

EUIT MINAS

BARAKALDO

Ingeniería Técnica de Minas, especialidad en Explotación de Minas

EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO MEDIANTE PENETRÓMETRO

JL. Varela © I.G. Herrero (2001/2002)

EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO CON PENETRÓMETRO

1.- INTRODUCCIÓN

ENSAYO DE PENETRACIÓN CON EL CONO

ENSAYO DE PENETRACIÓN CON (SPT)

2.- NOCIONES BÁSICAS DE SUELOS

ID (Dr) es la densidad relativa o Índice de densidad.

3.- CAMPOS DE ACCIÓN

3.1 -DESMONTES

3.2 -RELLENOS

3.3 -CIMENTACION DE OBRAS DE FABRICA

3.4 -DETERMINACIÓN DE PERFILES DE ROCA EN EL SUELO

3.5 -OTROS CAMPOS DE ACCION

Determinación de la presión intersticial de un terreno

Determinación de la radioactividad

4.- ENSAYOS DE PENETRACIÓN Y TIPOS DE PENETROMETROS DINÁMICOS

4.1 -ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA

4.1.1 -Principio físico

4.1.2 -Partes del penetrómetro

4.1.3 -Procedimiento operatorio.

4.1.4 -Ensayo de golpeo y penetración

4.2 -TIPOS DE PENETROMETROS DINAMICOS

4.2.1 -El penetrómetro Borro

4.2.2 - Penetrómetro dinámico pesado (DPH)

4.2.3 - Penetrómetro dinámico sónico pesado (DPSH)

4.2.4 -SPT (Standard Penetration Test)

5.- ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁTICA CON EL CONO (CPT*)

5.1.- PARTES DEL PENETRÓMETRO

5.2.- ENSAYO DE REFERENCIA

5.3.- DESARROLLO DEL ENSAYO

5.4.- ENSAYO DISCONTINUO

6.- UTILIZACION DEL PENETROMETRO EN CIMENTACIONES Y OBRAS CIVILES.

6.1 SEGÚN PUY

Cimentaciones superficiales (zapatas).

Cimentaciones profundas (pilotes).

Cálculo de pilotes según el tipo de penetrómetro

6.2 UTILIZACIÓN DE CÁLCULOS, BACOS Y TABLAS DEL SPT EN LOS ESTUDIOS DEL TERRENO.

6.2.1 Resistencia del suelo calculada mediante el SPT.

6.2.2. Tensión admisible bajo una cimentación. (EMPÍRICO)

6.2.3. Capacidad portante de un suelo de cimentación mediante SPT.

6.2.4. Asentamientos de construcciones

- Cálculo del ángulo de rozamiento de un terreno

6.3. CÁLCULOS EN OBRA CIVIL MEDIANTE EL CPT

6.3.1. Cálculo de la cohesión

6.3.2. Cálculo de cimentaciones profundas.

6.3.3. Cálculo de la resistencia por rozamiento lateral.

6.3.4. Cálculo de la capacidad portante por Meyerhof. (unidades inglesas)

6.3.5.Cálculo en suelos coherentes del valor de la resistencia al corte sin drenaje S_u .

6.3.6.Cálculo aproximado del ángulo de rozamiento con CPT (Trofinenkov)

6.4 ELECCIÓN Y UTILIZACIÓN DE LOS PENETRÓMETROS EN OBRA PÚBLICA.

7.- NÚMERO MÍNIMO DE SONDEOS DE RECONOCIMIENTO EN EDIFICIOS Y TALUDES

Estudios para construcción.

Estudios para Taludes (Desmontes)

UNIDADES y TABLA DE RECONOCIMIENTO

7b.- TIPOS DE CAMPAÑAS PARA ESTUDIOS GEOTÉCNICOS (antigua)

Campaña de categoría I-n-p

Campaña de categoría II-n-p

Campaña de categoría III-n-p

Campaña de categoría IV-n-p

7b.1 UTILIZACIÓN DEL PENETRÓMETRO EN LAS CAMPAÑAS DE EXPLORACIÓN.

BIBLIOGRAFÍA

EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO CON PENETRÓMETRO

1.- INTRODUCCIÓN.

Un penetrómetro es un aparato que penetra en el suelo para recabar una serie de informaciones que nos ayudaran al conocimiento directo de propiedades físicas e indirecto de propiedades químicas en el laboratorio (SPT).

A grandes rasgos podemos diferenciar dos tipos de ensayo de penetración uno el propio de los conos tanto estáticos como dinámicos y el otro referido al ensayo de penetración estándar (SPT)

ENSAYO DE PENETRACIÓN CON EL CONO:

Consiste en introducir en el terreno una serie de varillas cilíndricas con un cono en la base. Si el penetrómetro es estático las varillas serán empujadas a una velocidad constante mediante un aparato transmisor, si es dinámico se procederá al hincapie y posterior sobrepresión sobre la cabeza.

Se realizarán mediciones, de manera continua o a intervalos de profundidad determinados, de la resistencia a la penetración del cono.

ENSAYO DE PENETRACIÓN CON (SPT):

Consiste en introducir un tomamuestras el interior de un sondeo realizado previamente determinando la resistencia del suelo a la penetración, al tiempo que permite obtener una muestra representativa para su

identificación, aunque con su estructura determinada

2.- NOCIONES BÁSICAS DE SUELOS.

Son el resultado de la alteración superficial de las rocas por acción de la meteorización química, mecánica y por la acción de los organismos que viven en el suelo como los vegetales, bacterias, hongos...

El factor climático es el principal condicionante de la composición y estructura final del suelo, la ciencia que estudia el suelo como tal es la edafología.

El suelo está formado por un conjunto de granos de diverso tamaño y forma, así como materia orgánica, agua y gases. La fuerza de cohesión entre estas partículas es muy pequeña en comparación con una roca.

El suelo se ha podido formar por descomposición de la roca firme que tiene debajo, o bien por descomposición de otras rocas situadas más lejos, en este caso habrá sufrido transporte por el agua, viento...

Como hemos dicho anteriormente el suelo está formado por una serie de partículas minerales además de otras cosas, la tabla siguiente nos da la clasificación del tamaño de partícula según su tamaño

Granulometría	
Tipo de grano	Tamaño
Bloques	1 m ³
Bolos	10 cm a 30 cm
Gravas	>40cm
Gravillas	>2cm
Arenas	2 mm a 0,06
Limos	0,06 mm a 0,002
Arcillas	< 0,002 mm = 2 μm.

1 = diámetro de la roca

Suelo granular es aquel formado por granos

ID (Dr) es la densidad relativa o índice de densidad.

El índice de huecos e es el parámetro más importante en la definición del estado de un suelo granular.

$$ID = Dr = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \cdot 100\%$$

e_{max} - e_{min}

Donde:

e_{max} es el índice de huecos en el estado menos compacto.

emin es el índice de huecos en el estado más compacto.

e es el índice de huecos del suelo in situ.

Los valores máximo y mínimo de e se obtienen en el laboratorio.

El Dr también se calcula mediante en SPT y el Cu (coeficiente de uniformidad, Curvas Granulométricas) y la presión vertical efectiva $\bar{\sigma}$. $\text{Dr} = 11'7 + 0'76\sqrt{222N+1600-53\bar{\sigma} - 50 \text{ Cu}^2}$

Donde $\bar{\sigma}$ está en tsf (9,764t/m²) por lo que el resultado da en unidades inglesas.

3.- CAMPOS DE ACCIÓN.

Los campos de acción a los que se limita el uso del penetrómetro son principalmente los siguientes: Estudio de desmontes, reconocimiento de rellenos cimentaciones de obras públicas y delimitación de los horizontes del suelo.

3.1 -DESMONTES.

Sólo pueden aplicarse al estudio de desmontes en suelos o roca con un alto grado de alteración.

Y acotando más el problema, su campo de aplicación suele ser el de desmontes en suelos exentos de piedra, bolos, etc., los cuales pueden tergiversar el resultado de los ensayos y sobrevalorar la competencia del terreno.

Por tanto, en general, los penetrómetros dinámicos se emplearán únicamente para acotar zonas de suelos, contrastándolos con algún sondeo rotativo.

Existe la posibilidad de obtener muestras por golpeo con los penetrómetros ordinarios, pero la calidad de las mismas es menor que la de los sondeos rotativos, tanto por su diámetro como por la alteración del suelo como consecuencia del golpeo antes y durante la toma de la muestra.

Por tanto el empleo de los penetrómetros para este objeto es muy limitado, ya que se obtienen muestras muy pequeñas y alteradas, cuya principal aplicación será a ver la naturaleza del terreno a efectos de identificación del mismo.

3.2 -RELLENOS.

Los objetivos de las penetraciones dinámicas son en este caso el estudio de las propiedades geotécnicas del cimientado del relleno.

Salvo en rellenos de poca altura y cimientados muy conocidos de antemano será necesario el contraste con sondeos rotativos. Con esta condición se emplearán las penetraciones dinámicas para delimitar el contorno de los suelos afectados por el relleno a construir y en el caso de suelos limosos y arenosos servirán para caracterizar la capacidad portante de los mismos.

Los ensayos de penetración dinámica convencional o SPT permiten caracterizar al suelo de una manera más sencilla y en general más fiable en el caso de suelos limosos y arenosos, que la conseguida mediante la toma de muestras inalteradas. Este tipo de muestras presenta en estos suelos los problemas de dificultad de extracción y de tallado, de manera que en muchas ocasiones sólo se consiguen obtener de las capas más arcillosas, con lo cual se caracteriza a toda la capa por un resultado parcial que puede representar a un porcentaje minoritario en el conjunto.

En el caso de ensayos rotativos la caracterización se hará a partir del valor N obtenido en el ensayo SPT y en el ensayo de penetración convencional por medio de la correlación con el valor de N, que para suelos limosos y arenosos puede admitirse, en primera aproximación y a salvo de que se hagan ensayos “in situ” de comprobación como: $N = N_B$ donde N_B es el número de golpes necesario para introducir 20 cm. El penetrometro dinámico convencional (penetrometro Borros). En arcillas, en cambio, la correlación es más dudosa.

3.3 -CIMENTACION DE OBRAS DE FABRICA.

El campo de aplicación de las penetraciones dinámicas en el proyecto de cimentaciones de estructuras tienen las mismas características que el definido en el apartado anterior respecto a rellenos, es decir:

- Delimitación de zonas de suelos.
- Caracterización de la capacidad portante del terreno.

Normalmente y especialmente en estructuras importantes y terrenos de cimentación poco uniformes, es necesario el contraste con sondeos rotativos.

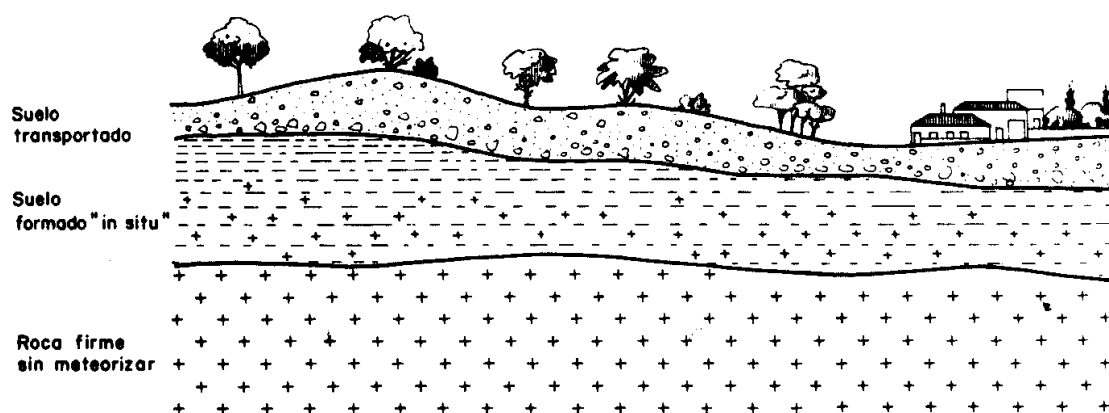
Respecto a las profundidades de las penetraciones, son válidas las estipuladas para los sondeos rotativos.

3.4 -DETERMINACIÓN DE PERFILES DE ROCA EN EL SUELO.

Los penetrometros no sólo se utilizan en la determinación de ciertas propiedades del terreno, sino que también se utilizan para investigar el terreno localizando los perfiles de roca y la profundidad a la que se hayan.

El método es muy sencillo se atraviesan los diversos horizontes del suelo y se sigue penetrando hasta alcanzar la roca madre, este método nos ayuda a conocer a que profundidad esta la roca para poder calcular los pilotes o para saber también, a partir de que profundidad se pueden colocar los anclajes, en el caso de obra civil o en el caso de la minería donde comenzar con el arranque...

Si la roca es muy blanda se pueden llegar a obtener testigos mediante el SPT, alterados en su estructura, sin necesidad de realizar sondeos con otro tipo de maquinaria.



En la imagen observada se ve el perfil de roca madre recubierta de dos capas de suelo, una de ellas de suelo transportado y otra de ellas de suelo formado por alteración de la roca madre.

3.5 -OTROS CAMPOS DE ACCION.

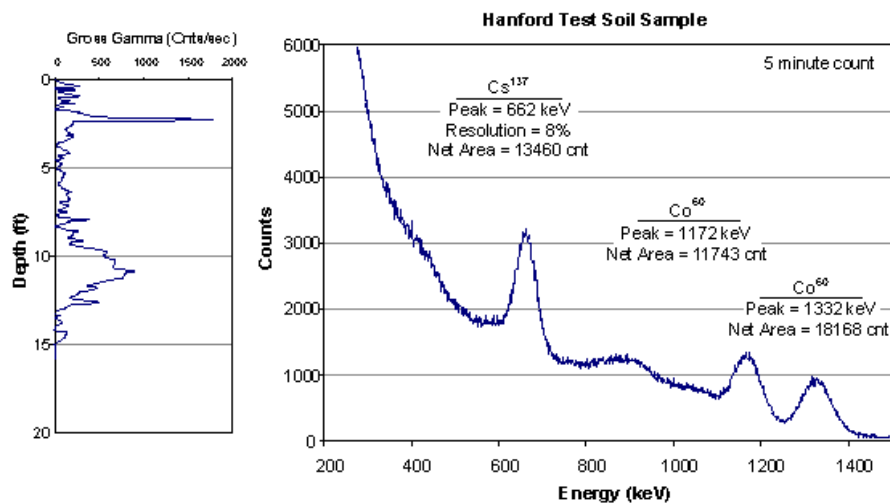
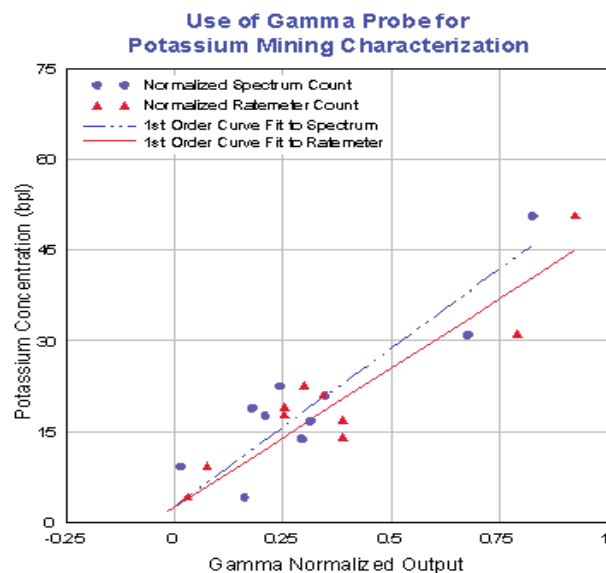
Determinación de la presión intersticial de un terreno.

Mediante un piezocono, el cual es un elemento poroso que se encuentra insertado en la parte cónica o en la extensión cilíndrica del cono.

Determinación de la radioactividad.

Se lleva a cabo instalando en el cono del penetrómetro, un aparato que sea capaz de medir la radioactividad, es empleado para el reconocimiento de suelos contaminados para estimar concentración de radiación en el subsuelo aunque también para encontrar a que profundidad se hayan los yacimientos no aflorantes de minerales radioactivos (Potasio).

En general se pueden ampliar los campos de utilización de los penetrómetros añadiendo toda una serie de aparatos extra como hemos podido ver en los anteriores ejemplos



4.- ENSAYOS DE PENETRACIÓN Y TIPOS DE PENETROMETROS DINÁMICOS.

4.1 -ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA.

Consiste en una punta que es golpeada repetidamente para asÃ— penetrar en el suelo y conocer la resistencia de este a la penetraciÃ—n, dicha punta consta de un cono cuyo Ã—ngulo suele ser de entre 60 y 90 grados que suele ser denominado puntaza.

En un principio estos penetrÃ—metros fueron concebidos para apreciar la compactabilidad de los suelos sin cohesiÃ—n, de los cuales era muy difÃ—cil tomar muestras inalteradas. Los resultados obtenidos se deben de tratar con mucho cuidado debido a que el suelo puede refluir por encima de la punta, por el agua intersticial en suelos poco permeables o por el rozamiento lateral.

El varillaje debe de ser de diÃ—metro inferior a la base para asÃ— evitar todo lo posible el rozamiento lateral del tren de varillas

El golpeteo es producido por la caÃ—da guiada de una maza de peso variable segÃ—n penetrÃ—metro que golpea la cabeza de impacta y transmite el golpe a la punta que va atravesando el terreno segÃ—n su dureza.

4.1.1 -PRINCIPIO FÃ—SICO .

Los penetrÃ—metros se basan en el principio fÃ—sico de la conservaciÃ—n de la cantidad de movimiento.

Se supone ademÃ—s que el choque de la maza con la cabeza de impacto es completamente plÃ—stico, es decir no se produce el rebote de la maza al impactar.

La cantidad de movimiento de la maza es:

Siendo $\hat{v} = \sqrt{2gH}$ la velocidad en caÃ—da libre de un cuerpo, en este caso la maza.

Aplicando posteriormente otro de los principios de mecÃ—nica "La diferencia de energÃ—a cinÃ©tica es igual al trabajo efectuado". En este caso la maza pasa de poseer una energÃ—a potencial en el momento inicial a tener energÃ—a cinÃ©tica en el momento final que e transmitirÃ— finalmente al cono que penetrarÃ— en el suelo recibiendo de este una resistencia a la penetraciÃ—n que deriva de este concepto.

La resistencia a la penetraciÃ—n del terreno serÃ— por tanto:

Siendo:

M: el peso de la maza en kilogramos.

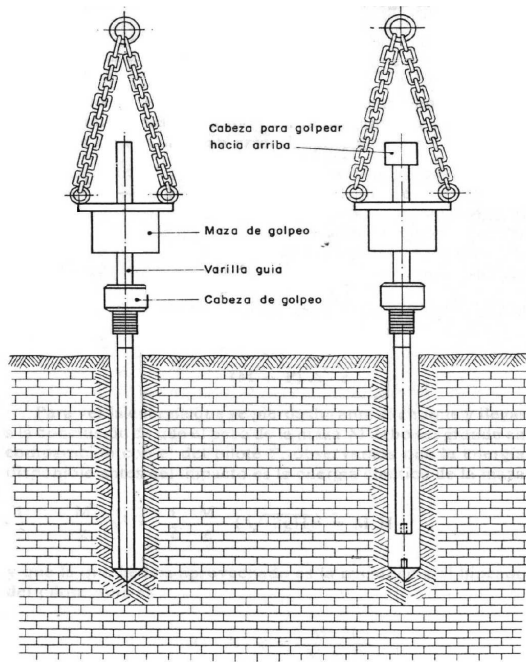
P: es el peso del varillaje en kilogramos.

e : espacio recorrido por la puntaza entre el numero de golpes dados

H : altura a la que cae la maza y golpea a la cabeza de impacto

A: Ã—rea de la puntaza en cm^2

Esquema de penetrÃ—metro dinÃ—mico



En los penetrómetros dinámicos en los cuales empleamos las fórmulas de los holandeses obtenemos la siguiente fórmula: (en Newtons = $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$)

$$Q = \frac{M \cdot H \cdot M \cdot g}{(M+U) \cdot e}$$

$$(M+U) \cdot e$$

La resistencia dinámica en la punta será; entonces $q = Q/A$ en Pa.

Siendo A el área de la punta.

ACTUALMENTE se emplea para el penetrómetro Borro y los Dinámicos las siguientes fórmulas para calcular la carga resistente.

$$q_a = \frac{W \cdot g \cdot H}{(A \cdot e)} \quad q_d = \frac{g \cdot H \cdot M^2}{(A \cdot e) \cdot (M+U) \cdot (A \cdot e)}$$

$$(A \cdot e) \cdot (M+U) \cdot (A \cdot e)$$

Siendo:

q_a y q_d = valores de resistencia en Pa (N/m^2). (q_a = resistencia específica)

M = es la masa de la maza

U = es la masa del varillaje

H = altura de caída de la maza

e = penetración media por golpe

A = área de la puntaza

$g = \text{gravedad } 9.81 \text{ m/s}^2$

Normas BAT de geología y geotecnia

4.1.2 -PARTES DEL PENETRÓMETRO.

Aparatos y material necesario:

Cono : Es una pieza de acero en forma cónica con un ángulo de 90° el cono o puntaza podrá ser perdido o recuperable según modelo.

Varillaje : Se denomina así a todo el conjunto de varillas de acero macizas que se utilizan para transmitir la energía de golpeo.

Dispositivos de golpeo:

Maza : Cuerpo pesado de acero que se eleva para conseguir el golpeo.

Cabeza de impacto: Cuerpo de acero que recibe el impacto de la maza y que está unido solidariamente al varillaje.

Guiadera : Como su nombre indica es un elemento que guía la maza en su caída.

Sistema de elevación y escape: es el mecanismo por el cual se eleva la maza y también se suelta.

Martillo de golpeo: Dispositivo de golpeo automático en el que la maza, la cabeza de impacto, la guiadera y el sistema de elevación y escape están integrados en un mismo elemento. Permite izar la maza y liberarla siempre a la misma altura sin producir movimientos sobre el varillaje de forma que la caída por la guiadera sea totalmente libre y la energía transferida a la cabeza de impacto sea siempre la misma en todos los golpes. Es el sistema que hace que exista una frecuencia de golpeo uniforme.

Guía de soporte: Pieza que asegura la verticalidad y el soporte lateral en el tramo de varillaje que sobresale del suelo.

Instrumentos de medida

Contador de golpes. El dispositivo de golpeo utilizado deberá disponer de un contador de golpes automático.

Escala de profundidad. Todo equipo deberá tener una referencia de profundidad de avances que se encuentre marcada de forma indeleble.

Referencia de verticalidad. Permitirá observar en grados o en tanto por ciento la inclinación de la verticalidad del varillaje mediante un inclinómetro.

Medidor del par. Permitirá la medida de N.m del par necesario para girar el varillaje. La exactitud de su medida será comprobada periódicamente.

4.1.3 -PROCEDIMIENTO OPERATORIO.

Selección del punto de ensayo con el fin de que no haya perturbaciones en el punto de ensayo este debe distanciarse por lo menos metro y medio de cualquier otro punto ya ensayado y en el caso de existir sondeos

previos la separación deberán cumplir esta condición como mínimo:

Distancia $\geq 25 \cdot D$

Siendo D el diámetro del sondeo realizado.

Emplazamiento y conexiones .

En el punto seleccionado se colocará el dispositivo de golpeo de tal manera que queden centrados y vertical la guidera y el soporte guía.

Comprobaciones antes de proceder al ensayo.

Las desviaciones de la verticalidad no exceden del 2%.

El varillaje y la guidera deben quedar perfectamente acoplados

4.1.4 -ENSAYO DE GOLPEO Y PENETRACIÓN.

El golpeo se efectuará con una frecuencia que dependerá del dispositivo que utilicemos, también se medirá el número de golpes Nn cada vez que el cono o puntaza recorra una distancia que viene determinada por el tipo de penetrómetro.

Se debe de tener precaución extrema cada vez que se debe de añadir nuevas varillas para evitar imprimir movimientos verticales o de rotación. Después de todo ello se debe de mirar que la verticalidad del varillaje no exceda del 5 %.

Se deberán anotar todas aquellas interrupciones que se prolonguen más de un cuarto de hora.

Finalización de la prueba.

La prueba se dará por finalizada cuando se satisfagan algunas de las siguientes condiciones.

Se alcanza la profundidad previamente estipulada.

Se superen el número de golpes para una distancia de penetración dada

Cuando tres valores de Nn sean iguales o superiores a 75 o el valor que dependa de cada penetrómetro.

De estos los más comunes son el Borro, el pesado y el superpesado (los dos últimos estandarizados en España por las normas UNE de geotecnia).

4.2 -TIPOS DE PENETROMETROS DINAMICOS.

4.2.1 -El penetrómetro Borro.

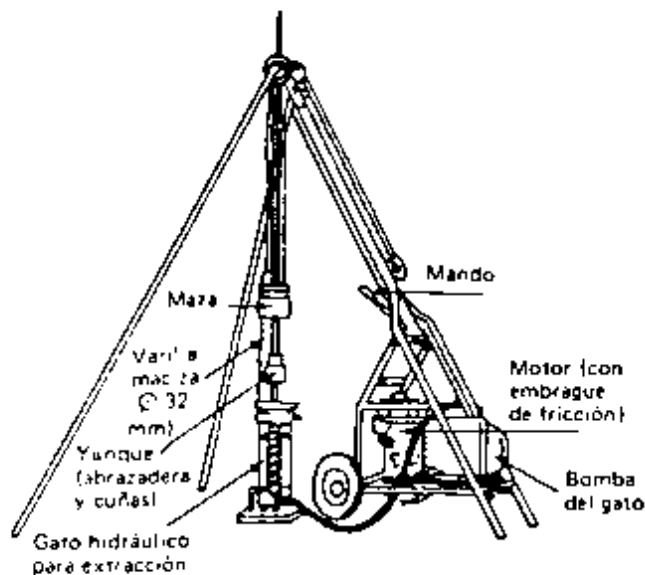
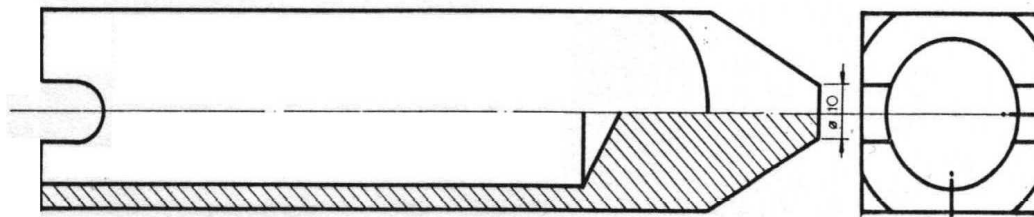
El ensayo con dicho penetrómetro consiste en hacer penetrar una puntaza de 1,5 Kg de peso, de forma cuadrada, con 16 cm² de área con una punta cónica que forma un ángulo de 60° en el suelo mediante el golpeo a 50 cm de altura de una maza de 65kg de peso.

Se cuenta el número de golpes para hincar la puntaza en el terreno 20 cm de profundidad y de acuerdo con el número de golpes NB que se han dado se podrá deducir la resistencia del terreno.

Este tipo de penetrómetro suele tener una serie de ranuras laterales en las cuales encaja el pasador del varillaje, de esta manera girando el varillaje se puede lograr apartar piedras que encontremos por el recorrido.

Se suele considerar que el penetrómetro Borro es equivalente en número de golpes al ensayo de penetración estándar con tomamuestras siendo

Puntaza del penetrómetro Borro



a) Penetrómetro Borro.

Esquema mecánico del Penetrómetro Borro

Pasamos a explicar los penetrómetros pesado y super pesado, descritos en las normas UNE, las cuales han sido elaboradas por el comité técnico AEN/CTN 103 Geotecnia cuya secretaria desempeña el Ministerio de Fomento.

Ambos penetrómetros requieren que después del reconocimiento se efectúen una serie de sondeos que permita identificar las capas de suelos en el área a investigar

4.2.2 - Penetrómetro dinámico pesado (DPH).

Dicho penetrómetro está especialmente indicado para suelos granulares.

Su empleo permite determinar la resistencia a la penetración dinámica de un terreno, evaluar la compacidad de un suelo granular. Cuando el suelo contenga partículas de un tamaño superior a 6 mm que pueden

obstaculizar la penetración del cono en el terreno, el resultado de la prueba puede no ser representativa. También investigar la homogeneidad o anomalías de una capa de suelo y comprobar la situación con detenimiento de una capa cuya existencia se conoce.

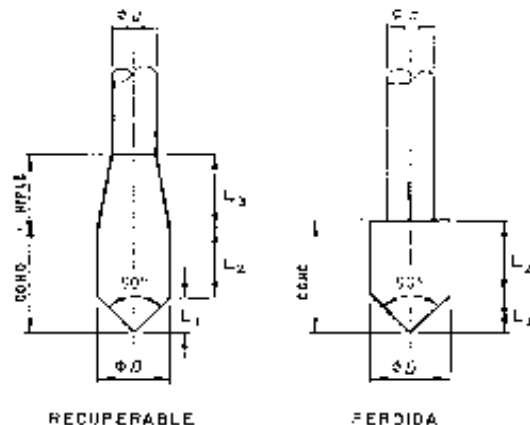


Fig. 1 - Alternativas de cono

Descripción.

El cono de penetración tiene un ángulo de 90° , este puede ser tanto recuperable como perdido se encuentra unido al varillaje solidariamente sobre el que esta la cabeza de impacto que es la que recibe el golpe de una maza de 50 Kg aproximadamente.

Tipos de puntas: recuperable y perdida del dinámico.

Al estar descrito por las normas tiene unas dimensiones ya estipuladas para este tipo de penetrómetros, son las siguientes:

CONO	Varillaje
Área nominal: 15 cm ²	
Diámetro D: 43,7 mm + 0,3	Diámetro d 33mm + 2 mm
Longitud parte cónica L1 21,9mm +0,1 mm	Masa (máxima) 6 Kg / m
Longitud parte cilíndrica L2 43,7 mm +1mm	Deflexión máxima) 0,2 mm
Longitud parte Troncocónica L3 <43,7mm	

El dispositivo de golpeo consta de una maza de **50 Kg +0,5 Kg** de peso que cae desde una altura de caída de **50 cm**, en general todo el dispositivo de golpeo no debe de exceder de los 59 Kg, aparte de estas características debe de cumplir las siguientes condiciones:

Relación altura L_m al diámetro D_m en la maza es: **$1 < (L_m/D_m) < 2$**

Cabeza de impacto Diámetro d_c : **$10 \text{ cm} < d_c < 0,5 D_m$**

La longitud libre de varillaje entre el soporte guía y la conexión y el dispositivo de golpeo no supera los 1'2 m.

En este caso el medidor del par no tendrá una capacidad de medida inferior a 200 N.m con una graduación de 5 N.m.

Aparte de lo anteriormente explicado respecto de la finalización de la prueba existen una serie de especificaciones para este penetrómetro:

El número de golpes necesarios para una penetración de 10 cm se denominará N10 y cuando tres valores consecutivos de sean iguales o superiores a 75 golpes se dará por finalizada la prueba, también se dará por concluida cuando para 100 golpes únicamente se hayan avanzado 10cm y en caso de que el valor de rozamiento del par supere los 100 N.m.

4.2.3 - Penetrómetro dinámico super pesado (DPSH).

Básicamente es igual al pesado, cambiando únicamente los tamaños, maza empleada y otros parámetros que se comentaran aquí.

N20 será el número de golpes necesarios para una penetración de 20 cm de profundidad

CONO	Varillaje
Area nominal: 20 cm ²	
Diámetro D: 50,5 mm ± 0,5	Diámetro d: 33 mm ± 2 mm
Longitud parte cónica L1 25mm ± 0,2 mm	Masa (máxima. 8 Kg / m
Longitud parte cilíndrica L2 50 mm ± 0,5mm	Deflexión (max.). 0,2 mm
Longitud parte Truncocónica L3 < 50mm	

El dispositivo de golpeo consta de una maza de **63,5 Kg + 0,5 Kg** de peso que cae desde una altura de caída de **76 cm**, en general todo el dispositivo de golpeo no debe de exceder de los 115 Kg, aparte de estas características debe de cumplir las siguientes condiciones:

Relación altura Lm al diámetro Dm en la maza es: **$1 < (Lm/Dm) < 2$**

Cabeza de impacto Diámetro dc: **$10 \text{ cm} < dc < 0,5 Dm$**

En este caso el medidor del par tendrá una capacidad de medida superior a 200 N.m con una graduación de 10 N.m.

Aparte de lo anteriormente explicado respecto de la finalización de la prueba existen una serie de especificaciones para este penetrómetro:

El número de golpes necesarios para una penetración de 20 cm se denominará N20 y cuando tres valores consecutivos de sean iguales o superiores a 75 golpes se dará por finalizada la prueba, también se dará por concluida cuando para 100 golpes únicamente se hayan avanzado 20cm y en caso de que el valor de rozamiento del par supere los 200 N.m.

En ambos penetrómetros se rellenarán una serie de fichas ya normalizadas y se dejará constancia de todas las paradas superiores a 5 minutos, de las pérdidas de verticalidad del 5 % de penetraciones sin golpeo, obstrucciones temporales tipo de cono empleado longitudes de las varillas y también debe de anotarse que cada metro de penetración debe de medirse y anotarse el par necesario para girar el tren de varillaje una vuelta y media, el rozamiento no es muy significativo por debajo de 10N.m

4.2.4 -SPT (Standard Penetration Test).

El SPT determina la resistencia del suelo a una penetración de un tomamuestras tubular de acero, en el interior de un sondeo, al tiempo que permite la recolección de muestras alteradas en su estructura para su identificación.

La penetración del tomamuestras es producida por una maza de 63'5 Kg que golpea repetidamente al caer desde una altura de 76,2 cm

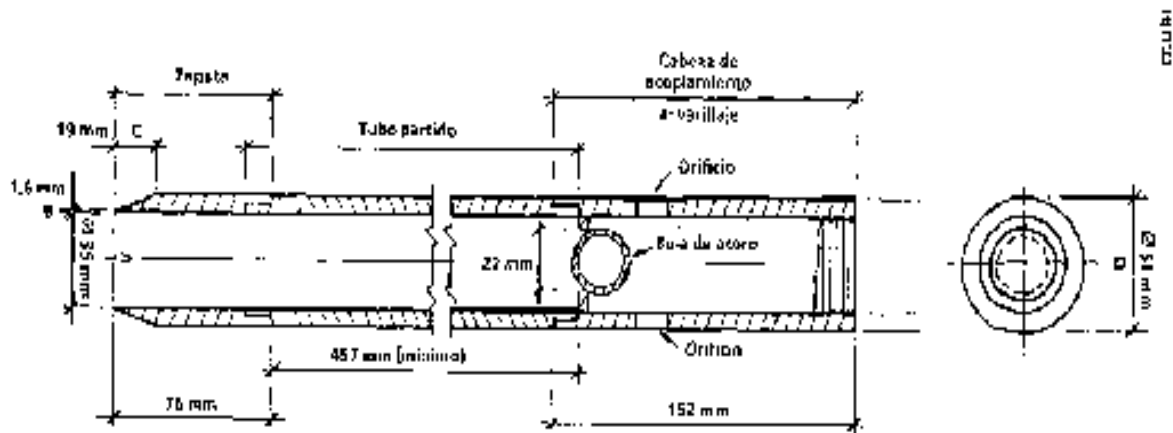
El campo de aplicación.

El ensayo de penetración estándar se emplea para evaluar la resistencia de un terreno y su deformabilidad, esta especialmente indicado para arenas en cambio para suelos arcillosos presenta bastantes dificultades de interpretación también en suelos que contengan gravas deberá tenerse cuidado con la influencia que generen el tamaño de partículas del suelo.

Partes del SPT.

Tomamuestras. Es un tubo de acero endurecido, con superficies lisas tanto en el exterior como en el interior como en el exterior.

La cabeza de acoplamiento del tomamuestras dispone de una rosca para su unión con el varillaje. Tendrá cuatro orificios laterales de 13mm y una válvula de retención dicha bola y su asiento deberá proporcionar un cierre estanco mientras se eleva el tomamuestras



El tomamuestras consta de tres elementos fundamentales que son los siguientes, la zapata que tiene un filo cortante, el tubo partido en el cual se aloja la muestra alterada y la cabeza de acoplamiento con la que se sujeta al varillaje.

Zapata Tubo partido Cabeza de acoplamiento

Tamaño del tomamuestras en el ensayo de SPT definido por las normas UNE.

Diámetro interior. 35 mm $\pm$ 0'1

Diámetro exterior. 51 mm $\pm$ 0'15

Diámetro de la válvula de bola 22 mm

Longitud del canto de corte. 19 mm $\pm$ 1'0

Longitud de la zapata. 76 mm

Longitud del tubo partido. 457 mm

Longitud de la cabeza de acoplamiento. 152 mm

Ancho de filo de la zapata. 1,6 mm + 0'05 mm

Procedimiento operatorio.

El sondeo se realiza de tal manera que se mantengan sus paredes estables, utilizando si es necesario tubería de revestimiento o lodos bentónicos.

En caso de utilizar tubería de revestimiento, esta se mantendrá siempre por encima del nivel de inicio del ensayo.

El fondo del sondeo se limpiará para eliminar el sedimento que pudiera haberse depositado y así evitar que el suelo no se altere.

Cuando se trabaje bajo el nivel freático, el nivel del agua o del fluido de perforación se mantendrá siempre a suficiente altura por encima del nivel freático para evitar el sifonamiento.

Ensayo de penetración.

Antes de la realización del ensayo se deberá comprobar que el tomamuestras este limpio tanto en su interior como en su exterior y que la zapata no presente daños u otros defectos.

Cuando se ha alcanzado la profundidad del ensayo mediante un sondeo se procederá a limpiar este y se bajará el tomamuestras acoplado al varillaje suavemente, esta parte es muy importante ya que si se deja caer bruscamente el ensayo que realizaremos quedará alterado.

Una vez depositado el conjunto se anotará el descenso del propio aparato por su peso, si resultara que es superior a 45 cm, el ensayo se dará por terminado siendo la $N = 0$ ya que no se ha tenido que dar ningún golpe.

La penetración del asiento: Se hincará el tomamuestras una longitud de 150mm, anotando el número de golpes necesarios, se seguirá hincando el tomamuestras hasta que penetre 30 cm más anotando el número de golpes dados en cada intervalo de 15 cm. El número de golpes requerido para penetrar los 30 centímetros se denominará como la resistencia a la penetración estándar o N .

Se será a la anotación a incluir en el registro cuando el número de golpes requerido para la penetración, o para cualquiera de los dos intervalos de 15 mm sea superior a 50 golpes.

En caso de alcanzar los 50 golpes durante la penetración o en uno de los intervalos de 15 cm se dará por terminado el ensayo y se pondrá como R en vez de como N . La frecuencia de los golpes no debe de ser de más de 30 por minuto.

La recuperación de la muestra.

Para sacar la muestra tras la realización del ensayo basta con girar dicho tomamuestras para arrancarla del

terreno y se eleva a continuaci3n. Seg3n los ensayos que se vayan a realizar se parafrinar4 para evitar cambios de humedad.

Las muestras recuperadas de suelo se introducir4n en unos recipientes herm4ticos, en los que se fijaran unas etiquetas con la siguiente informaci3n obligatoria: Localizaci3n, Denominaci3n del sondeo, Fecha, Numero de Muestra, Profundidad de ensayo, Resistencia a la compresi3n del terreno.

Ensayo mediante SPT y sus correcciones.

En la realizaci3n del informe se deben anotar una serie de cosas importantes como:

La posici3n del nivel fre4tico y nivel del lodo de perforaci3n antes del ensayo, penetraci3n inicial del tomamuestras frecuencia de golpeo, los n4meros N y R, las condiciones meteorol4gicas.

Normalmente para este ensayo se considera que es equivalente al n4mero de golpes que se da en el penetr3metro Borro $N = NB$

Cuando el ensayo se realiza por debajo del nivel piezom4trico (y en suelos no cohesivos seg4n Celso Iglesias, arenas saturadas muy finas o limosas).

Terzaghi y Peck para $N > 15$ $N_2 = 15 + 1/2 \cdot (N - 15)$

Bazaraa si $N < 15$ $N_2 = 0.6N$

Seed $N' = CNN$

Para N el n4mero de golpes dados por el SPT

Correcci3n de N en suelos sobreconsolidados.

Seg4n Bazaraa, Peck y Gibbs.

$N_2 = 4N / (1 + 2p_0)$ $p_0 < 71.916 \text{ kPa}$ (0.73 kp/cm^2)

$N_2 = 4N / (3.25 + 0.5p_0)$ $p_0 < 71.916 \text{ kPa}$ (0.73 kp/cm^2)

Observaciones:

- N_2 aumenta respecto de N obtenido si la sobreconsolidaci3n es $p_0 < 71.916 \text{ kPa}$.
- N_2 disminuye respecto a N cuando $p_0 > 71.916 \text{ kPa}$.
- Cuando N da un valor de ID (Dr) < 0.5 no deben usarse estas ecuaciones.
- No se debe de corregir la N_2 a valores mayores de $2N$
- Estas ecuaciones deben usarse con precauci3n

Seg4n Turnbull y Kaugmann

$N_2 = N \cdot (350 / (70 + \hat{I}^3 D)) < 280 \text{ kN/m}^2$

D es la profundidad en m. y $\hat{I}^3$ la densidad en kN/m^3

Existen unas reglas emp4ricas para utilizar los resultados de los ensayos de penetraci3n SPT, a partir de la resistencia din4mica unitaria q y del n4mero de golpes N.

Diseño del tomamuestras.

Para que no roce excesivamente con la camisa del tomamuestras durante la entrada De debe de ser algo inferior al interior del tubo Dm (por eso se pone la zapata entre otras cosas).

Coefficiente de entrada es: $C_i = \frac{D_m - D_e}{D_e}$

D_e

Este coeficiente suele estar comprendido entre 0 y el 3%.

Para disminuir la fricción exterior y facilitar la penetración del tomamuestras, el diámetro exterior de la zapata Dz, suele ser mayor que el diámetro del tubo Dr.

Coefficiente de salida es la relación. $C_0 = \frac{D_z - D_t}{D_t}$

D_t

C₀ no debe de ser mayor que C_t

Relación de áreas $C_a = \frac{D_z^2 - D_e^2}{D_e^2}$

D_e²

Que es la razón entre el volumen de suelo desplazado y el volumen de la muestra la relación no debe de ser inferior al 25%

5.- ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁTICA CON EL CONO (CPT*)

5.1.- PARTES DEL PENETRÓMETRO

- **Cono:** La pieza situada en el extremo del penetrómetro con forma de cono, sobre la cual se desarrolla la resistencia de punta.

- **Cono simple:** Un cono con una extensión cilíndrica sobre la parte cónica, de una longitud considerablemente inferior al diámetro del cono.

- **Cono con faldón:** Un cono prolongado con un manguito fijo más o menos cilíndrico, cuyo diámetro es menor que el diámetro del cono y con una longitud de una a tres veces dicho diámetro: este manguito se denomina faldón.

- **Piezocono:** Un cono con un elemento poroso insertado en la parte cónica o en la extensión cilíndrica del cono, para medir la presión intersticial presente en el suelo durante la penetración.

- **Punta:** El elemento terminal, situado en el extremo de una serie de varillas de empuje, que comprende los elementos activos que detectan la resistencia del cono, la fricción lateral local y la presión intersticial existente en el contacto entre el cono y el suelo durante la penetración.

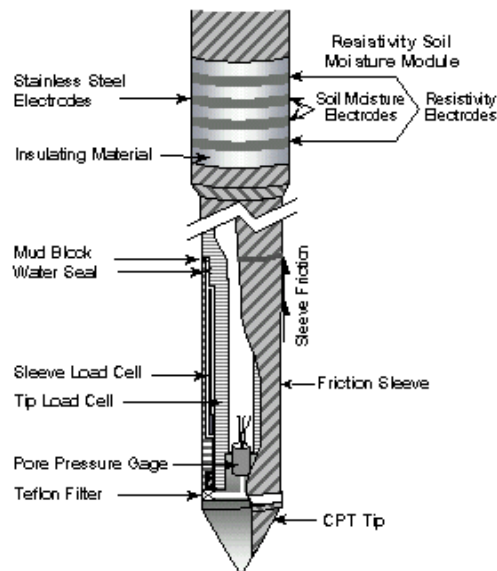
- **Manguito de fricción:** La sección de la punta del penetrómetro sobre la cual se desarrolla la resistencia lateral local.

- **Vástago:** La parte cilíndrica de la punta del penetrómetro situada por encima del cono y/o el manguito de fricción.
- **Varillaje de empuje:** Las varillas formadas por tubería de pared gruesa o maciza, preferiblemente con una longitud de un metro, utilizadas para hacer avanzar la punta del penetrómetro.
- **Varillaje de interior:** Varillaje macizo que se desliza por el interior del varillaje de empuje para mover la punta de un penetrómetro mecánico.

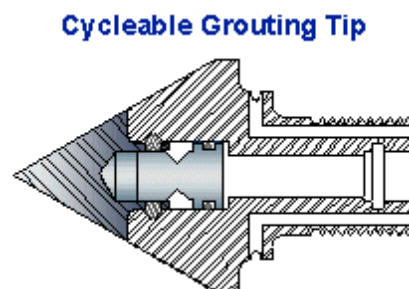
5.2.- ENSAYO DE REFERENCIA.

- **Geometría de la punta:** En el ensayo de penetración de referencia se pueden utilizar puntas del penetrómetro con o sin manguito de fricción y con o sin elementos para la medida de presiones intersticiales. Si queda un hueco entre el cono y el resto de los elementos de la punta, sus dimensiones deben ser las mínimas necesarias para el funcionamiento de los elementos sensores y debe estar proyectado y construido de tal forma que se evite la entrada de partículas.

En el caso de un penetrómetro con manguito de fricción, ninguna parte de la punta del penetrómetro debe sobresalir de la superficie del manguito.



- **Geometría del cono:**



- **Varillaje de empuje:** Las varillas de empuje deben ir roscadas o fijas entre sí. La deflexión en el punto medio de una varilla de 1m no debe ser superior a 0.5 mm en las cinco varillas inferiores y 1 mm para el resto.

- **Máquina de empuje:** La máquina debe disponer de una carrera de avance de por lo menos 1 m y debe empujar el varillaje en el suelo a una velocidad de penetración constante.

5.3.- DESARROLLO DEL ENSAYO.

- **Ensayo continuo:** El procedimiento del ensayo deberá ser el de penetración continua, mediante el cual se efectúan las medidas cuando todos los elementos de la punta del penetrómetro se mueven con la misma velocidad de penetración.

- **Velocidad de penetración:** Deberá de ser de 20 mm/s con una tolerancia de +/-5 mm/s.

- **Intervalos de lectura:** Se recomienda la lectura continua. En ningún caso el intervalo entre lecturas será superior a 0.2 m

- **Medidas de la profundidad:** Las profundidades deberán medirse con una precisión de por lo menos 0.1 m

- **Presentación de los resultados:** Los resultados deben presentarse en gráficos que den en función de la profundidad la variación de:

qc y eventualmente **fs**, **Rf** (**If**), **Qt**, **Qst**.

- **Resistencia del cono qc :** Se obtiene dividiendo el esfuerzo axial en el cono **Qc** (carga en el tubo) que actúa, por la sección máxima del cono, **Ac**.

$$qc = Qc / Ac$$

- **Resistencia unitaria lateral local a la fricción fs :** Se obtiene dividiendo el esfuerzo de fricción último **Qs** que actúa, por su superficie lateral, **As**.

$$fs = Qs / As$$

- **Esfuerzo total Qt :** La fuerza necesaria para empujar el cono y el varillaje de empuje simultáneamente en el suelo.
- **Resistencia lateral total a la fricción Qst =(Qs) :**

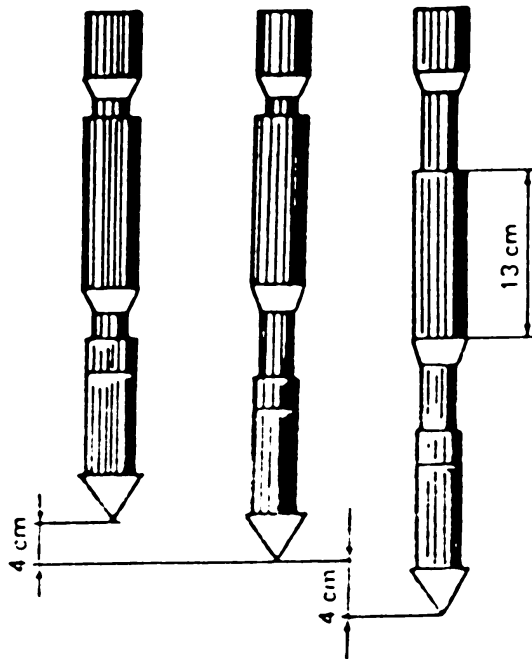
$$Qst = Qt - Qc$$

- **Relación de fricción Rf :** La relación entre la fricción unitaria lateral local y la resistencia del cono, medidos a la misma profundidad, expresada en %.
- **ndice de fricción If :** La relación entre la resistencia del cono y la fricción unitaria lateral local, medidas a la misma profundidad.

5.4.- ENSAYO DISCONTINUO.

Este es un ensayo de penetración en el que se mide la resistencia del cono, mientras el resto de los elementos de la punta del penetrómetro permanecen estacionarios. Cuando el penetrómetro incluye también un manguito de fricción, se mide la suma de la resistencia del cono y la fricción lateral local, cuando se empujan simultáneamente tanto el cono como el manguito de fricción, mientras el resto de los elementos de la punta del penetrómetro permanecen estacionarios.

Un ejemplo de un penetrómetro que realiza este tipo de ensayos es el cono holandés. A continuación se muestran ejemplos de puntas de cono holandés, así como sus diferentes posiciones de trabajo.



c) Posiciones de trabajo.

6.- UTILIZACION DEL PENETROMETRO EN CIMENTACIONES Y OBRAS CIVILES.

Los penetrómetros dinámicos más utilizados son los siguientes

TIPO	MASA	SUPERFICIE	ALTURA	ANGULO	Profundidad
Borro	65kg	16cm ²	50cm	60°	NB=>20cm
DIN ligero	10kg	10cm ²	50cm	-	-
Dinámico					N10=>10 cm
Pesado.(DPH)	50kg ± 0,5kg	15 cm ²	50cm±1cm	90°	3veces
Dinámico superficial pesado.(DPSH)	63,5kg ± 0,5kg	20 cm ²	76cm±1cm	90°	N20=>20cm
					3veces
SPT	63'5 Kg	Tomamuestras	76,2 cm	Tomamuestras	1°_ 15 cm
					luego N=>30cm

6.1 Según Puy.

Un ensayo se hace para conocer el terreno y saber qué carga de trabajo admitir con un coeficiente razonable de seguridad. Esto sirve para el cálculo de las cimentaciones. A título indicativo daremos unas cifras que pueden aplicarse y que se han experimentado suficientemente.

Cimentaciones superficiales (zapatas). La carga admisible es:

$$\bar{I} = RP / 10$$

Donde **RP** es la resistencia en la punta del penetrómetro. Se supone que la base de la zapata está 1 m por lo menos debajo de la superficie del terreno.

Para zapatas si se cumple que $h/B > 1$ para h la distancia del pie de la zapata a la superficie y B es el ancho de la zapata. $\bar{I} = RP/20$

Cimentaciones profundas (pilotes). Se supone existe proporcionalidad entre el penetrómetro y los pilotes largos y delgados. Esto equivale a decir que si el penetrómetro rompe el terreno con una carga unitaria **RP**, el pilote hará lo mismo. Aplicando un coeficiente de seguridad de 2,5 y despreciando la resistencia al rozamiento, con tal de que éste no sea negativo, podremos poner:

$$\bar{I} = RP / 2,5$$

Cálculo de la cohesión. El cono de penetrómetro holandés lleva un cilindro, de menor diámetro, que evita que las partículas del terreno se introduzcan entre la varilla central y el varillaje exterior. En el caso de medios puramente coherentes, este cilindro absorbe cierta parte del rozamiento. Para este tipo de penetrómetros se tiene:

$$c = RP / 15$$

Para otro tipo de penetrómetros que no llevan esta protección se tendrá:

$$c = RP / 10$$

Cálculo de pilotes según el tipo de penetrómetro:

$$AP \cdot Rd < \text{Carga de trabajo en } AP \cdot Rd$$

La punta del pilote 6

Penetrómetro dinámico:

Penetrómetro estático:

$$\text{Carga de trabajo en } AP \cdot Rd$$

La punta del pilote 2,5

AP es el área en la punta del pilote.

6.2 Utilización de expresiones, ábacos y tablas del SPT en los estudios del terreno.

6.2.1 Resistencia del suelo calculada mediante el SPT.

En la tabla siguiente se clasifican las arenas, los limos y las arcillas gracias al ensayo del SPT. Como recordaremos se dan una serie de golpes al tomamuestras el cual se va introduciendo en el suelo hasta la profundidad de 30 cm. ,al número de golpes que se realizan para penetrar en dicho suelo se le denomina **N**.

$$\text{Terzaghi y Peck } N_2 = 15 + 1/2 \hat{A} \cdot (N - 15)$$

$$\text{Bazaraa si } N < 15 \quad N_2 = 0,6 \hat{A} \cdot N$$

$$\text{Seed } N' = CN \hat{A} \cdot N$$

Corrección de N en suelos sobreconsolidados. Según Bazaraa, Peck y Gibbs.

$$N_2 = 4N / (1 + 2p_0) \quad p_0 < 71'916 \text{ kPa (0'73kp/cm}^2\text{)}$$

$$N_2 = 4N / (3,25 + 0,5p_0) \quad p_0 < 71'916 \text{ kPa (0'73kp/cm}^2\text{)}$$

Según Turnbull y Kaugmann $N_2 = N \cdot (350 / (70 + \sqrt{D}))$

Con dicho número N y la clase de terreno que es, se podrá calcular gracias a la tabla, la carga que se podrá aplicar en el suelo, sin que este falle, resulta pues una importante herramienta para el cálculo de zapatas y pilotes.

Suelo	Designación	Nº de golpes	Carga que se puede aplicar en Kg/cm ²	Ángulo de rozamiento Arenas	ID (Dr) Suelo granular
Arena Y Limo	<u>Muy suelta</u>	0-4	0.2	< 29	0 a 0,15
	<u>Suelta</u>	4-10	0.2-1.1	29 - 30	0,15 a 0,35
	Media	11-30	1.1-2,9	30 - 36	0,35 a 0,65
	Compacta	31-50	2.9-5.1	36 - 41	0,65 a 0,85
	Muy compacta	más de 50	5.1-6.3	> 41	< 1,00
Arcilla	<u>Muy blanda</u>	0-2	0.27	Otras características. Se deshace en los dedos	
	Blanda	3-5	0.27-0.55	Moldeable a presión débil	
	Media	6-15	0.55-2.2	Moldeable a presión fuerte	
	Firme	16-25	2.2-4	Se marca con la uña	
	Dura	más de 25	4-8.8	Se marca difícilmente	

Tabla proveniente del Manual de Ingeniería de Taludes con algún añadido

Las denominaciones de las arenas y limos de “Muy suelta, suelta,...” se refieren a su compacidad relativa o Índice de densidad.

La siguiente tabla nos informa sobre las cargas máximas que soportan una serie de terrenos antes de su rotura.

El análisis de dicha tabla y el reconocimiento del terreno (a partir de la muestra obtenida por el SPT), resultan ser de útil ayuda a la hora de realizar cimentaciones superficiales, siempre y cuando se tenga un conocimiento previo de la zona o se contrasten los resultados con sondeos rotativos.

Carga máxima aplicable según el tipo de terreno

Tipo de terreno	Carga Máxima Kg /cm ²
Lechos masivos de rocas cristalinas, granitos.	
Rocas blandas; lechos rocosos de rocas blandas como pizarras areniscas calizas.	100
Roca de arenisca muy compacta.	14
Mezcla de arena y grava compacta.	11
Gravas firmes; arcilla compacta: mezcla de arcilla y arena muy compacta.	6'6
Grava suelta; arena gruesa compacta.	5'5
Grava suelta de grano grueso o medio; arena fina compacta; mezcla de arena y arcilla compacta; arcilla firme.	4'4
Arena fina firme; limos compactos inorgánicos; arcillas medias.	3'3
Arenas finas sueltas; limos inorgánicos firmes.	2'2
Suelos de arena y arcilla; limos arcillosos inorgánicos sueltos.	1'65
	1'1

Material	Compacidad	Dr	N		
GW Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena	Densa	75	90		
	Medianamente densa	50	55		
		23	<28		
GP gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena			70		
			50		
			<20		
SW Arenas bien graduadas, arenas con gravas	Densa	75			65
					35
	Medianamente densa	50			<15
SP Arena mal graduadas arenas con grava	Suelta	25			50
					30
					<10
SM arenas limosas					45

			25
			<8
ML Limos inorgánicos, arenas muy finas			35
			20
			<4

El SPT para arcilla (CL- CH) y el limo (MH-ML) es solo indicativo.

No se puede pretender dimensionar una cimentación sobre arcilla basándose solo en los resultados del SPT (no sería un estudio serio), hay que correlacionar con los ensayos de compresión no confinados o ensayos de compresión triaxial. En resumen para SP-SW y SM sobre agua el SPT es optimo, para SM bajo agua también pero con correcciones para SC , CL , CH, ML y MH se recomienda triaxial.

6.2.2. Tensión admisible bajo una cimentación. (EMPÍRICO)

$$q_{adm} = q / \hat{I}_\pm$$

Siendo $\hat{I}_\pm$ un coeficiente empírico que está entre estos dos valores.

$6 < \hat{I}_\pm < 12$ Cimentaciones profundas

$15 < \hat{I}_\pm < 20$ Cimentaciones superficiales

Las anteriores fórmulas se han de usar con mucha prudencia.

6.2.3. Capacidad portante de un suelo de cimentación mediante SPT.

Se utiliza mucho en la practica para estimar la presión admisible en suelos granulares: arenas, gravas arenosas, arenas con algo de limo.

Las ecuaciones propuestas proporcionan el valor de q_{adm} para un asiento de aproximadamente 1 pulgada (2,54 cm) para calcular la presión admisible para un asiento genérico se define:

$$q_{adm}(s) = q_{adm} \cdot s$$

- Las ecuaciones de **Meyerhof** se emplean con unos coeficientes K correctores ya que sino quedan excesivamente conservadoras (los factores de seguridad son 2'5 y 4).

En zapatas de $B \leq 4$ ft (pies) $q_{adm} = \frac{N \cdot K_d}{2,5}$

2,5

En zapatas de $B > 4$ ft (pies) $q_{adm} = \frac{N \cdot K_d}{4}$

4

En zapatas que cumplen $B \ll 4$ $q_{adm} = N \cdot K_d / 4$

Siendo la $K_d = 1 + \frac{0,33 D}{B} \leq 1,33$

B

Para las cimentaciones de estera y losas. $q_{adm} = N \cdot K_d / 4$

2

- **Terzaghi y Peck** $q_{adm} = 0.72 K_d (N - 3)$.

Siendo $K_d = 1 + \frac{0.2 D}{1'2} < 1'2$

B

B es el ancho de la zapata en pies (1 pie = 1ft = 30.48 cm).

q_{adm} es la máxima presión admisible en kips/ft² para un asiento aproximado de 1 pulgada.

Un ksf = kips/ft² son **0.48 kp/cm² y 47,944 kPa**. Como se puede observar hay una correlación entre las ecuaciones utilizando el N y las unidades inglesas ya que si queremos obtener los resultados en estas no tendremos más que calcularlo gracias a la fórmula y el número N.

N es el número de golpes dados por el SPT corregido en los casos en los que sea necesario.

El valor de N ha de ser el valor medio medido en todos los ensayos realizados en el intervalo de profundidad medido en todos los ensayos realizados en el intervalo de profundidad entre la superficie de la zapata y una distancia igual al ancho B de la misma. Las fórmulas anteriores se pueden emplear sin ninguna corrección si el nivel freático está a una profundidad mayor que 2B.

D es la profundidad de la zapata.

Zapatas superficiales $D \leq B$ las tensiones admisibles han de reducirse en un 50%

Zapatas más profundas $D = B$ las tensiones admisibles han de reducirse en un 30%

Última capacidad portante para cimentaciones profundas (pilotes) según Meyerhof. (estimativo)

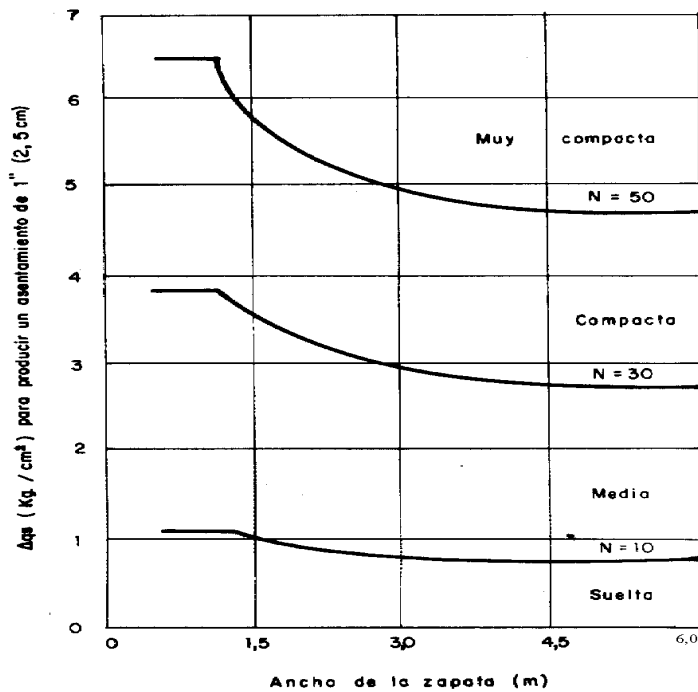
$q_u = 0.8 \cdot N \cdot (L_b/B) < 8 \cdot N$ para $(L/B) > 10$

Siendo:

L_b es la profundidad de penetración del pilote en el estrato portante

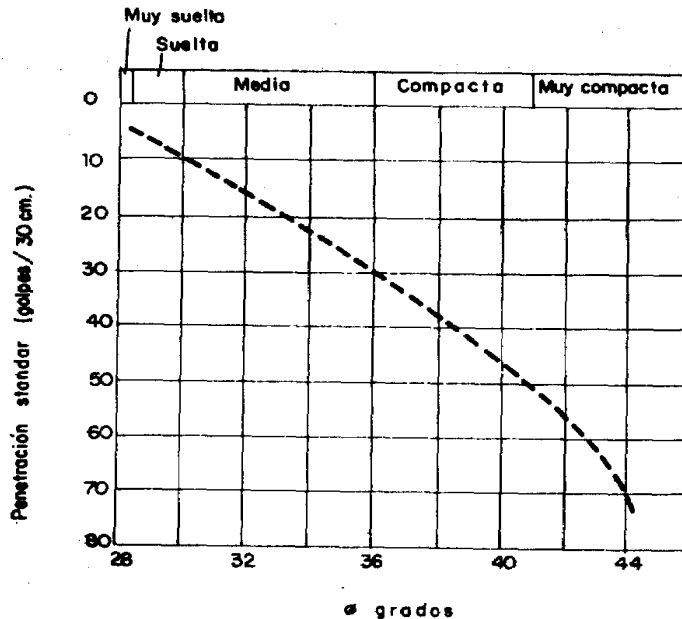
N en este caso la N no se encuentra corregida

6.2.4. Asentamientos de construcciones.



En el gráfico siguiente, con el número de golpes dados por el SPT y el tamaño que queremos utilizar en nuestra construcción de zapata se puede llegar a saber aproximadamente la carga que debemos emplear para lograr el asentamiento de una pulgada (2,54 cm.) de profundidad en un suelo.

6.2.5. Cálculo del ángulo de rozamiento de un terreno.



El SPT nos sirve también para averiguar el ángulo de rozamiento interno de un suelo (ϕ) el cual es muy importante para calcular taludes, desmontes (rotura planar, circular y de cuñas) y sus factores de seguridad, para la realización de muros.

Por fórmulas:

$$\text{Dumham } \hat{I} = \hat{a} \quad (12N) + 25$$

$$\text{Osaki } \hat{I} = \hat{a} \quad (20N) + 15$$

$$\text{Meyerhof para : } \hat{M}\hat{A}\hat{j}\text{s del 5\% de arena y cieno } \hat{I} = 25 + 0,15\hat{A}\cdot\text{Dr}$$

$$\text{Menos del 5\% de arena y cieno } \hat{I} = 30 + 0,15\hat{A}\cdot\text{Dr}$$

6.3. Cálculos en obra civil mediante el CPT.

CLASIFICACIÓN APROXIMADA DE SUELOS A PARTIR DE LA RESISTENCIA UNITARIA POR PUNTA: PENETRÓMETRO ESTÁTICO		
Resistencia Unitaria q_c kp/cm ²	Naturaleza probable del suelo	Aptitud para cimentar
0 a 10	Arcilla compresible	Suelo mediocre
	Arena suelta saturada	No apto
10 a 50	Arcilla inconsistente	Suelo apto para cargas débiles
	Arena suelta	
50 a 100	Arena compacta	Suelo apto para cargas medias
	Arcilla consistente	
>100	Arcilla rígida	Suelo bueno sin problemas
	Arena muy compacta	

La resistencia calculada mediante el CPT no permite por sí misma determinar la naturaleza real del suelo por lo que se recurre al índice de rozamiento del suelo o fricción.

CLASIFICACIÓN DE SUELOS A PARTIR DEL ÍNDICE DE ROZAMIENTO OBTENIDO: PENETRÓMETRO ESTÁTICO		
Resistencia Unitaria q_c kp/cm ²	Índice de rozamiento (fricción)	Naturaleza probable del suelo
>100	0 a 200	Relleno, roca blanda
25 a 100	50 a 200	Arena, grava
0 a 25	20 a 50	Arena limosa, limo
> 50	> 20	Arcilla
0 a 10	8 a 12	Suelo orgánico

El penetrómetro estático no permite determinar por sí mismo donde se encuentra el nivel piezométrico.

6.3.1. Cálculo de la cohesión.

Para suelos cohesivos se obtiene la cohesión sin drenaje (Schemmert).

$$C_u = q_c - \hat{I}^3 D$$

Nf

Siendo:

q_c la resistencia del cono por punta.

$\hat{I}^3 D$ La presión de preconsolidación total en el punto donde se realiza el ensayo.

N_f Es un coeficiente portante de la zapata que para conos elásticos es de 10 y para mecánicos es de 16.

Begeman dio la siguiente relación: $q_c = 13'4 \hat{I}^2 C + \hat{I}^3 D$

6.3.2. Cálculo de cimentaciones profundas.

La aplicación más importante es para la colocación de pilotes además de los coeficientes de seguridad necesarios (3 y 2).

Carga nominal.

$$Q_N = Q_c + Q_s$$

3 2

Resistencia en la punta. $Q_c = q_c \cdot A$

$$q_p \hat{=} q_c / \hat{I}^2$$

Los valores de q_p dependen de los siguientes factores: suelo, pilote hincado o perforado y empotramiento D/B.

CÁLCULO DE LA RESISTENCIA POR PUNTA DE UN PILOTE AISLADO A PARTIR DEL VALOR q_c OBTENIDO MEDIANTE EL PENETRÓMETRO ESTÁTICO						
Tipo de suelo	q_c	$\hat{I}^2$ para D/B = 5		$\hat{I}^2$	Hincado	Perforado
Arcilla blanda de mediana consistencia	0 a 50	1'5	1'7	40		
Arcilla dura a muy dura	>50	1'1	1'25	100		
Limo o arena suelta	0 a 25	0'6	0'6	10 a 20		
Arena medianamente compacta	25 a 100	1'15	1'3	100		
Arena compacta a muy compacta	>100	1'1	1'4	300		

6.3.3. Cálculo de la resistencia por rozamiento lateral.

$$Q_s = A_s \cdot q_s$$

$$q_s = q_c / \hat{I}^2$$

Los cálculos que se obtienen mediante el CPT son bastante aproximados a la realidad debido a que la correlación con los pilotes es total al comportarse el CPT como uno de ellos a menor escala.

6.3.4. Cálculo de la capacidad portante por Meyerhof. (unidades inglesas)

Para obtener la tensión admisible para un asiento de una pulgada (2,54 cm).

Para $B > 4 q_{adm} = q_c/15$ en ksf

2

Para $B > 4 q_{adm} = \frac{q_c}{15}$ en ksf

25

Para losas de cimentación continuas. 2

$q_{adm} = \frac{2}{3} \cdot \frac{q_c}{15}$ en ksf

25

q_c es la resistencia del cono por punta en ksf (kilolibras por pie cuadrado)

B es el ancho de la zapata en pies.

6.3.5. Cálculo en suelos coherentes del valor de la resistencia al corte sin drenaje S_u .

Sanglerant 1967

$S_u = q_c/15$ para arcillas blandas a duras

$S_u = q_c / 30$ para arcillas duras fisuradas

Donde : q_c es la capacidad portante estática.

6.3.6. Cálculo aproximado del ángulo de rozamiento con CPT (Trofinenkov).

El ángulo de 28 a 44 grados de rozamiento interno de dos en dos.

6.4 Elección y utilización de los penetrometros en obra pública.

TIPO		VENTAJAS		INCONVENIENTES	
ESTÁTICOS		Registran con gran precisión la resistencia del suelo.		Manejo laborioso	
SPT		El más utilizado y por tanto el de mayor fiabilidad, además de permitir la recogida de muestras.		Realización y limpieza del sondeo previo	
DINAMICOS SIN ENTUBAMIENTO	PESADOS	Hasta 20 m	Determinan con facilidad la secuencia de estratos. El número de golpes	El cono puede perderse si no queremos recuperar la punta e imposibilidad de llevar instrumental en la puntaza por ser golpeada	menos de 15 m
		MEDIOS			

		LIGEROS	da idea de la resistencia del suelo	10 m como máximo	Sólo vale para reconocimientos superficiales
DINÁMICOS CON ENTUBAMIENTO		Son muy fiables sobre todo en suelos con resistencia al varillaje y aquellos con posibilidad de hundimiento		La entubación y con ella el aumento en la cantidad de tiempo del ensayo	
TIPO DE SUELO		TIPO DE PENETR�� METRO		UTILIZACIÃ N	
GRAVAS		ESTATICOS		Construcción robusta y contrapesos	
				DINÁMICOS	No suele ser usado por causa de los posibles rebotes en el caso de bolos grandes
		ARENAS		ESTATICOS	Igual que gravas
				DINÁMICOS	Es mejor usar entubados si sobrepasa el nivel piezométrico y usar el SPT
LIMOS		Pueden emplearse todos, pudiendo eliminar la resistencia del varillaje con un con de mayor diámetro que éste.			
ARCILLAS		Pueden emplearse el estático, el SPT y el dinámico entubado. No emplear los dinámicos sin entubación por adherencia de la arcilla al varillaje entre otras cosas.			

7.- N   MERO M   NIMO DE SONDEOS DE RECONOCIMIENTO EN EDIFICIOS Y TALUDES

COMPLEJIDAD	Superficie en Ha							
		1	10	50	100	200	500	1000
BAJA	3	6	8	9	10	11	12	
MEDIA	5	10	14	15	16	18	20	
ALTA	6	14	20	22	24	27	30	

Se entiende por complejidad geotécnica prevista como la topográfica y la morfológica.

En caso de existir zonas de diferente complejidad se aplicará el cuadro a cada una de las condiciones.

En caso de no quererse realizar los sondeos clásicos se emplea las siguiente correlaciones para otros tipos de ensayos in situ.

1 sondeo = 1'8 ensayos de penetración = 2,5 catas

Estudios para construcción.

Densidad de reconocimientos.

Son factores fundamentales en la planificación de estos estudios:

- El tipo de construcción
- La morfología del terreno y sus características

Para el primer caso se emplea una tabla que es aproximada para clasificar el tipo de edificio.

CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS	
TIPO	DESCRIPCIÓN
C-1	Edificios de 4 plantas sin muros de carga, con estructura isostática o muy flexible y cerramientos independientes de la deformación de la estructura.
C-2	Edificios de 4 a 10 plantas o teniendo menos no cumplen con las disposiciones anteriores.
C-3	Edificios de 11 a 20 plantas.
C-4	Edificios de carácter monumento o singular, edificios con más de 20 plantas

Incluido sótanos.

La profundidad de los sondeos se fija según el número de plantas y con la siguiente fórmula.

$$H(m) > 2 + 0.3 N$$

Siendo.

H la profundidad en metros

N el número de plantas de la construcción.

En caso de edificios altos que se vayan a construir en suelo (arcillas, limos...) se recomienda realizar algún sondeo para conocer la profundidad de la roca madre ya que estos suelos pueden dar lugar a importantes asentamientos que puedan dañar la estructura o los cimientos.

Profundidades en metros según el terreno y el edificio.

TIPO DE TERRENO	DESCRIPCIÓN DEL TERRENO	TIPO DE EDIFICIO					
				C-1	C-2	C-3	C-4
T-0	Terrenos de naturaleza desconocida o de los que no se tiene información	30	30	25	25		
T-1	Terrenos de variabilidad baja - Sedimentos finos consolidados (margas, arcillas, limos...) con relieve suave y en grandes potencias.	60	50	45	40		
		40	25	30	25		
		40	25	30	25		

	- Vegas y terrazas de grandes rÃ—os en su curso medio o bajo. - Marismas y albuferas. - Rocas blandas y sedimentarias. -DepÃ³sitos granulares gruesos no fluviales, con finos.	50 45	45 40	40 35	35 30
T-2	Terrenos de variabilidad media -Deltas y estuarios de grandes rÃ—os. -DepÃ³sitos costeros eÃ¡licos, dunas. -Formaciones encostradas caliches. -DepÃ³sitos de pie de ladera, salida de barrancos. -Suelos residuales sobre granitos o calizas en la periferia peninsular. -Suelos residuales sobre esquistos y otras rocas. -Coladas basÃ¡lticas antiguas -Rocas blandas no estratificadas	35 30 25 30 35 30 30 25	35 30 25 30 35 30 25 25	30 25 25 25 30 25 25 20	25 20 20 20 25 20 25 20
T-3	Terrenos de variabilidad alta o potencialmente problemÃ¡ticos -Cauces, terrazas y del tas de rÃ—os torrenciales. -Antiguas llanuras de inundaciÃ³n de rÃ—os divagantes (con meandros). -Morrenas y depÃ³sitos glaciares. -Alternancias de gravas y suelos finos en laderas suaves no fluviales. -Terrenos yesÃ—feros -Suelos residuales sobre granitos o calizas en la meseta .	20 25 25 25 20 25 30 25	20 25 25 25 20 20 25 20	15 20 20 20 15 20 25 20	15 20 20 20 15 15 20 15

	-Calizas con eventuales problemas de disolución.				
	-Terrenos volcánicos.				
Profundidades para la planificación preliminar de reconocimiento (m)					
SITUACIÓN		Tipo de Edificio		Profundidad	
-Laderas de montañas o terrenos de relieve suave sobre formaciones consolidadas o rocosas. -Valles fluviales en zonas altas de ríos. -Zonas urbanas tradicionalmente con cimentaciones directas.		C-1		10	
		C-2		12	
		C-3		14	
		C-4		16	
- Llanuras y valles de ríos importantes. - Zonas urbanas de nueva ocupación.		C-1		12	
		C-2		15	
		C-3		18	
		C-4		20	
Zonas de deltas, marismas o albuferas antiguas.		C-1		15	
Tramos finales de ríos importantes.		C-2		20	
Nueva ocupación de zonas urbanas o industriales antiguas.		C-3		25	
Zonas tradicionalmente, en cimentación profunda.		C-4		30	

En los estudios normales para los edificios C-1 y C-2 los puntos de reconocimiento deben de situarse como máximo a una distancia D_{max} salvo que exceda de las dimensiones del solar. Para otros tipos de edificio los puntos se situarán algo más próximos.

Tipo	Distancia	Distancia Inicial
C-1 y C-2	D_{max}	30
C-3	$0.8 \cdot D_{max}$	25
C-4	$0.7 \cdot D_{max}$	20

Estudios de nivel reducido.

Cuando se quieren realizar reconocimientos, éstos pueden situarse con una densidad del orden de $1/400 \text{ m}^2$,

Penetración Dinámica	En Proyecto
	
	
	
	
	

Presentación en planos de zonas a reconocer.

Estudios para Taludes (Desmontes)

La profundidad del sondeo **T** depende de muchos parámetros entre los que es fundamental tener en cuenta el tipo de terreno que se quiere estudiar.

De forma dependiente de la geometría del talud será empleando la siguiente fórmula.

$$T = H + 0.5 \cdot B$$

Unidades.

$$1 \text{ t/m} \hat{=} 10 \text{ kN/m}$$

$$1 \text{ Kg/cm}^2 \hat{=} 10 \text{ N/cm}^2 \text{ (en realidad es 9.81)}$$

$$10 \text{ kN/m}^3 \hat{=} 1 \text{ t/m}^3$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

los Kg. se refieren a Kgf (kilogramos fuerza o kilopondios kp)

$$1 \text{ pound (1libra inglesa)} = 0,454 \text{ kg}$$

$$1 \text{ inch (pulgada)} = 2,54 \text{ cm}$$

$$1 \text{ foot (pie)} = 30,48 \text{ cm}$$

$$\text{ksf} = \text{kips/ft}^2 \text{ es igual a } 1000 \text{ libras / pie}^2$$

$$\text{ksf} = \text{kips/ft}^2 \text{ son } 0.48 \text{ kp/cm}^2 \text{ y } 47,944 \text{ kPa (4,7944 N/cm}^2 \text{)}$$

$$1 \text{ tsf} = 9,764 \text{ t/m}^2$$

n° de Informe	Cliente :	Cota Inicial:
EMPRESA	Responsable :	Profundidad :
	Fecha :	Duración :

			Tipo de prueba:			Tipo de cono (R o P):			
			Lugar :			Masa varillaje:			
			UTM :			Masa golpeo:			
Escala:	Profundidad (m)	Potencia del Estrato	Estratigrafía	Descripción y Naturaleza del Terreno	n° de Muestra n° de golpes	Nivel Freático	Humedad Natural %	Densidad Relativa %	Índice de Plasticidad

R o P se refiere a cono recuperable o perdido

7 b.- TIPOS DE CAMPAÑAS PARA ESTUDIOS GEOTÉCNICOS (antigua)

Campaña de categoría I-n-p

Campaña de categoría II-n-p

Campaña de categoría III-n-p

Campaña de categoría IV-n-p

Tipo de edificio

Los reconocimientos que se emplearan se utilizaran en base a la siguiente tabla que clasifica los tipos de edificios

Tipo de estructura	Modulación media entre apoyos (m)	N° de plantas incluidos suelos	
Puentes de acero	< 7	M N Q	Tipo de edificio
Puentes de hormigón			
Fábricas	≥ 7	N Q Q	
Prefabricada	< 7	M Q Q	
Colgada		≥ 7	N Q Q
Otras estructuras			

Campaña de categoría I-n-p

Se comprueban las características del terreno, supuestas iguales a las de terrenos colindantes edificados.

Se aplican cuando se cumpla:

- No existen en los terrenos colindantes grandes irregularidades como fallas o estratos erráticos.
- Existen edificaciones situadas a menos de 50 m del terreno a edificar y no presentan grietas...
- El tipo de edificio a cimentar es del estilo a las edificaciones de alrededor.
- El número de plantas es similar a las de la zona.

- Las cimentaciones son de tipo superficial y la prevista para nuestra obra no supera en 1'5m las de alrededor.

El número de puntos que se tomarán será de 1 según el tipo de edificio (M: 1 cada 800 m², N :1 cada 450 m² , Q : 1 cada 200m²)

Campaña de categoría II-n-p

Cuando se cumpla que no existen precedentes en la zona de la existencia de grandes irregularidades como fallas o estratos erráticos y las siguientes condiciones:

- Existen edificaciones situadas a menos de 50 m del terreno a edificar y presentan grietas o desplomes y también cuando no existan edificaciones alrededor.
- El tipo de edificación es diferente que los de los alrededores.
- Posea mayor número de plantas.
- Las cimentaciones son de losa o de cimientos.
- Las cimentaciones de los edificios de los alrededores son de tipo superficial y la prevista para nuestra obra no supera en 1'5m las de alrededor.

Se tomarán dos puntos (M cada 400m² ,N 225 m² ,Q 100 m²)

Campaña de categoría III-n-p

Ampliación de la campaña de reconocimiento de la anterior categoría y además las siguientes condiciones.

- Cuando la consistencia del terreno indique que son terrenos de consistencia media o blanda o de compacidad suelta o muy suelta.
- Cuando el Área a ocupar por el edificio a cimentar sea mayor que las Áreas del siguiente cuadro.

Se tomará un punto

Tipo de edificio	Area a ocupar en m ²
M	400
N	225
Q	100

Campaña de categoría IV-n-p

Se aplicará cuando haya precedentes en la zona de existencia de grandes irregularidades bajo el plano de apoyo de la futura cimentación, o cuando realizadas las anteriores campañas queden irregularidades.

En este caso se realizará un reconocimiento por cada apoyo o también uno cada 6m y se reducirá cuando se observe que existe homogeneidad en las características reconocidas.

7 b.1 Utilización del penetrometro en las campañas.

Campaña de categoría I-n-p

Sondeo de penetración estático

Cuando se cumpla que:

- Existan datos suficientes, en los estudios realizados en las proximidades que establezcan una correlación entre los estratos de los terrenos y su resistencia a la penetración.
- Siempre que los estratos a atravesar no contengan bolos.

Sondeo de penetración dinámico

Cuando se cumpla que:

- Se tenga conocimiento cierto de la continuidad de los estratos en cuanto a su naturaleza y estado natural.
- Existan datos suficientes, en los estudios realizados en las proximidades que establezcan una correlación entre los estratos de los terrenos y su resistencia a la penetración.
- Pueda llegarse a la profundidad deseada.

Campaña de categoría II-n-p

No se suele realizar los ensayos de penetración si se realizan calicatas.

Campaña de categoría III-n-p

Sondeo de penetración estático

Se cumple:

- El terreno a atravesar no contiene bolos o gravas de tamaño superior a 11mm y puede llegarse a la profundidad deseada.
- Que se realicen al menos dos ensayos a una distancia de 1m de unos sondeos mecánicos, lo que permitirá establecer una correlación entre los diferentes estratos del terreno y su resistencia a la penetración.

Sondeo de penetración dinámico

Se cumple:

- Se tiene un cierto conocimiento de la continuidad en los estratos (naturaleza y estado natural).
- Que se realicen al menos dos ensayos a una distancia de 1m de unos sondeos mecánicos, lo que permitirá establecer una correlación entre los diferentes estratos del terreno y su resistencia a la penetración.
- Puede llegarse a la profundidad deseada.

Campaña de categoría IV-n-p

Sondeo de penetración estático y dinámico

Se utilizarán cuando se cumplan:

- Pueda llegarse a la profundidad P
- Que se realicen al menos dos ensayos a una distancia de 1m de unos sondeos mecánicos, lo que permitirá establecer una correlación entre los diferentes estratos del terreno y su resistencia a la penetración. Se tomará además una muestra de terreno por estrato atravesado o por cada 2 metros

hasta alcanzar la profundidad deseada

- Si el terreno atravesado son arcillas contenidas en una capa freática se tomara una muestra por estrato o por cada metro

BIBLIOGRAFÍA A

- "Procedimientos de sondeos" ,Jesús Puy.
- "Geotecnia y cimientos II" , J.A. Jiménez Salas.
- Normas UNE Geotecnia.
- Normas BAT Geotecnia (País Vasco).
- "Sondeos" , Cambefort.
- "Manual de Ingeniería de Taludes" , ITGE.
- www.ARA.com
- www.cedex.es
- “Mecánica del suelo” ,Celso Iglesias, Editorial Síntesis.
- “Manual de sondeos”, López Jimeno, Editor López Jimeno.
- “Curso aplicado de CIMENTACIONES” JM. Rodríguez Ortiz, Jesús Serra, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid - COAM.
- “Los ensayos In situ en la mecánica del suelo”, Maurice Casan, Editores Técnicos Asociados SA.
- “Bearing Capacity of Soils”, EM 1110-1-1905, US Army Corps of Engineers.

También se considera como la biografía a los libros y demás medios de difusión empleados por los anteriores autores para la realización de sus libros... y que no se mencionan aquí, por su gran número.

Exploración del subsuelo mediante penetrómetro

2

$$M_v = M \cdot \frac{2}{g} \cdot H$$

g g

$$R_d = \frac{M^2 \cdot H}{(M + P) \cdot A \cdot e}$$

$$NB = N$$

B+1

B

B+1

2B

B + 1

B

B + 1

B