



## OPTIMIZACIÓN DE LA CIMENTACIÓN A TRAVÉS DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO. EJEMPLOS DE AHORRO.

Jornada EGAP. Calidad e Innovación, el camino para reducir  
costes e incertidumbres en el proceso constructivo

Santiago de Compostela, 27 de Mayo 2016



Innovando con calidad

*Marcos Llana Fernández*  
*Ramón Montero Cereijo*



# Código técnico de edificación (CTE)

*“Marco normativo destinado a establecer las exigencias básicas de calidad, seguridad y habitabilidad de los edificios y sus instalaciones, para adaptar el sector de la construcción a los principios de la sostenibilidad económica, energética y medioambiental, y **garantizar edificios más seguros, habitables, sostenibles y de mayor calidad**”.*

- La ley 38/1999 de 5 de noviembre sobre Ordenación de la Edificación (LOE), es la normativa que marca las directrices sobre las nuevas edificaciones y la base del CTE actual.
- El 29 de Marzo de 2006 entra en vigor el CTE, tratándose del marco legal actual para establecer las exigencias que deben cumplir los edificios en base a los requisitos básicos de seguridad y habilidades.

# Estudio geotécnico

Se incluye en el apartado 3 del capítulo de SE-C, del CTE.

Consiste en realizar un **estudio previo del terreno** para proyectar la cimentación de un edificio de la forma más **funcional y económica**, de forma que se consiga una seguridad suficiente y unas deformaciones o asentamientos compatibles con las tolerancias de la estructura.

- FASES:
- 1.- Programación y análisis de documentación previa
  - 2.- Técnicas de prospección
  - 3.- Ensayos de laboratorio
  - 4.- Informe de conclusiones y recomendaciones

# Programación de reconocimientos

## Criterios del CTE:

- Por tipo de construcción:

Tipo	Descripción <sup>(1)</sup>
C-0	Construcciones de menos de 4 plantas y superficie construida inferior a 300 m <sup>2</sup>
C-1	Otras construcciones de menos de 4 plantas
C-2	Construcciones entre 4 y 10 plantas
C-3	Construcciones entre 11 a 20 plantas
C-4	Conjuntos monumentales o singulares, o de más de 20 plantas.

<sup>(1)</sup> En el cómputo de plantas se incluyen los sótanos.

- Por tipo de terreno:

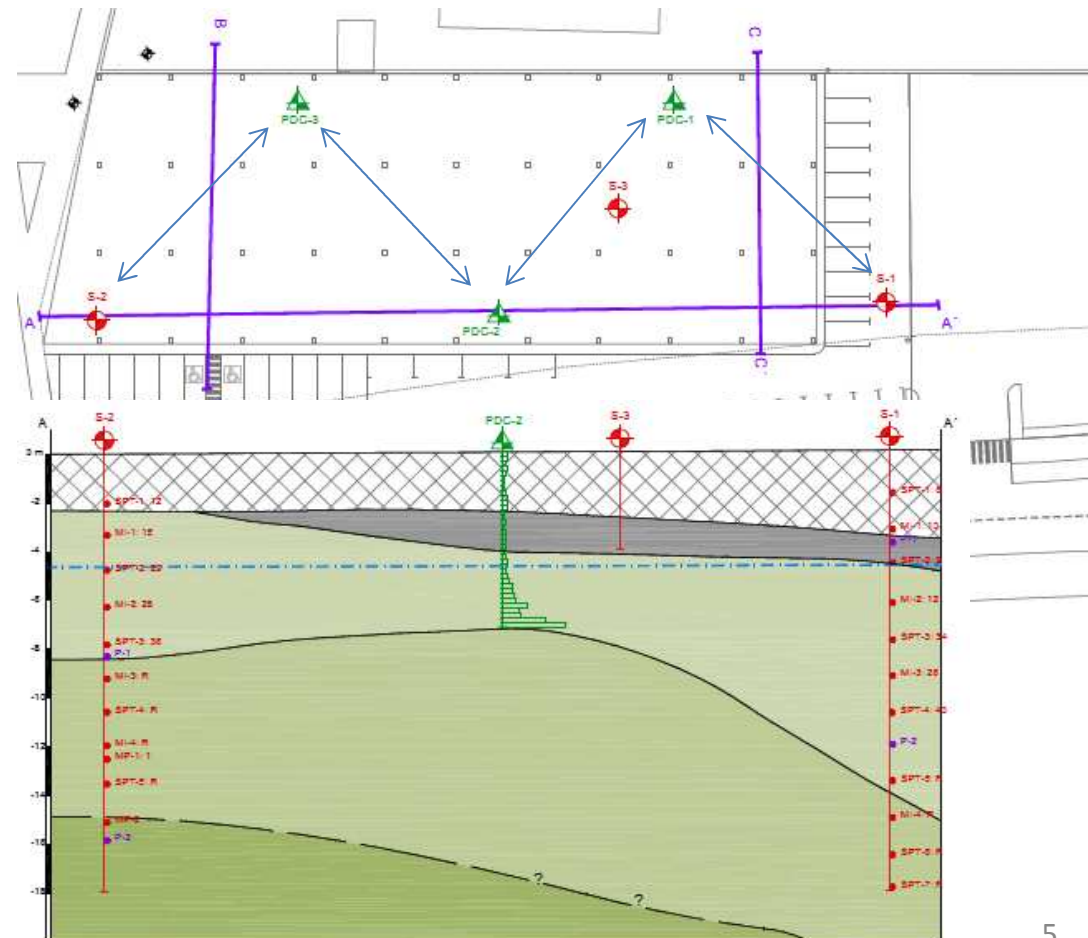
Grupo	Descripción
T-1	Terrenos favorables: aquellos con poca variabilidad, y en los que la práctica habitual en la zona es de cimentación directa mediante elementos aislados.
T-2	Terrenos intermedios: los que presentan variabilidad, o que en la zona no siempre se recurre a la misma solución de cimentación, o en los que se puede suponer que tienen rellenos antrópicos de cierta relevancia, aunque probablemente no superen los 3,0 m.
T-3	Terrenos desfavorables: los que no pueden clasificarse en ninguno de los tipos anteriores. De forma especial se considerarán en este grupo los siguientes terrenos: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Suelos expansivos</li> <li>b) Suelos colapsables</li> <li>c) Suelos blandos o sueltos</li> <li>d) Terrenos kársticos en yesos o calizas</li> <li>e) Terrenos variables en cuanto a composición y estado</li> <li>f) Rellenos antrópicos con espesores superiores a 3 m</li> <li>g) Terrenos en zonas susceptibles de sufrir deslizamientos</li> <li>h) Rocas volcánicas en coladas delgadas o con cavidades</li> <li>i) Terrenos con desnivel superior a 15°</li> <li>j) Suelos residuales</li> <li>k) Terrenos de marismas</li> </ul>

# Programación de reconocimientos

Distribución:

Tipo de construcción	Grupo de terreno			
	T1		T2	
	d <sub>máx</sub> (m)	P (m)	d <sub>máx</sub> (m)	P (m)
C-0, C-1	35	6	30	18
C-2	30	12	25	25
C-3	25	14	20	30
C-4	20	16	17	35

	Número mínimo		% de sustitución	
	T-1	T-2	T-1	T-2
C-0	-	1	-	66
C-1	1	2	70	50
C-2	2	3	70	50
C-3	3	3	50	40
C-4	3	3	40	30





# Técnicas TRADICIONALES

2.1.- **Ensayos tradicionales** de prospección geotécnica:

- Calicatas
- Ensayos de penetración dinámica DPSH
- Sondeos mecánicos a rotación
- Ensayo SPT e índice  $N_{spt}$
- Ensayos de laboratorio



Se trata de **ensayos rápidos y económicos** que satisfacen los criterios del CTE, si bien, **su eficacia varía en función de las características de los materiales ensayados.**

Se utilizan para medir el **grado de compacidad y resistencia del terreno** a través de elementos normalizados de golpeo, siendo especialmente apropiados para **terrenos arenosos**, donde las correlaciones para extraer los parámetros de cálculo son más certeras.

- Ensayo SPT e índice NSPT

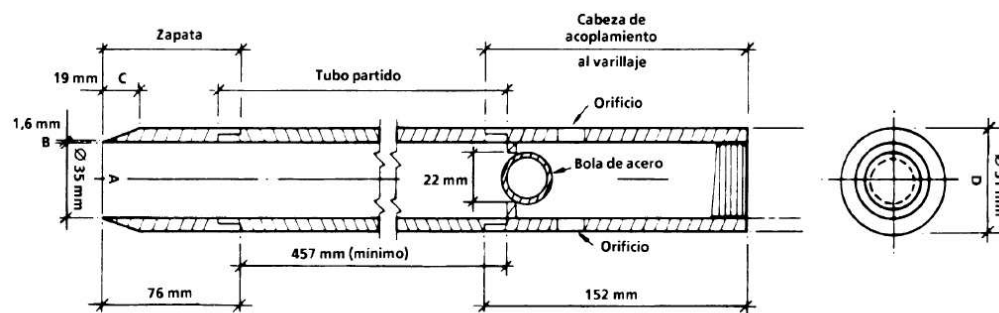


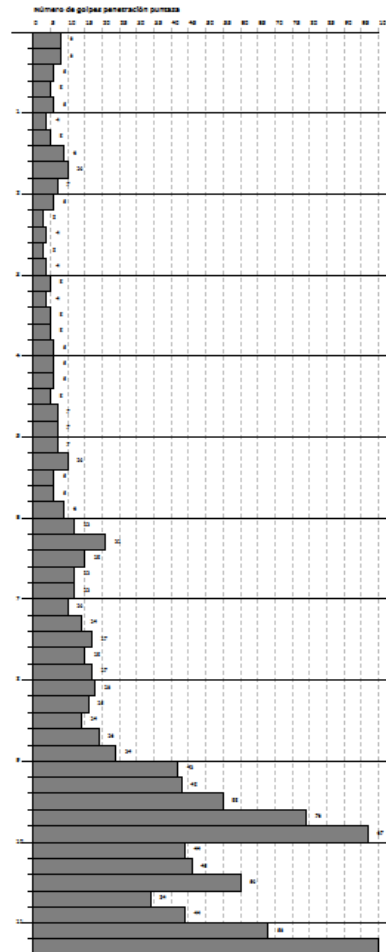
Figura 2-2: Tomamuestras o cuchara SPT. UNE 103-800-92 - ASTM D 1586/84



Se correlaciona empíricamente con las propiedades específicas in situ del terreno, **con reserva tanto mayor cuanto mayor es la proporción en la fracción limo-arcilla o de fracción grava.**

Especialmente indicado para correlaciones directas con el ángulo de rozamiento ( $\phi$ ) y evitar así las aproximaciones con una doble correlación (NDPSH).

- Ensayo DPSH e índice NDPSH



- Ofrece un **perfil continuo de golpeo** en toda la profundidad de investigación.
- Se trata de un **ensayo indirecto** que requiere de sondeos de correlación.
- Se **correlaciona con el NSPT y NBORROS** con diferente valor en función del tipo de material: granular o cohesivo.



- GRANULARES

$$\log N_{borros} = 0,035 \cdot N_{SPT} + 0,668 \pm 0,44$$

$$N_{SPT} = 25 \cdot \log N_{borros} - 15,6 \pm 1,116$$

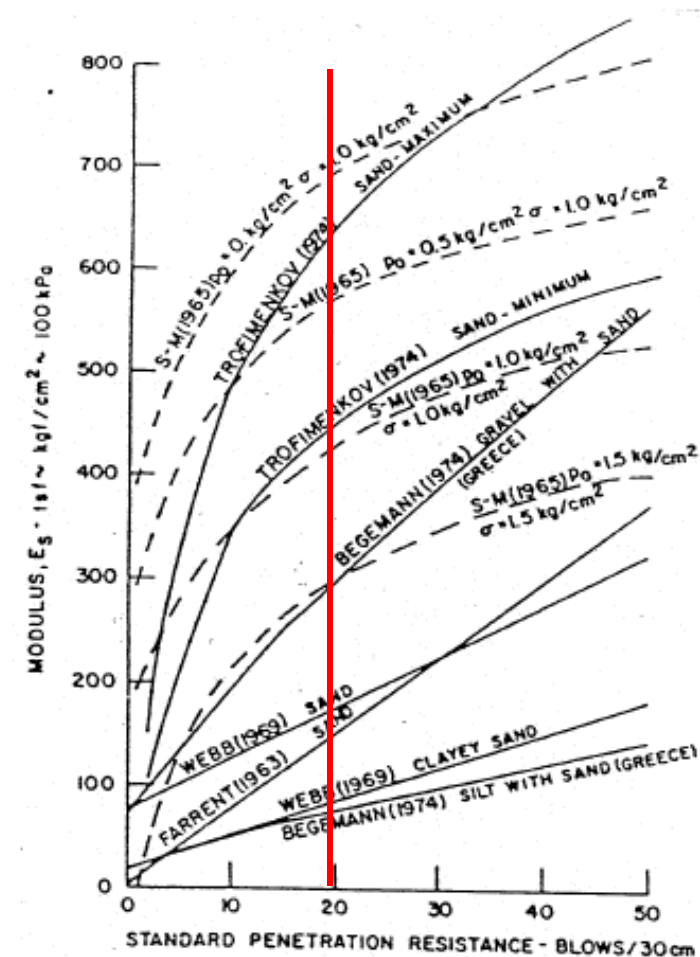
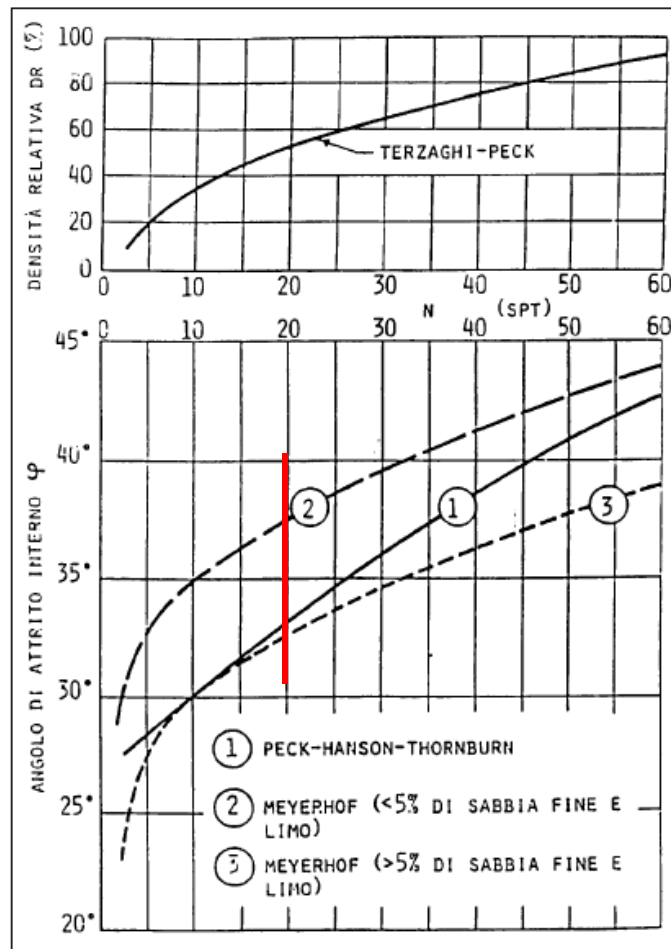
$$N_{DPSH} = 0,7 \cdot N_{borros}$$

- COHESIVOS

$$N_{SPT} = 13 \log N_{DPSH} - 2$$



- Ángulo de rozamiento/SPT y deformabilidad/SPT



## Cálculo de tensión admisible y asentos por **métodos tradicionales**

- **Terzaghi y Peck (1948):**

$$s = \frac{C \cdot q}{N_{SPT}} \cdot \left[ \frac{B}{B+1} \right]^2 \quad \boxed{q = \frac{s \cdot N_{SPT}}{C} \cdot \left[ \frac{B+1}{B} \right]^2}$$

- **Meyerhof (1956):**

$$s = \frac{12 \cdot q}{N_{SPT}} \quad s = \frac{12 \cdot q}{N_{SPT}} \cdot \left[ \frac{B}{B+1} \right]^2$$

- La experiencia ha demostrado que esta **aproximación es extremadamente conservadora.**
- Se basan en métodos de golpeo, correlacionado con el valor medio del NSPT.
- La presencia de capas blandas (limo-arcilla) afectan negativamente.

## Consideraciones sobre los métodos tradicionales

### VENTAJAS:

- Sencillo y de bajo coste
- Rápida ejecución e interpretación
- Alta correlación con otros índices geotécnicos
- Disponible en todo el mundo

### LIMITACIONES:

- Estimación grosera de los parámetros del suelo
- Muy limitado para arcillas, limos y gravas
- Alta variabilidad e incertidumbre

# Técnicas INNOVADORAS

Se trata de otros ensayos no tan comunes en la práctica habitual del Estudio Geotécnico, aunque **están contempladas y admitidas en el CTE**, que permiten aproximarse de forma más realista a los parámetros del terreno, **obteniendo las siguientes mejoras:**

- **Incremento de la calidad** con la reducción de incertidumbres por el ajuste del factor de seguridad
- **Incremento de tensión máxima admisible** en relación a los métodos de cálculo tradicionales, por ajuste de los parámetros deformacionales del terreno
- **Reducción de los costes de cimentación**

## **Ensayos innovadores** de prospección geotécnica:

### Ensayos IN SITU

- Ensayo presiométrico
- Ensayo de molinete (vane test)

### Ensayos DE CAMPO

- **Ensayo de piezocono (CPTu)**

### Ensayos DE LABORATORIO

- Ensayos triaxiales



# ENSAYO PRESIOMÉTRICO

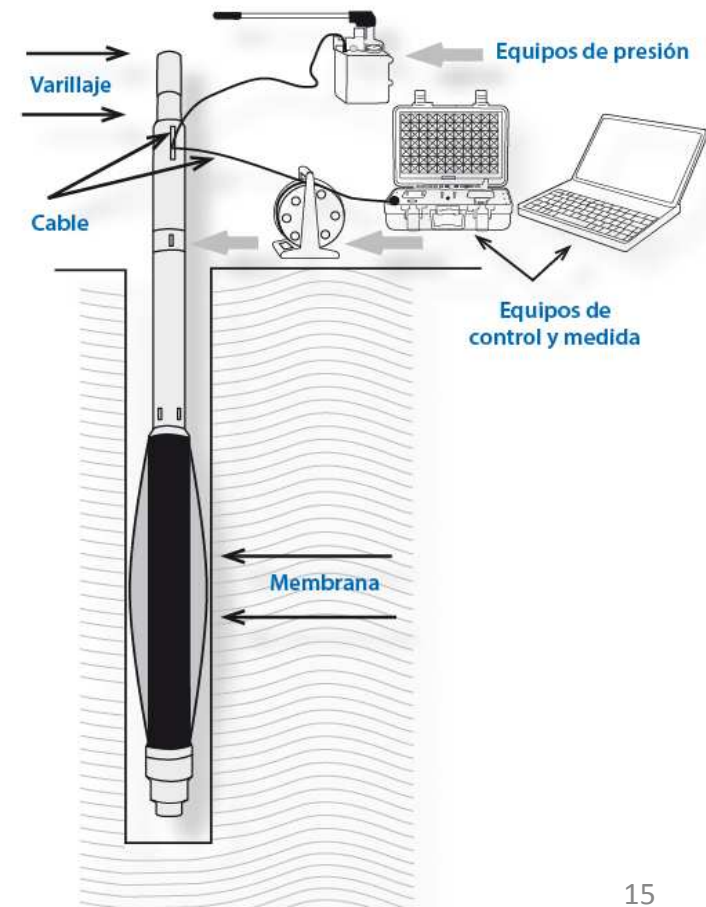


## ¿Qué es?

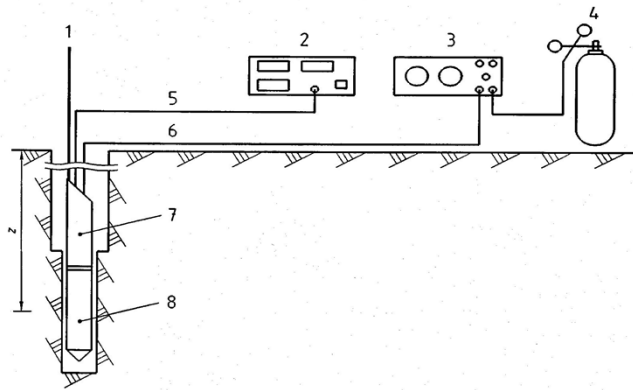
El ensayo presiométrico consiste en efectuar una **carga lateral creciente en el terreno** a través de una sonda cilíndrica que se introduce en el interior del sondeo, **midiendo la deformación que sufre el terreno para cada escalón de carga**.

Se trata pues de un **ensayo in situ de carga-deformación**, siendo necesaria la ejecución de un sondeo.

Segue la Norma ASTM D 4719 (2007) y EN ISO 22476.



# Componentes del equipo presiométrico



- Key
- 1 Setting rods
  - 2 Measuring unit
  - 3 Pressure control
  - 4 Pressure source
  - 5 Signal cable
  - 6 Pressure line
  - 7 Sediment collection tube
  - 8 Flexible dilatometer
  - z Test depth





## ¿En que consiste el ensayo?

- 1.- Se suspende la sonda presiométrica con el varillaje del sondeo a la profundidad que queremos investigar.
- 2.- En cada escalón de carga/descarga se controla la presión mediante un manómetro, con las válvulas manoreductoras.
- 3.- En cada escalón se mide la deformación de la membrana en contacto con el terreno a través de trasductores de deformación.

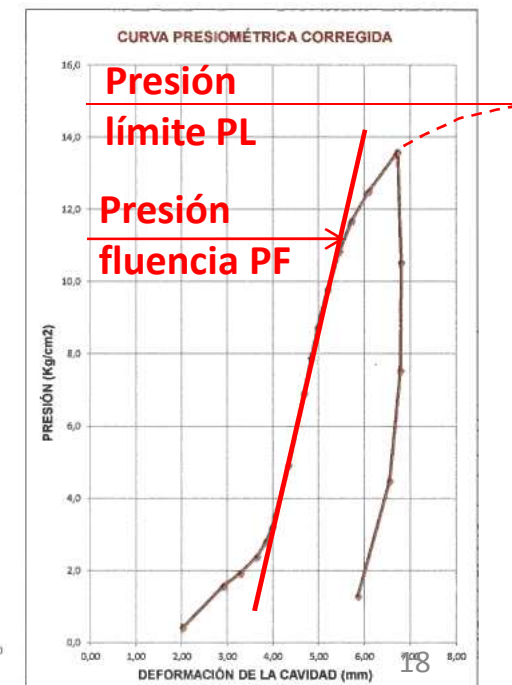
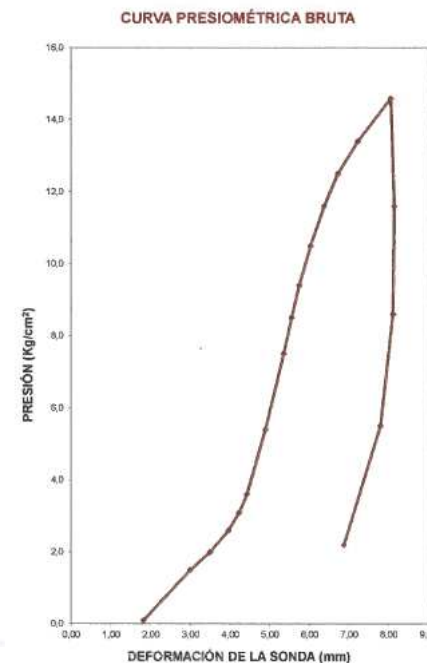


## ¿Que se obtiene?

Se obtiene la curva presiométrica que relaciona la presión aplicada con la deformación obtenida del terreno.

La pendiente de la curva tensión-deformación permite determinar el **módulo de corte G**, estando relacionado directamente con el **módulo de deformación E**, a través del **coeficiente de Poisson** de cada material.

$$\varepsilon_c = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \quad E = 2G(1 + \nu) \quad G = \frac{1}{2} \frac{\Delta P}{\varepsilon_c}$$





## Conclusiones del ensayo presiométrico

### VENTAJAS:

- Obtención de **parámetros ajustados** de estado, resistencia y deformación del terreno
- Buenos resultados **en todo tipo de terrenos**, incluso suelos y rocas.
- Buena correlación con otros índices geotécnicos:  $E_m$ ,  $q_c$ ,  $N_{spt}$ , etc.

### FACTORES A TENER EN CUENTA:

- Ejecución correcta del ensayo
- Necesidad de sondeos de apoyo
- Mejora de los resultados cuanto más homogéneo es el terreno
- Ventajas a nivel económico para la obra

# ENSAYO MOLINETE VANE TEST

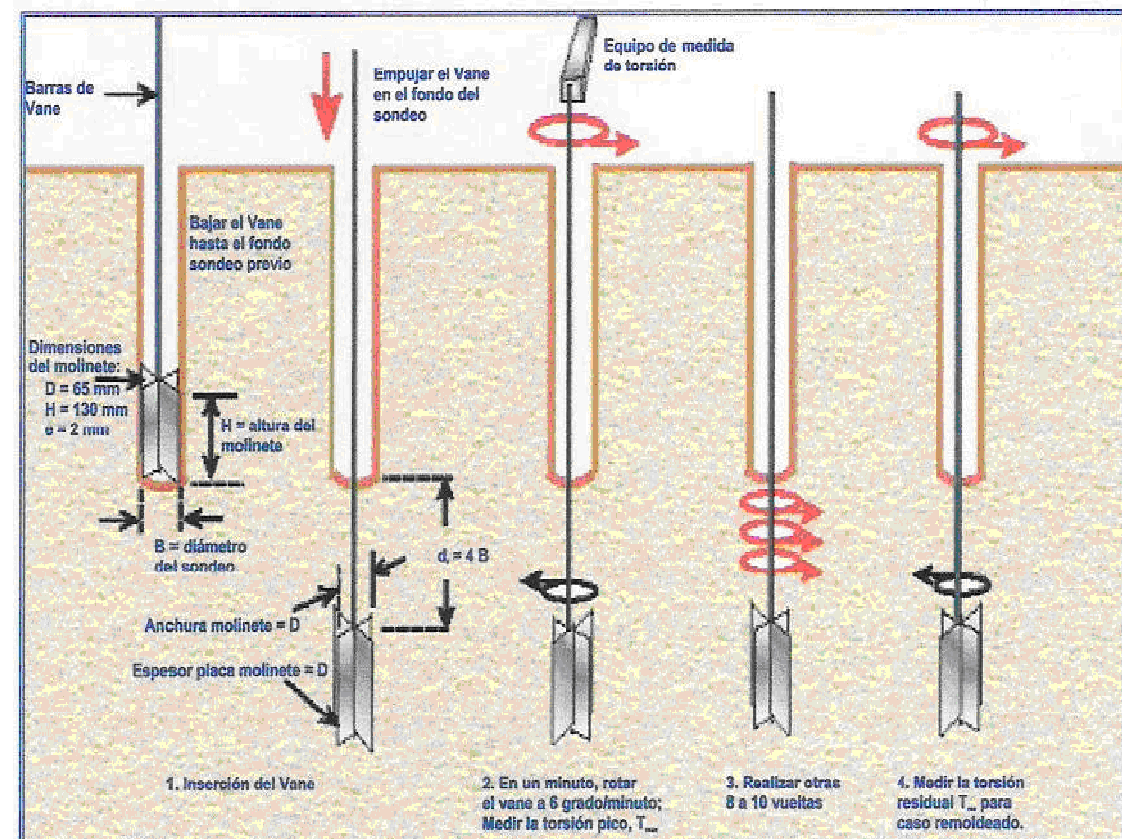


## ¿Qué es?

El ensayo de molinete consiste en la determinación in situ de la resistencia al corte del terreno en suelos cohesivos saturados.

Al ser un ensayo rápido se corresponde con el tipo de corte UU

Sigue la norma ASTM D-2573



## ¿En que consiste en ensayo?

- 1.- Hince en el terreno de un molinete de cuatro aspas a la profundidad de ensayo deseada
- 2.- Torsión a velocidad constante ( $6^{\circ}/\text{min}$ ) hasta la rotura del terreno
- 3.- Medir la resistencia residual una vez alcanzada la rotura del terreno



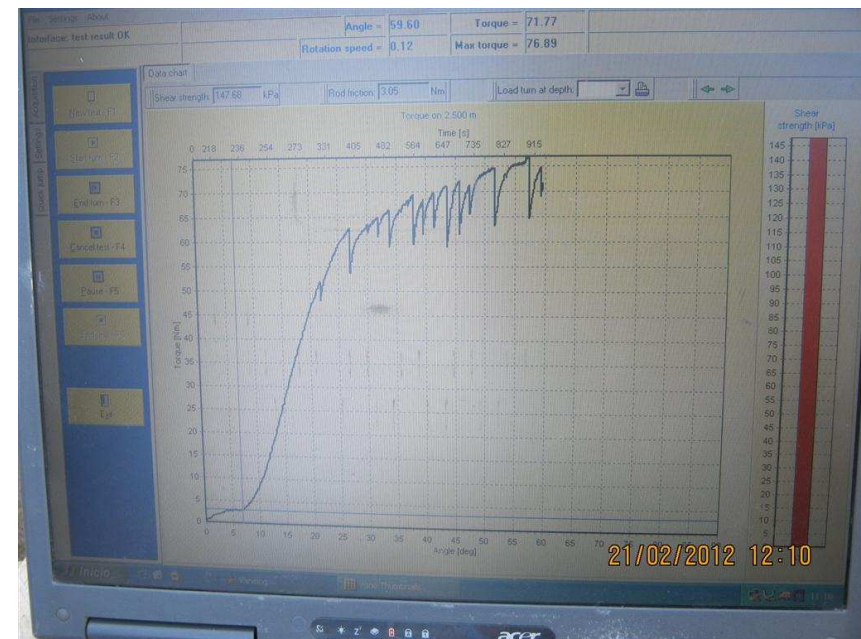


## ¿Que se obtiene?

Se obtiene la curva de cizallamiento, definida por el momento torsor en el tiempo

A partir de la resistencia pico de la curva se obtiene la resistencia al corte no drenada ( $S_u$ ).

También se obtiene la sensibilidad, como la relación entre la resistencia de pico y la residual.





## Conclusiones del ensayo de molinete

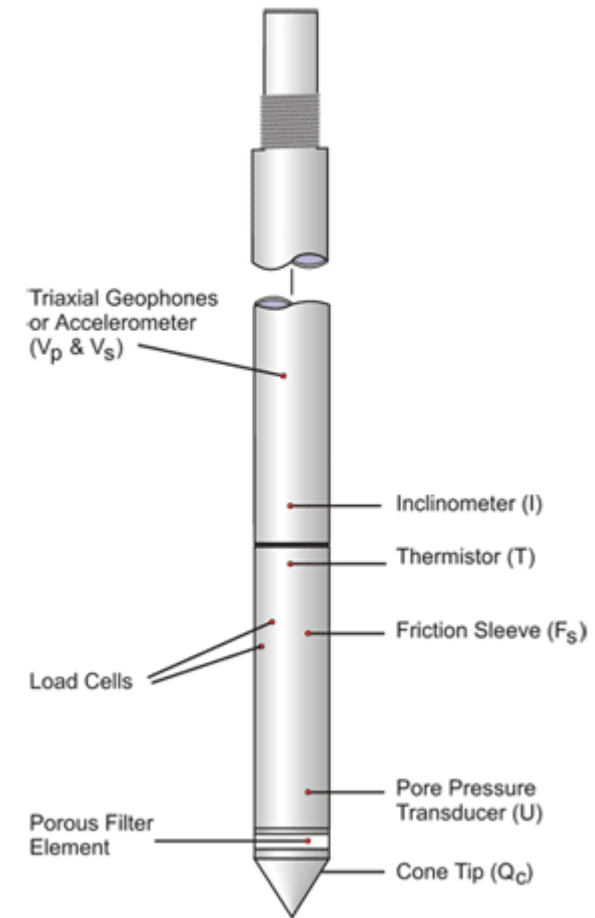
### VENTAJAS:

- Ensayos muy sencillos y de fácil interpretación
- Parámetros ajustados UU en suelos cohesivos
- Obtención de la resistencia no drenada de terrenos cohesivos
- Obtención de la sensibilidad in situ

### LIMITACIONES:

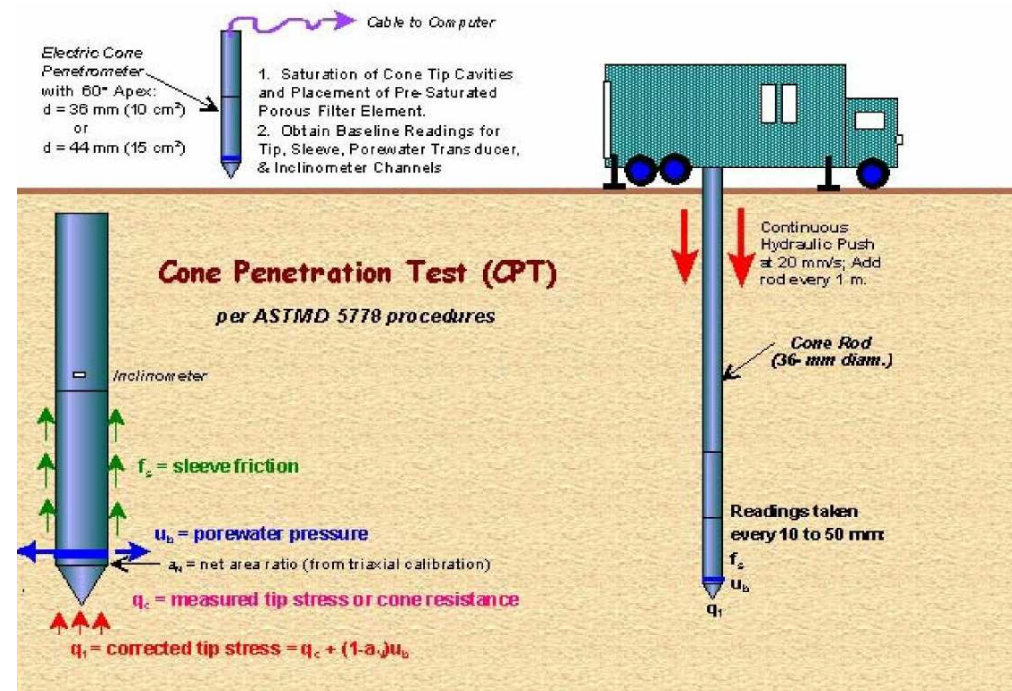
- Para suelos con  $S_u < 200$  kPa
- Ensayo lento
- Sólo aplicable en casos de terrenos cohesivos

# ENSAYO PIEZOCONO CPT<sub>u</sub>



## ¿Qué es?

El ensayo consiste en hincar a presión en el suelo a velocidad constante una punta cónica y medir el esfuerzo para la penetración del cono, denominado  $q_c$ .



## Principales Aplicaciones

- 1.- Ensayo in situ continuo, permitiendo definir el perfil estratigráfico del terreno y **diferenciar los estratos** con distinto comportamiento geotécnico.
- 2.- Cálculo de la resistencia y deformabilidad por estratos o niveles para determinar la capacidad portante y asentos del terreno.
- 3.- Perfil continuo de la presión intersticial del terreno, lo que permite una **aproximación más exacta a los parámetros geotécnicos** y a una **mejor diferenciación** de los estratos.
- 4.- Muy apropiado en terrenos alternantes de suelos cohesivos y arenosos.



# Consideraciones del ensayo de piezocono CPTu

## VENTAJAS:

- Información continua del suelo
- Evita la alteración del terreno asociada a la perforación
- Obtención de gran cantidad de parámetros del terreno

## LIMITACIONES:

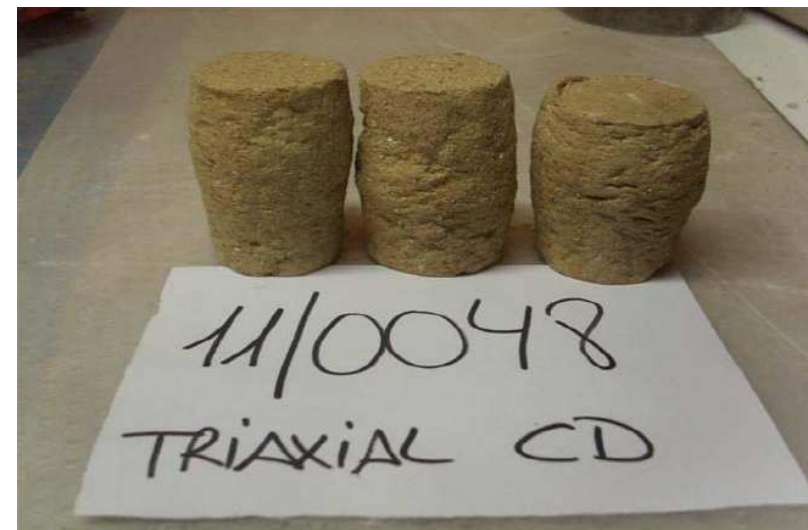
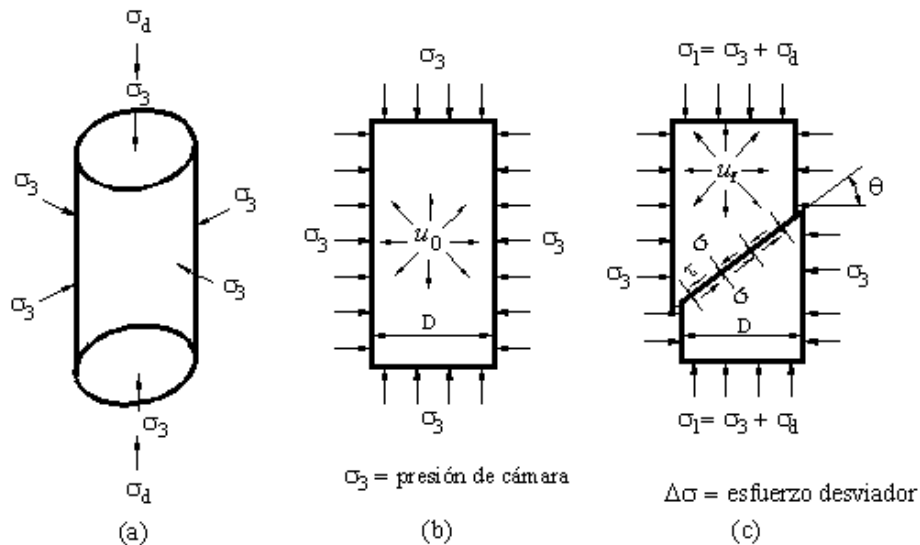
- Ensayo indirecto, siendo conveniente el apoyo de sondeos
- Limitado para suelos con gravas y bolos

# ENSAYO TRIAXIAL SUELOS



## ¿Qué es?

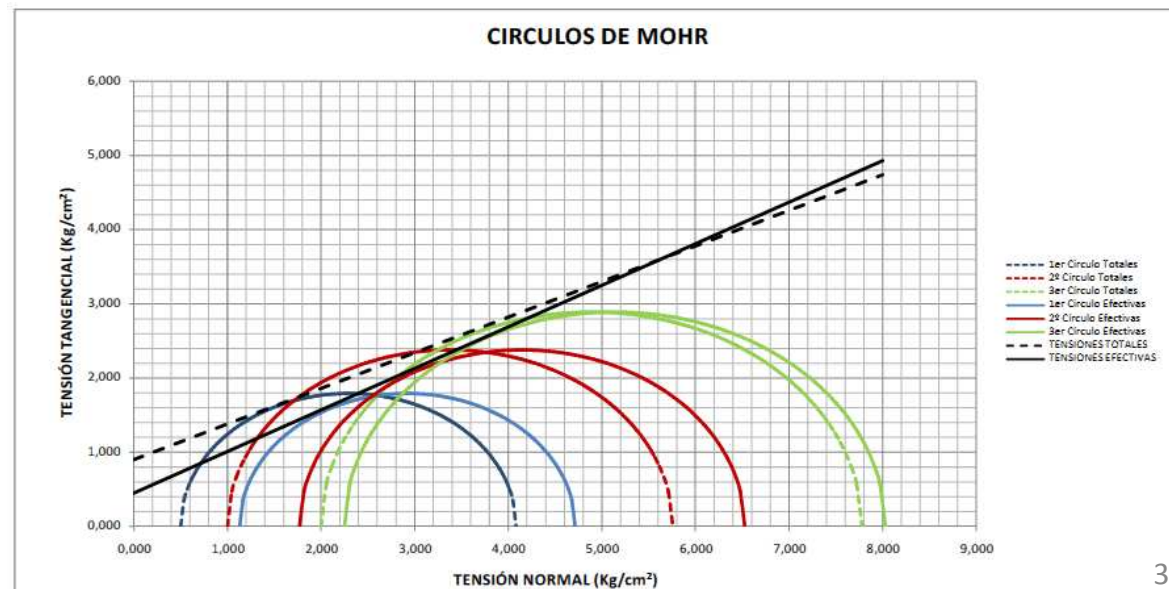
El ensayo consiste en preparar una probeta cilíndrica de suelo dentro de una membrana de goma, que se introduce en una cámara especial y se le aplica una presión igual en todo sentido y dirección. Alcanzando el equilibrio, se aumenta la presión normal sin modificar la presión lateral hasta la rotura.



## ¿En que consiste?

Se realizan al menos tres pruebas por ensayo, con presiones laterales diferentes y se representan en un gráfico, denominando **Círculos de Mohr** a los esfuerzos de falla de cada muestra.

Trazando una tangente o envolvente a estos se determinan los parámetros de  $c$  y  $\phi$ .





## Tipos de ensayo triaxial

Existen tres tipos de ensayos triaxiales convencionales.

- Sin consolidar- sin drenar (UU): Se realiza normalmente **en muestras de arcilla saturada**. Obteniendo los **parámetros totales**, siendo la resistencia al cortante igual a la  $C_u$  (Cohesión sin drenaje).
- Consolidado-sin drenar (CU): Se realiza normalmente con medida de la presión de poro ( $CU_u$ ), a fin de **determinar los parámetros  $C$  y  $\phi$  totales y efectivos**
- Consolidado drenado (CD): **Se obtienen los parámetros efectivos**, siendo utilizados en suelos granulares (arenas)

En todos ellos:

- Se aplica una determinada presión isotrópica de cámara, permitiendo o no el drenaje.
- Se introducen presiones tangenciales hasta la rotura

# Principales aplicaciones

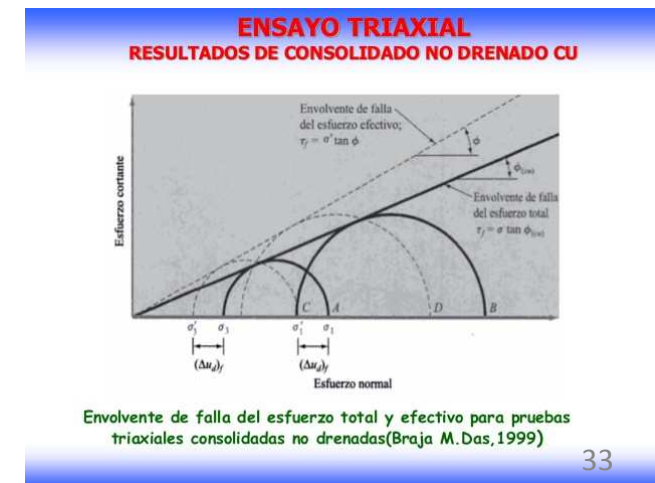
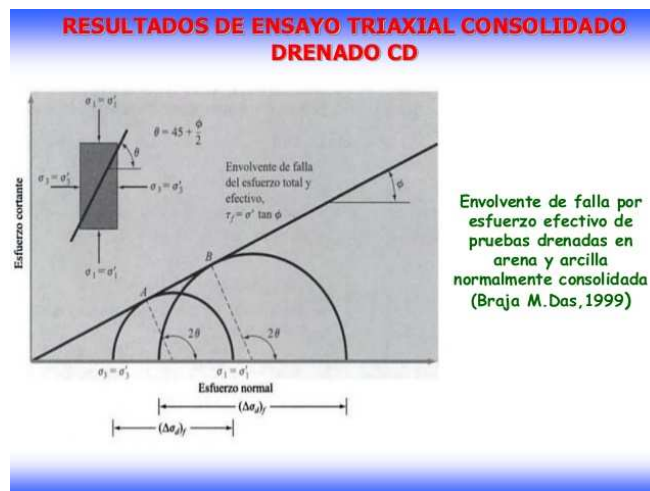
Sirve para definir de **forma directa** los **parámetros de cohesión y ángulo de rozamiento de los suelos**, obteniendo valores de resistencia precisos y ajustados para **cualquier situación**, siguiendo el criterio de falla de mohr-Coulomb

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi$$

Donde:

c = cohesión

$\phi$  = ángulo de fricción interna



## Conclusiones sobre las técnicas innovadoras

- Permiten **reducir la variabilidad e incertidumbre**, y con ello, el factor de seguridad en los cálculos
- **Ajustan los parámetros geotécnicos** de resistencia y deformabilidad de los suelos
- **Evitan correlaciones**, ajustando los parámetros de forma más directa
- Se trata de ensayos **más representativos** de las condiciones reales del terreno, **fundamentalmente en rehabilitaciones**
- **Precisan de métodos directos** (sondeos) de apoyo para determinar las condiciones de ensayo
- **Permiten reducir la campaña de ensayos de laboratorio**, acortando los plazos de ejecución del Estudio Geotécnico
- **Estas técnicas suponen normalmente un incremento en costes del Estudio relativamente bajo, en relación al aumento en la calidad del resultado, repercutiendo normalmente de forma favorable en fase de obra, con reducción de costes de cimentación**

***MUCHAS GRACIAS  
POR SU ATENCIÓN***