tipos de suelos atravesados, los índices de fricción específica  $f_s$  medidos a una misma profundidad. Este índice sirve para la identificación de los diferentes tipos de suelo. Algunas instituciones utilizan el término Razón de fricción ( Rf ) que es el inverso del anterior.

$$If = \frac{q_c}{f_s} \quad (\text{adimensional})$$

$$Rf = \frac{f_s}{q_c} \quad (\text{adimensional})$$

**6.5** Según los resultados del CPT pueden ser establecidos por correlación con ensayos paralelos, tanto de campo como de laboratorio, expresiones empíricas a fin de valorar tentativamente las propiedades físico - mecánicas de los suelos, siempre en función de unas condiciones ingeniero - geológicas dadas en el área de investigación. Los valores así determinados no son factibles de extrapolar para otras condiciones ingeniero - geológicas diferentes.

**ANEXO A  
(informativo)**

**BIBLIOGRAFÍA**

NC 54-296:84. Suelos. Penetración estática.

GOST 20069:81. Suelos Método de ensayo de campo por sondeo estático. URSS.

SN 448:78. Indicaciones para el sondeo de los suelos URSS.

Estándar europeo de penetración estática. Subcomité europeo para los ensayos de campo de la ISSMFE.

ASTM D-3441-86. Deep Quasi-Static, Cone and Friction-Cone Penetration Test of Soil.

BS 1377. Part 9. In situ test 3. In situ Penetration Tests.

BS 5930. Code of Practice for Site Investigations 23. Probing and Penetration Tests.

Proyecto de norma cubana. Cimentaciones sobre pilotes. Método de cálculo para el dimensionamiento geotécnico.

Jiménez Salas. José A y otros. Geotecnia y cimientos. Tomo II. Mecánica de suelos y de las rocas, capítulo 2, 2da edición.

Trofimenkov. Yuri y otros. Métodos de reconocimiento en el campo de las propiedades de los suelos para la construcción, capítulo 4. 2da. edición.

Evolución de la Tecnología de los ensayos de penetración estática.

Robertson, P.K. and Campanella, R.G. Guidelines for Geotechnical Design using the Cone Penetrometer Test and CPT with Pore Pressure Measurement. Hogentogler Editions, 1991.

Robertson, P.K y Campanella, R.G. Interpretación de los ensayos de Penetración de Cono. Revista Geotechnique, 1990. Traducción al Español en Biblioteca ENIA-MICONS.

Sociedad Geotécnica Holandesa. El Ensayo de Penetración de Cono Estático. Revista Geotechnique, 1987. Traducción al Español en Biblioteca ENIA-MICONS.

**ANEXO B  
(informativo)  
MODELO DE ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁTICA**

Organismo:	Dependencia:	Ensayo de Penetración Estática CPT Modelo de Ensayo	Fecha : _____ Operador: _____								
Obra: _____ Situación: _____ N° del ensayo: _____ Coordinadas: _____ Nivel del agua subterránea: _____ Cota de la superficie: _____ Cota de comienzo del CPT: _____ N° de cala de referencia : _____ Cota de la boca de la cala: _____ _____											
Prof. m	Rp MPa	Rf MPa	Rt MPa	Prof. m	Rp MPa	Rf MPa	Rt MPa	Prof. m	Rp MPa	Rf MPa	Rt MPa
,00				,00				,00			
,20				,20				,20			
,30				,40				,40			
,60				,60				,60			
,80				,80				,80			
,00				,00				,00			
,20				,20				,20			
,40				,40				,40			
,60				,60				,60			
,80				,80				,80			
,00				,00				,00			
,20				,20				,20			
,40				,40				,40			
,60				,60				,60			
,80				,80				,80			
,00				,00				,00			
,20				,20				,20			
,40				,40				,40			
,60				,60				,60			
,80				,80				,80			
Tipo de penetrómetro _____  Tipo de punta: _____								Observaciones: _____ _____ _____			



