

# **GEOLOGIA Y GEOTECNIA**

2019

## **Reconocimiento de suelos** **Toma de muestras**

**Ing. María Teresa Garibay**

**Ing. Pablo L. Torres**

**Ing. Silvia Angelone**

# Bibliografía

Das, Braja, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica

Jiménez Salas, J. A. y coautores. Geotecnia y Cimientos

Whitlow, R. - Fundamentos de Mecánica de Suelos

Reglamento CIRSOC 401

# Objetivo de las investigaciones de campo

- **Evaluar** el lugar
- Permitir un **diseño adecuado y económico**
- **Planear** el mejor método constructivo

# Objetivo de las investigaciones de campo

- **Predecir** y contrarrestar las dificultades
- Determinar las variaciones en las **condiciones ambientales**
- **Analizar** alternativas de lugares

# Objetivo de las investigaciones de campo

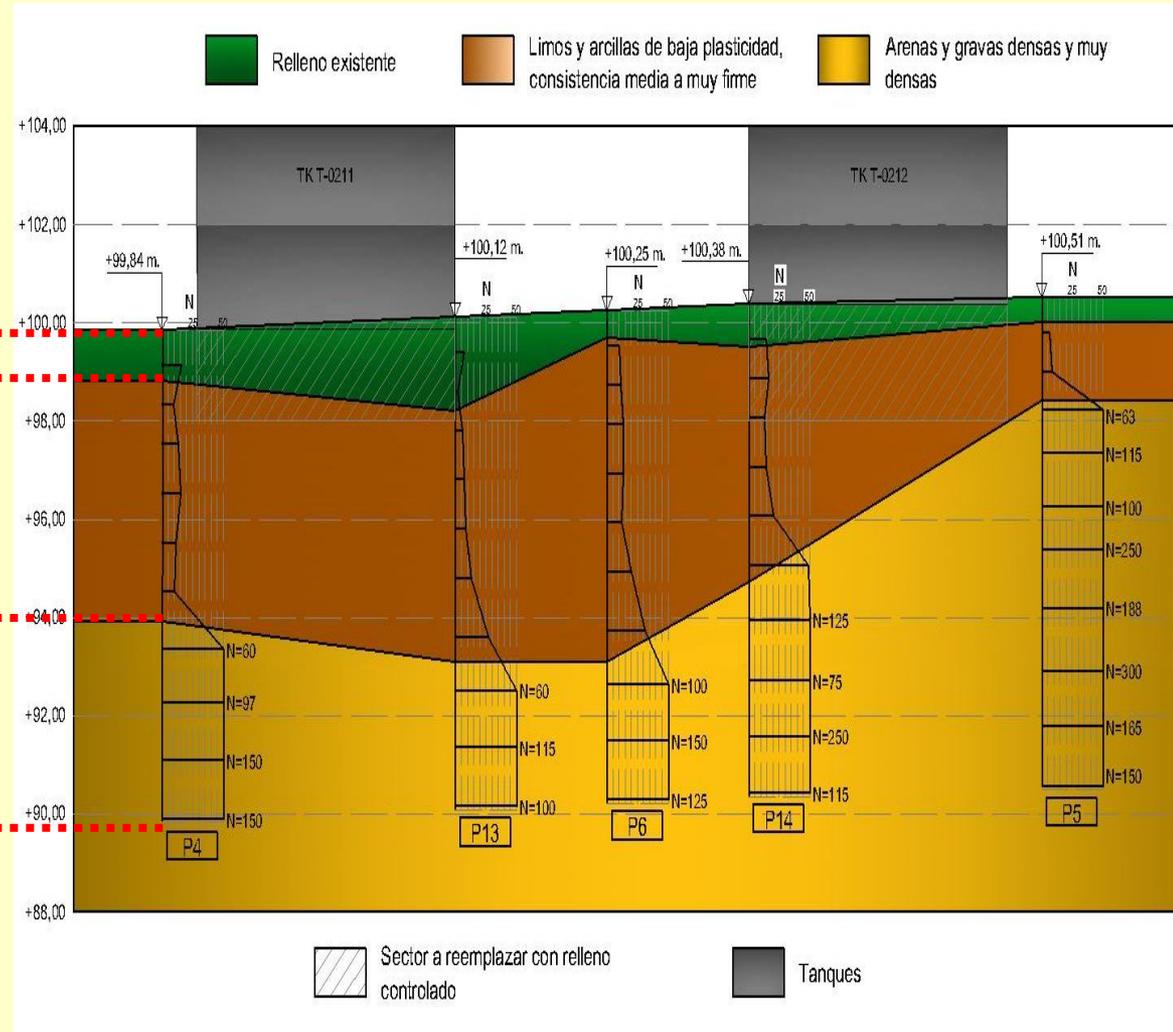
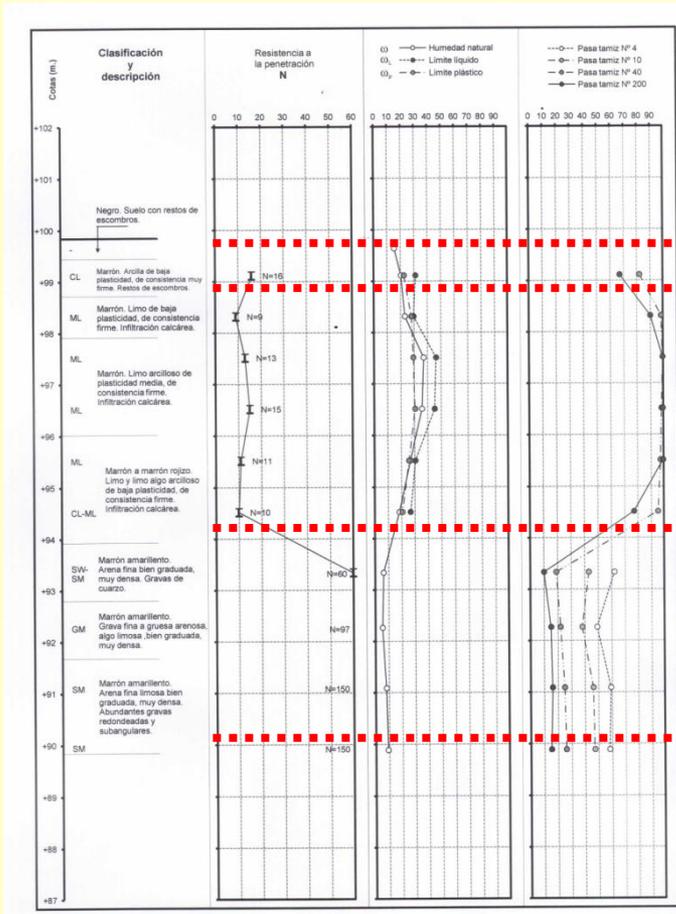
En caso de obras construidas:

- Verificación de condiciones de seguridad
- Posibilidad de modificaciones
- Investigación de fallas

En caso de usar al suelo como material de relleno:

- Encontrar el yacimiento adecuado

# Objetivo de las investigaciones de campo



# Secuencia de los trabajos

- Estudio de gabinete
- Reconocimiento del lugar
- Exploración detallada del sitio y muestreo
- Ensayos in situ
- Ensayos de laboratorio
- Instrumentación de campo
- Informe de resultados

















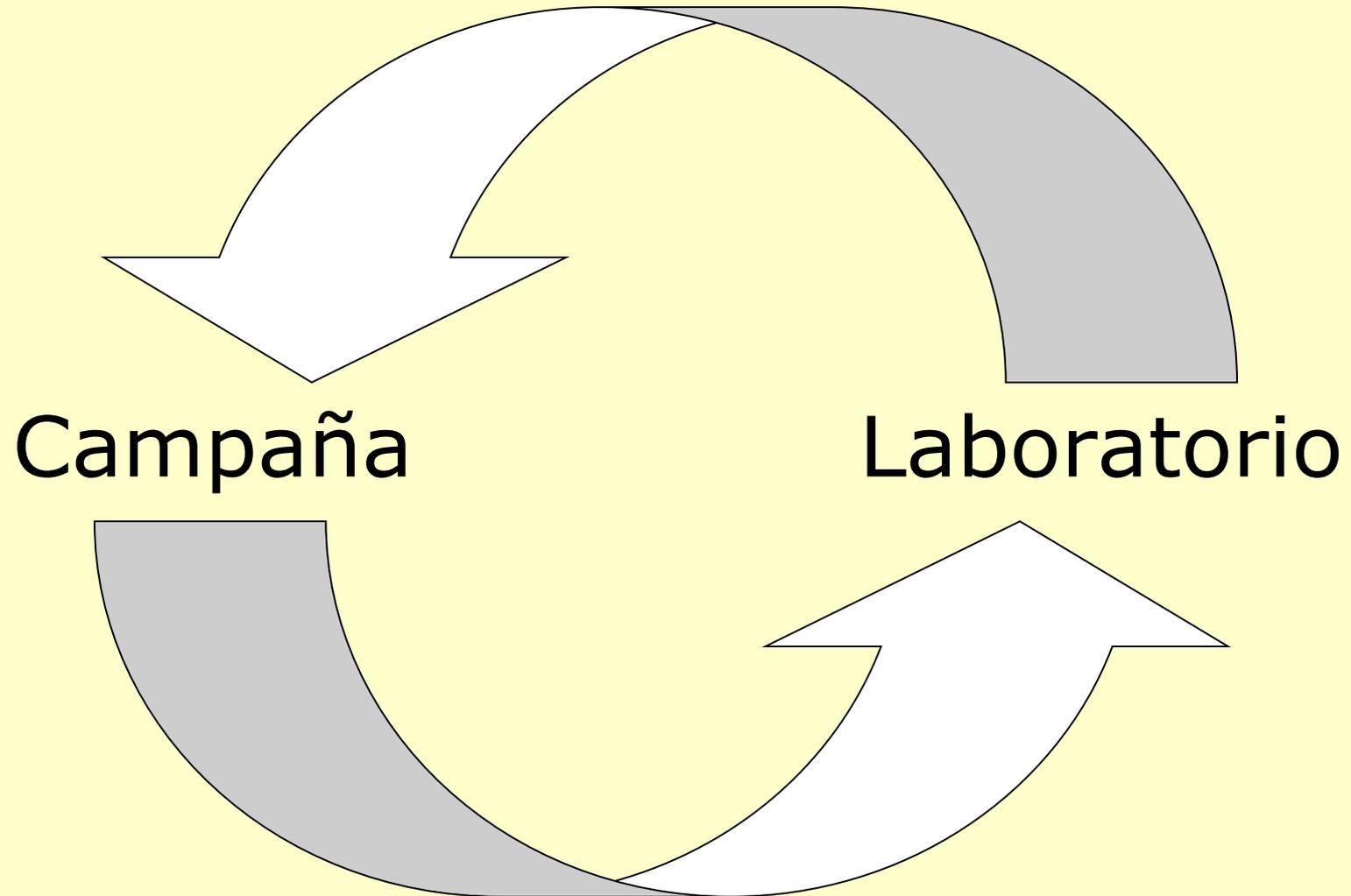








# Organización del trabajo



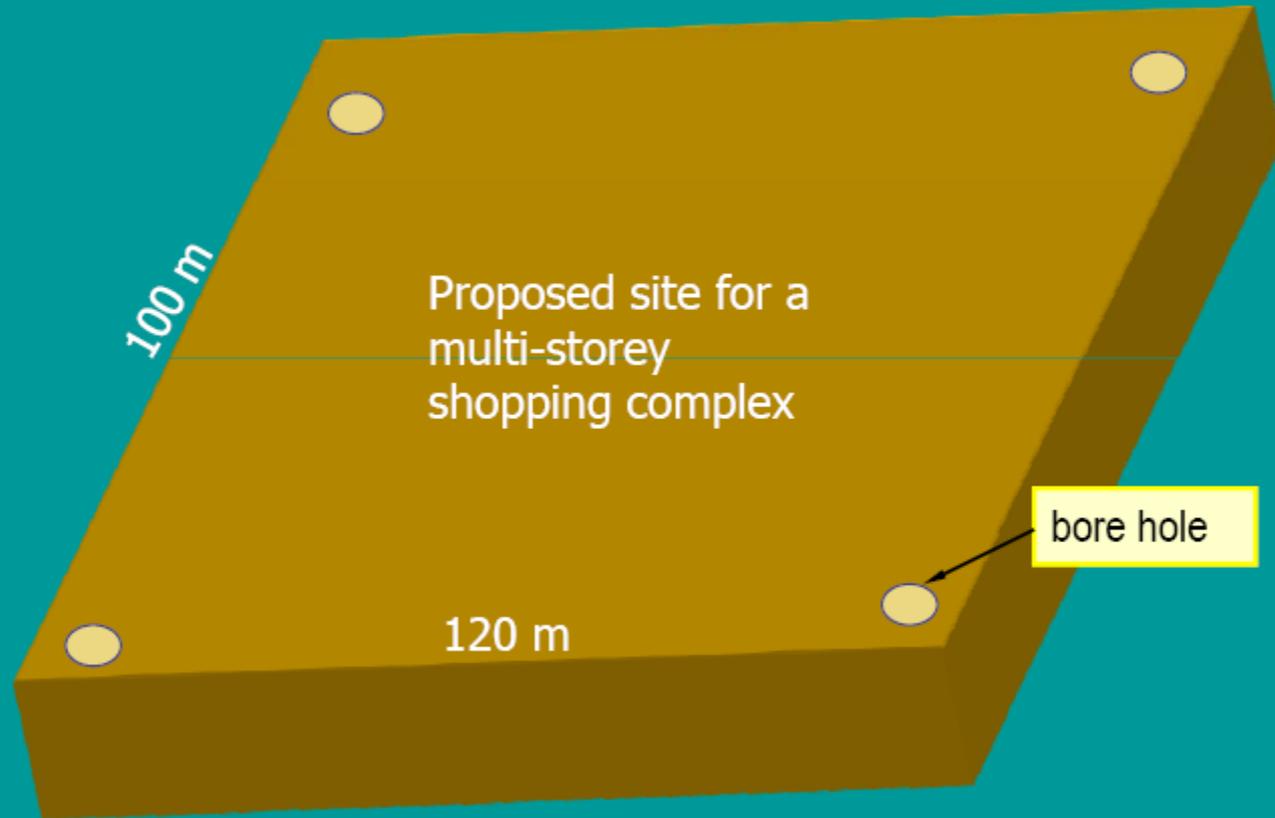
# Ubicación, cantidad y profundidad que alcanzan los puntos de prospección

Depende:

- del conocimiento previo
- de la importancia de la obra
- de las recomendaciones del Reglamento CIRSOC 401

<https://www.argentina.gob.ar/interior/secretaria-de-planificacion-territorial-y-coordinacion-de-obra-publica/Reglamentos-INPRES-CIRSOC>

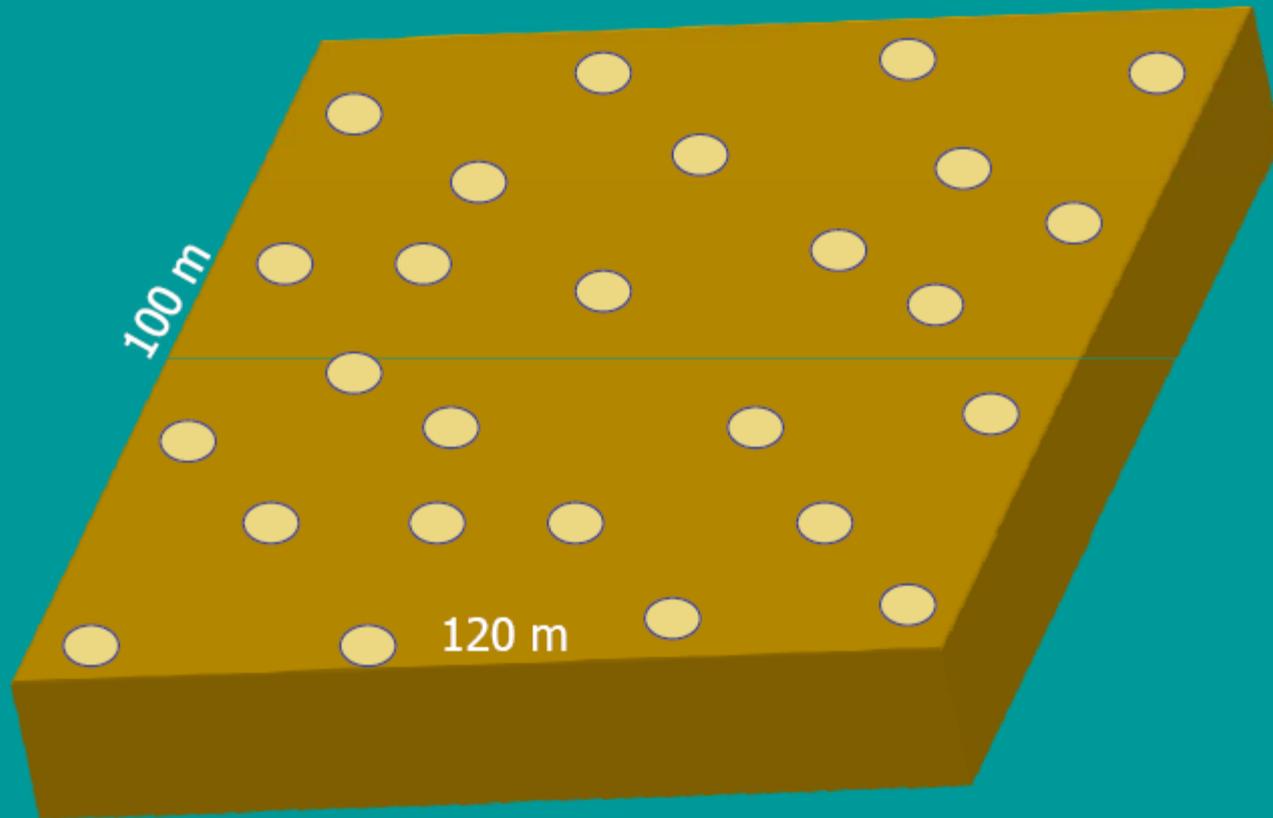
# How many bore holes?



Not enough bore holes; soil profile and properties not well defined..



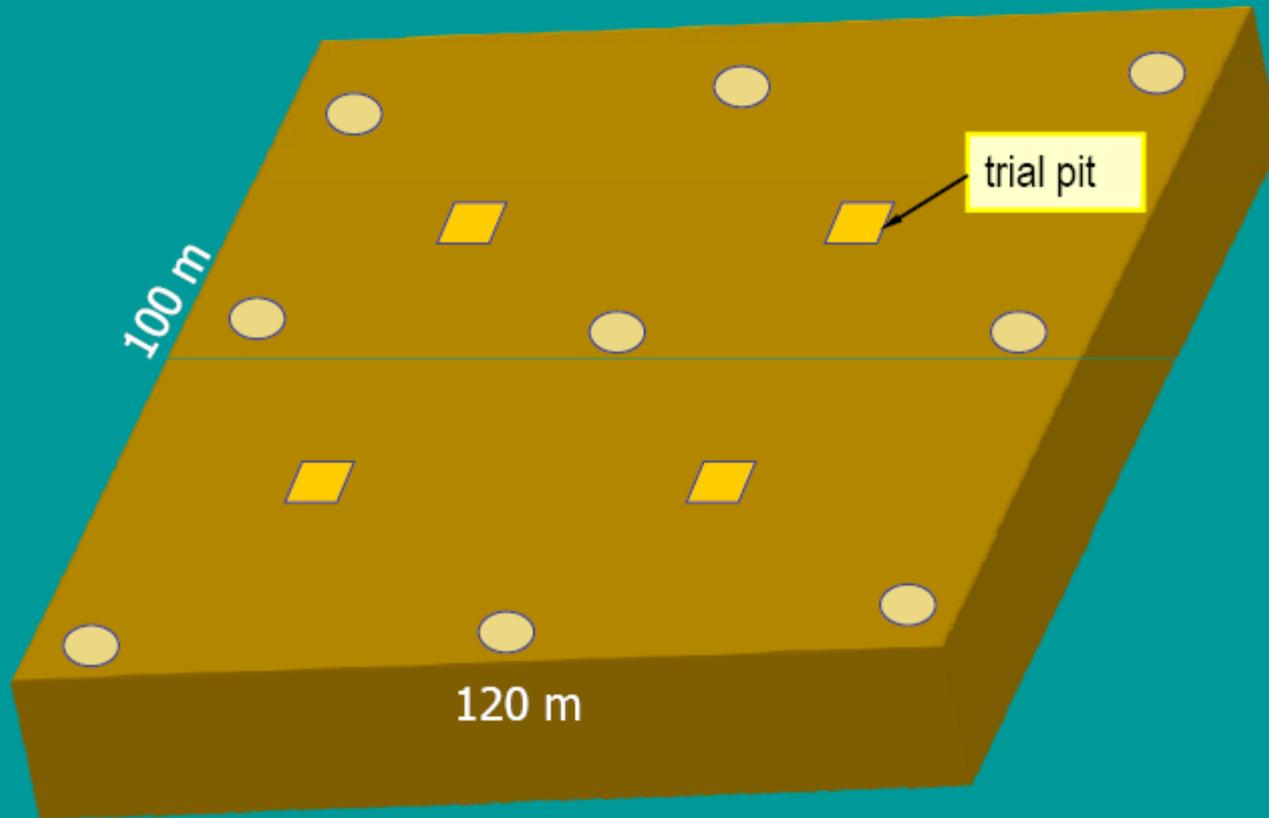
# How many bore holes?



Too many bore holes and blows the budget.



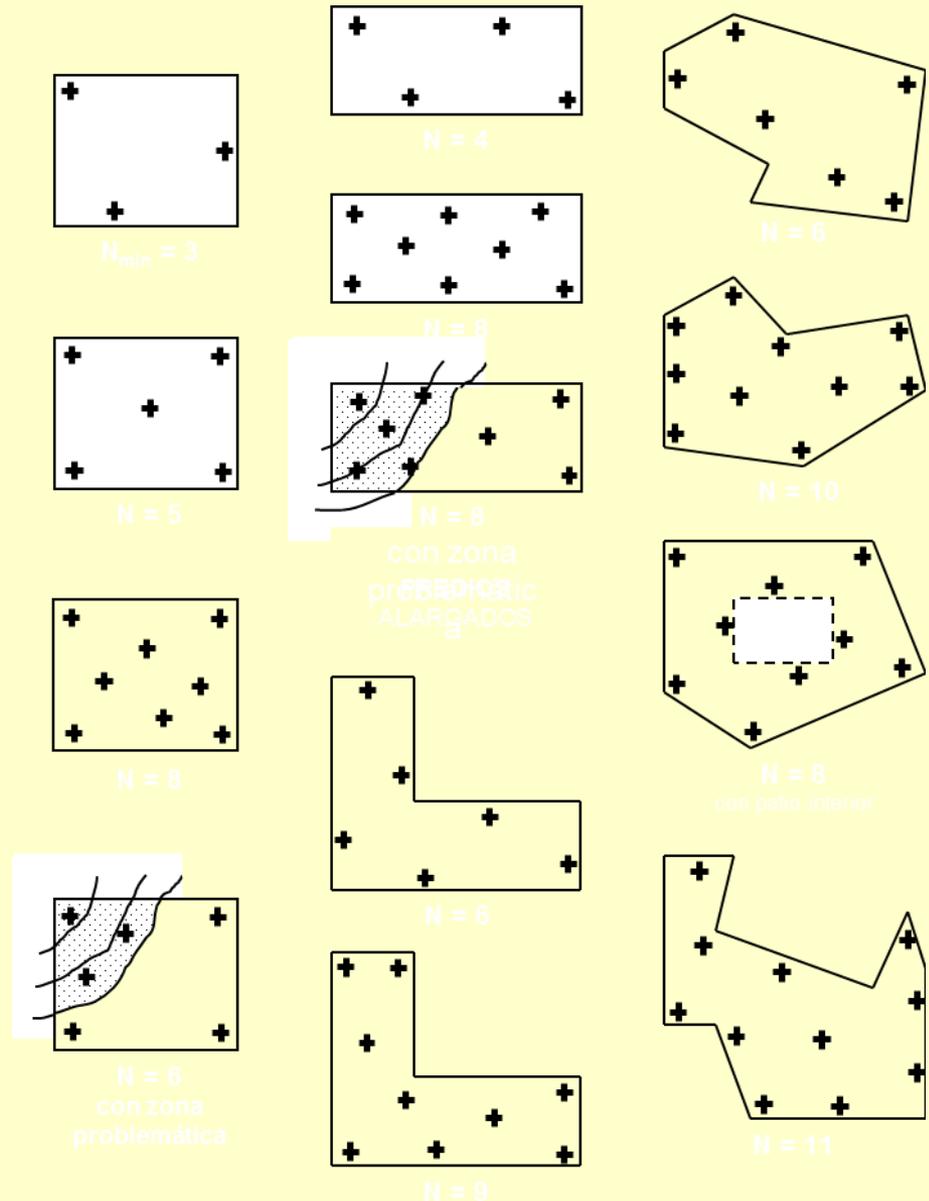
# How many bore holes?



About right? 😊

# Ubicación de las perforaciones

- Cubrir toda la planta (no necesariamente en coincidencia con la zona más cargada)
- Puentes: en coincidencia con la zona de pila y estribo



## Densidad de puntos de prospección (Reglamento CIRSOC 401)

La **cantidad mínima** de puntos de prospección es de **dos** para viviendas unifamiliares de hasta dos plantas (<250 m<sup>2</sup>) en condiciones geotécnicas conocidas. Para el resto de los casos vale lo indicado en los párrafos siguientes.

La distancia máxima entre puntos de prospección se determina con la expresión

$$l = \alpha \times l_0$$

donde

$\alpha$  se obtiene de la tabla 3.1 en **función del tipo de construcción**

$l_0$  se obtiene de la tabla 3.2 en **función del tipo de terreno.**

Tabla 3.1. Elementos para el cálculo de la distancia máxima entre puntos de prospección.

Clase	Descripción de las tipologías estructurales	Cantidad mínima de prospecciones	Coefficiente distancia máxima entre prospecciones
C-1	Viviendas unifamiliares de dos plantas con una superficie máxima en planta de 250 m <sup>2</sup> en condiciones geotécnicas conocidas	2	1,0
C-2	Edificios para vivienda o industriales hasta 2 plantas	3	1,0
C-3	Edificios para vivienda o industriales, de hasta 4 plantas sin muros de carga, con estructura y cerramiento independiente	3	1,0
C-4	Edificios de viviendas u oficinas de 4 a 10 plantas o que, teniendo hasta 4 plantas, no cumplen las condiciones anteriores	3	0,8
C-5	Edificios de viviendas u oficinas de 11 a 20 plantas; silos y tanques de almacenamiento	3	0,7
C-6	Edificios de carácter monumental o singular, o con más de 20 plantas. (Serán objeto de un reconocimiento especial cumpliendo, al menos, las condiciones que corresponden a la Clase C-5)	3	0,6
C-7	Construcciones complementarias con un área de fundación menor a 50 m <sup>2</sup>	1	1
C-7	Puentes con luces de hasta 35 m	1 en cada pila o estribo	-
C-8	Puentes con luces mayores de 35 m y/o con calzadas separadas (tableros paralelos)	dos en cada pila o estribo	-
C-9	Obras portuarias discontinuas	una en cada estructura	1,0
C-10	Líneas de transmisión eléctrica	una en cada torre	-
C-11	Obras lineales	3 ó 1 c/50 m	-
C-12	Estructuras tipo péndulo invertido	2	-

Tabla 3.2. Distancias máximas entre puntos de reconocimiento según tipo de terreno.

<b>Grupo</b>	<b>Distancia</b>	<b>Ejemplo</b>
T-1: Variabilidad baja	$l_0 = 30$ a $40$ m	Grandes llanuras loésicas
T-2: Variabilidad media	$l_0 = 20$ a $30$ m	Coladas basálticas
T-3: Variabilidad alta	$l_0 = 20$ m	Antiguas llanuras de inundación de ríos divagantes

**Tabla 3.2. Distancias máximas entre puntos de reconocimiento según tipo de terreno.**

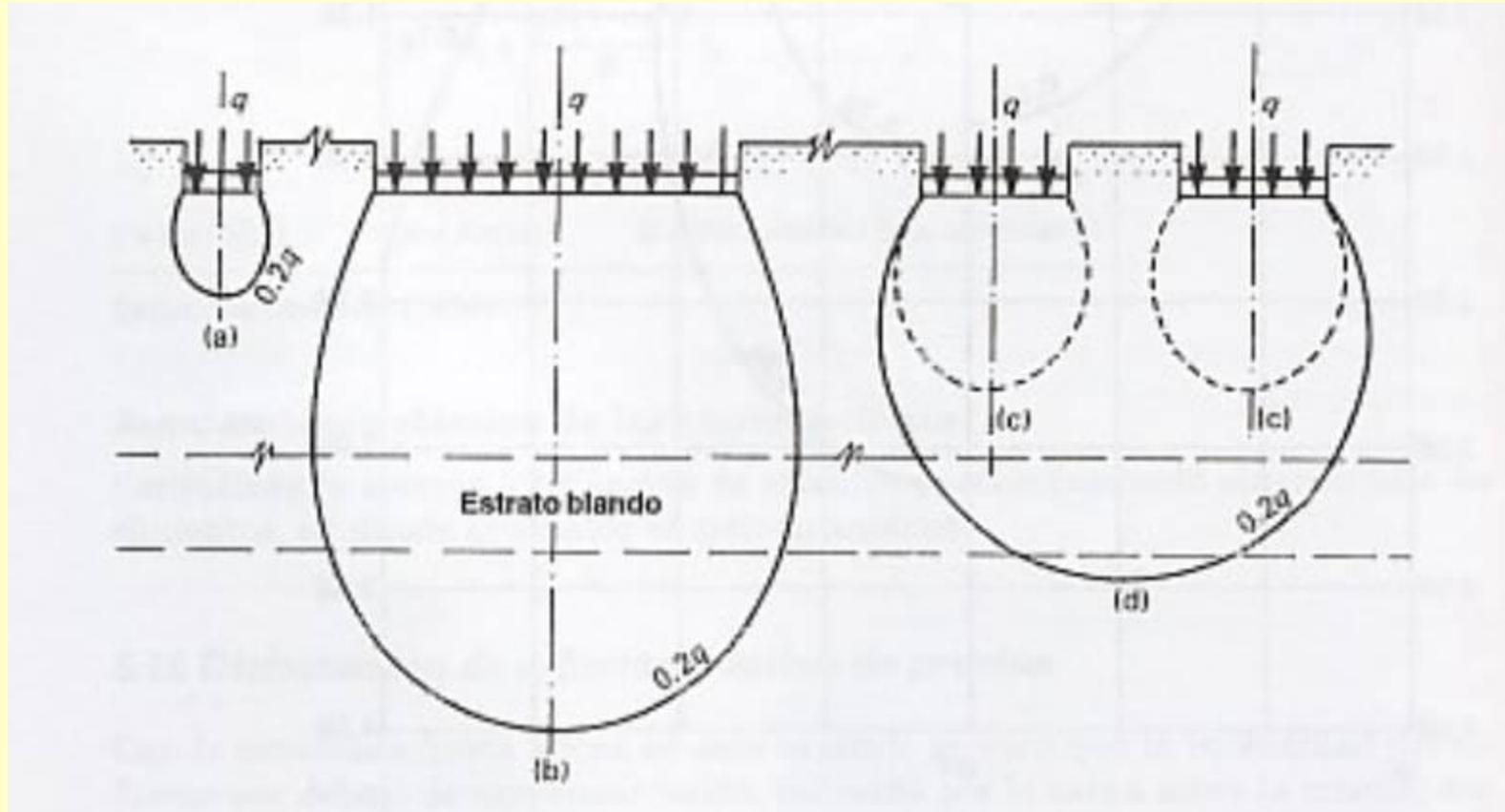
Grupo	Descripción del terreno
T-1: Terrenos de variabilidad baja  $I_o = 30 - 40 \text{ m}$	Sedimentos finos consolidados (margas, arcillas, limos, loess cementado, etc.), relieve suave y gran espesor.
	Terrazas de grandes ríos en su curso medio o bajo.
	Rocas sedimentarias (areniscas, arcillitas, limolitas, etc.)
	Depósitos granulares gruesos no fluviales, con contenido significativo de suelos y/o agregados finos.
T-2: Terrenos de variabilidad media  $I_o = 20 - 30 \text{ m}$	Deltas y estuarios de grandes ríos.
	Depósitos costeros eólicos, dunas.
	Depósitos al pie de ladera, salida de barrancos.
	Suelos residuales.
	Coladas basálticas.
	Rocas blandas no estratificadas.
T-3: Terrenos de variabilidad alta  $I_o = 20 \text{ m}$	Cauces, terrazas y deltas de ríos torrenciales
	Antiguas llanuras de inundación de ríos divagantes (con meandros).
	Morenas y depósitos glaciares.
	Alternancia de gravas y suelos finos en laderas suaves no fluviales.
	Terrenos yesíferos con problemas de disolución.
	Suelos residuales sobre granitos o calizas en la meseta.
	Calizas con problemas de disolución (Karst)
	Terrenos volcánicos.
	Suelos colapsables, licuefaccionables
	Suelos expansivos.
	Turbas y suelos no comprendidos en los puntos anteriores

# Profundidad de las perforaciones

- Función del tamaño de la fundación
  - Depende si en el subsuelo hay capas de arcilla blanda

Importante: tomar nota si se alcanza el nivel de la napa freática

# Profundidad de las perforaciones



# Profundidad de las perforaciones CIRSOC 401

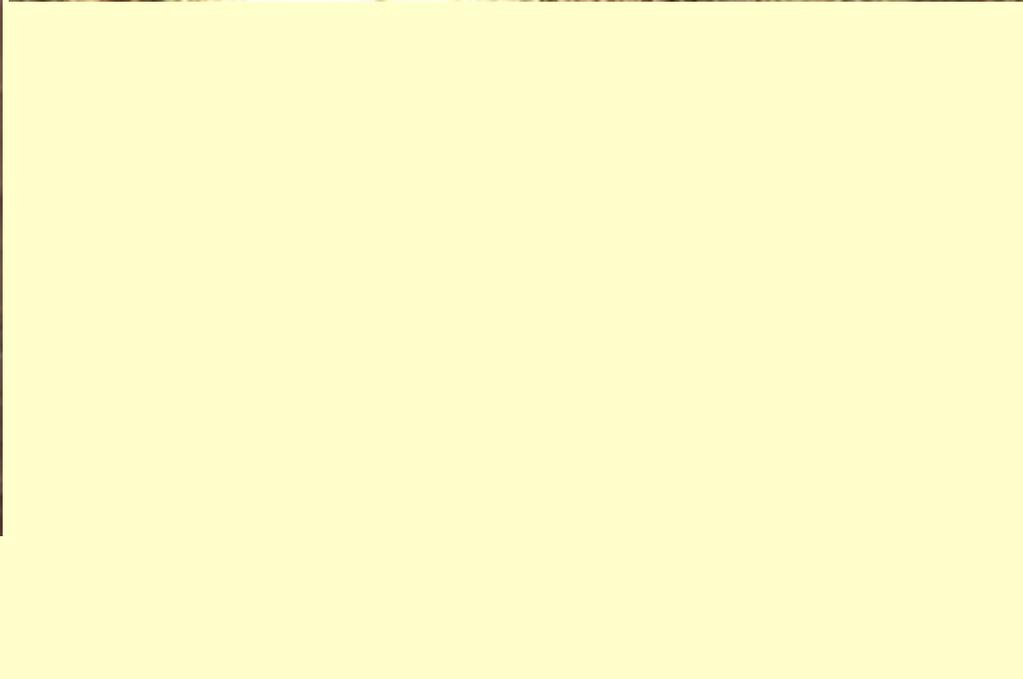
- La profundidad de investigación será mayor o igual al máximo entre:
  - seis metros (6m)
  - la profundidad del plano de fundación más dos (2) veces el ancho de la mayor zapata individual o del grupo de pilotes, o diez (10) veces el diámetro del pilote aislado.
  - la profundidad a la que el incremento de tensión efectiva vertical debido a la carga actuante sobre la fundación sea igual al 10% de la presión efectiva de tapada, para suelos cohesivos.
  - la profundidad a la que el incremento de tensión efectiva vertical debido a la carga actuante sobre la fundación sea igual al 20% de la presión efectiva de tapada, para suelos granulares.
- Conductos: La profundidad de investigación será, como mínimo, la profundidad de fundación del conducto más el ancho de la zanja.

# Exploración del subsuelo

- Excavaciones a cielo abierto, calicatas, trincheras
- Perforaciones
- Métodos geofísicos

# Excavaciones a cielo abierto









# Métodos de avance para ejecutar perforaciones

- Manual
- Con inyección de agua
- Con rotación o percusión

# Avance con barrenos





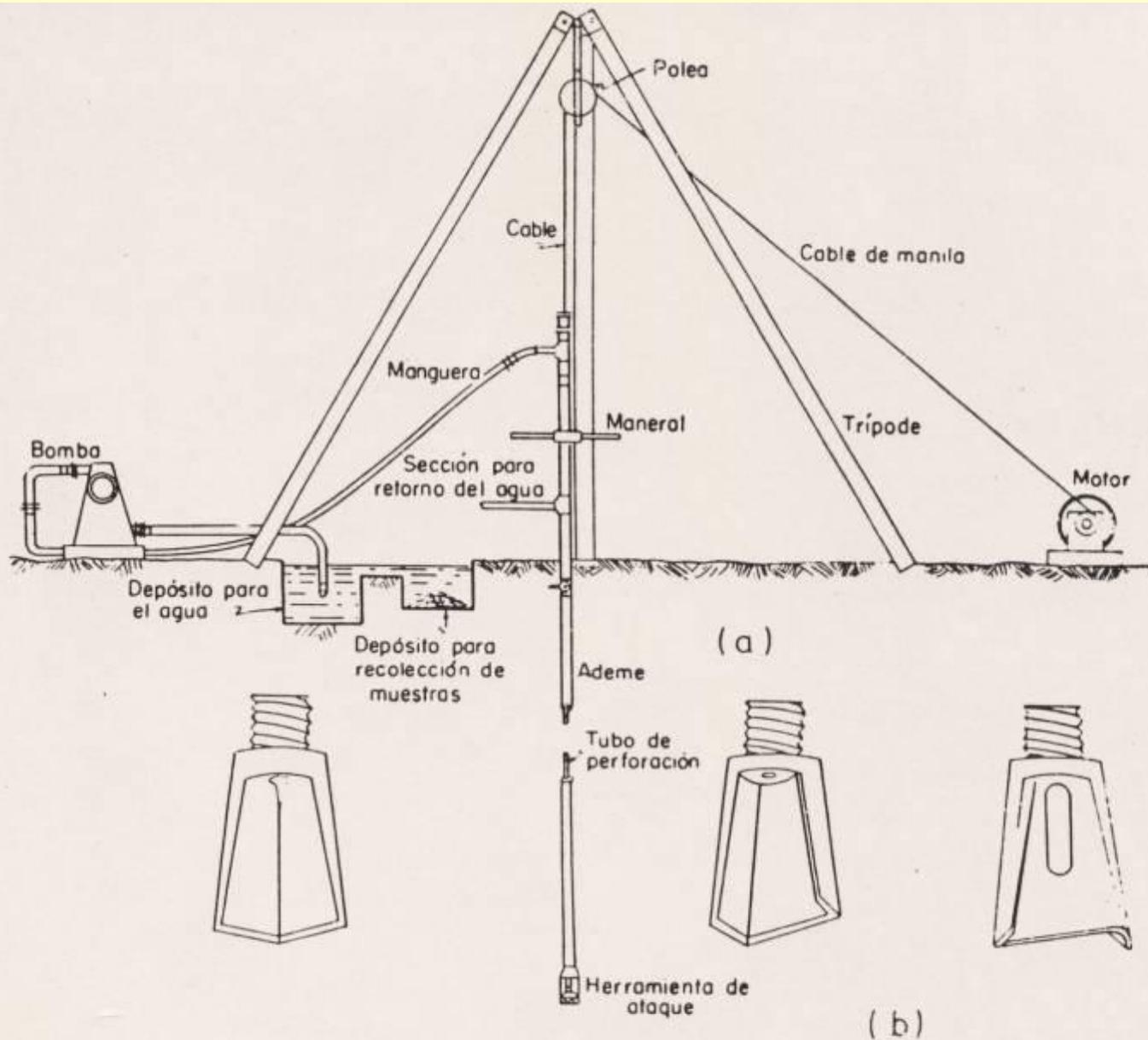
# Avance con barrenos



# Avance con inyección de agua



[Video avance de perforación con inyección de agua](#)



Dispositivo para el sondeo por lavado

a) Conjunto

b) Barrenos de perforación

# Avance con percusión o rotación



Avance con  
máquina rotativa







# Métodos geofísicos

- Los métodos geofísicos se emplean en estudios geotécnicos para analizar los siguientes aspectos:
  - Evaluación del perfil geotécnico del subsuelo hasta profundidades generalmente menores a 100 m, ajustándose a correlaciones con perforaciones o cateos directos.
  - Localización de inclusiones, anomalías o discontinuidades.
  - Determinación de la velocidad de propagación de la onda de corte.
  - Aplicaciones Geoambientales

# Métodos geofísicos

- Los más relevantes desde el punto de vista geotécnico son:
  - Reflexión y Refracción Sísmica: para determinar la interfaz entre materiales de diferente velocidad de onda mecánica incidente y la velocidad de propagación de ondas mecánicas en los diferentes materiales.
  - Análisis Espectral de Ondas de Superficie (SASW): permite estimar la secuencia estratigráfica del sitio
  - Resistividad eléctrica: permite obtener la variación de la resistividad eléctrica en profundidad a lo largo de una línea vertical (Sondeo Eléctrico Vertical)

# Métodos geofísicos



# Métodos geofísicos



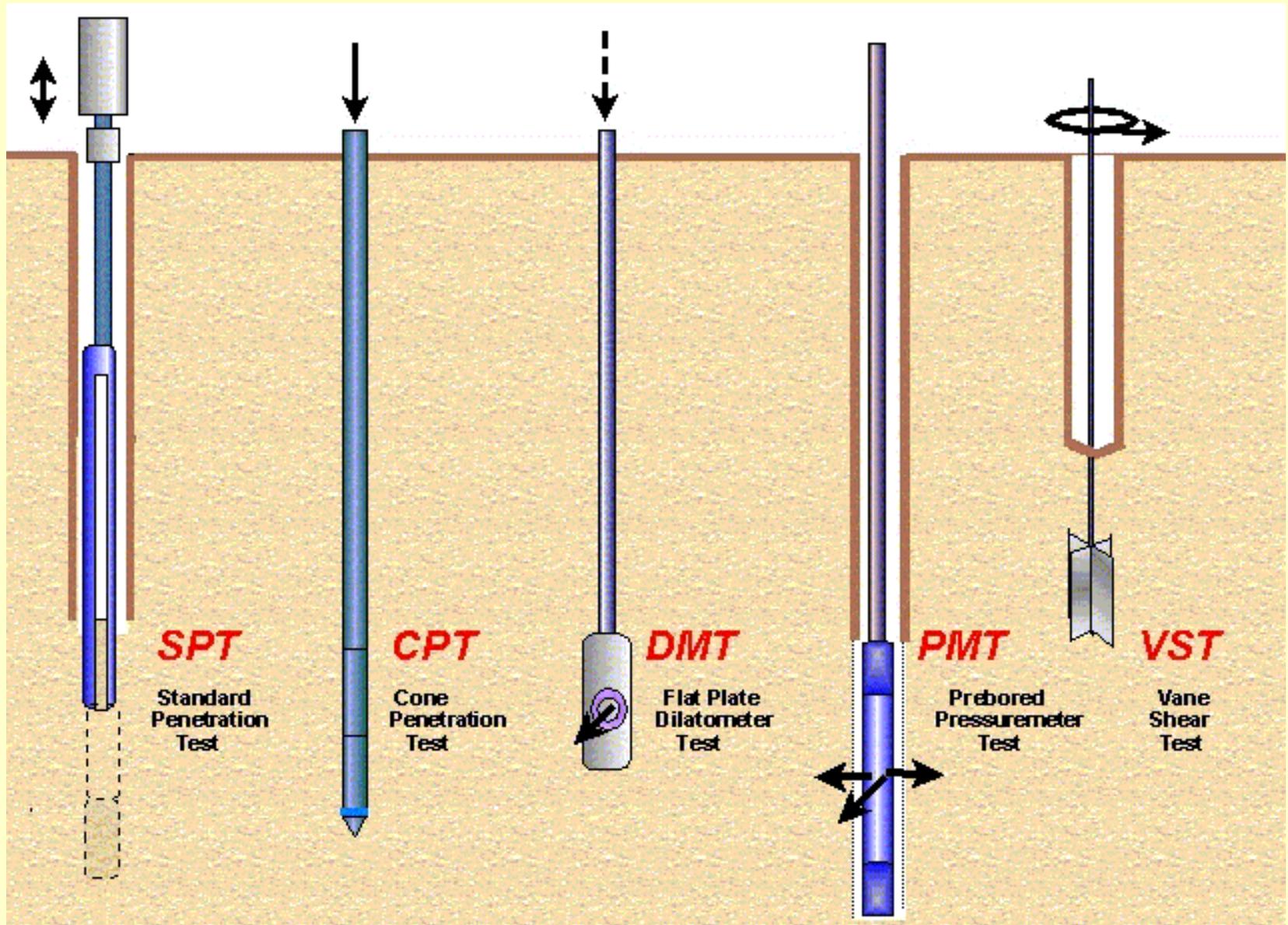
# Ensayos de suelos

- “In situ”
- En laboratorio

# Ensayos in situ

- Identificación
- Penetración standard SPT
- Penetración de Cono (CPT)
- Ensayo de carga (placa- pilote) (PLT)
- Veleta de corte (VST)
- Presiómetro (PMT)
- Dilatómetro (DMT)
- Densidad "in situ"
- Observaciones del agua subterránea  
(nivel del agua- presión de poro-  
permeabilidad)

# Ensayos in situ



# Ensayo "in situ" SPT



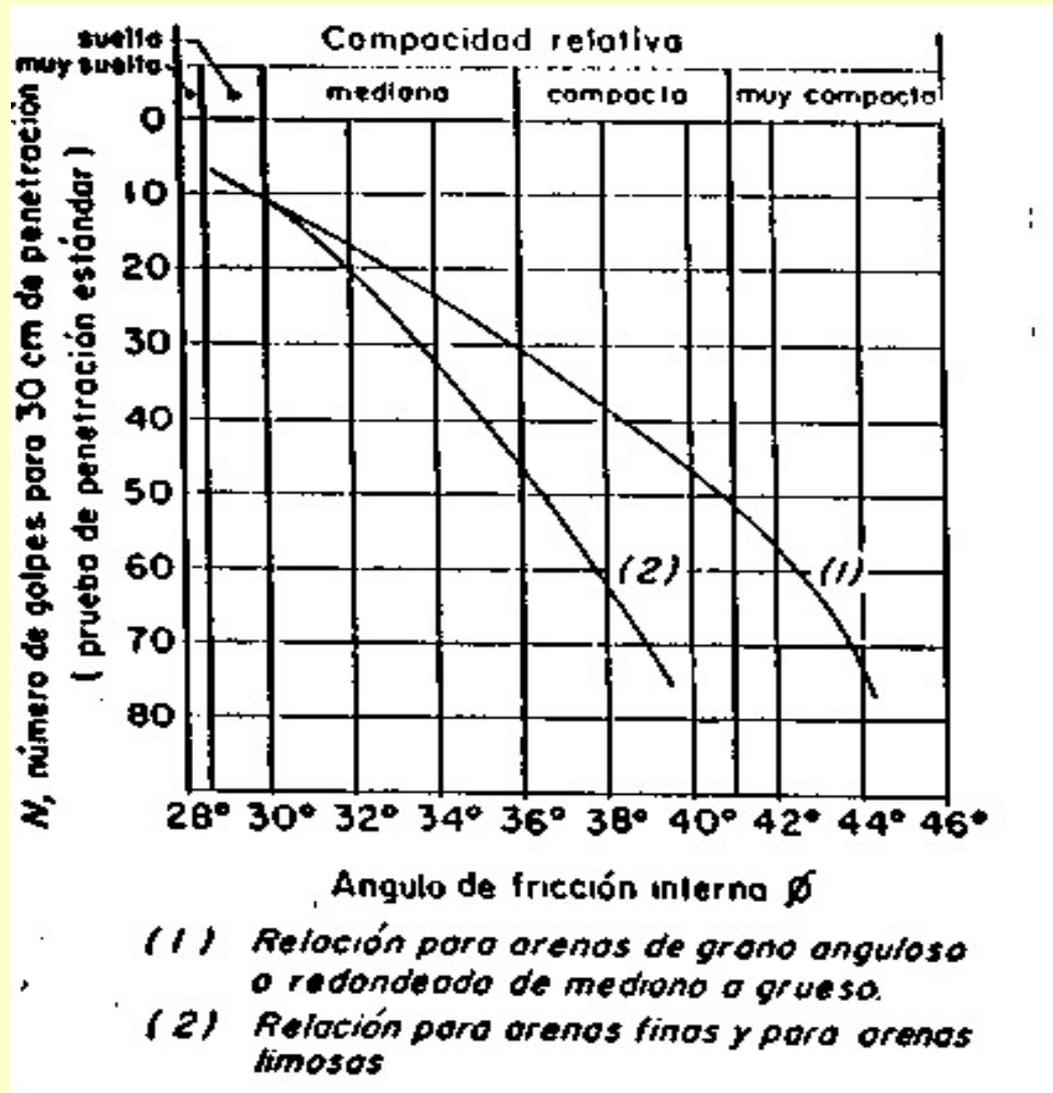
- Masa de 140lb (63,5 kg)
- Caída de 30" (76cm)
- Se cuenta el número de golpes para hincar el tomamuestras 45 cm, en 3 secuencias de 15cm cada una.

([link video](#))

■ **N** es el número de golpes necesarios para que el tomamuestra penetre los últimos 30 cm en el suelo. Por ejemplo:

Profundidad	15cm	15cm	15cm	<b>N</b>
1m a 1,45m	4	5	5	10
2m a 2,45m	5	5	7	12
3m a 3,45m	6	8	7	15

# Correlación entre el SPT y el ángulo de fricción interna de las arenas



# Relación entre la consistencia de arcillas saturadas, N y la resistencia a la compresión simple

Consistencia	N	$q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Muy blanda	<2	<0.25
Blanda	2-4	0.25-0.50
Med. Compacta	4-8	0.50-1.00
Compacta	8-15	1.00-2.00
Muy compacta	15-30	2.00-4.00
dura	>30	>4.00

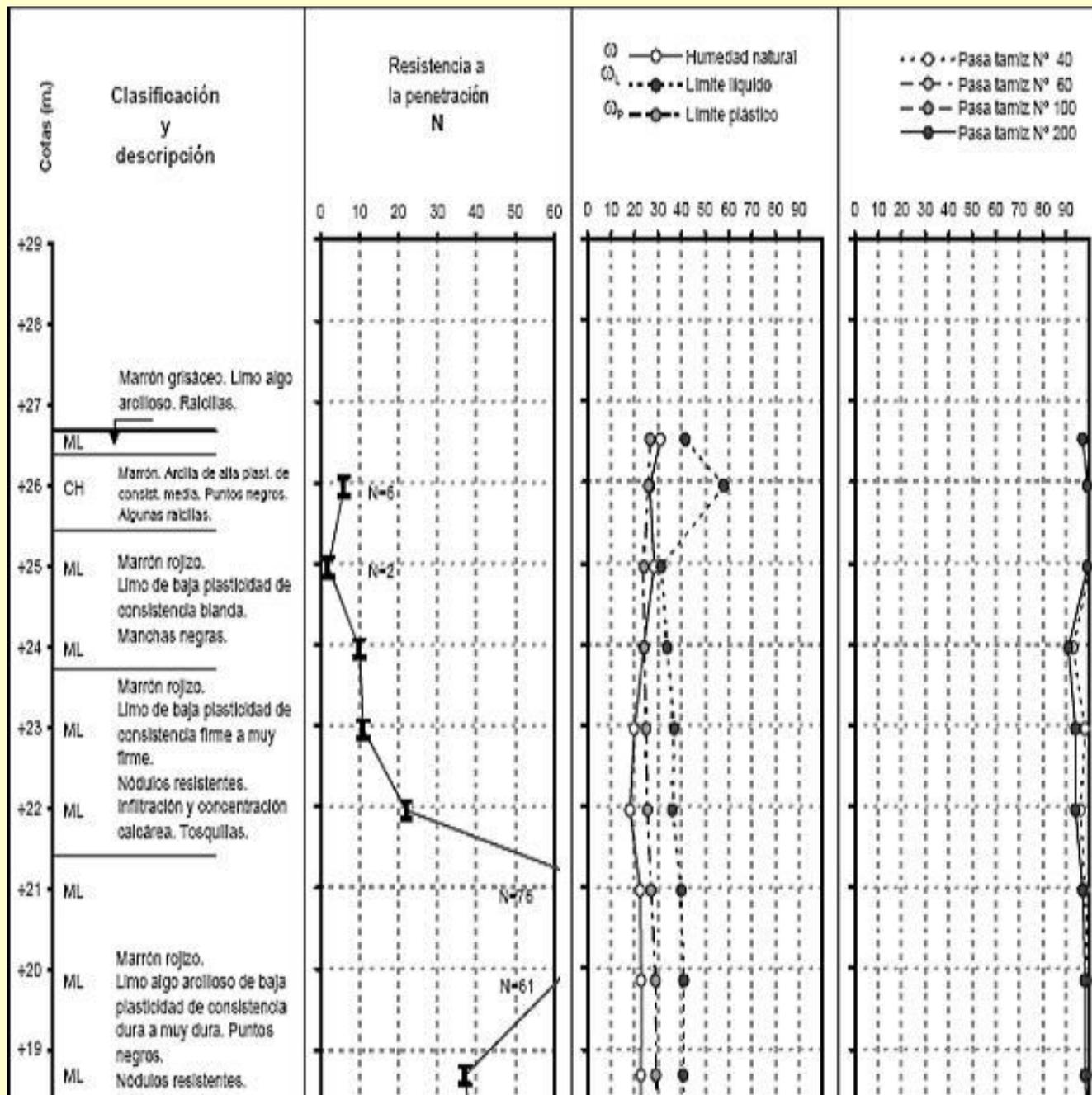
# Correcciones al valor N del ensayo S.P.T.

Corrección por sistema de lanzar el pisón

$$N_{60} = C_{HT} \times N$$

En Argentina con disparador manual

$$C_{HT} = 1,5$$



# Ensayos "in situ" con punta de cono

- Estáticos - CPT
- Dinámicos – DCP y DCPL

# Punta de cono





# Ensayos in situ

## ENSAYO DE PENETRACIÓN DINAMICA DE CONO LIVIANO(DCPL)

- Objetivo:
  - Reconocimiento rápido del terreno
  - Verificación de la compactación en obra
  - Detección e identificación de anomalías en capas construidas
  - Evaluación de pavimentos existentes
  - Identificación de tramos homogéneos con características estructurales similares



## **DCPL**

□ Masa de 8kg

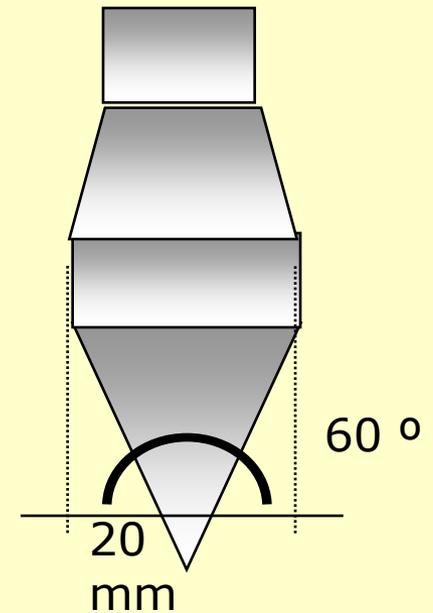
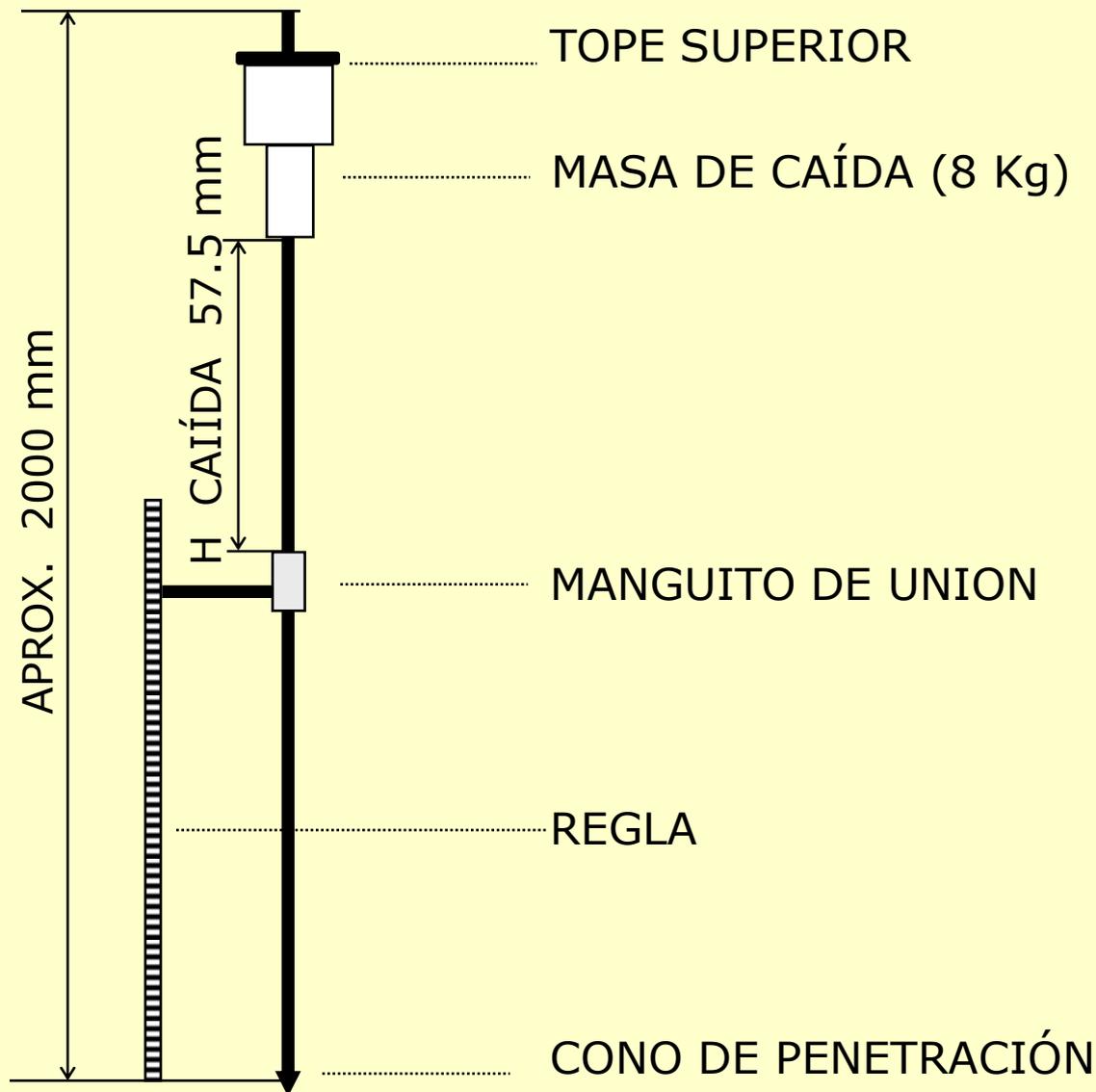
□ Caída de 575 mm

# Ensayos in situ

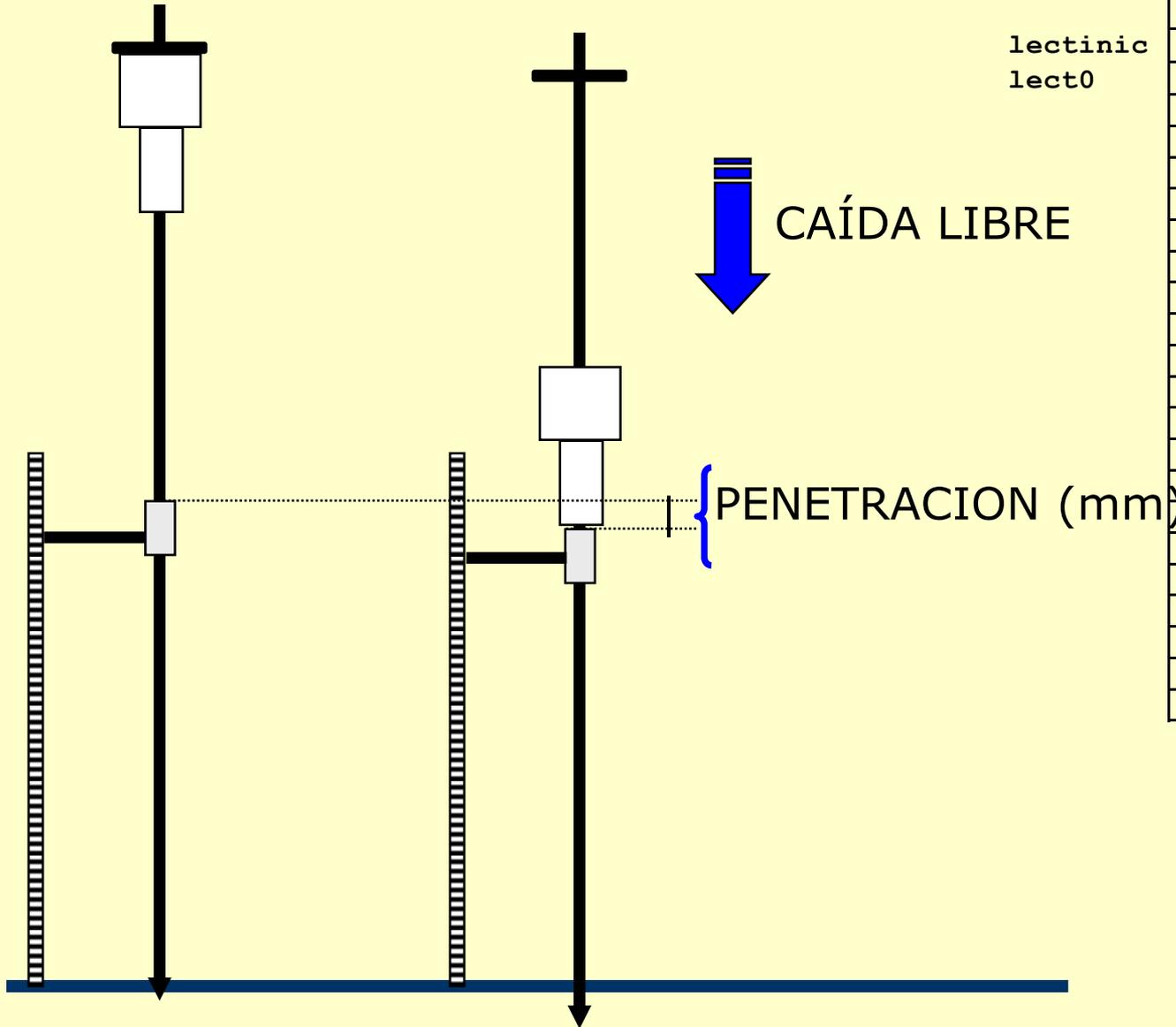
## ENSAYO DE PENETRACIÓN DINAMICA DE CONO (DCPL)

- se ejecuta de manera continua y por lo tanto brinda información continua del perfil del terreno
- No se obtienen muestras
- El resultado del ensayo se denomina DN (mm/golpe)

# Descripción del equipo DCPL



# Operatoria de campo



Lectura mm	Nº golpes
1105	
1002	5
960	5
920	5
910	5
869	5
828	5
790	5
740	3
705	3
664	3
623	3
582	3
544	3
435	3
401	1
364	1
325	1
280	1
236	1
189	1
143	1

# Interpretación De Resultados

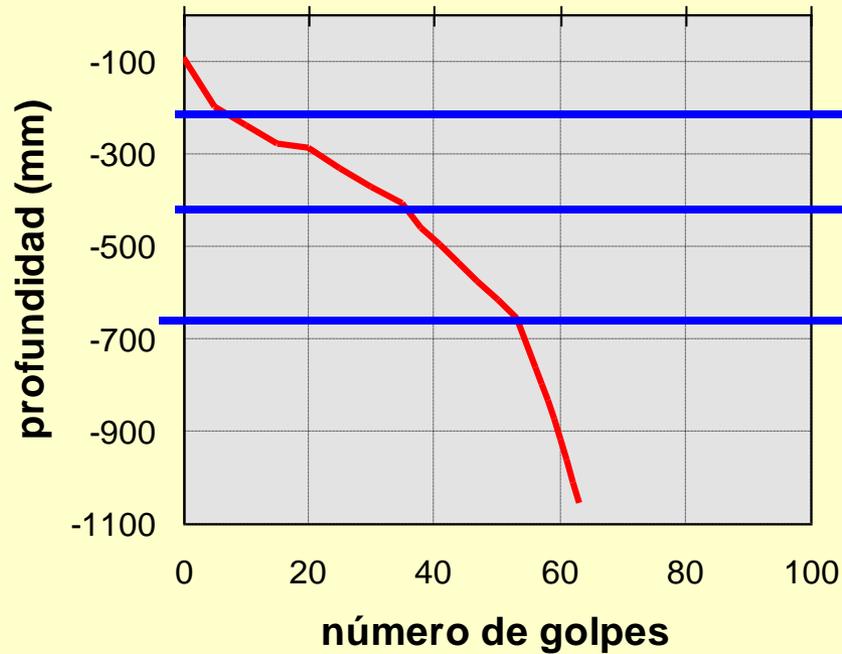
INDICE DE PENETRACION (DN)

$$DN = \frac{\text{Penetración en mm}}{\text{N}^{\circ} \text{ de golpes}}$$

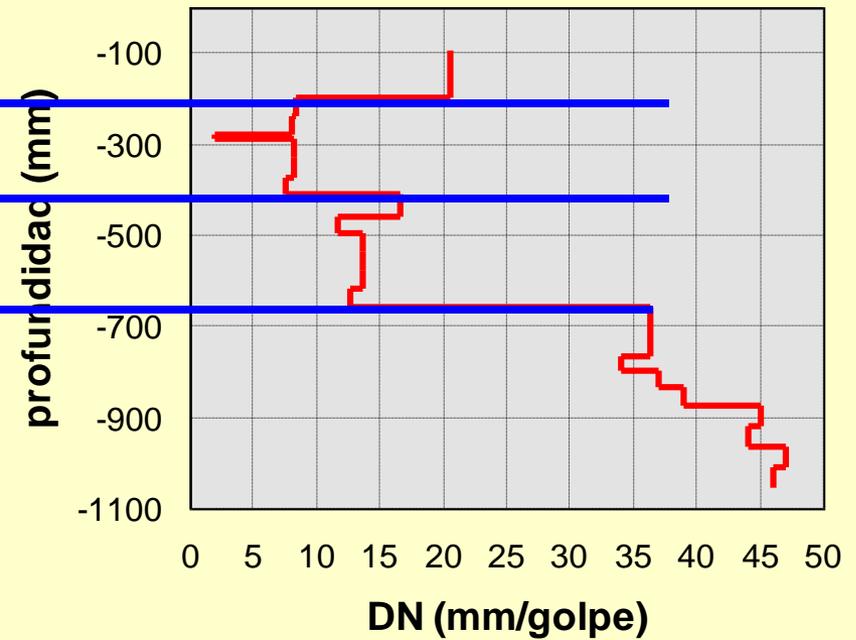
$$DN = \frac{25 \text{ mm}}{5 \text{ golpes}} = 5 \frac{\text{mm}}{\text{golpe}}$$

# Interpretación de resultados

## Profundidad vs N<sup>o</sup> golpes



## Profundidad vs DN



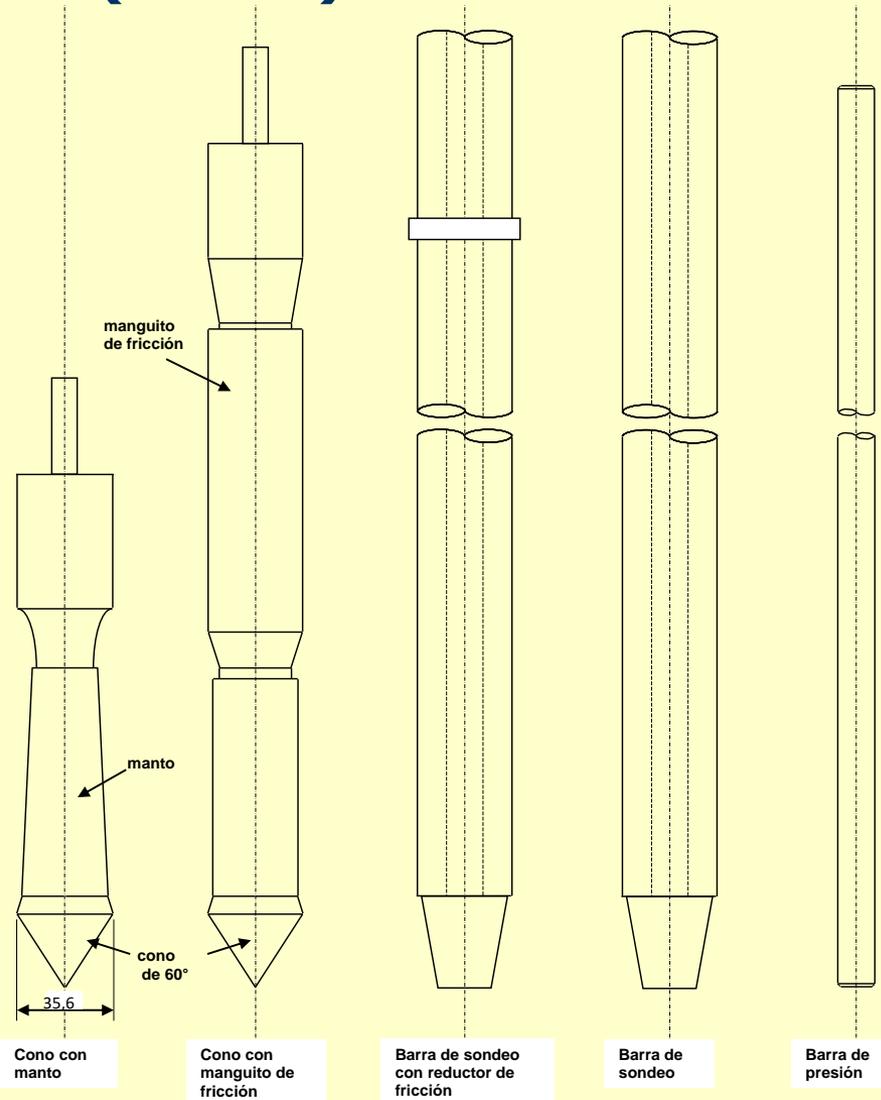
# Ensayos in situ

## ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁTICA DE CONO (CPT)

- La información que se obtiene consta, en la mayoría de los casos, de tres números: resistencia a la penetración de la punta, fricción lateral y presión neutra.
- No se extraen muestras por lo que usualmente se ejecuta en combinación con perforaciones o calicatas. Eventualmente puede inferirse el tipo de suelo atravesado mediante el empleo de correlaciones validadas.
- En algunos casos el cono se equipa con sensores que permiten la ejecución de ensayos geofísicos.
- Se aplica en suelos finos muy blandos a duros y en arenas muy sueltas a densas.
- La limitación del ensayo está dada por la capacidad de penetración en suelos de compacidad elevada, cementados o con partículas gruesas.

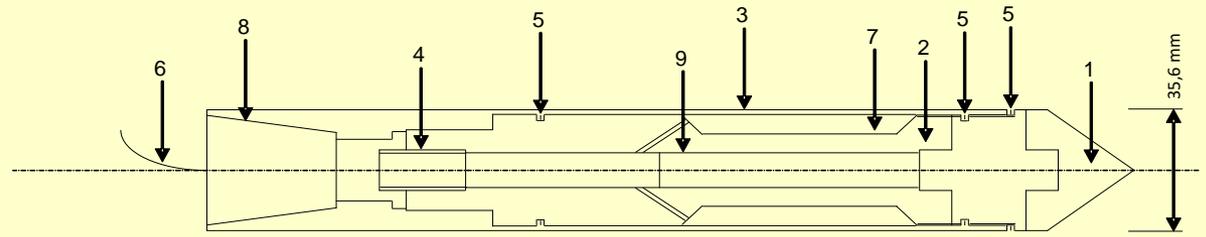
# ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁTICA DE CONO (CPT)

Penetrómetro de cono holandés mecánico  
(cono con manto y cono deslizante para fricción)



# ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁTICA DE CONO (CPT)

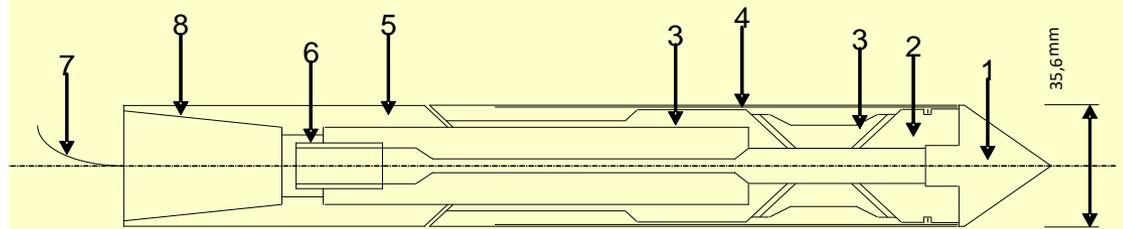
## ■ Penetrómetro de cono holandés electrónico



- |    |                           |    |                   |
|----|---------------------------|----|-------------------|
| 1. | Cono                      | 6. | Cable             |
| 2. | Celda de carga            | 7. | Strain gauge      |
| 3. | Manto                     | 8. | Conexión a barras |
| 4. | Impermeabilizante         | 9. | Inclinómetro      |
| 5. | Aros selladores "O-rings" |    |                   |

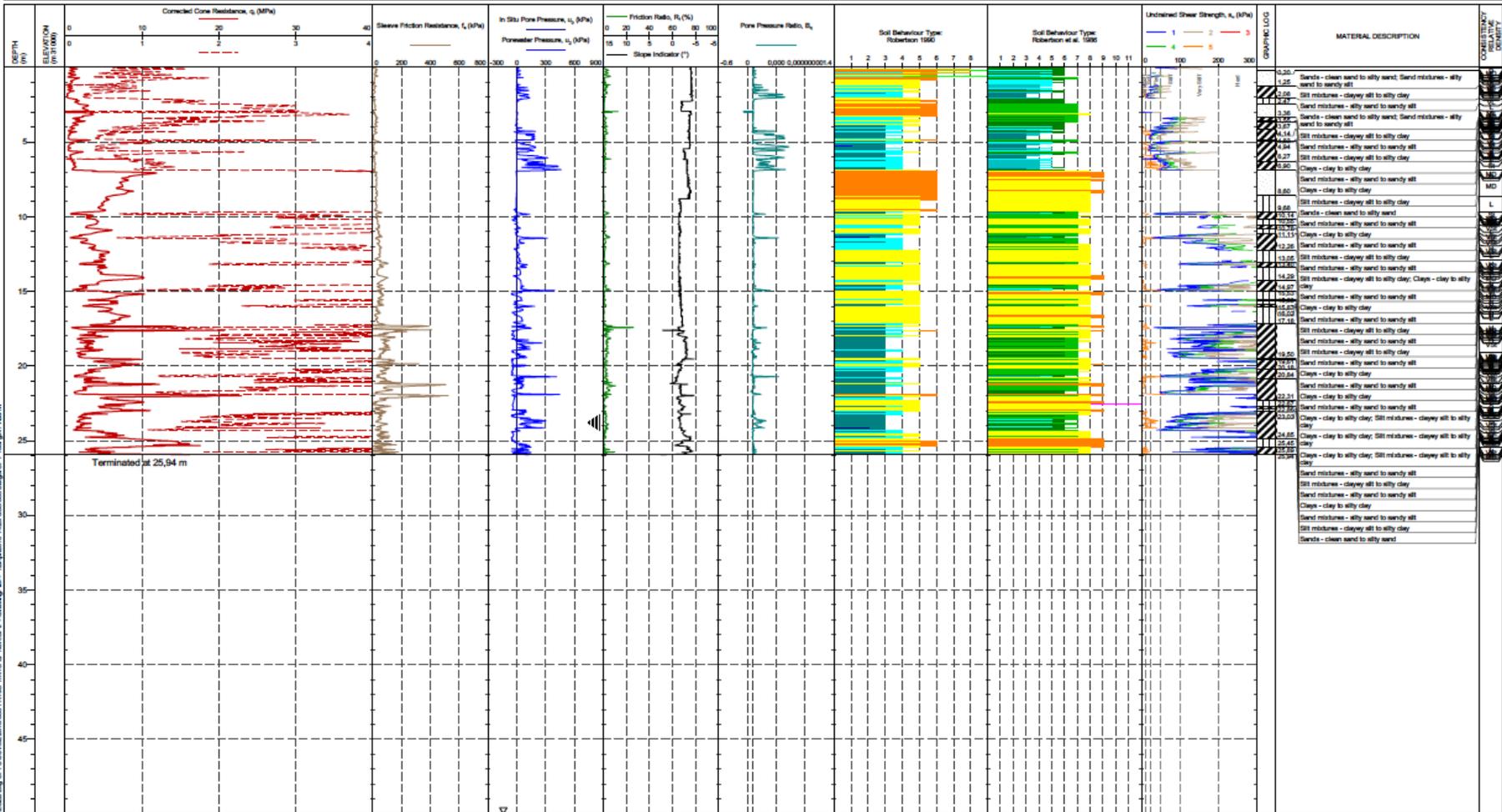


**Cono eléctrico para medición de resistencia de punta e inclinación**



- |    |                |    |                   |
|----|----------------|----|-------------------|
| 1. | Cono           | 5. | Aro de sujeción   |
| 2. | Celda de carga | 6. | Impermeabilizante |
| 3. | Strain gauge   | 7. | Cable             |
| 4. | Manguito       | 8. | Conexión a barras |

**Cono eléctrico para medición de resistencia de punta y friccional**



Ejemplo de gráfico CPTU con parámetros primarios, derivados e interpretados

# Muestreo- Tipo de muestras obtenidas

- Alteradas



- Inalteradas



# Muestras de suelo inalteradas



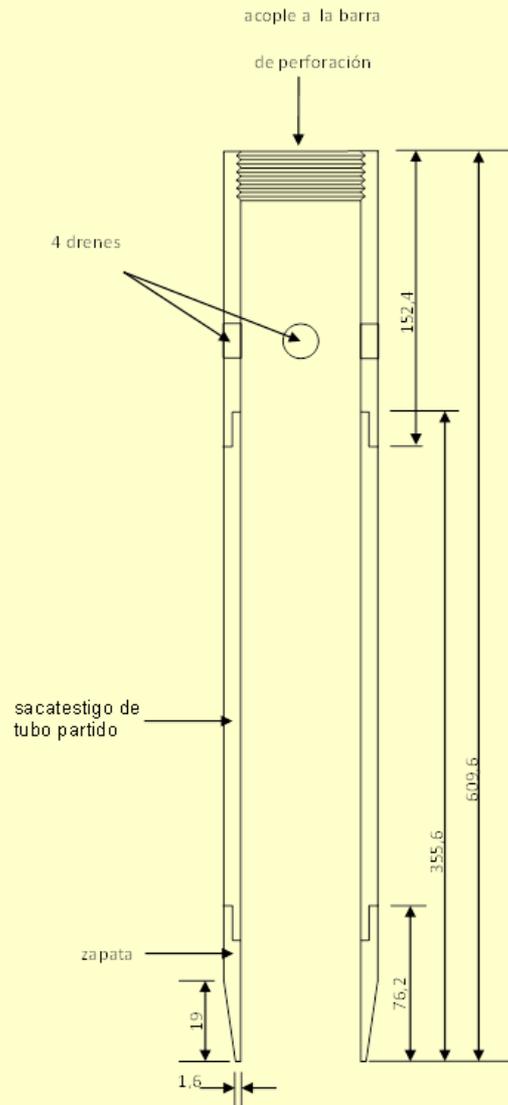
# Tomamuestra Terzaghi



# Tomamuestra Terzaghi



# Tomamuestra Terzaghi

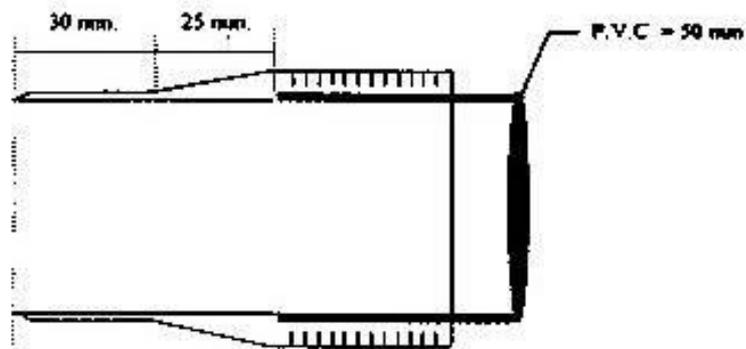


# Tomamuestra Moretto



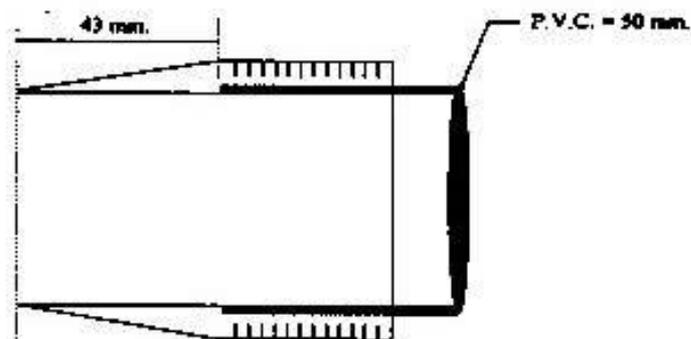
**PUNTA INTERCAMBIABLE MORETTO N° 2  
PARA SUELOS FINOS COHESIVOS COMPACTOS.**

**$8 < N < 15$**



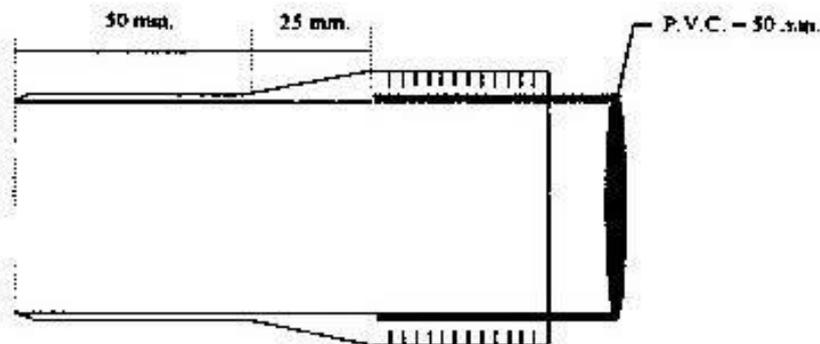
**PUNTA INTERCAMBIABLE MORETTO N° 4  
PARA ARENA LIMPIA, GRAVA FINA Y SUELOS  
COHESIVOS MUY DUROS**

**$N \geq 30$**



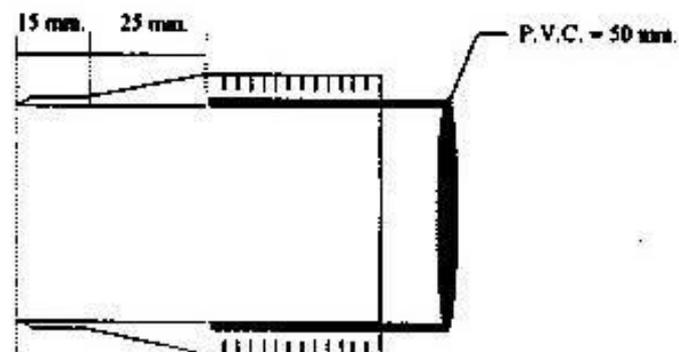
**PUNTA INTERCAMBIABLE MORETTO N° 1  
PARA SUELOS COHESIVOS BLANDOS A MEDIOS.**

**$N < 8$**

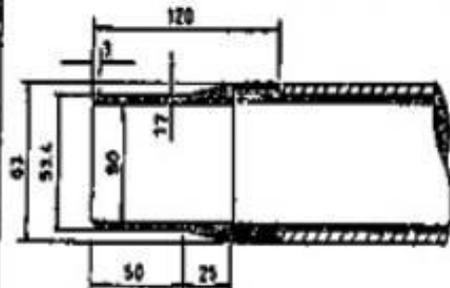


**PUNTA INTERCAMBIABLE MORETTO N° 3  
PARA SUELO COHESIVOS MUY COMPACTOS.**

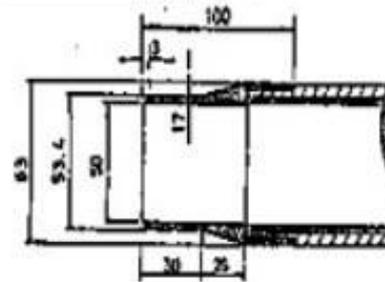
**$15 < N < 30$**



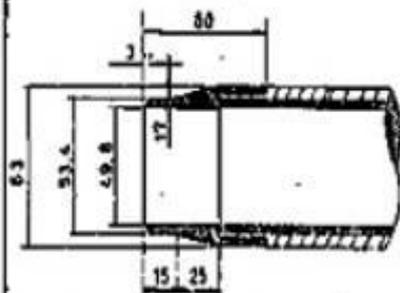
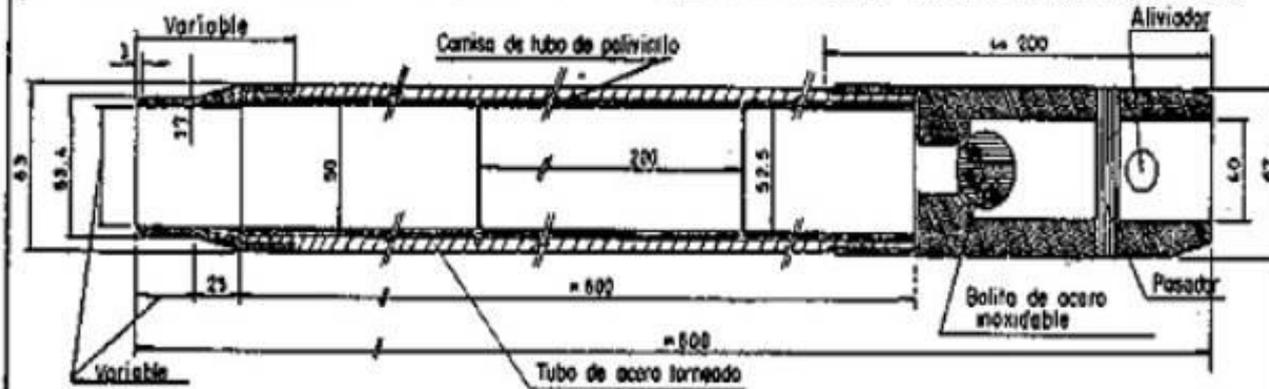
# TOMAMUESTRA DE PUNTAS INTERCAMBIABLES



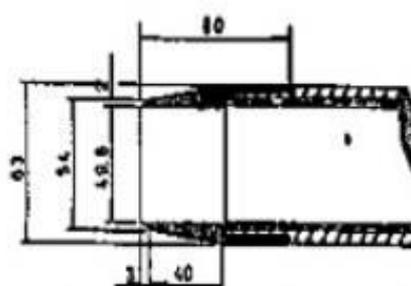
1) ZAPATO PARA SUELOS COHESIVOS BLANDOS A MEDIOS



2) ZAPATO PARA SUELOS COHESIVOS MEDIOS A RESISTENTES



3) ZAPATO PARA SUELOS COHESIVOS MUY RESISTENTES



4) ZAPATO PARA ARENA, GRAÑA FINA Y SUELOS COHESIVOS MUY DURIOS

Tomamuestra propuesto  
por el prof. O. Moretto



# Tomamuestra de pared delgada para suelos blandos

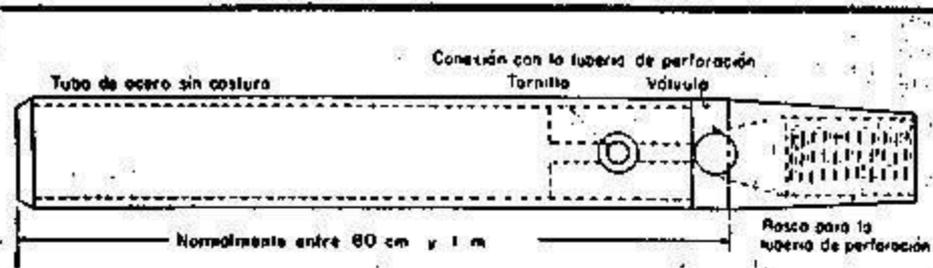
M.J. Hvorslev

- Hincado del tubo ejerciendo presión continuada, nunca golpes
- Grado de alteración depende de la "relación de áreas"

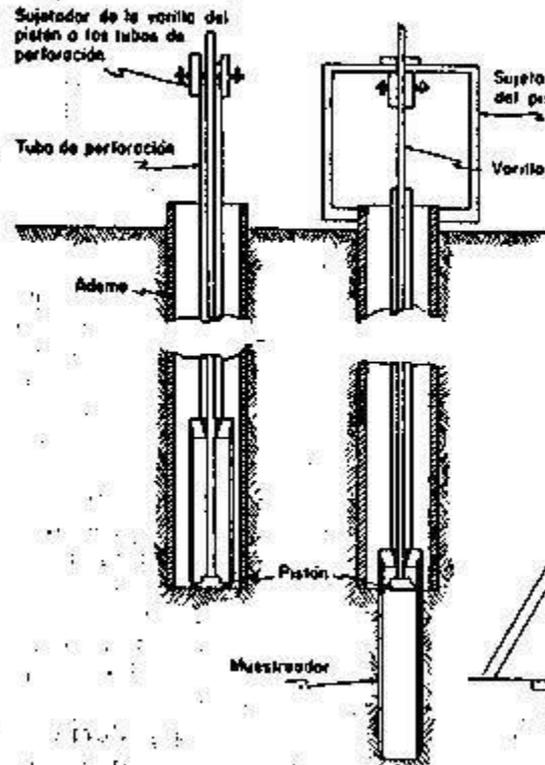
$$A_r (\%) = 100 \times (D_e^2 - D_i^2) / D_e^2$$

Para tomamuestras de 2"  $A_r < 10\%$

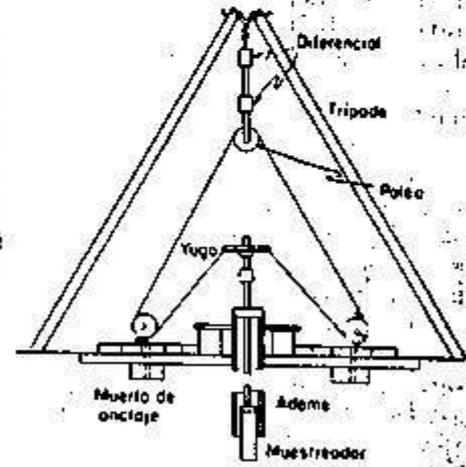




(a)



(b)



(c)

Muestreadores de tubo de pared delgada

a) Tipo Shelby

b) De pistón

c) Dispositivo de hincado por presión de un diferencial





# Tomamuestra Denison



# Toma de muestras de roca







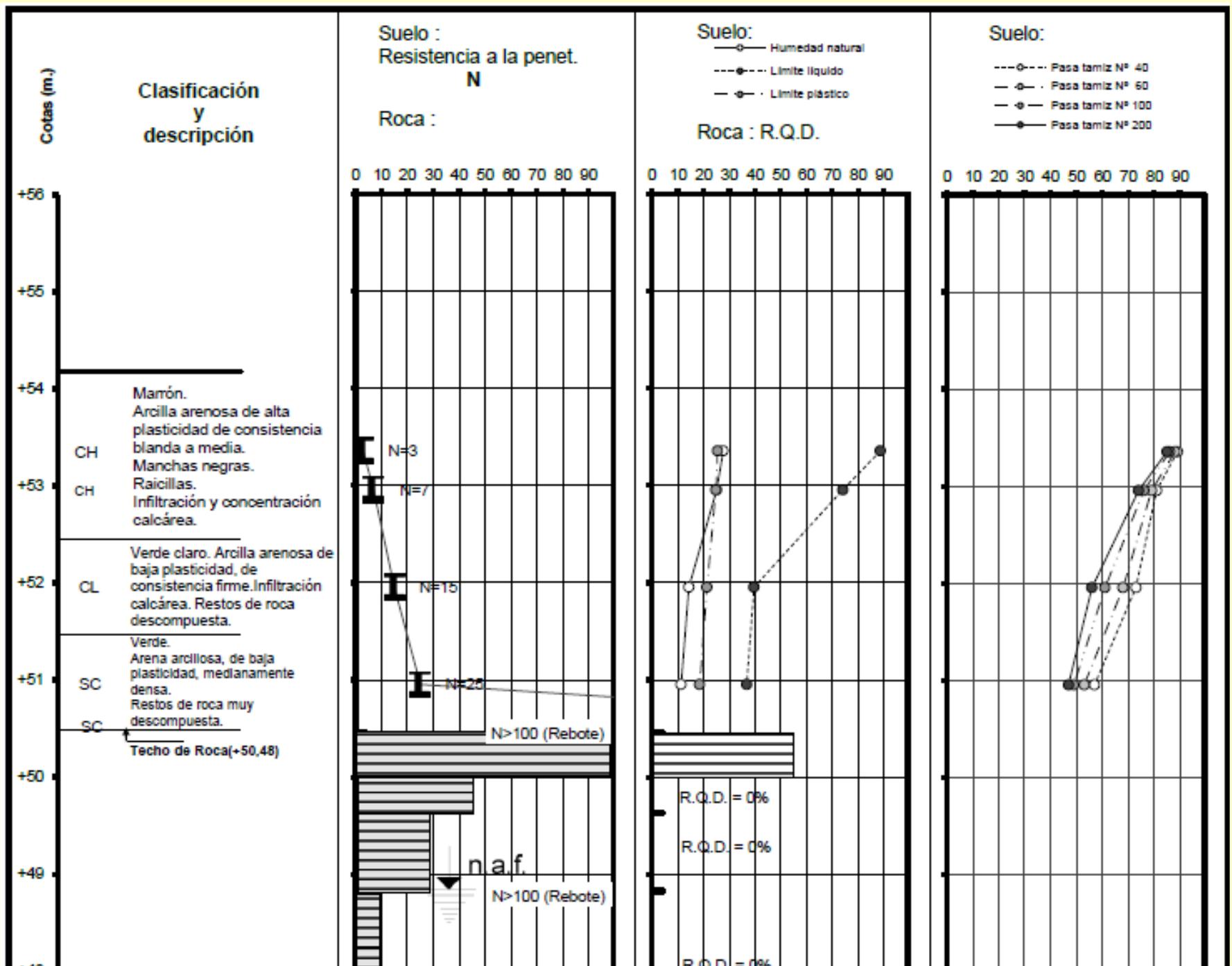
## PERFORACIÓN ST2

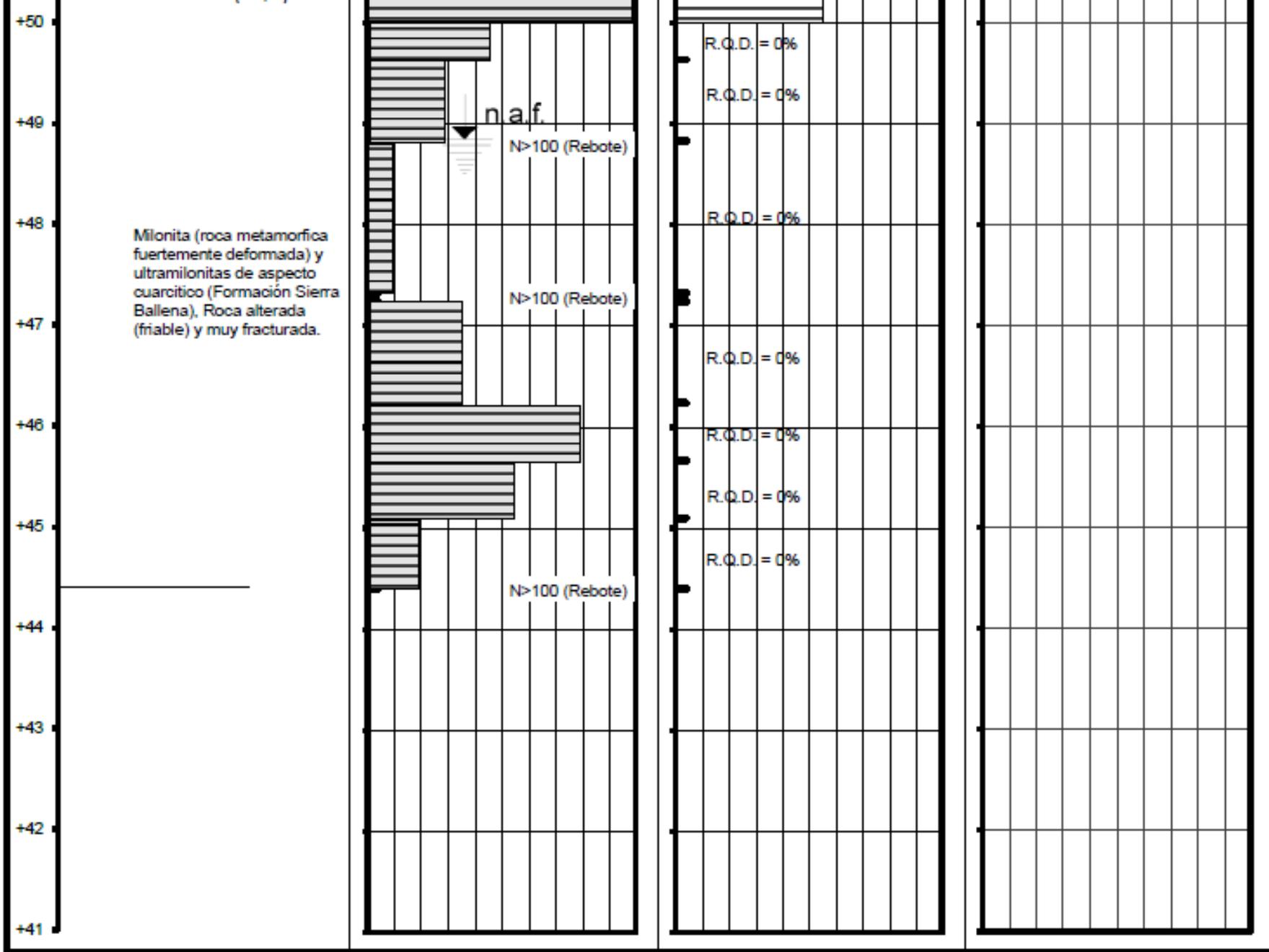


# Clasificación según calidad de la roca

$$\text{RQD} = \frac{\text{Relación entre la } \sum \text{ de los testigos } > 10\text{cm} \times 100}{\text{longitud de la carrera}}$$

RQD	Calidad de la roca
<25%	Muy pobre
25-50%	Pobre
50-75%	Buena
75-90%	Muy buena
90-100%	Excelente





Cotas (m.)

Boca: +54,18 m. Fondo: +44,40 m.

Napa: +48,83 m.

Perforación nº : P-455

# Instrumentación de campo

- Deformaciones
- Observaciones del agua subterránea  
(nivel del agua- presión de poro)

# Ensayos en laboratorio

- Humedad
- Densidad
- Granulometría
- Determinación de G
- Plasticidad
- Permeabilidad
- Consolidación
- Corte
- Químicos

# Calidad de las muestras de suelo de acuerdo al CIRSOC 401

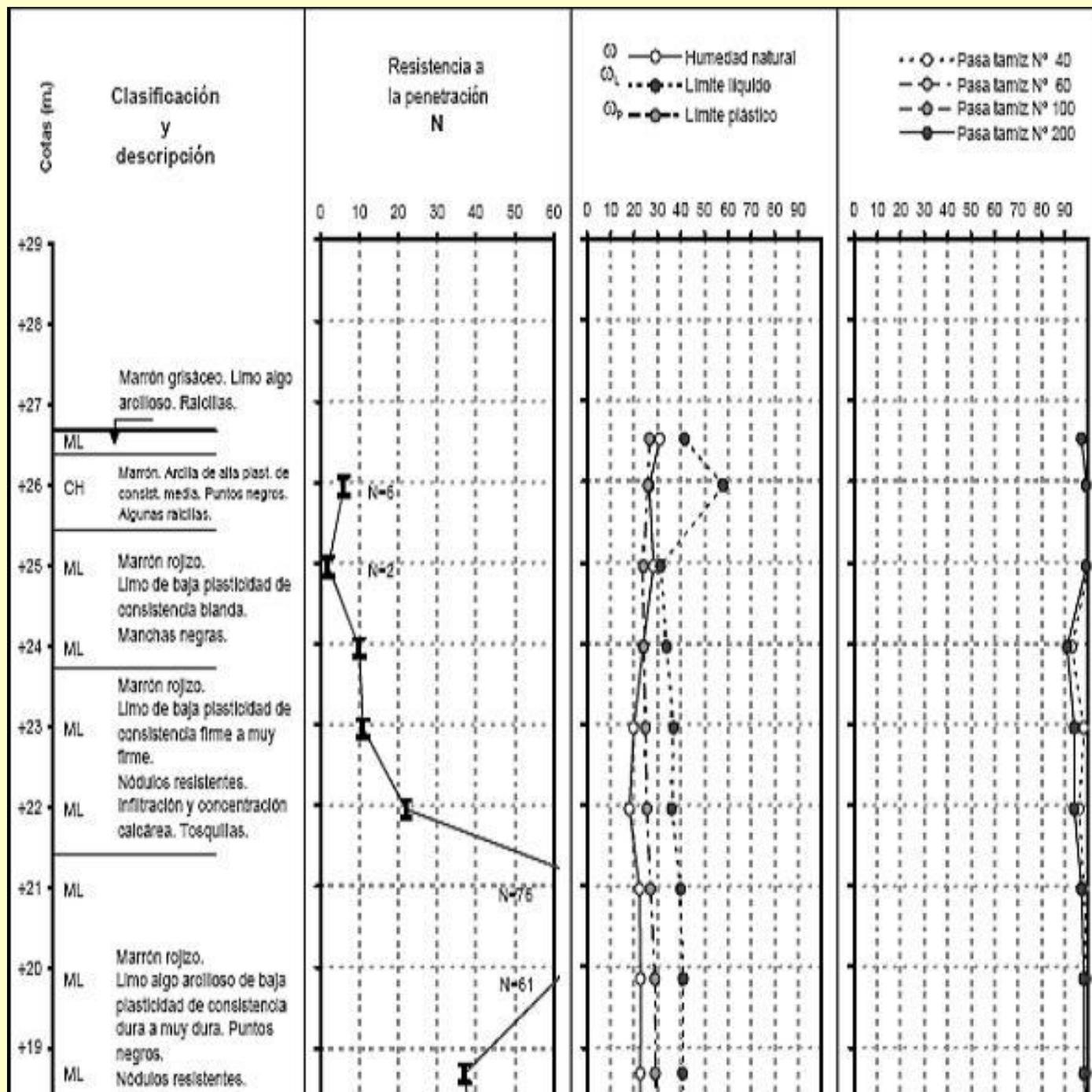
<b>Calidad</b>	<b>Propiedades que pueden ser determinadas de manera confiable</b>
<b>Clase 1</b>	Clasificación, humedad natural, pesos unitarios, parámetros de resistencia, rigidez y consolidación
<b>Clase 2</b>	Clasificación, humedad natural y pesos unitarios
<b>Clase 3</b>	Clasificación y humedad natural
<b>Clase 4</b>	Clasificación
<b>Clase 5</b>	Ninguna. Sólo para determinar secuencia estratigráfica

# Calidad de las muestras de roca de acuerdo al CIRSOC 401

<b>Calidad</b>	<b>Propiedades que pueden ser determinadas de manera confiable</b>
<b>Clase 1</b>	Clasificación petrográfica y mineralógica, densidad, absorción, porosidad, resistencia triaxial, módulo de deformación.
<b>Clase 2</b>	Clasificación petrográfica y mineralógica, densidad, absorción, porosidad, resistencia a la compresión simple.
<b>Clase 3</b>	Clasificación petrográfica y mineralógica, densidad, absorción. Ensayo de carga puntual.
<b>Clase 4</b>	Clasificación petrográfica y mineralógica.

# Informe de resultados

- Introducción
- Descripción de la obra
- Descripción del predio
- Marco geológico
- Ubicación de las auscultaciones
- Resultados de los trabajos de campo
- Resultados de los trabajos de laboratorio
- Descripción del perfil geotécnico
- Recomendaciones



Cotas (m.)

### Clasificación y descripción

Suelo :  
Resistencia a la penet.  
N

Roca :  
Recuperación total en %

Suelo:  
—○— Humedad natural  
—●— Límite líquido  
—▲— Límite plástico

Roca : R.Q.D.

Suelo:  
—○— Pasa tamiz Nº 40  
—●— Pasa tamiz Nº 60  
—▲— Pasa tamiz Nº 100  
—□— Pasa tamiz Nº 200

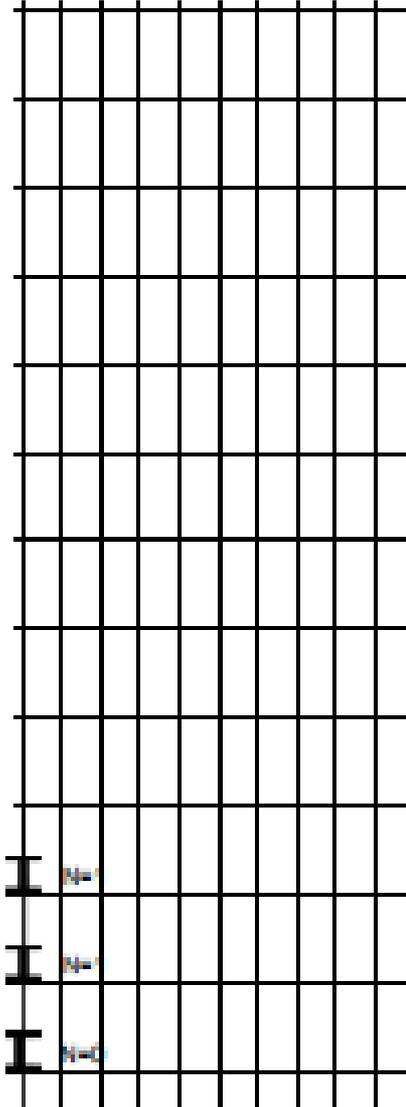


Cota pelo de agua (variable)  
+0,44 m. (29-05-14/ 09:40 hs.)

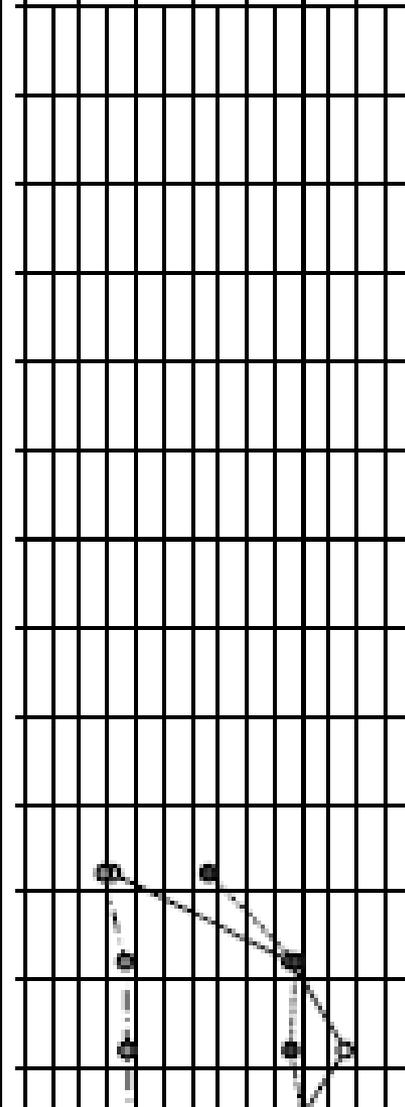
Cota Lecho del Río -4,58 m.

- CH  
Gris verdoso.
- CH  
Arcilla de alta plasticidad, de consistencia muy blanda.  
Zonas negras.  
Conchillas y láminas arenosas.
- CH

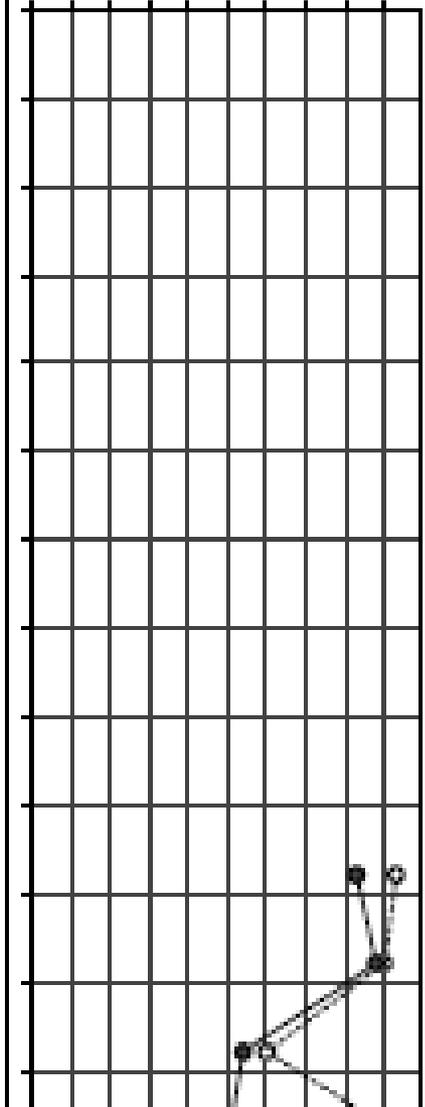
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90

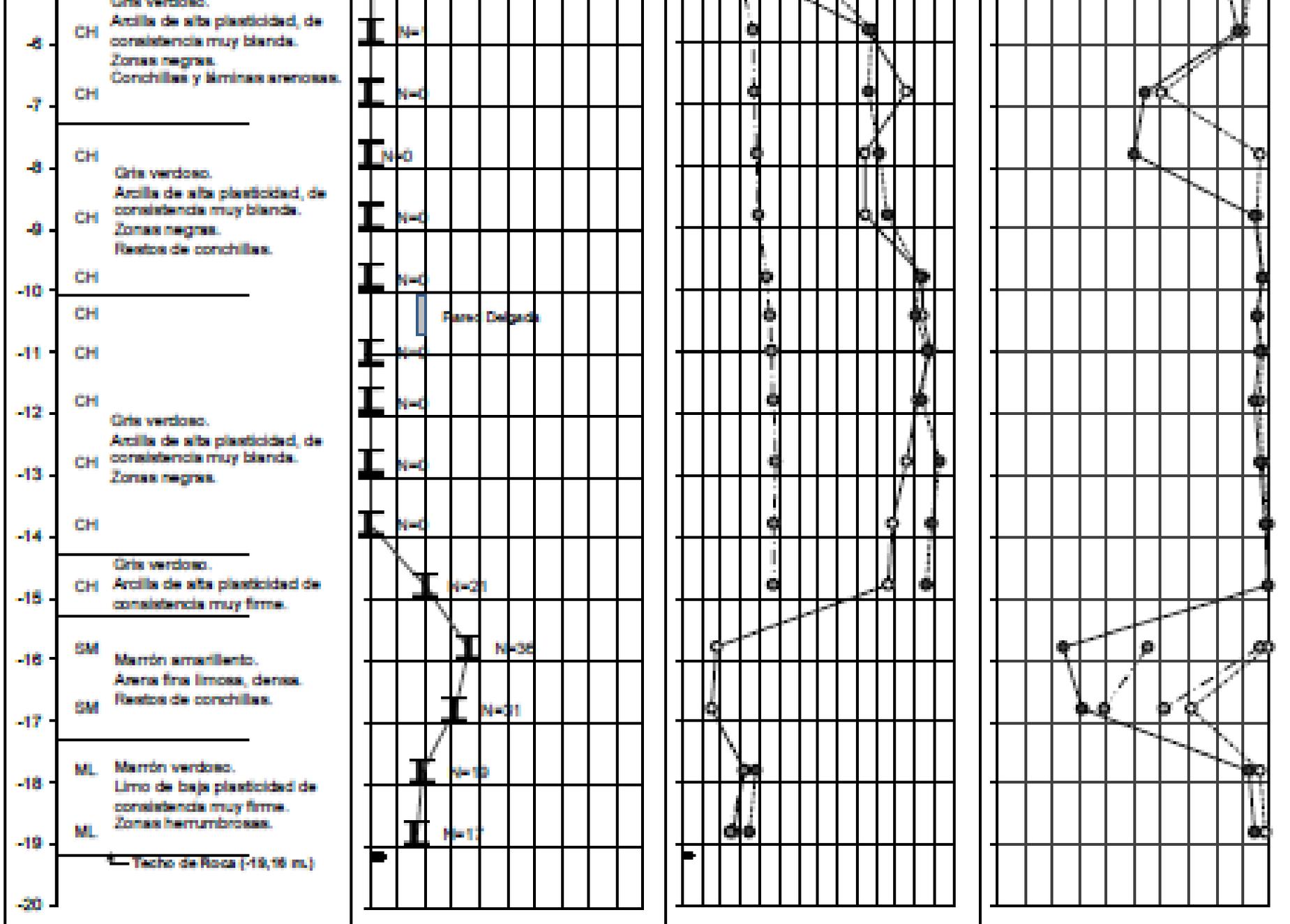


0 20 40 60 80 100 120



0 10 20 30 40 50 60 70 80 90





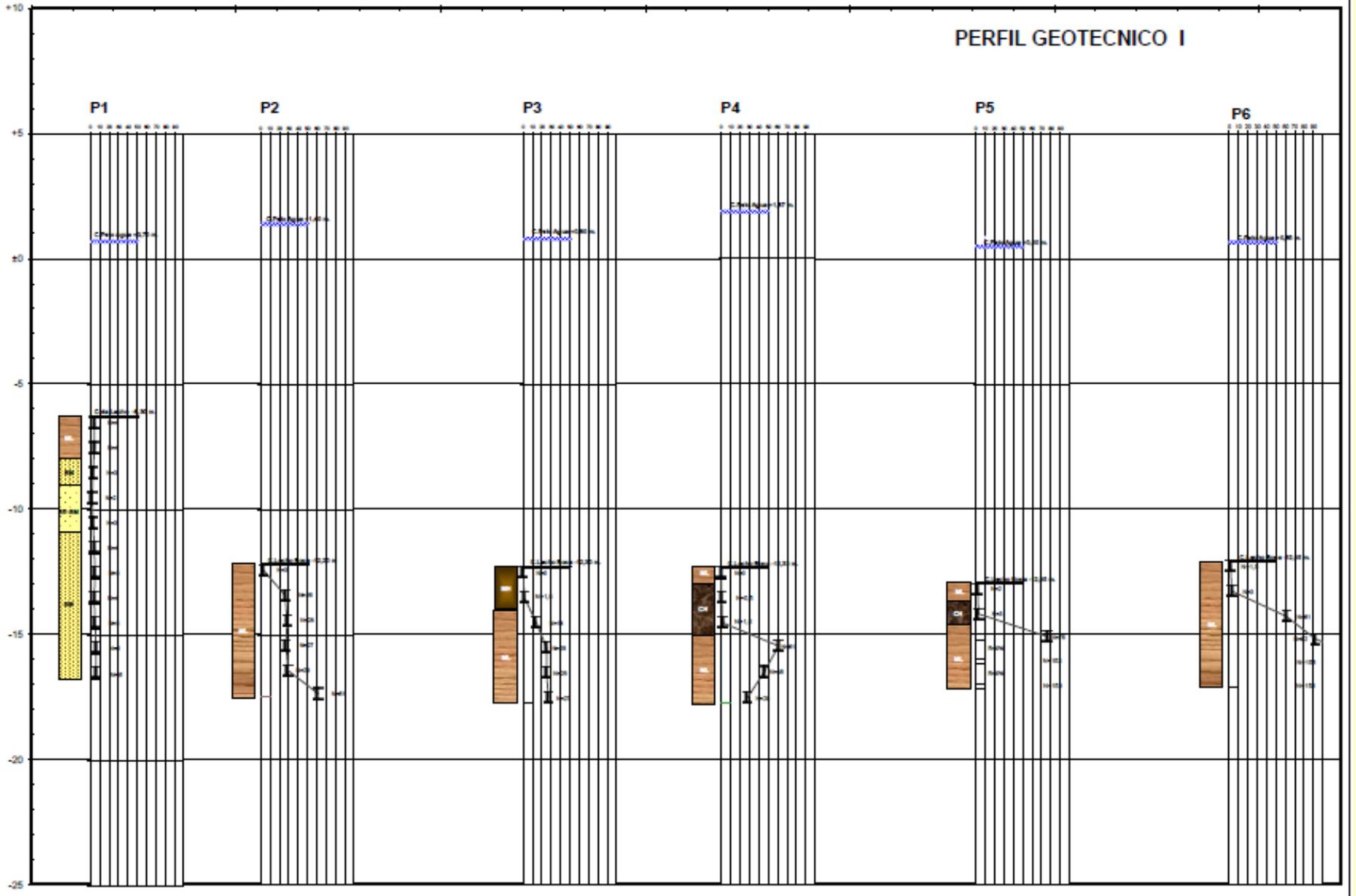
Cofac (m.)

Boca: -4,56 m. Fondo: -19,16 m.

Napa: —

Perforación nº : P3

# PERFIL GEOTECNICO I



# Información complementaria

# Métodos geofísicos

- Otros métodos:
  - Georadar: Permite detectar anomalías interceptadas por las ondas incidentes en el subsuelo
  - Gravimetría: detección de anomalías de grandes dimensiones, tales como fallas geológicas, grandes cavidades y la interfaz entre suelo y roca.
  - Magnetometría: Bajo ciertas condiciones es posible detectar la interfases horizontales entre dos macizos de rocas con diferentes parámetros magnéticos.

# Ensayos in situ

- PLT: Ensayo de carga (placa- pilote)
  - Medida directa de la rigidez del suelo.
  - Consiste en la aplicación de una carga sobre una placa y el registro del hundimiento de ésta en el terreno.
  - Puede ser ejecutado en dirección vertical u horizontal.
  - Para el caso de carga vertical sobre suelos no cohesivos, se debe aplicar la Norma IRAM 10528.
  - Las limitaciones principales de este ensayo son:
    - La alteración producida en el terreno por la excavación necesaria para hacer el ensayo.
    - Sólo mide las propiedades mecánicas del terreno en un espesor del orden de dos veces el ancho de la placa de ensayo, medido desde la superficie ensayada



# Ensayos in situ

- **VST: Veleta de corte**
  - Consiste en la hincada de una veleta y la medición del momento torsor necesario para que ésta rote, produciendo el corte de un cilindro de suelo
  - Permite medir la resistencia al corte no drenada de arcillas y limos plásticos saturados.
  - Se aplica en depósitos de suelos finos blandos a medianamente compactos
  - Se puede utilizar para medir los parámetros de corte de suelos remoldeados.



# Ensayos in situ

- PMT: Ensayo presiométrico
  - Consiste en la introducción de una vejiga cilíndrica dentro de una perforación y su expansión mediante la aplicación de una presión interior
  - Se mide la relación entre la presión aplicada y el desplazamiento de la pared de la perforación, con lo que se puede calcular un módulo de deformación presiométrico y una presión límite, que permiten inferir propiedades mecánicas del terreno ensayado
  - Se aplica en todo tipo de terreno.



# Ensayos in situ

- DMT: Dilatómetro.
  - Consiste en la hincas de una espada metálica que posee en la mitad de su cara una membrana deformable mediante la acción de una presión interior
  - Se mide la presión necesaria para lograr una deformación lateral predeterminada, lo que permite inferir propiedades de rigidez del terreno ensayado
  - Se aplica en todo tipo de suelos.
  - Identificación

