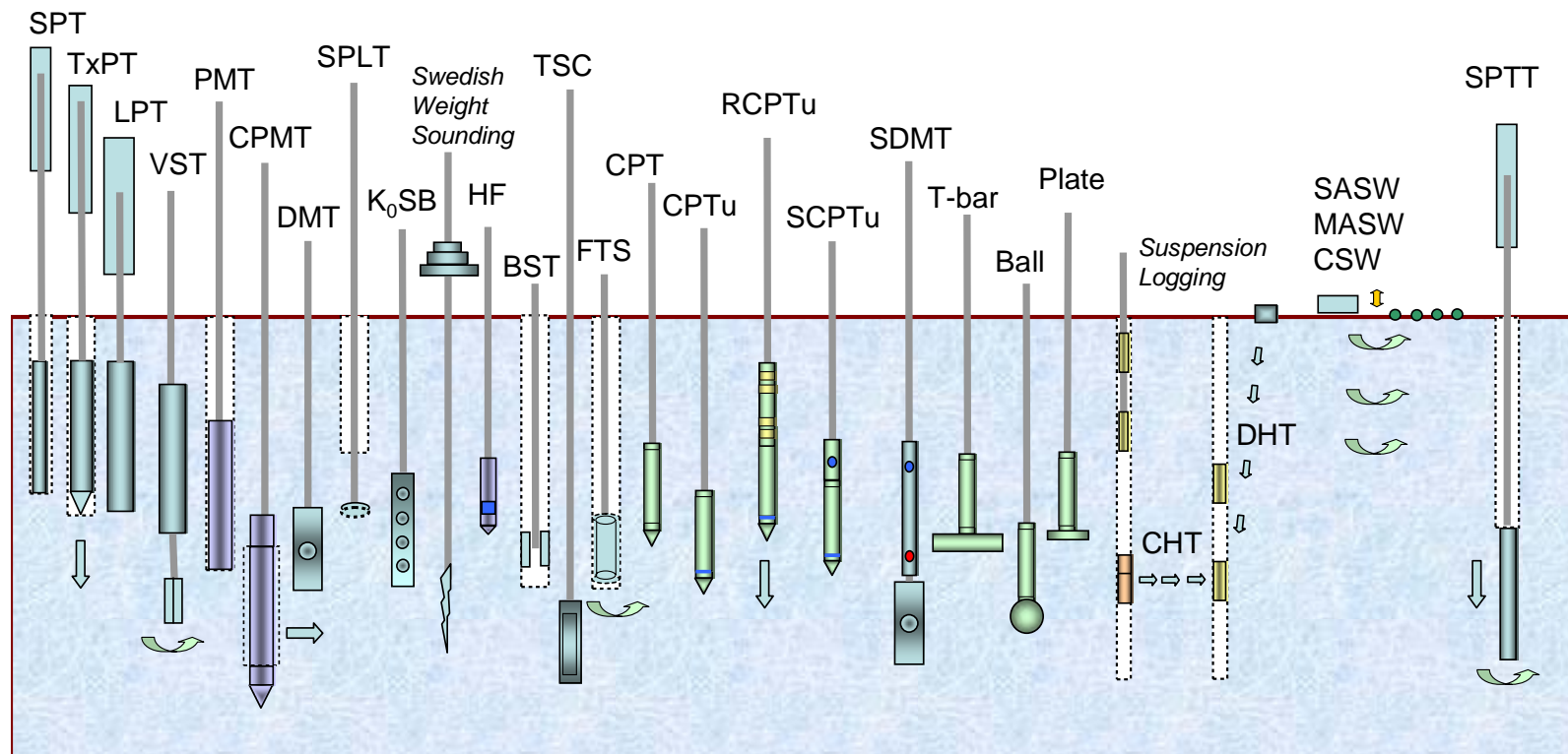


Ensayos in situ



Mecánica de Suelos y Geología

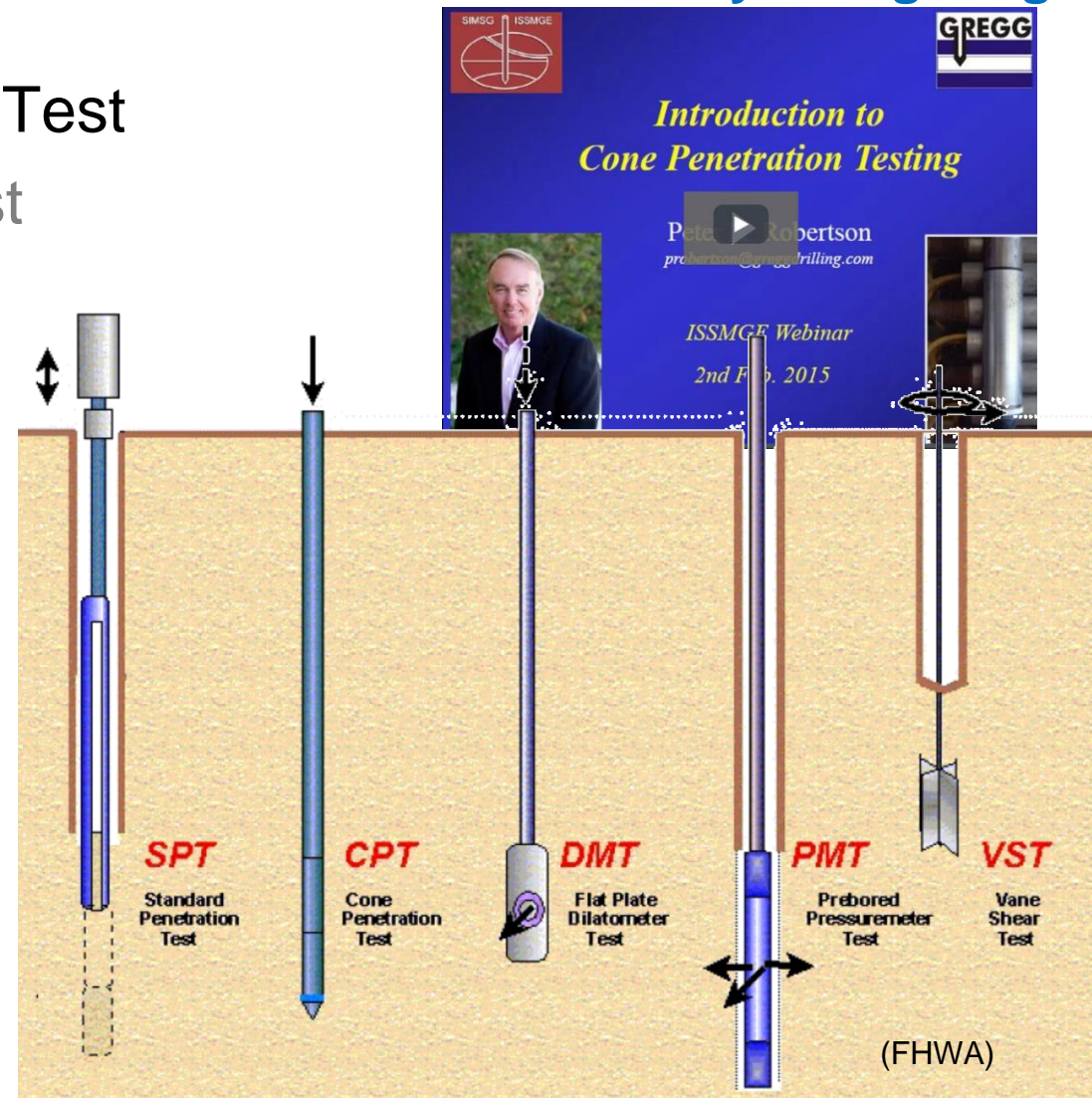
Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

Índice



virtualuniversity.issmge.org

- SPT: Standard Penetration Test
- CPT: Cone Penetration Test
- PMT: Pressuremeter Test
- VST: Vane Shear Test
- DMT: Dilatometer Test
- PLT: Plate Load Test
- Ensayos geofísicos



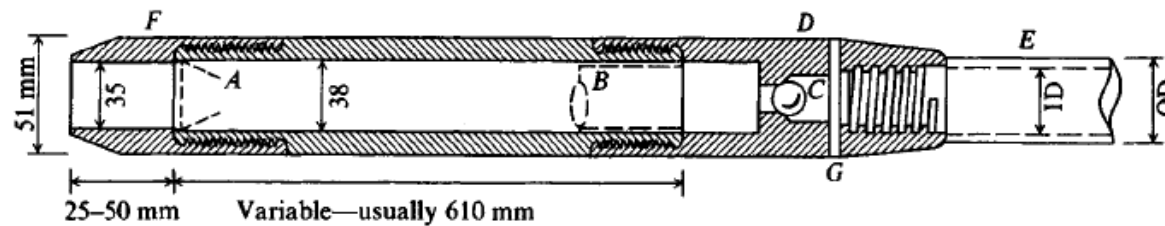
Ensayo SPT

<https://www.youtube.com/watch?v=jo64QIE4hr4>
<https://www.youtube.com/watch?v=3WEFw5K1tF8>
<https://www.youtube.com/watch?v=JVrciNqoGAQ>



Se mide la resistencia a la penetración del terreno mediante la hincada dinámica de un sacamuestras normalizado

- Se hincan 45 cm en el fondo de una perforación mediante una maza de 63.5 kg que cae desde 76 cm de altura
- Se cuenta el número de golpes para que entre los últimos 30 cm
- Se recupera una muestra (si el terreno lo permite, en general si)



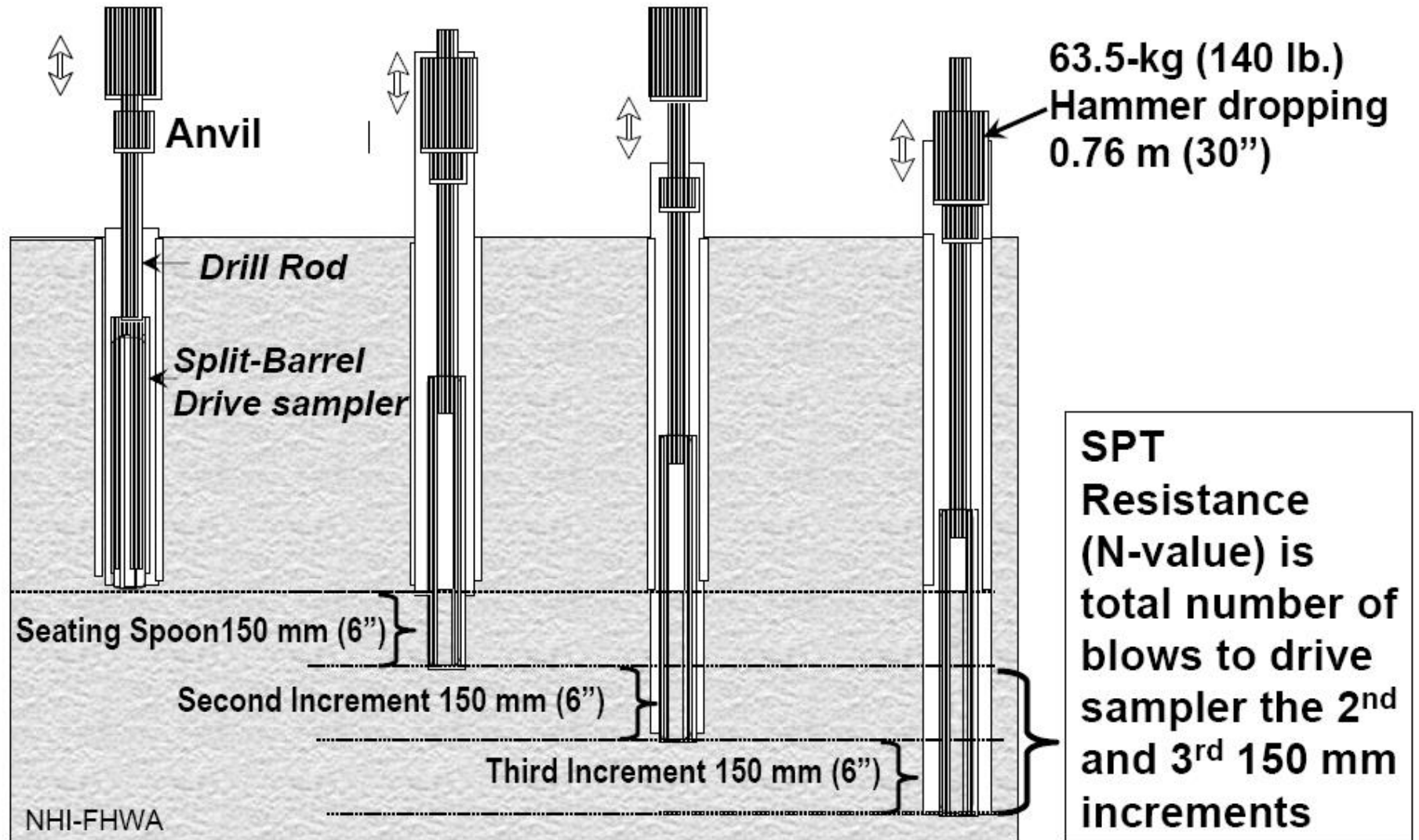
A—insert if used B—liner if used
 C—ball check valve (provide suction on sample)
 D—sampler-to-drill rod coupling
 E—drill rod (A or AW)
 F—drive shoe G—vent holes (used with C)

Drill rod sizes:
 A: 41 OD × 29 ID mm 5.51 kg/m
 AW: 44 OD × 32 ID mm 6.25 kg/m





Resultado del ensayo SPT (la perforación es una sola, que no confunda el dibujo)

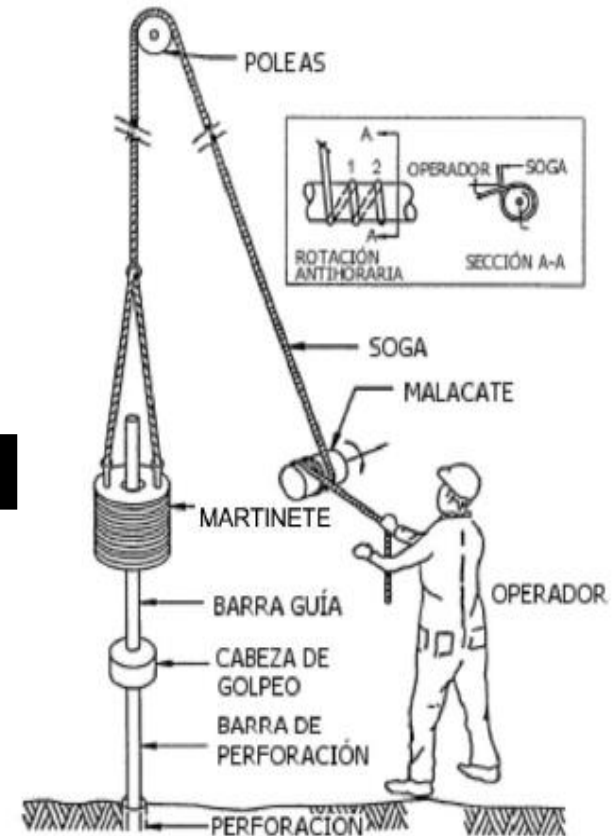
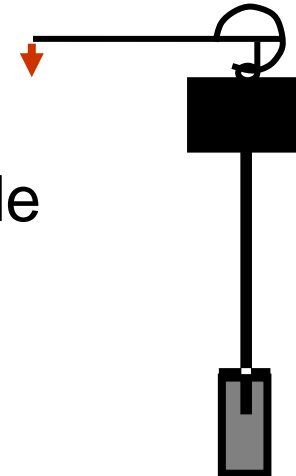


Resultado del ensayo SPT



Hay dos resultados posibles

- N_{SPT} : Un número entero adimensional igual a la cantidad de golpes necesarios para que el sacamuestras penetre en el terreno los últimos 30 cm
- Rechazo: más de 50 golpes para 15 cm, más de 100 golpes o 10 golpes sin ningún avance
 - Se informa como NN/pp , donde pp es la penetración total en centímetros para NN golpes



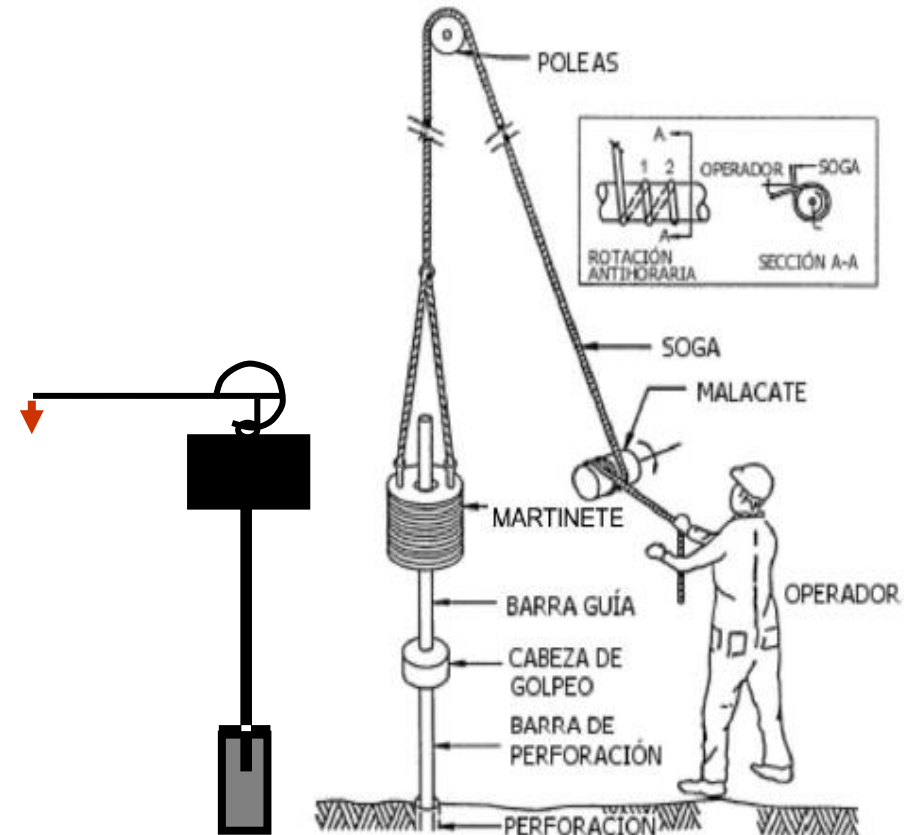
Correcciones a la medición de campo



N_{SPT} es el número medido en el terreno

Se corrige por

- Energía aplicada
- Profundidad
- Napa de agua
- Diámetro de perforación
- Peso de barras
- ...





Corrección por energía aplicada:

N_{SPT} a N_{60}

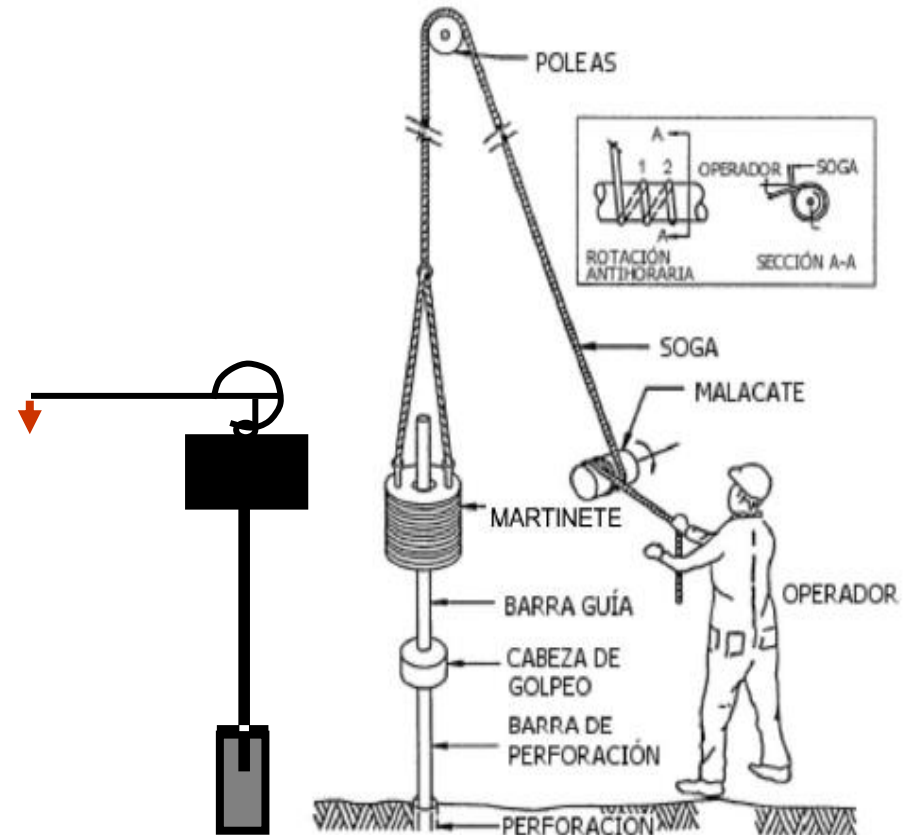
La energía potencial nominal ($W \times H$) es 475 J

La energía realmente aplicada ER varía entre el 30% y el 100% de ese valor en función del equipo y la técnica de ensayo

Se normaliza N para una eficiencia del 60%

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot \frac{ER}{60\% \cdot 475J}$$

$ER \sim 90\% \cdot 475J$ (Leoni 2008)





Corrección por nivel de tensiones:

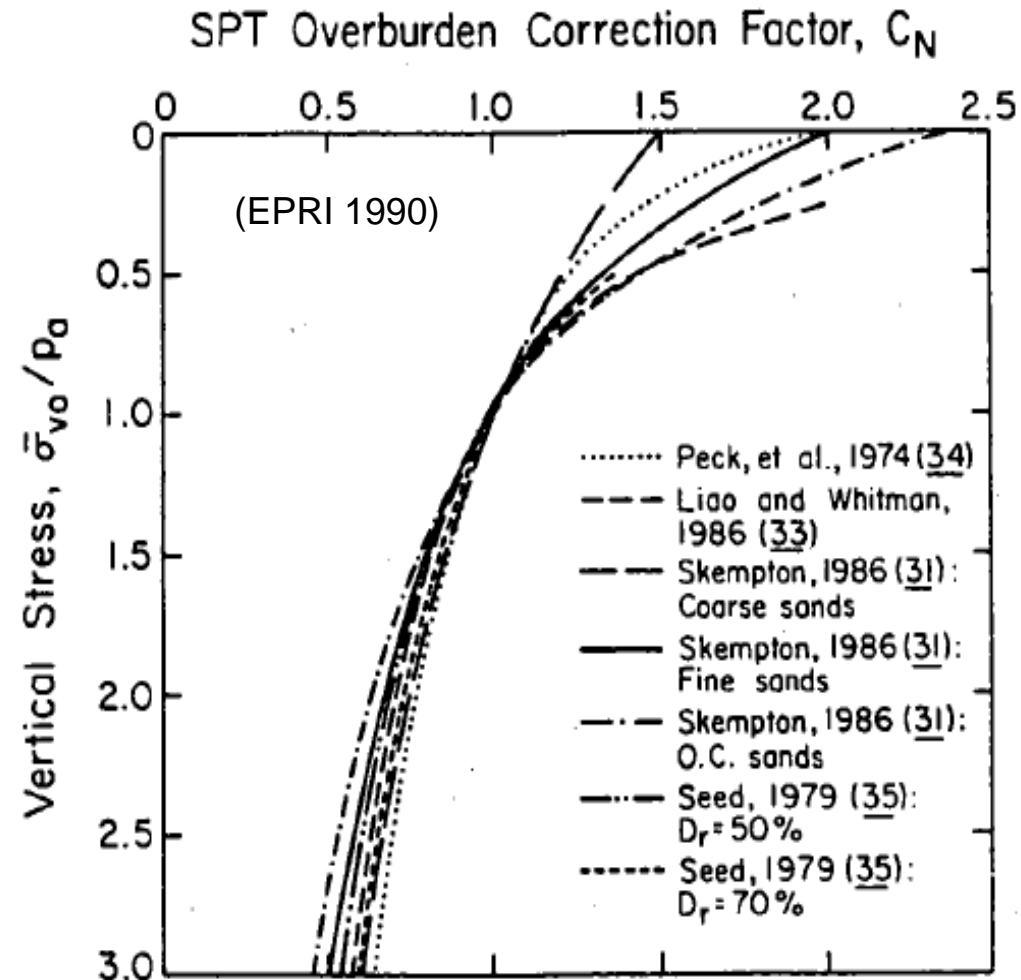
N_{60} a $(N_1)_{60}$

Para un suelo uniforme, la resistencia a la penetración varía con la presión efectiva (profundidad)

- El N_1 significa 1atm=100kPa

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \cdot \frac{ER}{60\% \cdot 475J} \cdot C_N$$

$$C_N = \sqrt{\frac{100\text{kPa}}{\sigma'_{v0}}}$$

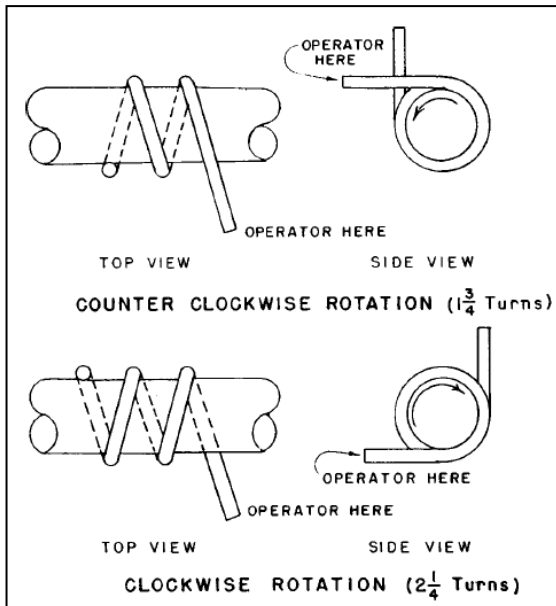


Corrección por otros factores de ensayo



$$(N_1)_{60} = N \cdot \frac{ER}{60\% \cdot 475J} C_N \cdot C_B \cdot C_S \cdot C_R$$

Ensayos in situ



Factor	Equipment Variables	Correction	
		Term	Value
Energy ratio	Safety hammer	C_{ER}	0.9
	Donut hammer		0.75
Borehole diameter	65 to 115 mm (2.5 to 4.5 in)	C_B	1.0
	150 mm (6 in)		1.05
	200 mm (8 in)		1.15
Sampling method	Standard sampler	C_S	1.0
	Sampler without liner		1.2
Rod length	> 10 m (> 30 ft)	C_R	1.0
	6 to 10 m (20 to 30 ft)		0.95
	4 to 6 m (13 to 20 ft)		0.85
	3 to 4 m (10 to 13 ft)		0.75

Source: Based on Skempton (31).

SPT y correlaciones de parámetros



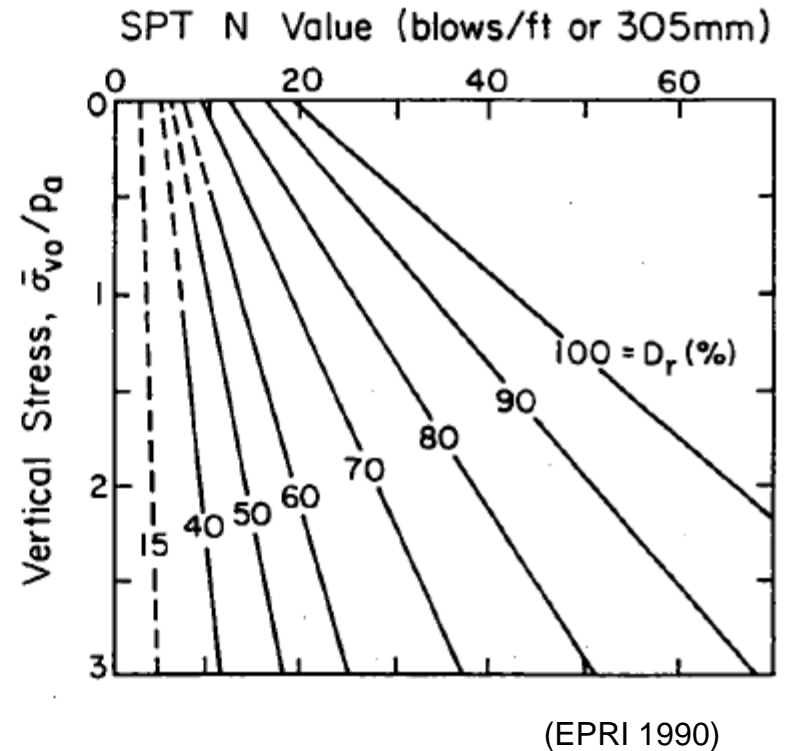
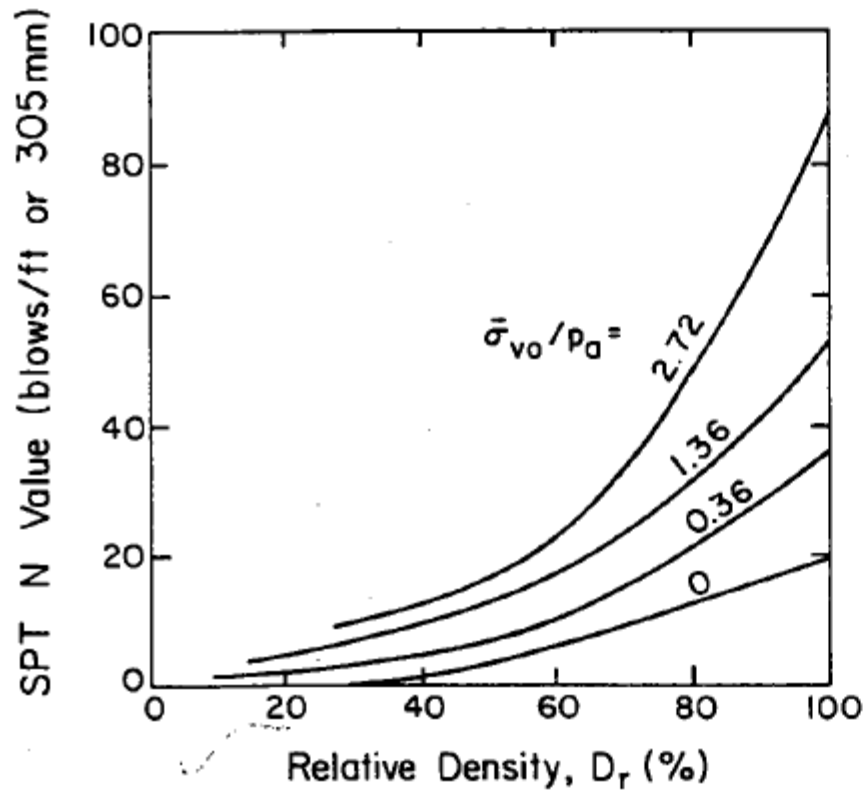
El SPT es un ensayo que tiene muchas correlaciones

- Es importante saber cómo se calculó N en cada caso
 - Algunos informan el número de campo: N_{SPT}
 - Otros efectúan todas las correcciones excepto la de nivel de tensiones: N_{60}
 - Otros efectúan todas las correcciones: $(N_1)_{60}$

**Las correlaciones publicadas en diferentes épocas
usan diferentes definiciones de SPT**

**Las correlaciones deben ser usadas con responsabilidad y
tienen DISPERSIÓN (nube de puntos)**

Arenas: estimación de D_r



En estos gráficos hay que usar N_{60} , no $(N_1)_{60}$

Arenas: estimación de ϕ_{\max}



- Procedimiento 1

- Estimación directa:

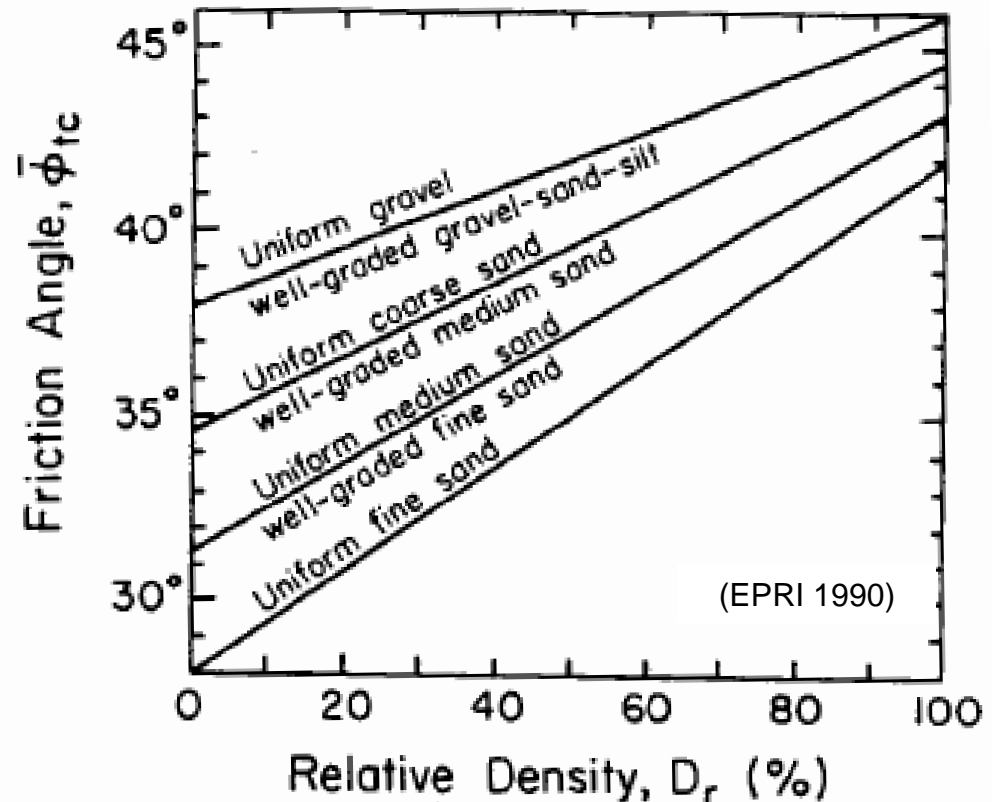
$$\phi_{\max} \cong \text{atan} \left[\frac{N_{60}}{12 + 20 \frac{\sigma_v}{p_{atm}}} \right]^{0.34}$$

($\phi_{tc} = \phi_{\max}$)

- Procedimiento 2

- Se estima D_r con *SPT*

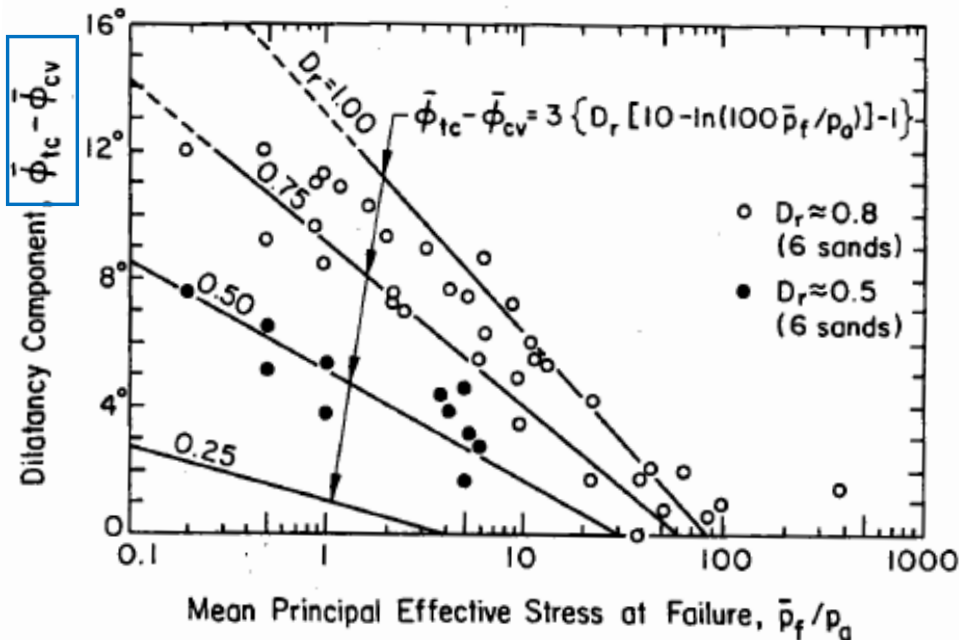
- Se estima ϕ_{\max} con D_r y observando la muestra





Arenas: estimación de ϕ_{\max}

- Procedimiento 3 (recomendado)
 - Se estima D_r a partir del resultado de *SPT*
 - Se observa la muestra y se estima ϕ_{cv} (estado crítico)
 - Se aplica la ecuación de Bolton: $\phi_{\max}[p, D_r]$



$$\phi_{\max} - \phi_{cv} = 3^\circ D_r \left(Q - \ln \left[\frac{100 p}{p_{atm}} \right] \right) - 3^\circ$$

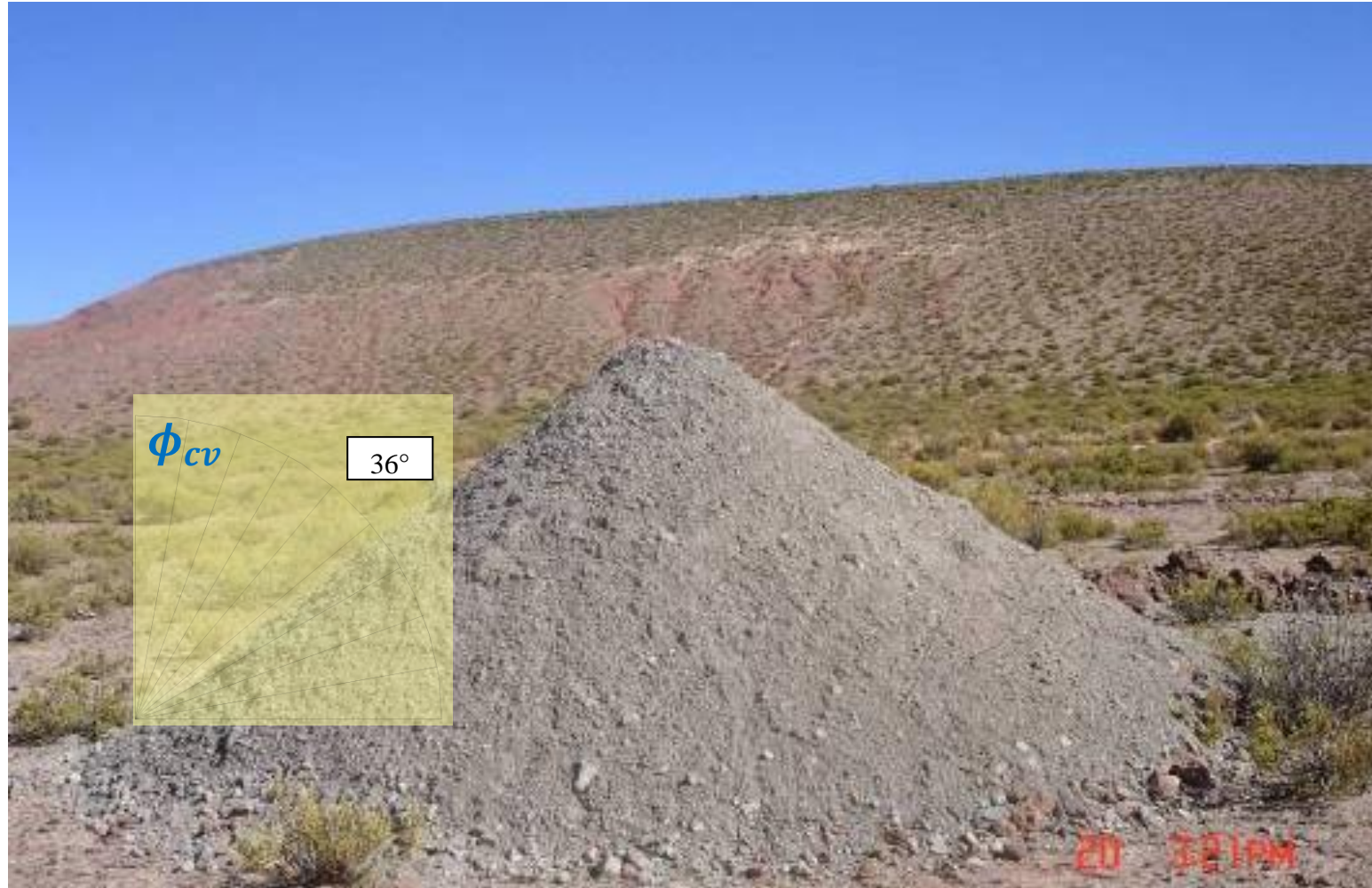
Q	Grain type
10	Quartz and feldspar
8	Limestone
7	Anthracite
5.5	Chalk

(Bolton 1986)

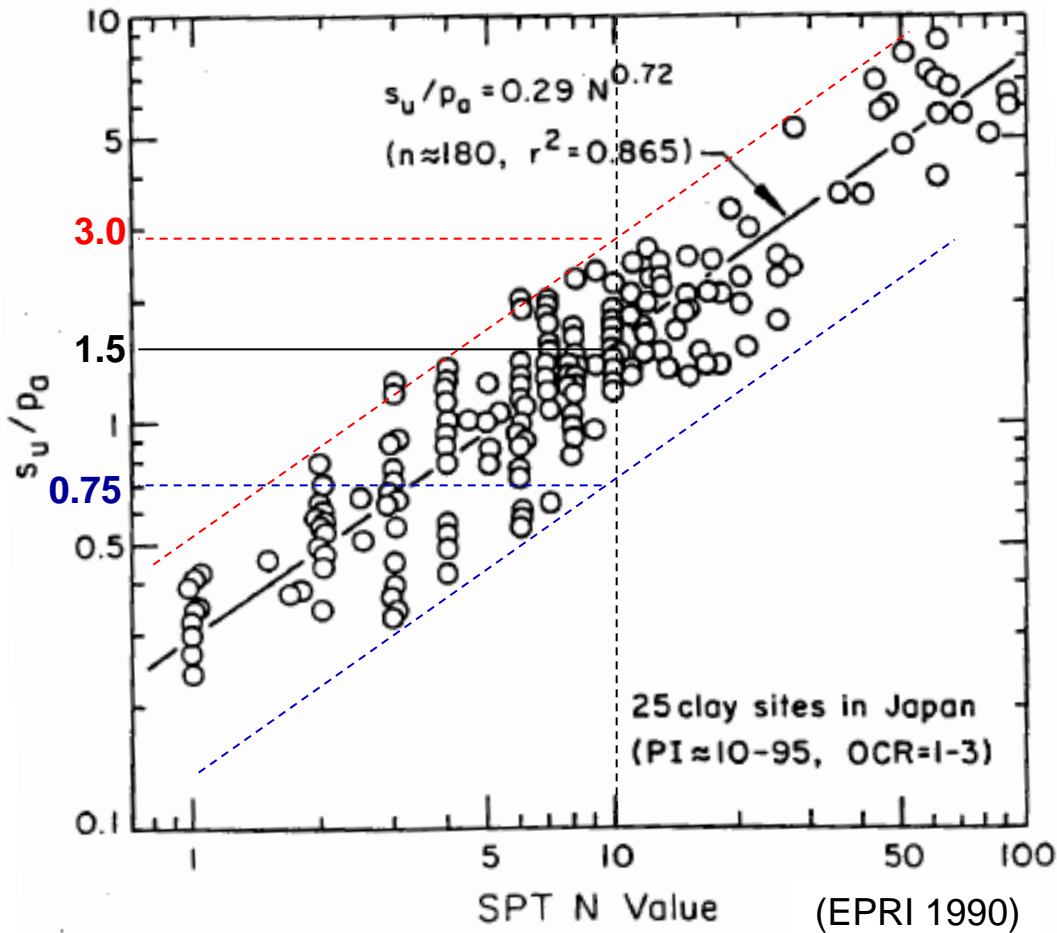


Arenas: estimación de ϕ_{\max}

Procedimiento 3



Arcillas: Estimación de s_u



La correlación $s_u - (N_1)_{60}$ es débil

$$s_u \cong 7(N_1)_{60} \text{ kPa}$$

$$\frac{s_u}{p_{atm}} = 0.57 \cdot 0.14 (N_1)_{60}^{0.72}$$



Mayne: Is One Number Enough???

c_u = undrained strength

γ_T = unit weight

I_R = rigidity index

ϕ' = friction angle

OCR = overconsolidation

K_0 = lateral stress state

e_o = void ratio

V_s = shear wave

E' = Young's modulus

C_c = compression index

q_b = pile end bearing

f_s = pile skin friction

k = permeability

q_a = bearing stress

D_R = relative density

γ_T = unit weight

LI = liquefaction index

ϕ' = friction angle

c' = cohesion intercept

e_o = void ratio

q_a = bearing capacity

σ_p' = preconsolidation

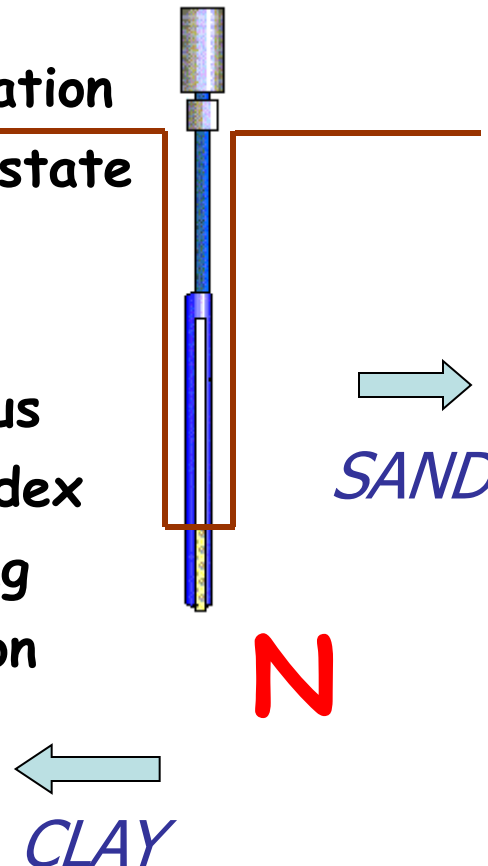
V_s = shear wave

E' = Young's modulus

Ψ = dilatancy angle

q_b = pile end bearing

f_s = pile skin friction

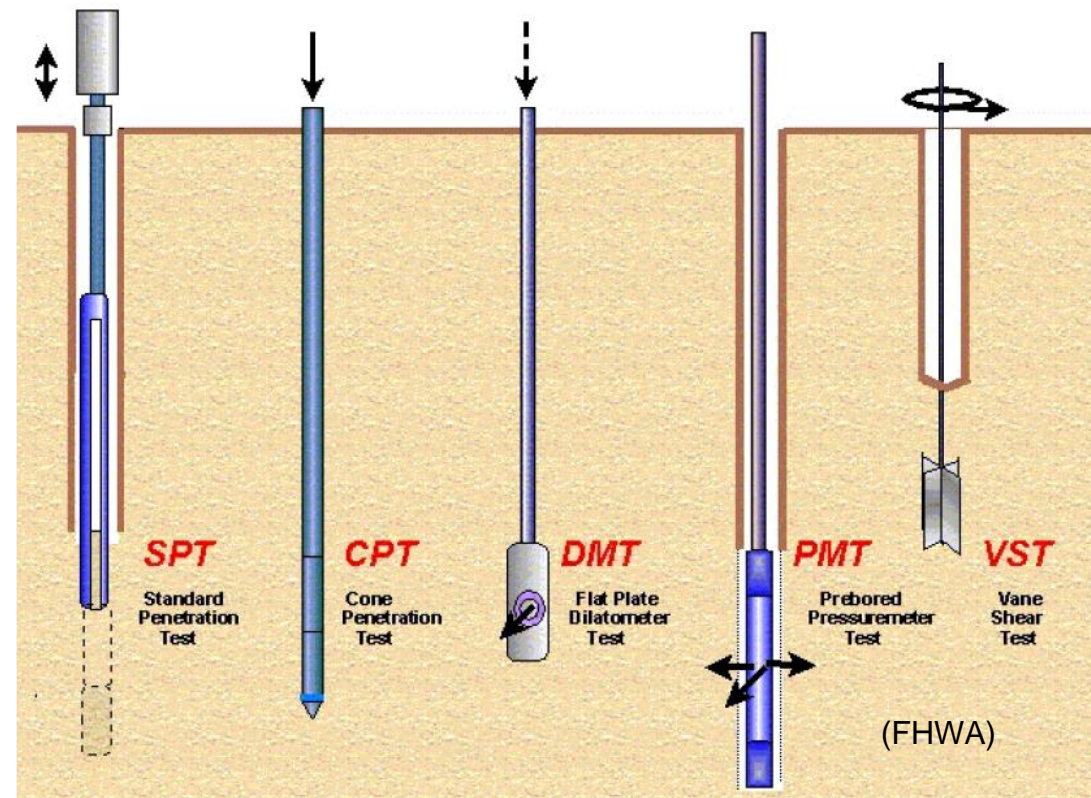


(Mayne 2001)

Índice



- SPT: Standard Penetration Test
- CPT: Cone Penetration Test
- PMT: Pressuremeter Test
- VST: Vane Shear Test
- DMT: Dilatometer Test
- PLT: Plate Load Test
- Ensayos geofísicos



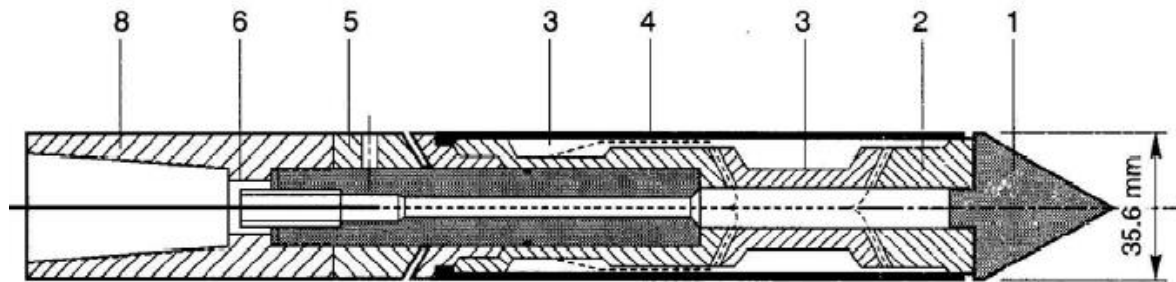


Descripción del ensayo CPTu

<https://www.youtube.com/watch?v=Cvu9iBSnQYo>
<https://www.youtube.com/watch?v=4SKjkOqaMk8>
<https://www.youtube.com/watch?v=WBeHGnA4-VU>

Se mide cada 2cm de avance y mediante la hincada estática de un cilindro instrumentado con punta cónica los siguientes parámetros:

- Punta (q_t)
- Fricción (f_s)
- Presión de poros (u)

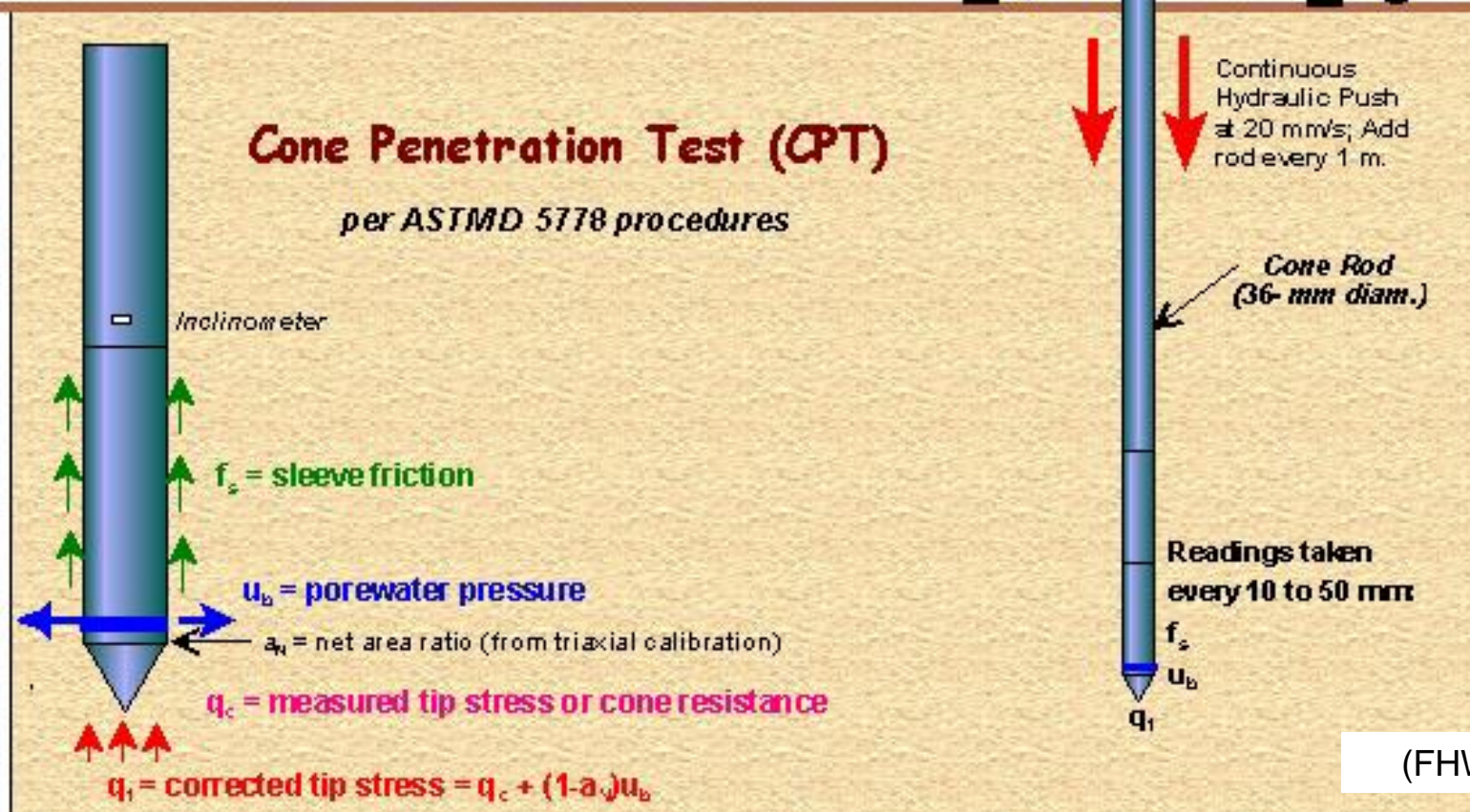
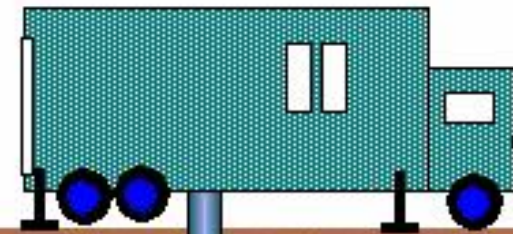
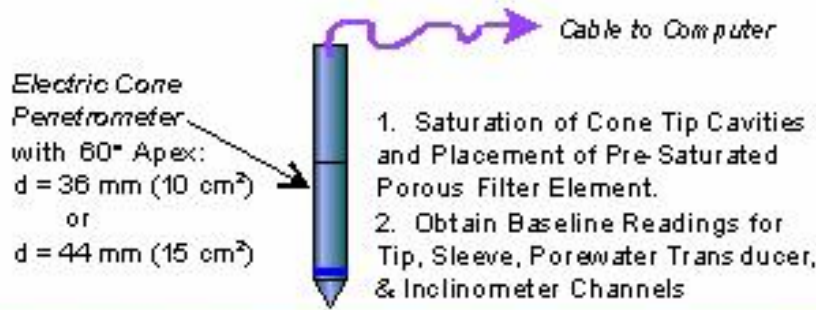


- | | |
|---------------------------------------|------------------------|
| 1 Conical point (10 cm ²) | 5 Adjustment ring |
| 2 Load cell | 6 Waterproof bushing |
| 3 Strain gauges | 7 Cable |
| 4 Friction sleeve | 8 Connection with rods |
- (Lunne et al. 1997)





Descripción del ensayo CPTu



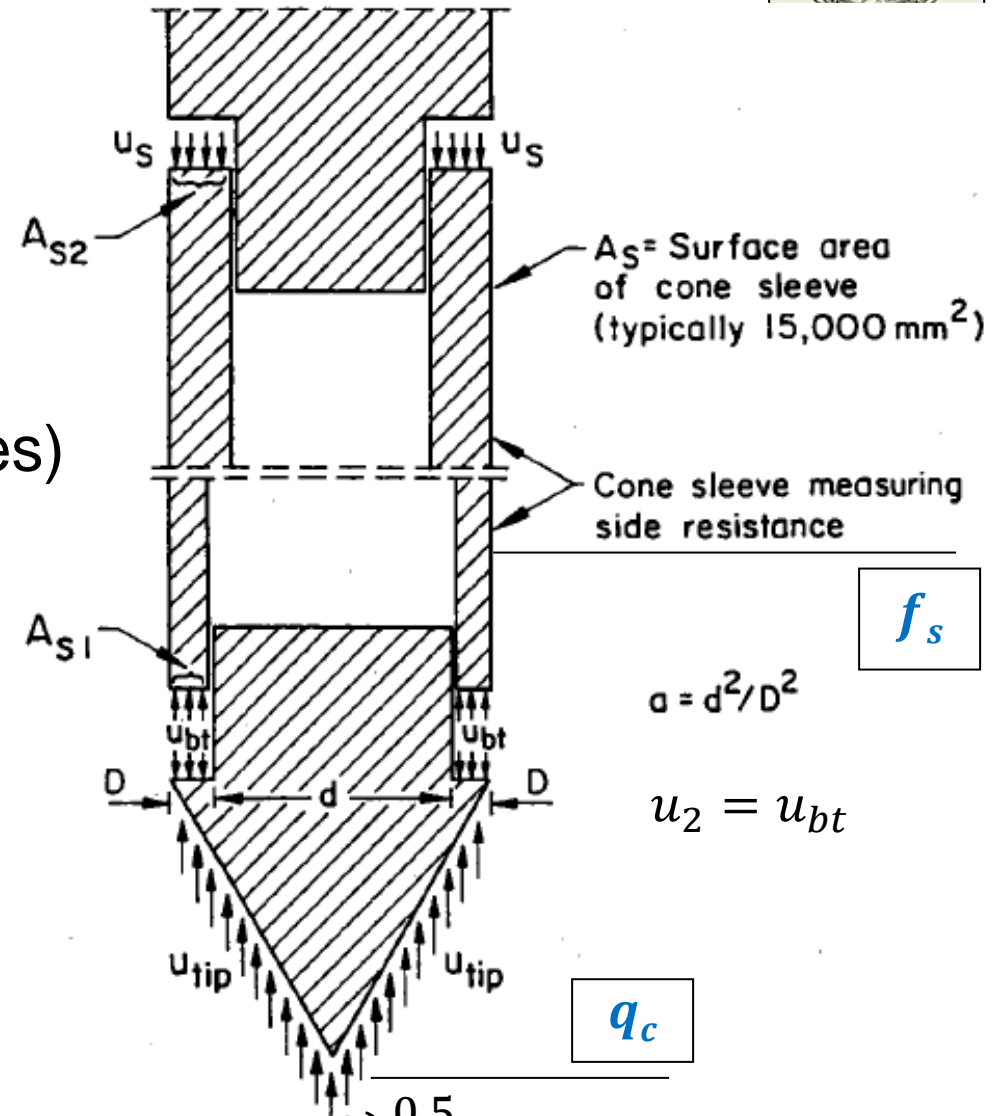
(FHWA)

Ensayos in situ



Definiciones

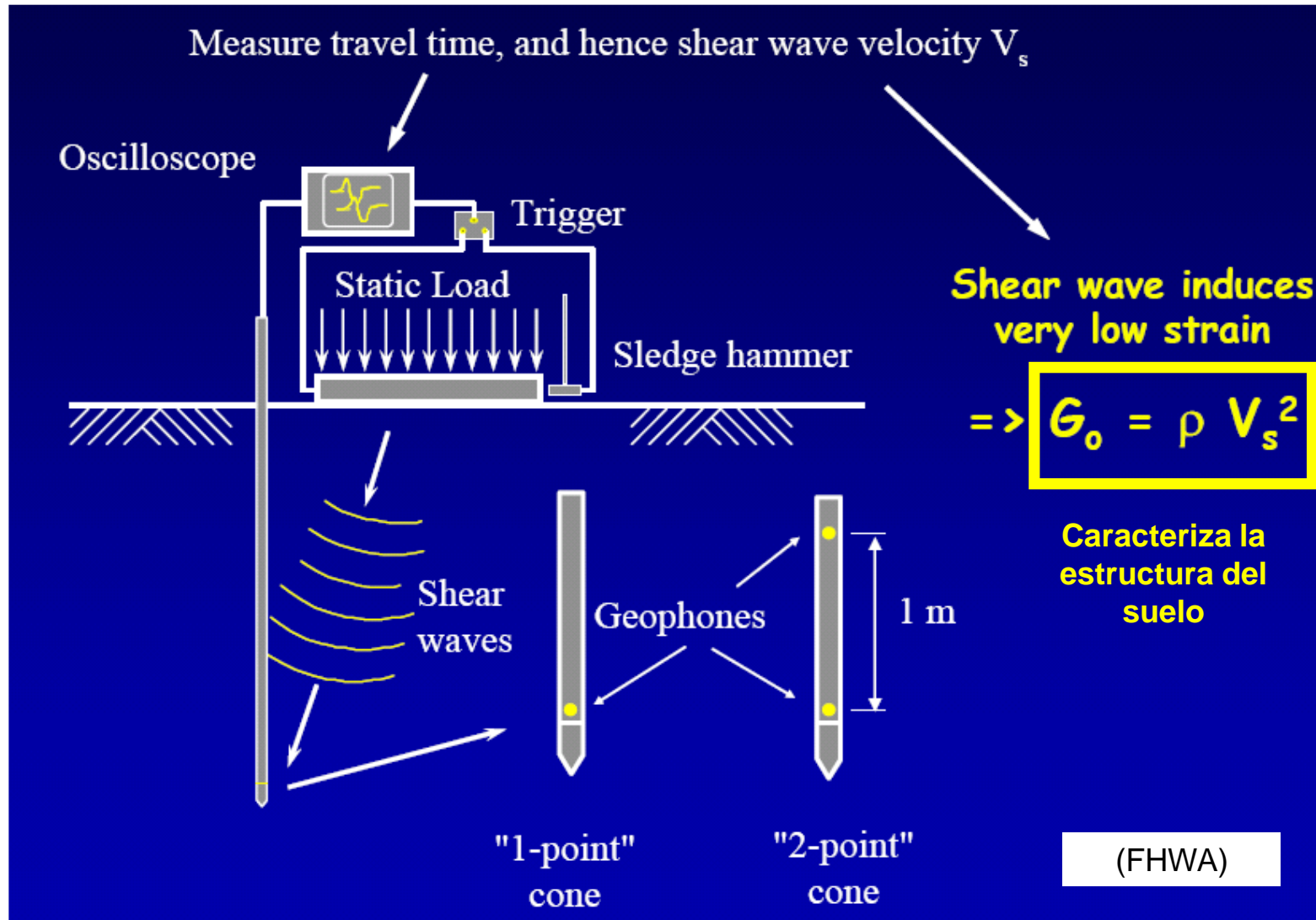
- $q_t = q_c + (1 - a)u_{bt}$
- $q_n = q_t - \sigma_v$
- $Q_t = q_n / \sigma'_v$ (hay otras versiones)
- $f_t = f_s + \frac{u_s A_{s2} - u_{bt} A_{s1}}{A_s}$
- $F_r = f_s / q_n$
- $B_q = (u_{bt} - u_0) / q_n = \Delta u / q_n$
- u_0 : ensayos de disipación o piezómetros (no asuma distribución hidrostática)



- $I_c = \left((3.47 - \log(Q_{tn}))^2 + (\log[F_n] + 1.22)^2 \right)^{0.5}$



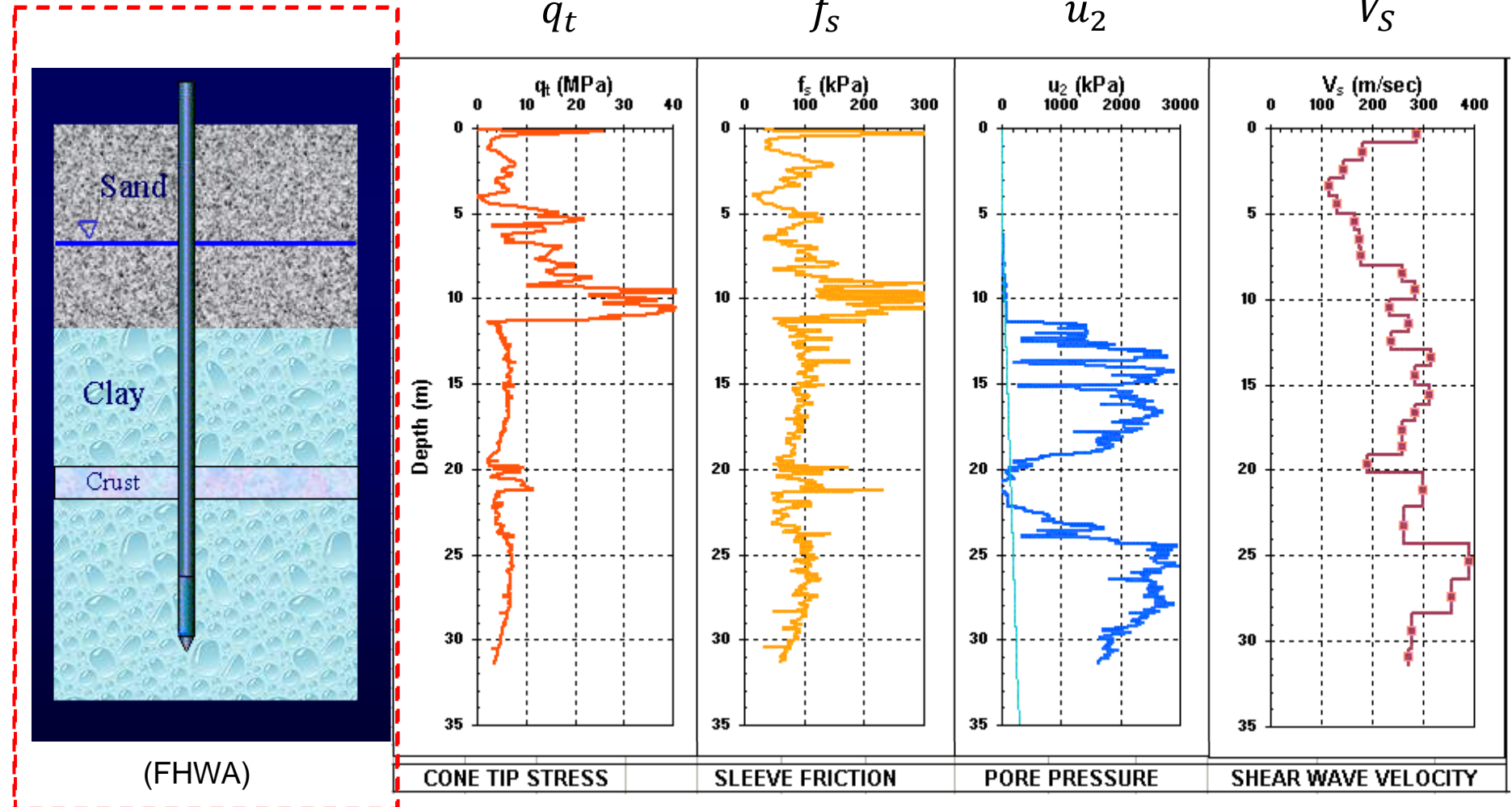
S-CPT: CPT más velocidad de onda de corte V_s (ensayo geofísico)



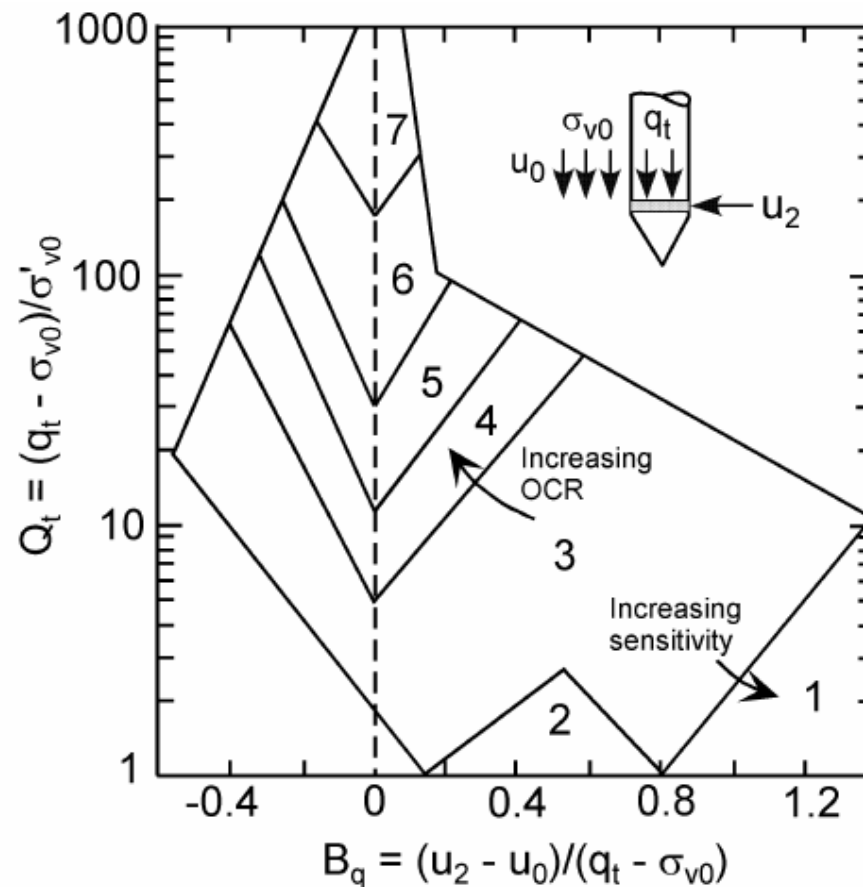
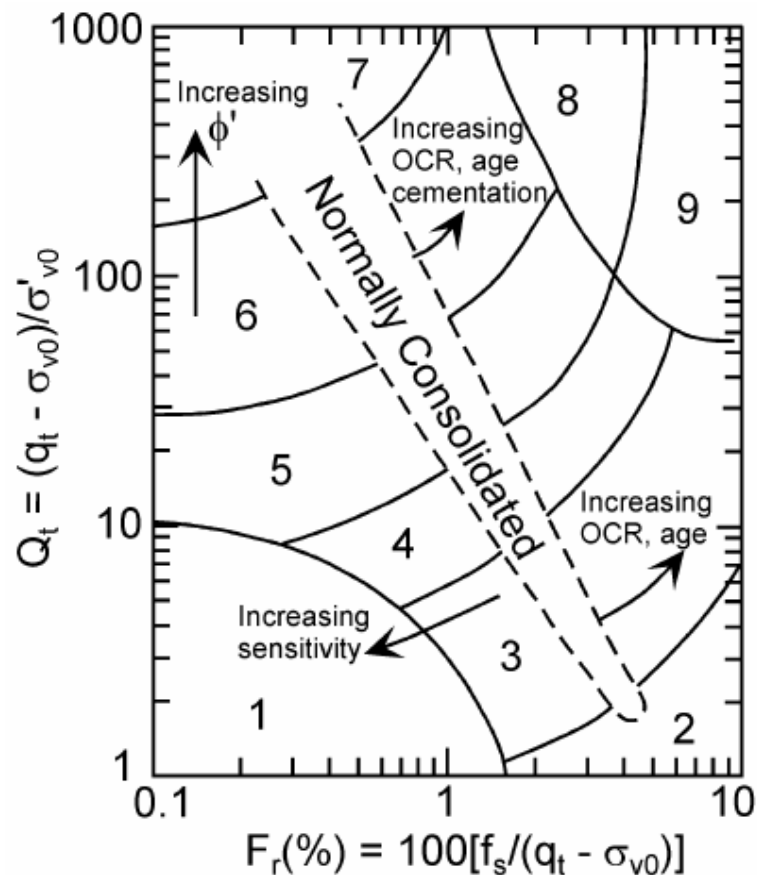
Un resultado típico (S-CPTu)



El perfil geotécnico puede ser desconocido al momento de hacer el ensayo !!



Identificación de suelos con CPTu



SBT (Soil Behavior Type)

(EPRI 1990)

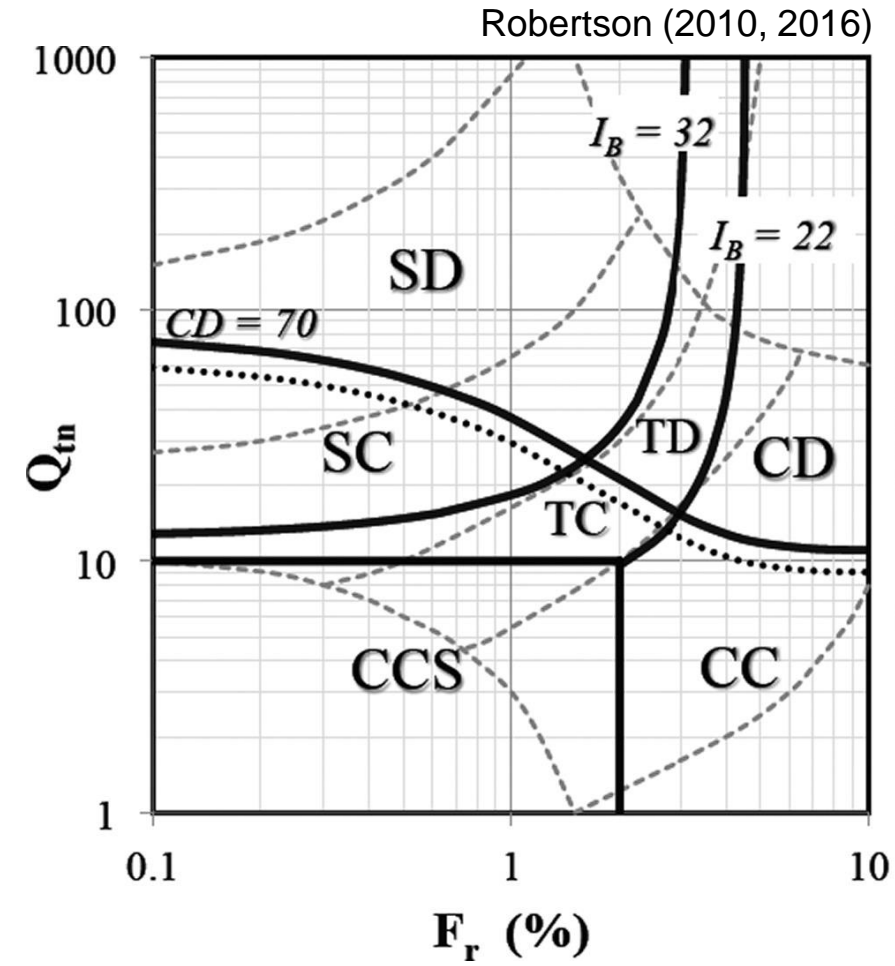
- | | | |
|------------------------------|---|-----------------------------------|
| 1. Sensitive, fine grained | 4. Silt mixtures: clayey silt to silty clay | 7. Gravelly sand to sand |
| 2. Organic soils-peats | 5. Sand mixtures: silty sand to sand silty | 8. Very stiff sand to clayey sand |
| 3. Clays: clay to silty clay | 6. Sands: clean sands to silty sands | 9. Very stiff fine grained |



Estimación de comportamiento probable (“clasificación por comportamiento”)

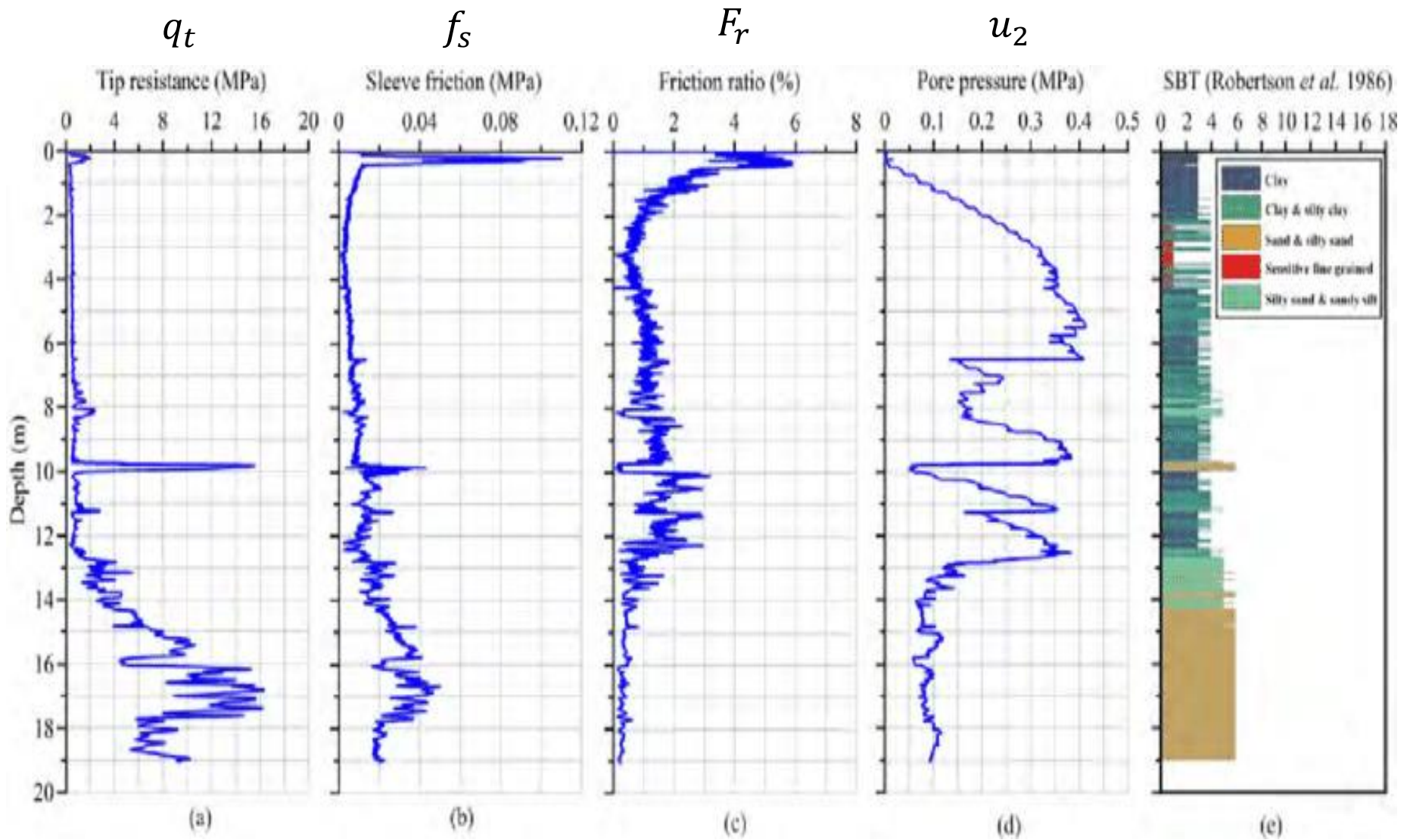
SBT modificado

- CCS: Clay-like – Contractive – Sensitive
- CC: Clay-like – Contractive
- CD: Clay-like – Dilative
- TC: Transitional – Contractive
- TD: Transitional – Dilative
- SC: Sand-like – Contractive
- SD: Sand-like – Dilative



Con velocidad de propagación de onda de corte ($V_s \rightarrow G_0$) se puede estimar el grado de estructuración del depósito

Identificación de suelos con CPTu





Estimación de resistencia al corte no drenado y sensibilidad con CPTu

$$s_{u,max} \cong (q_t - \sigma_v) / N_{kt}$$

- s/Cam-Clay: $N_{kt} \cong 2.44 + 1.33 \ln(E/s_u)$

E/s_u	400	600	800
N_k	10.4	11.0	11.3

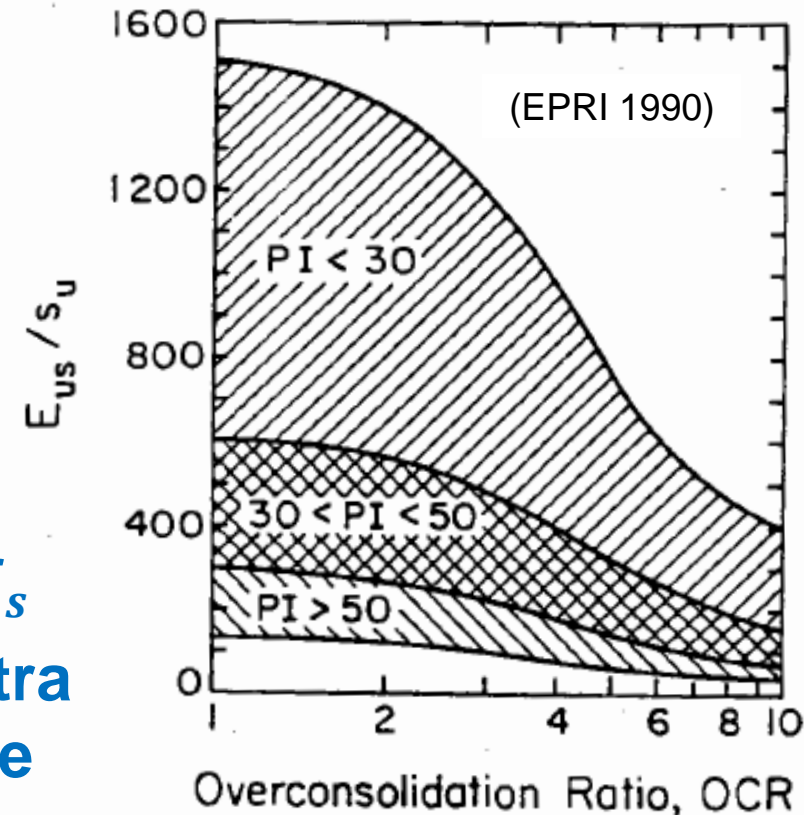
- Rango experimental $N_{kt} = 12|14|16$

$s_{u,r}$ se estima con:

- Sensitividad (S)
- Fricción lateral del cono (f_s)

$$S = s_{u,max} / s_{u,r} \cong (q_t - \sigma_v) / N_{kt} \cdot 1 / f_s$$

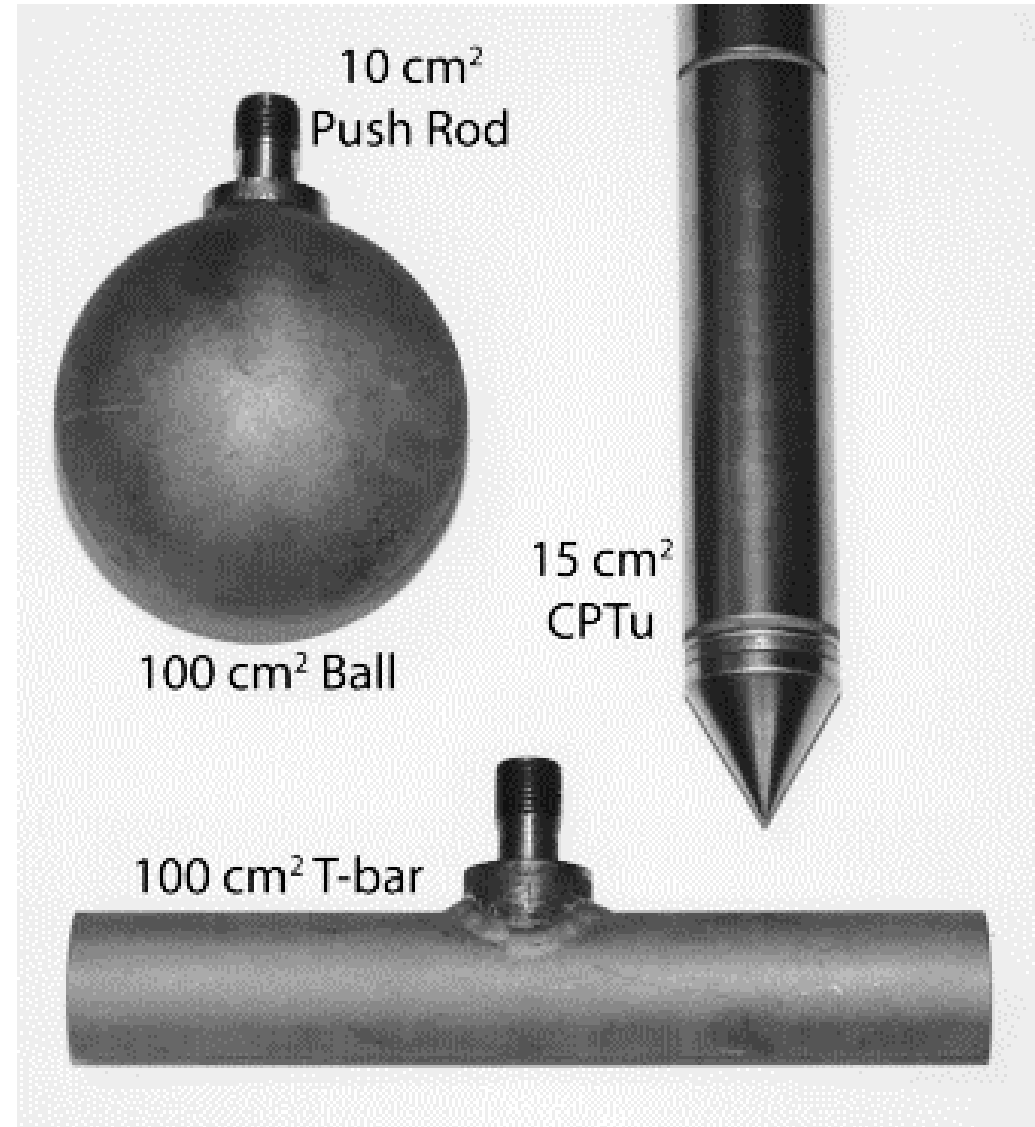
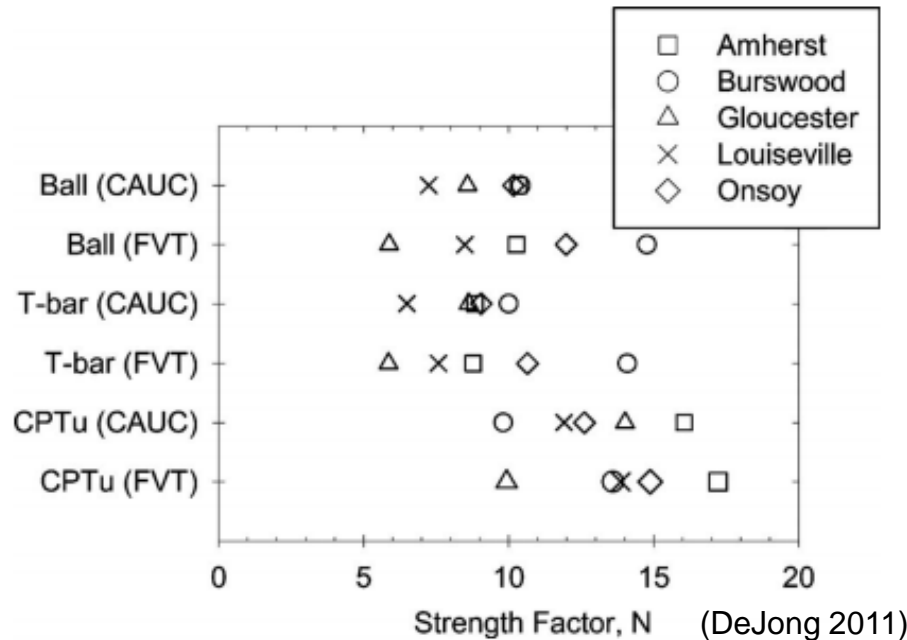
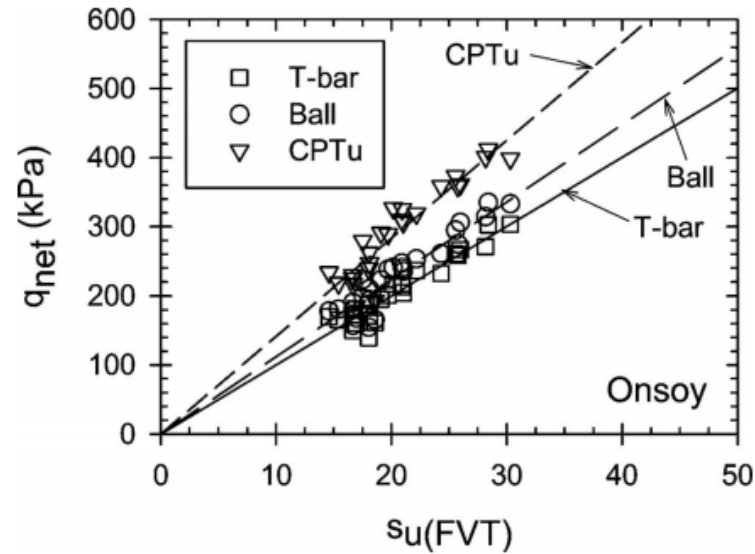
Conviene calibrar los resultados contra VST, ensayos triaxiales o corte simple





Calibración con otros penetrómetros

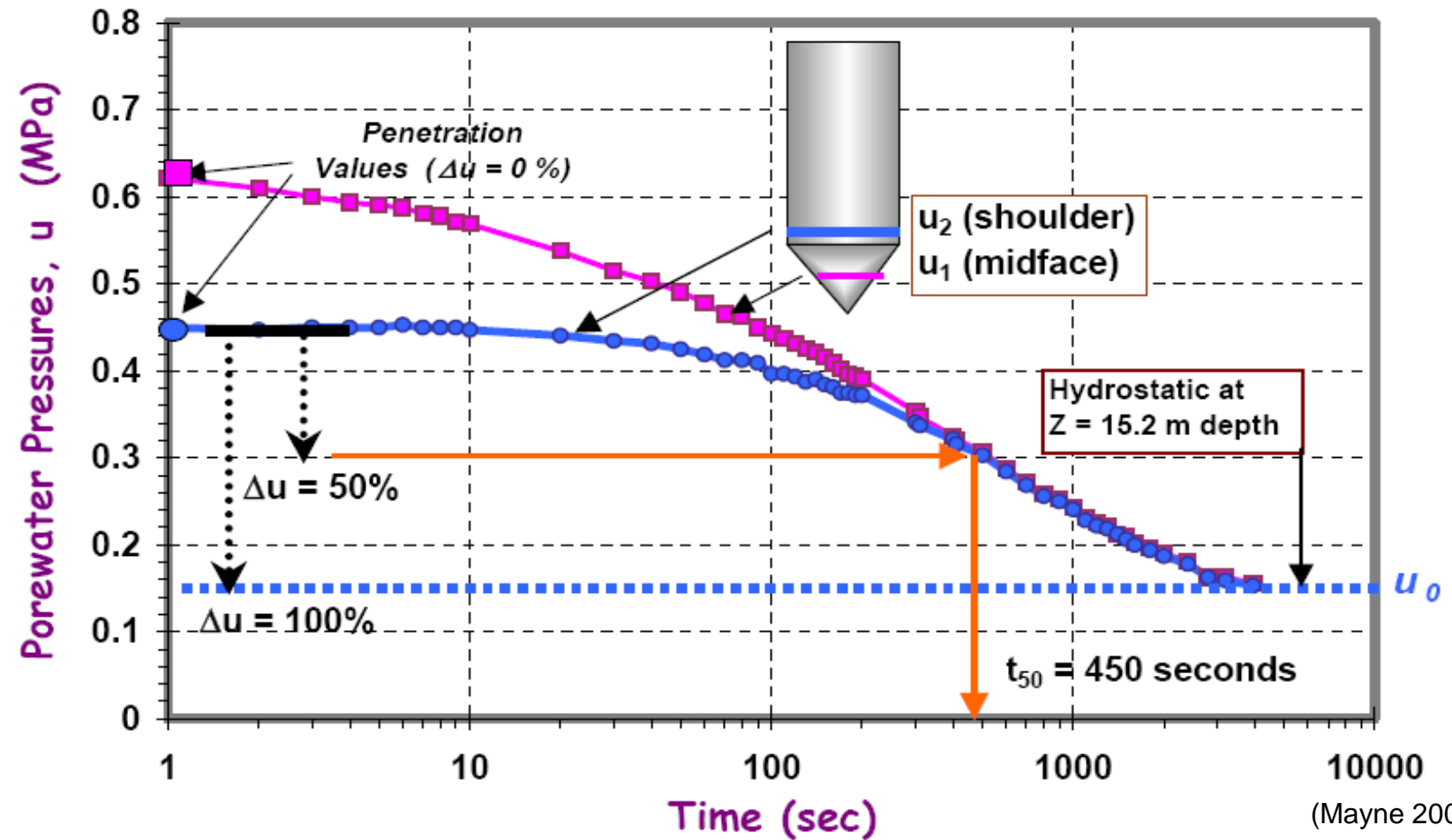
Ensayos in situ



Ensayos de disipación con CPTu (evaluar tiempos de consolidación)



Piezocone Dissipations at NGES, Amherst



Ensayos in situ

Ensayos de disipación con CPTu



Disipación de presiones de poro durante pausa en la penetración

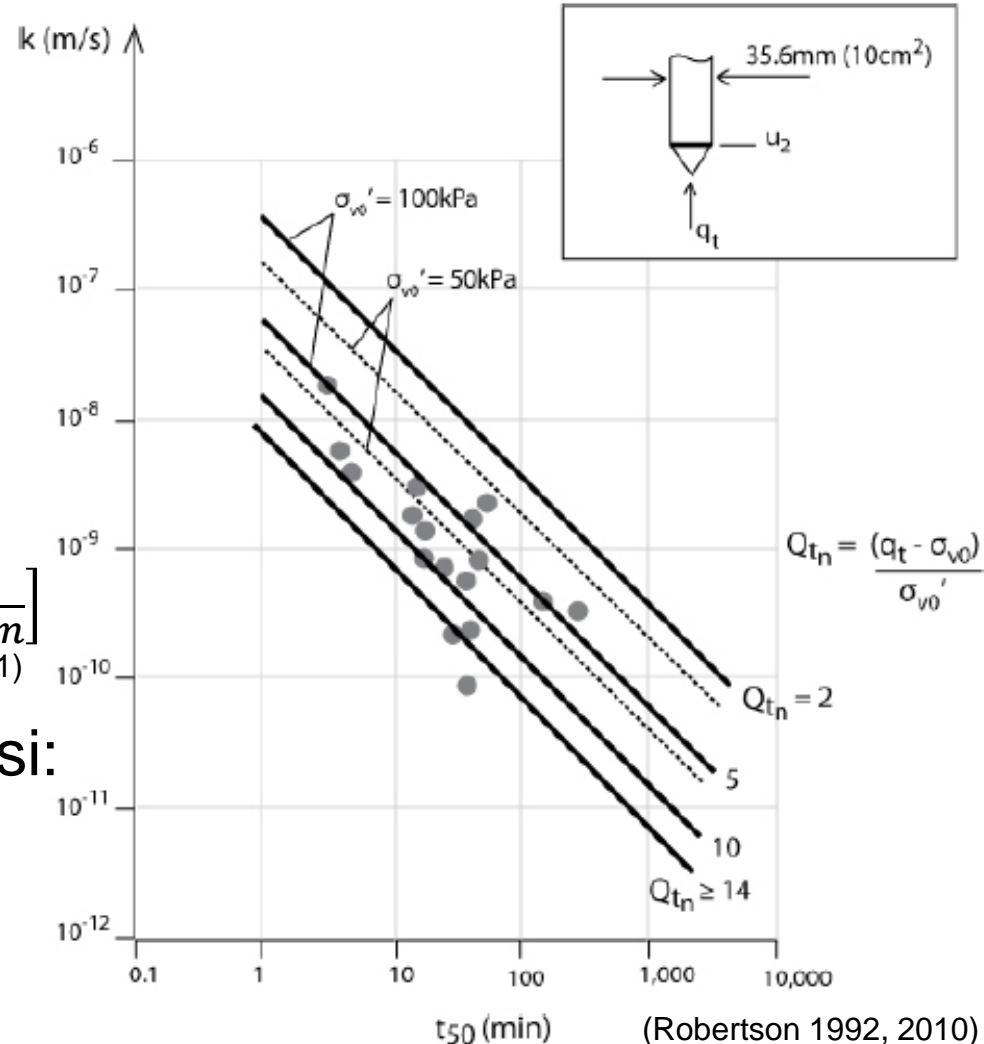
- Permeabilidad horizontal
- Piezométrica estacionaria
- Condiciones de drenaje durante la penetración

$$c_h \left[\frac{m^2}{sec} \right] \cong (1.67 \cdot 10^{-6}) \cdot 10^{1 - \log \left[\frac{t_{50}}{1 \text{ min}} \right]}$$

(Teh 1991)

- La penetración es no drenada si:

$$V = \frac{v \cdot d_c}{c_h} > 10$$

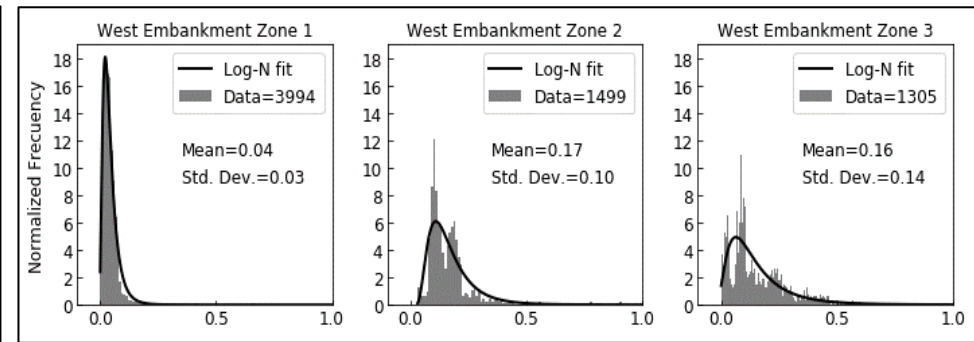
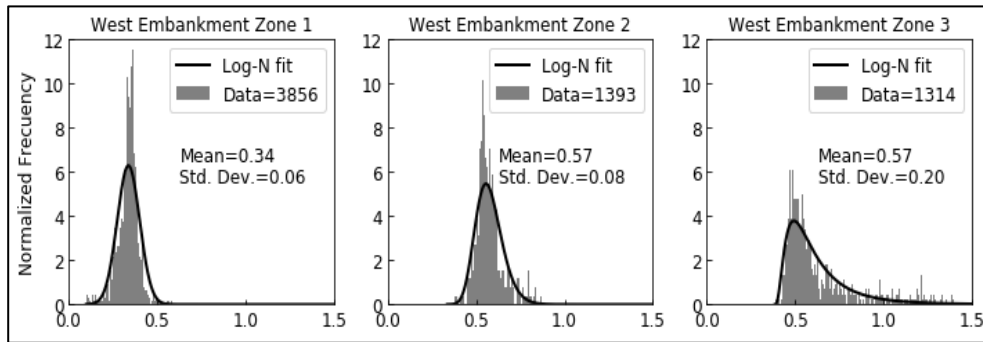


Análisis estadístico de resistencia al corte no drenado



Resistencia máxima

Resistencia residual



Ejemplo

Do mi nio	s_u/σ'_v valor medio (μ) desvío std. (σ)								
	Resistencia máxima			Residual – Sensitividad			Residual – Fricción lateral		
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 1	Zona 2	Zona 3
1	0.37 0.06	0.58 0.15	0.63 0.18	0.11 0.03	0.17 0.05	0.19 0.07	0.12 0.09	0.19 0.05	0.12 0.11
2	0.34 0.06	0.57 0.08	0.57 0.20	0.11 0.04	0.17 0.04	0.19 0.05	0.09 0.07	0.15 0.07	0.18 0.17
3	0.37 0.12	0.60 0.15	0.62 0.14	0.10 0.03	0.17 0.04	0.17 0.08	0.04 0.03	0.17 0.10	0.16 0.14



Reducción de ruido de resultados de CPTu (en relaves)

Ensayos in situ

- Datos de CPTu tienen ruido (un dato c/ 2cm)
- Planche datos
 - “lupa”: altura del cono
 - “lupa”: tamaño del elemento

```

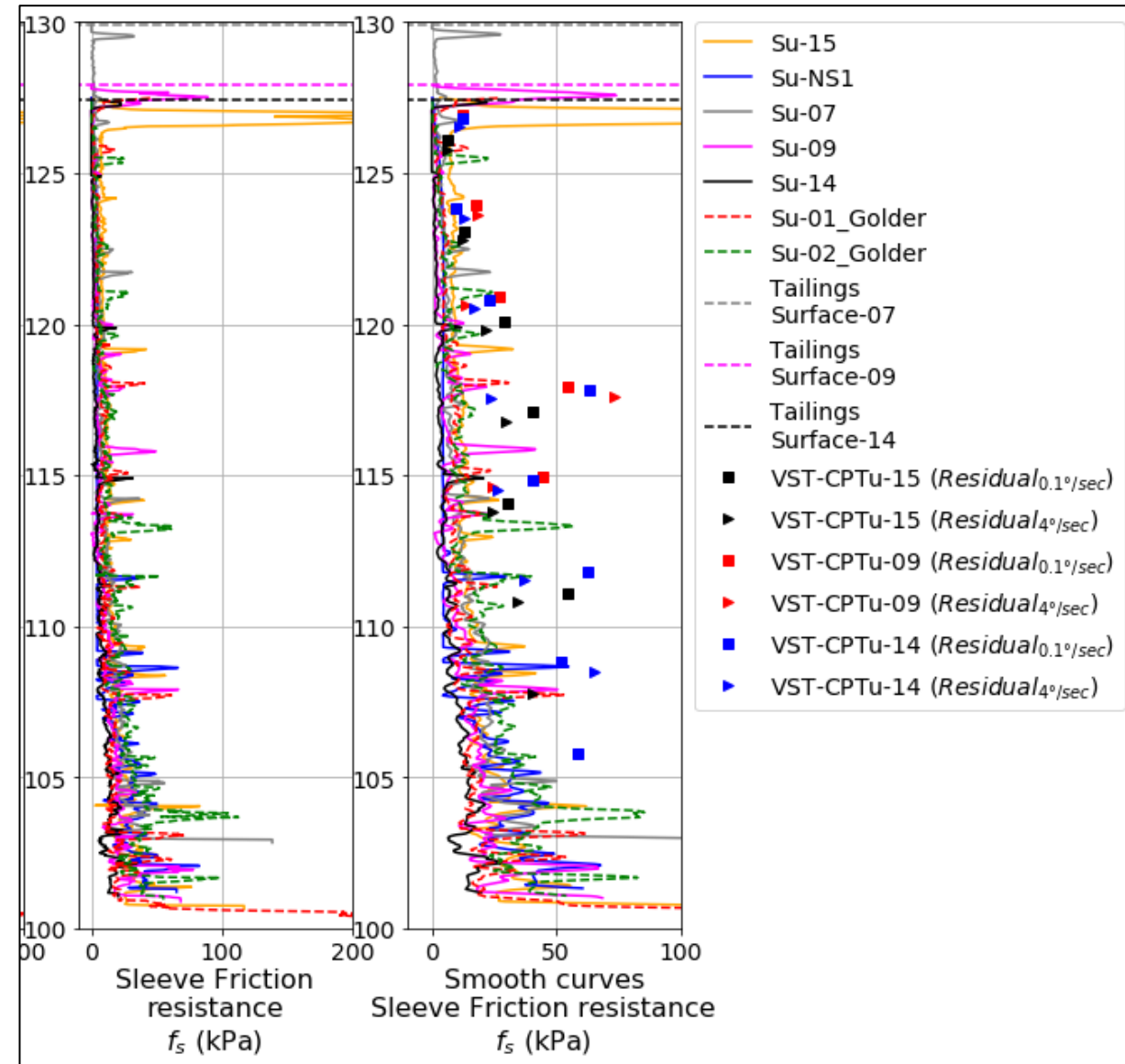
Fs_15_1=[]
D15_c1=[]
Fs_15_2=[]
D15_c2=[]
Limit_15 = 127.5
for i in range(len(D15_c)):
    if D15_c[i] > Limit_15:
        Fs_15_1.append(Fs_15[i])
        D15_c1.append(D15_c[i])

    if D15_c[i] <= Limit_15:
        Fs_15_2.append(Fs_15[i])
        D15_c2.append(D15_c[i])

def suavizador(a, n) :
    vec= np.cumsum(a, dtype=float)
    vec[n:] = vec[n:] - vec[:-n]
    return vec[n - 1:] / n

Su_15_2 = suavizador(Fs_15_2,7)

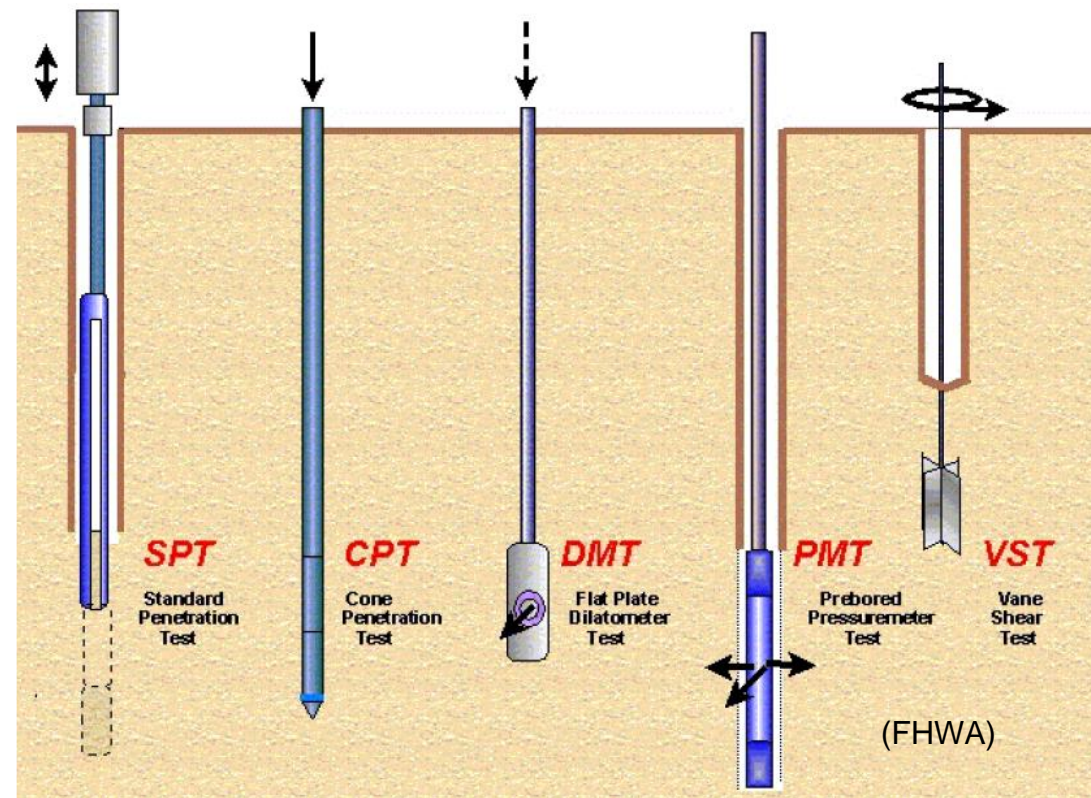
```



Índice



- SPT: Standard Penetration Test
- CPT: Cone Penetration Test
- PMT: Pressuremeter Test
- VST: Vane Shear Test
- DMT: Dilatometer Test
- PLT: Plate Load Test
- Ensayos geofísicos



Presurímetro Menard



<https://www.youtube.com/watch?v=TScwup1pJCo>
<https://www.youtube.com/watch?v=lUeqLDj6u-k>

Es un ensayo standard en Francia
(norma DTU 13.2)

- Mide rigidez y resistencia in situ inflando una sonda cilíndrica que se expande en forma radial

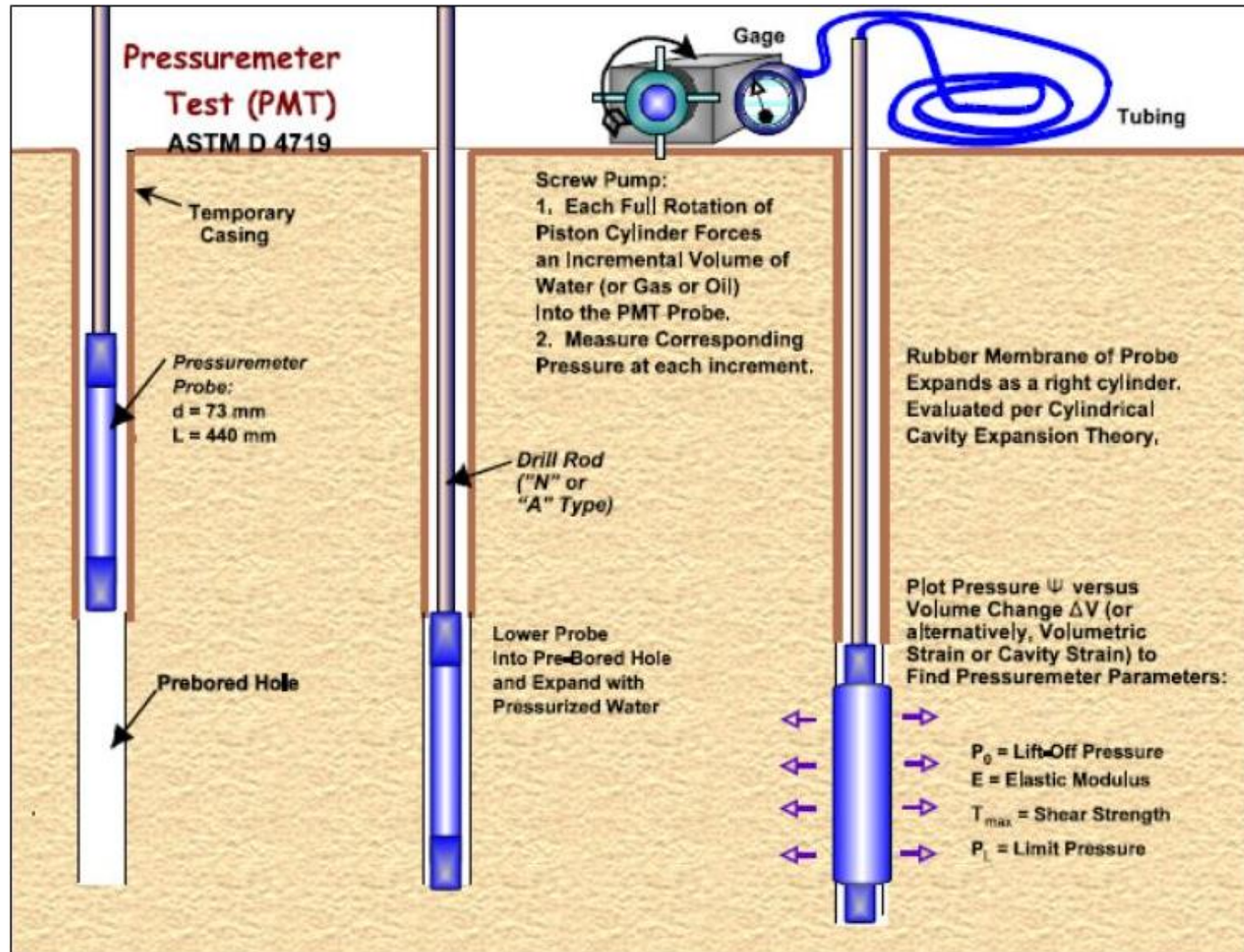


Sonda cilíndrica



Sonda + tablero control + presurizador

Presurímetro Menard

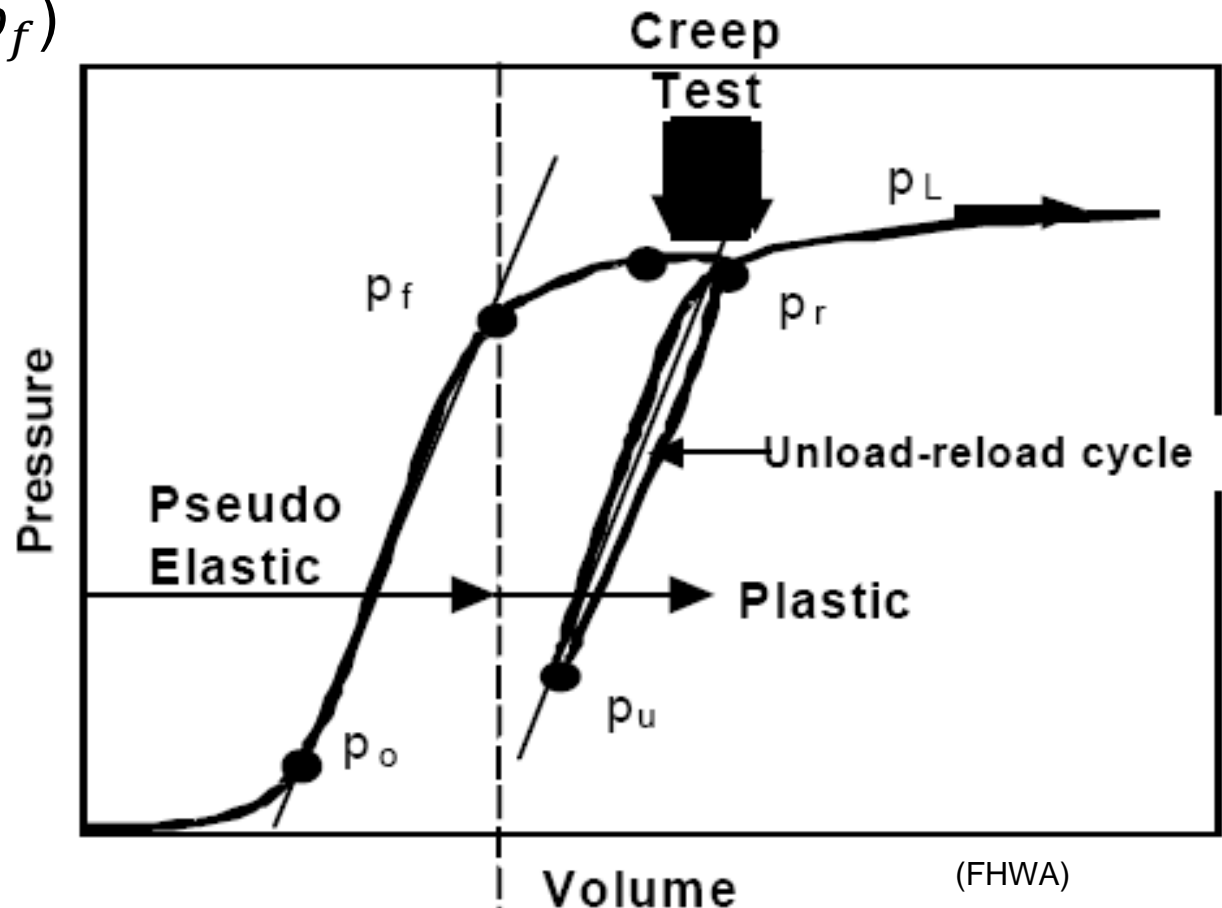


Parámetros que se miden



- Presión de contacto (p_0)
- Presión de fluencia (p_f)
- Presión límite (p_l)
 - $\Delta V = V_0$

Desventaja del ensayo:
La sonda no queda bien fijada a las paredes de la perforación

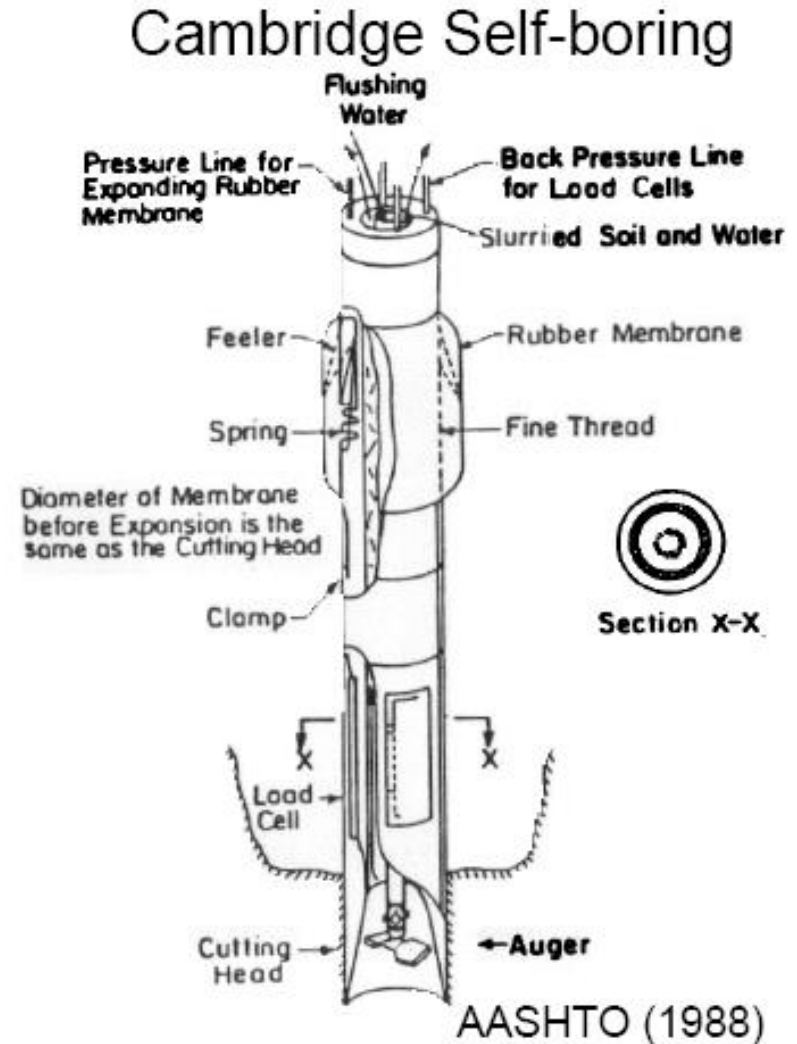


Presurímetro autoperforante



Presurímetro que perfora su propio orificio:

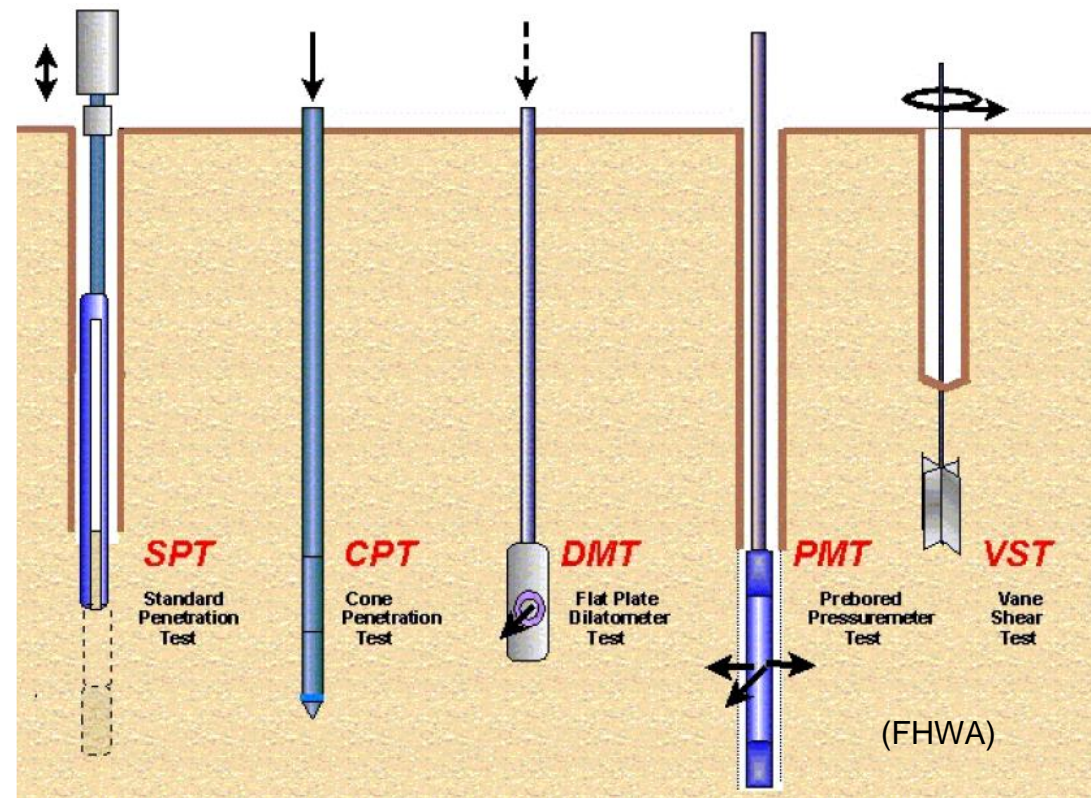
- No hay relajación de las paredes de la perforación
- Permite medir la rigidez inicial con mayor precisión
- Permite medir $K_0 = \frac{\sigma'_{h_0}}{\sigma'_{v_0}}$



Índice



- SPT: Standard Penetration Test
- CPT: Cone Penetration Test
- PMT: Pressuremeter Test
- VST: Vane Shear Test
- DMT: Dilatometer Test
- PLT: Plate Load Test
- Ensayos geofísicos



Ensayo de veleta VST



- Determinación directa in situ de resistencia al corte no drenada (s_u) y sensibilidad (S)
- Apto en suelos blandos o medios, no apto en suelos duros o granulares
- Puede practicarse en coincidencia con perforaciones hechas para otros trabajos
- Un buen torquímetro, fundamental



Diferentes juegos de veletas



Mini VST (laboratorio)

Ensayo de veleta VST

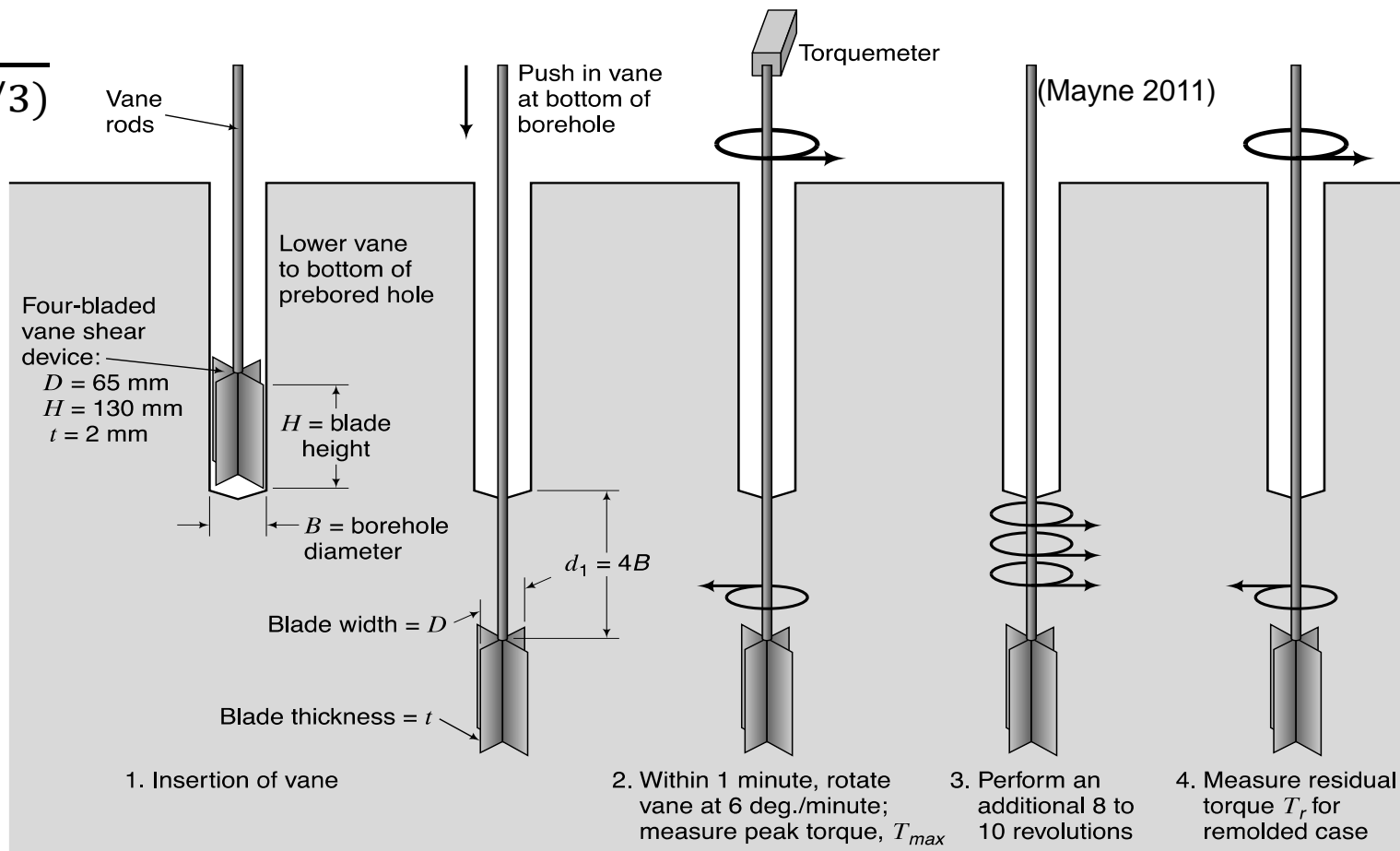


Secuencia del ensayo (resistencia a torsión de veleta)

$$S_u = \frac{2T}{\pi d^3 (h/d + 1/3)}$$

$$S = \frac{T_{max}}{T_r}$$

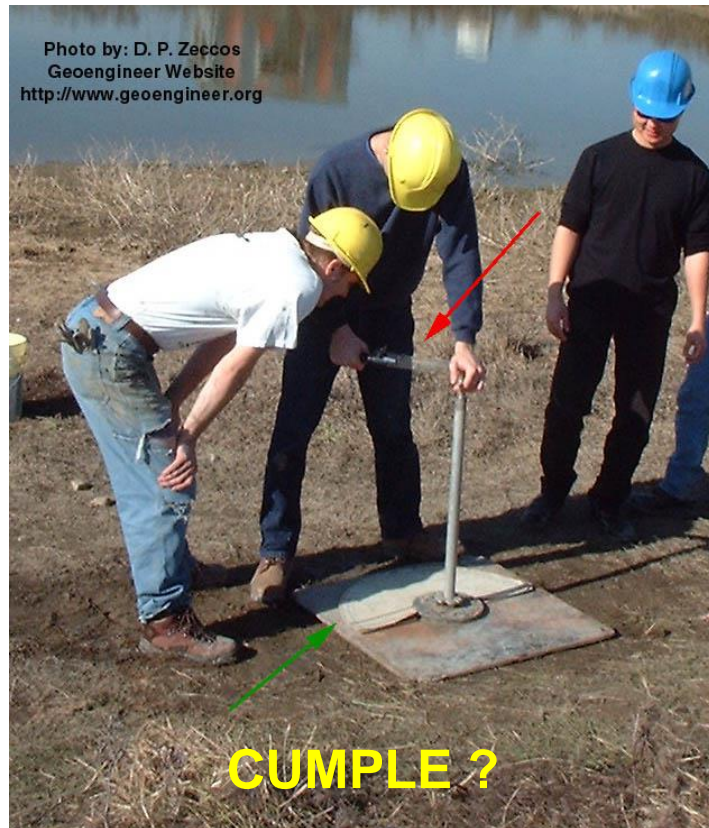
$T = \text{torque}$



Ensayo de veleta VST



- Ensayo “a deformación controlada” (3 a 12 deg/min)



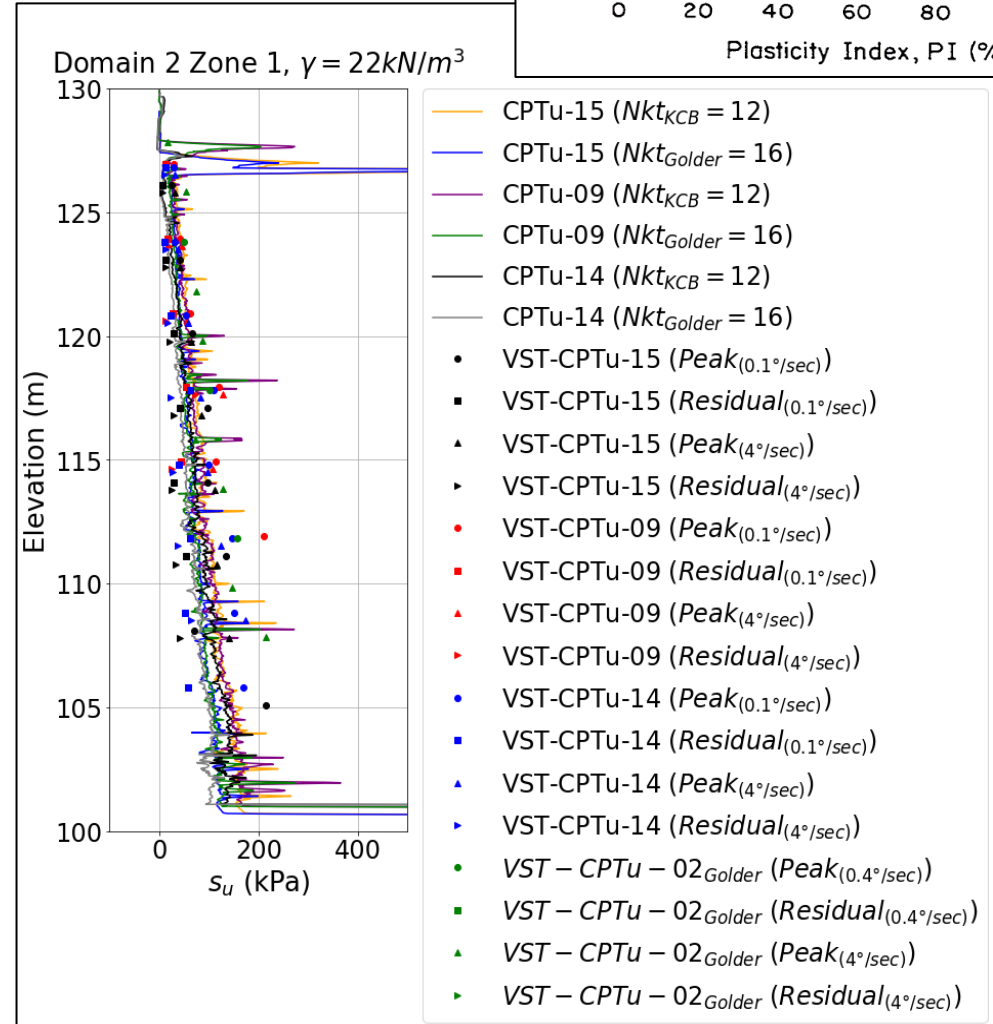
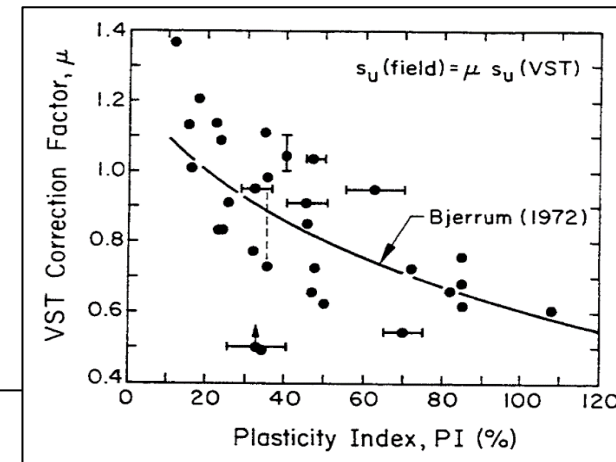
Calibración de CPTu con VST

Ensayos de veleta

- Resist. máxima: $s_{u,max}$
- Se comprueba no drenado girando a dif. velocidades
- Resist. residual: $s_{u,r}$ con 5 y 10 giros
- Sensitividad: $S = s_u/s_{u,r}$

CPTu

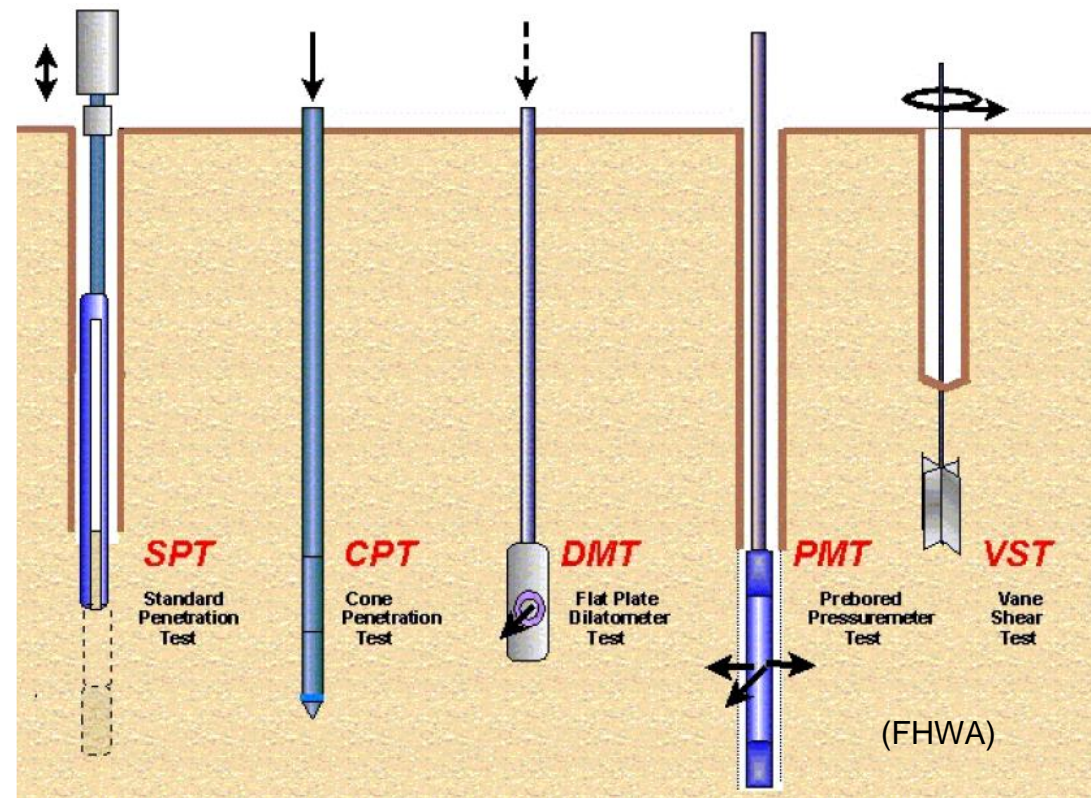
- Veleta permite elegir N_{kt}
- $s_{u,max} \cong (q_t - \sigma_v)/N_{kt}$
- $s_{u,r}$ estimada con S y f_s



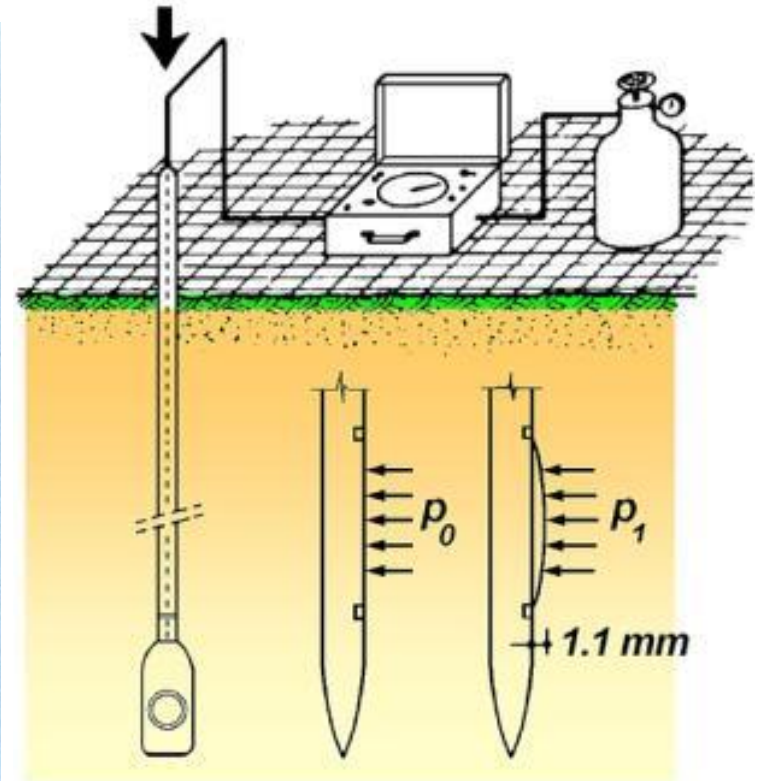
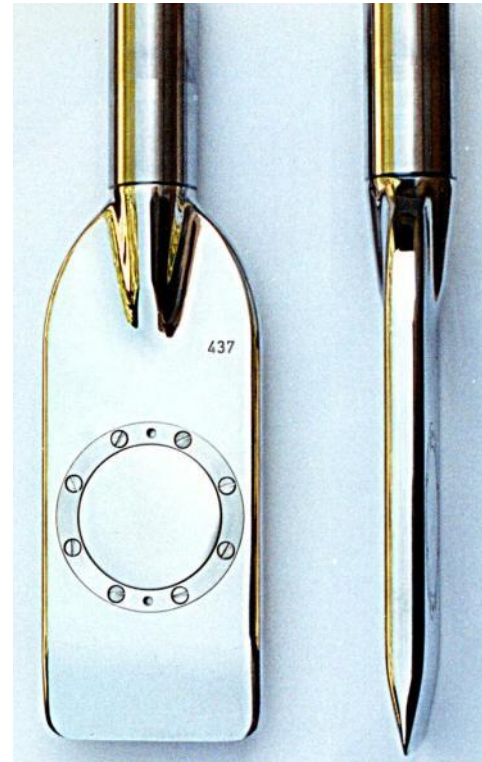
Índice



- SPT: Standard Penetration Test
- CPT: Cone Penetration Test
- PMT: Pressuremeter Test
- VST: Vane Shear Test
- DMT: Dilatometer Test
- PLT: Plate Load Test
- Ensayos geofísicos

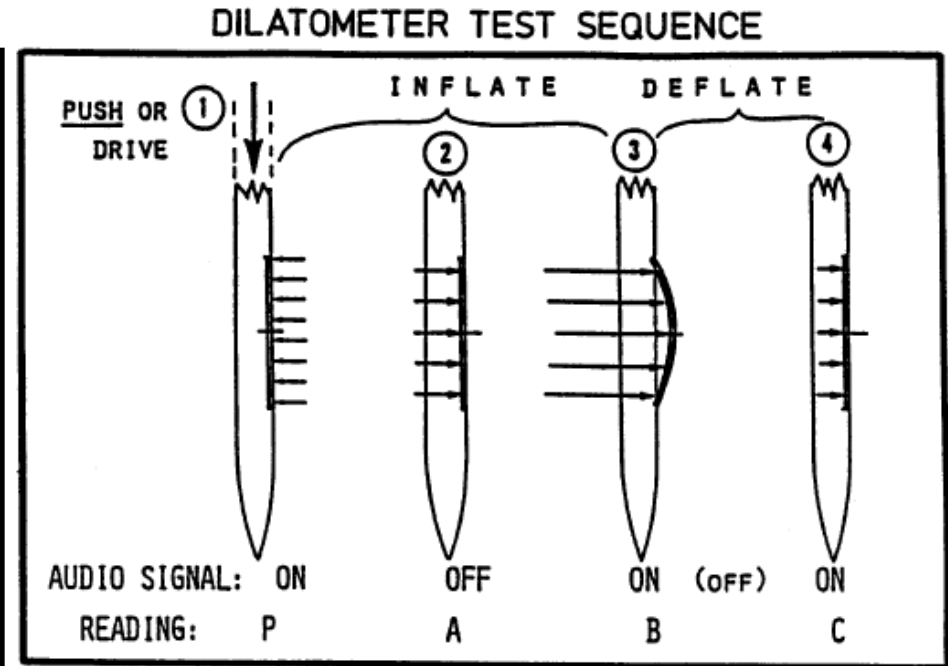
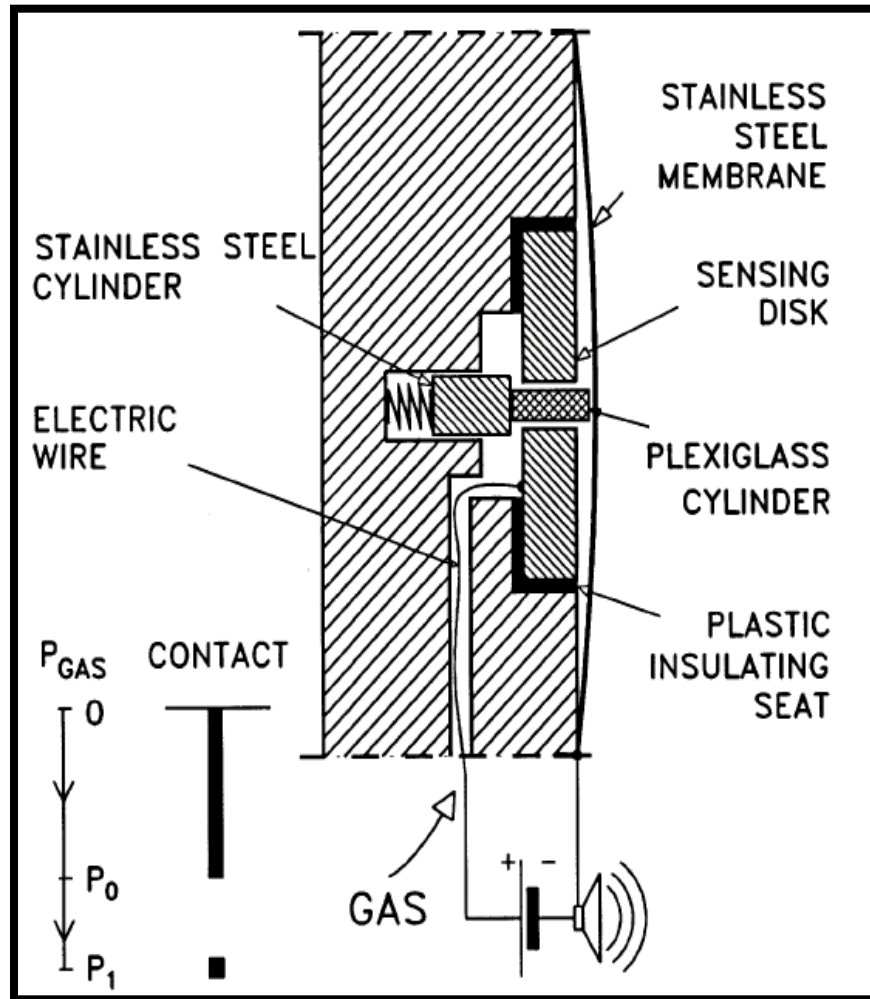


Dilatómetro Marchetti



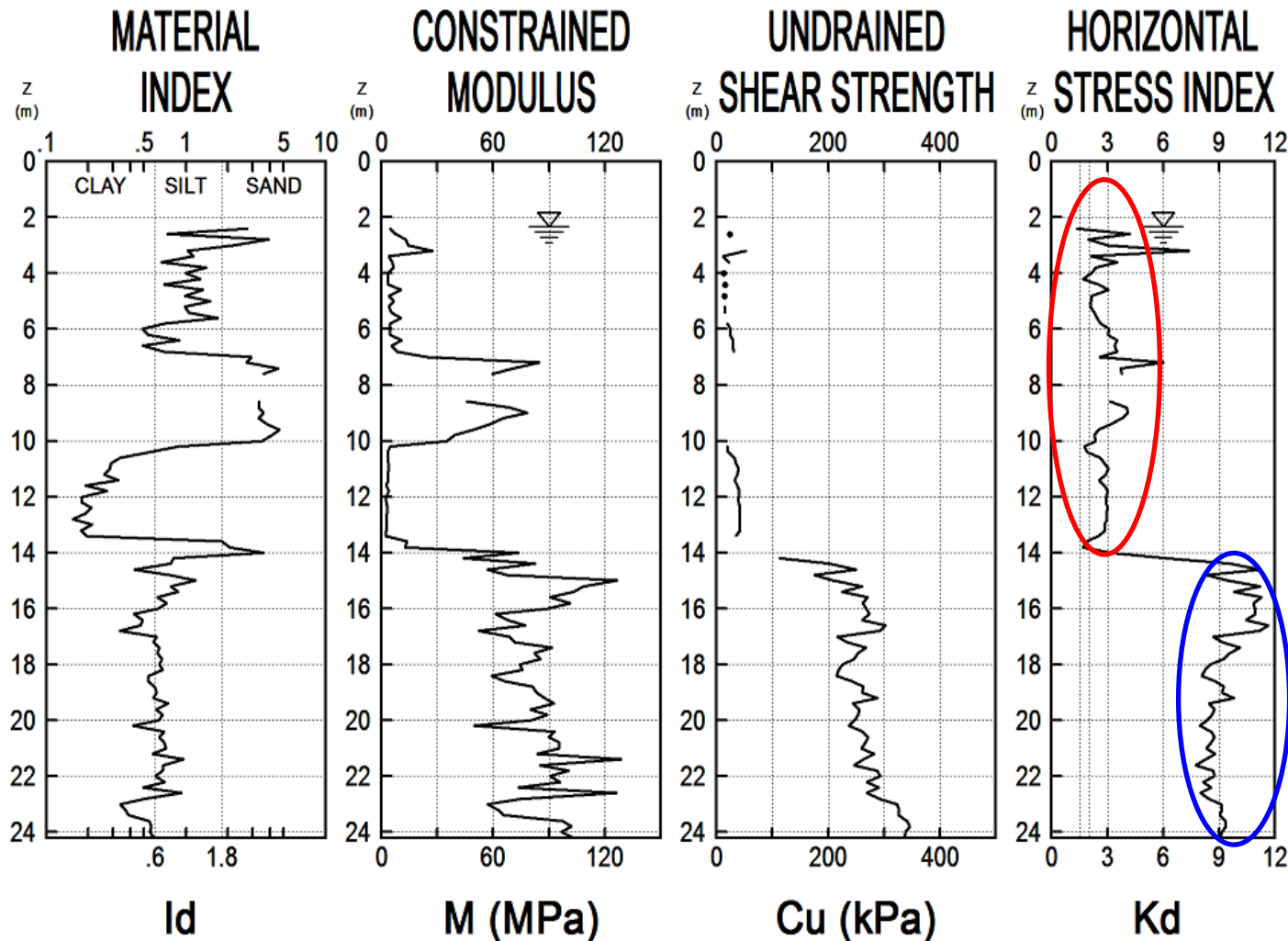
(Marchetti 2008)

Principio de funcionamiento del DMT



(Marchetti 2008)

DMT: Puede estimar OCR



$$I_D = (p_1 - p_0) / (p_0 - u_0)$$

$$K_D = (p_0 - u_0) / \bar{\sigma}_{vo}$$

$$E_D = 34.7(p_1 - p_0)$$

NC: $K_d \sim 2.0$

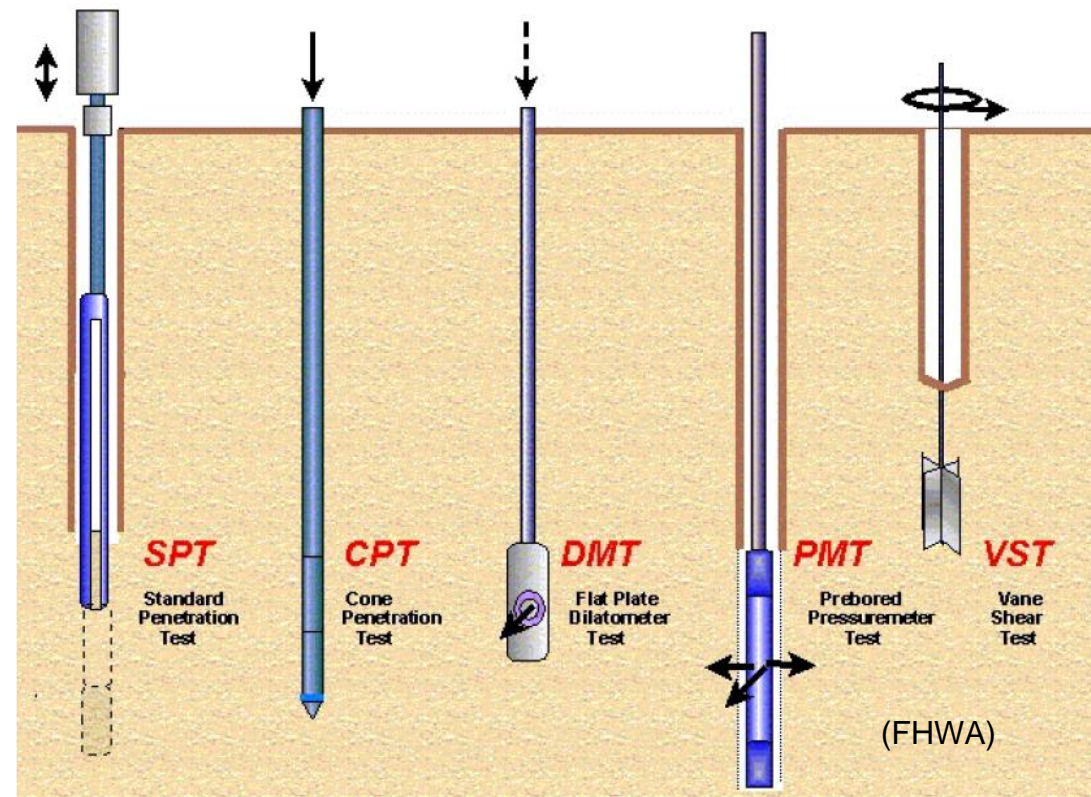
OC: $K_d > 2.0$

(Taranto 1987)

Índice



- SPT: Standard Penetration Test
- CPT: Cone Penetration Test
- PMT: Pressuremeter Test
- VST: Vane Shear Test
- DMT: Dilatometer Test
- PLT: Plate Load Test
- Ensayos geofísicos



Ensayo de carga en placa (PLT)

Mide el coeficiente de reacción de la subrasante

$$k_s = \frac{P}{\delta}$$

- Teoría de la elasticidad: $k_s \propto \frac{E}{B}$

- Puede aproximarse como

$$k_s \sim 1.35 \frac{E}{B} \left(\frac{2}{3} + \frac{1}{3} \frac{B}{L} \right)$$

Permite estimar un valor medio del módulo de Young E



Ensayo de carga en placa: un resultado



ENSAYO DE CARGA EN PLACA

VESTIBULO ROOSEVELT

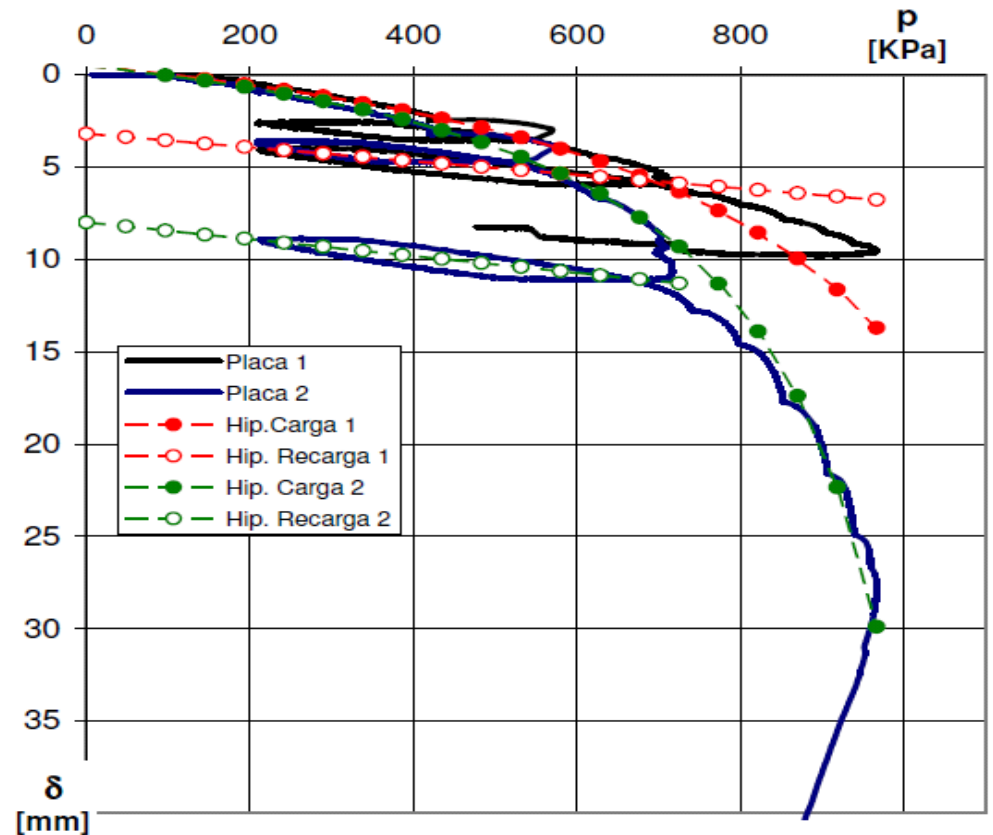
Profundidad:	6	metros	horizontal
--------------	---	--------	------------

Suelo	Placa 1	Placa 2	Descripción
ω %	28.1	31.8	humedad natural
ω_l %	50	48	límite líquido
I_p %	19	17	índice de plasticidad
#200 %	>90	>90	pasa tamiz 200

Placa 1	Carga	Recarga	A [m ²]	0.07
δ_0	mm	-0.5	3.2	corrección de cero
K_i	MN/m ³	220	270	balasto inicial
P_{ult}	KPa	1400	-	presión última

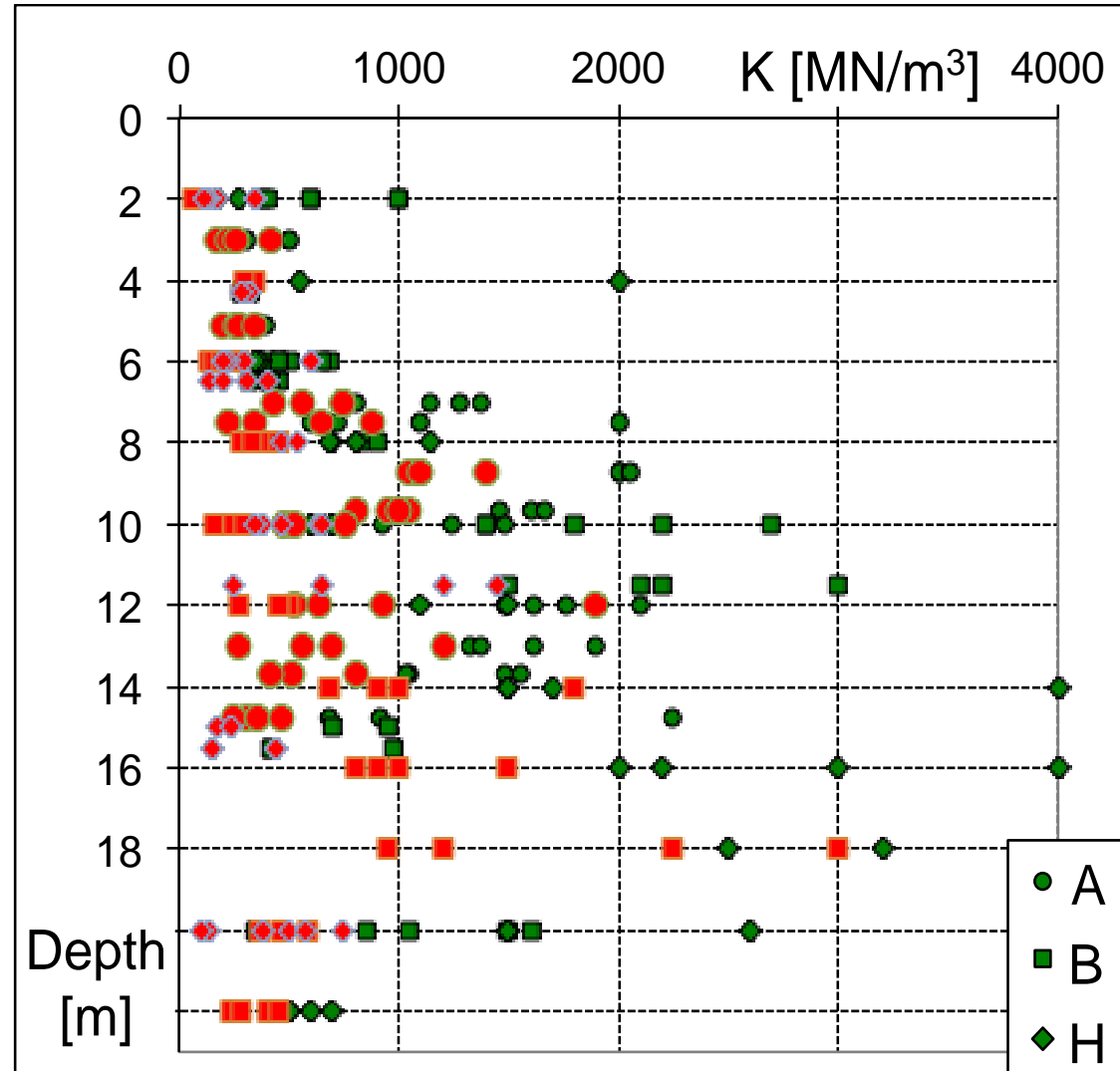
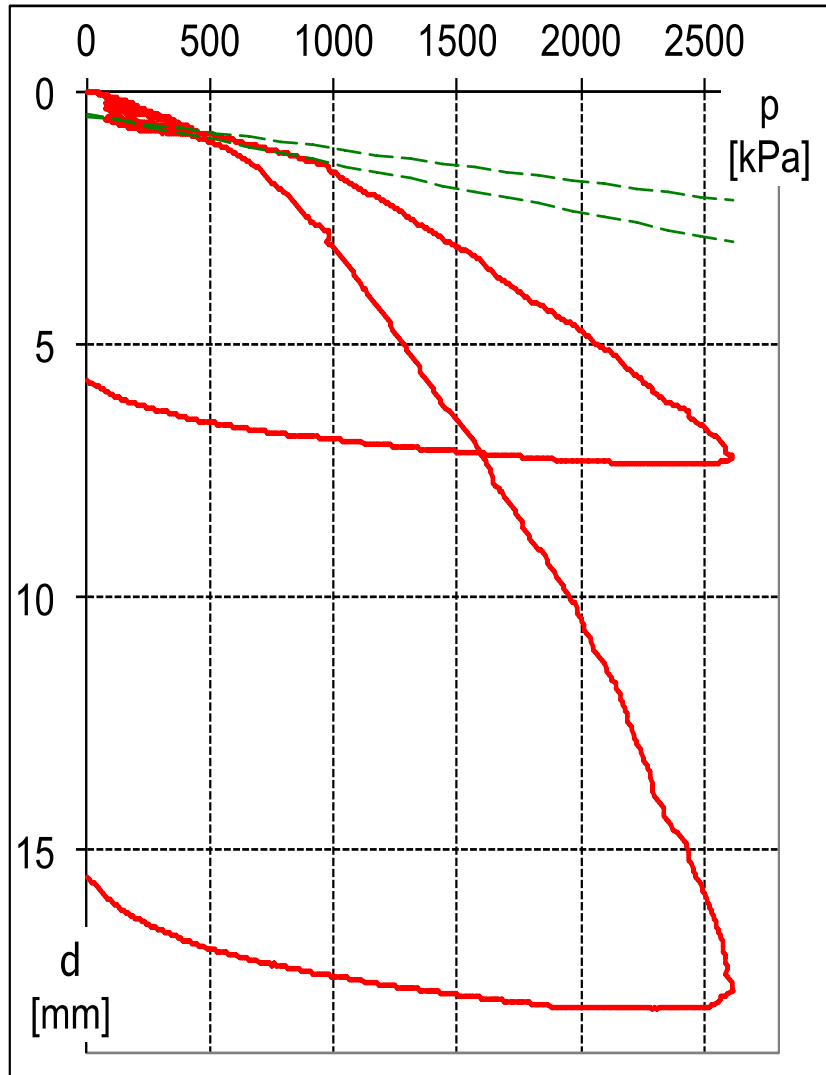
Placa 2	Carga	Recarga	A [m ²]	0.07
δ_0	mm	-0.5	8.0	corrección de cero
K_i	MN/m ³	200	220	balasto inicial
P_{ult}	KPa	1150	-	presión última

curva presión - desplazamiento



(Sfriso 2006)

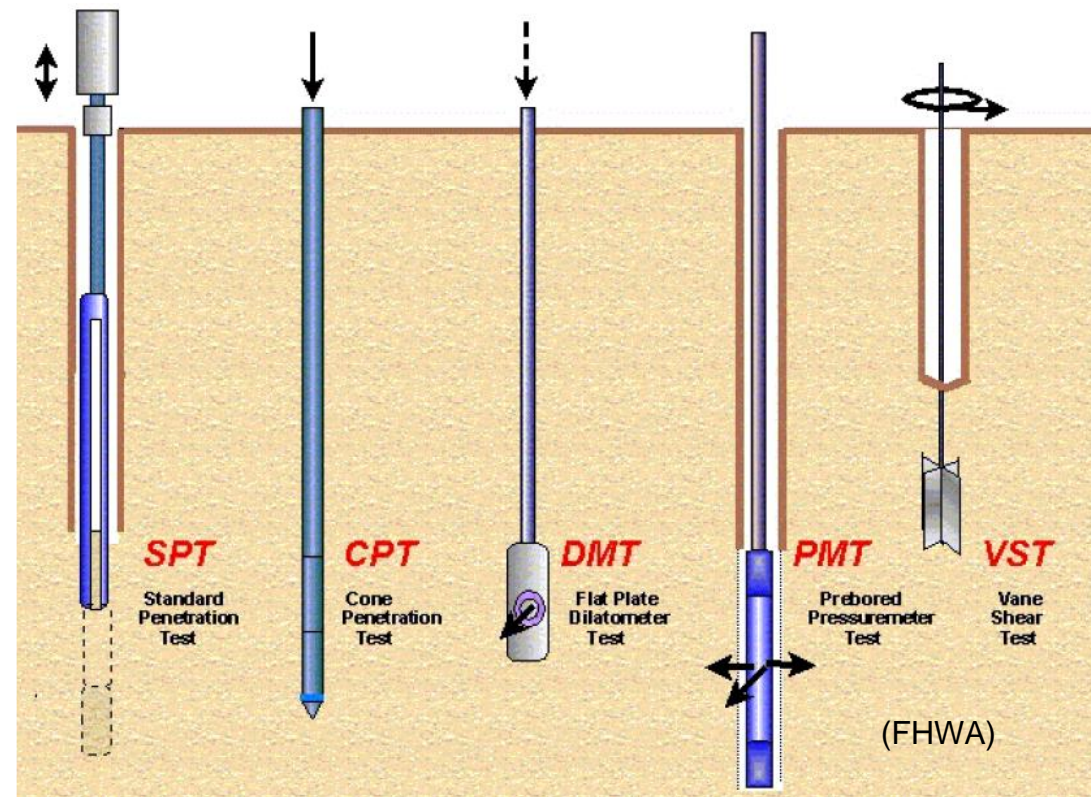
Ensayo de placa en Pampeano



Índice



- SPT: Standard Penetration Test
- CPT: Cone Penetration Test
- PMT: Pressuremeter Test
- VST: Vane Shear Test
- DMT: Dilatometer Test
- PLT: Plate Load Test
- Ensayos geofísicos



Métodos geofísicos



Método	Campo de Fuerza	Propiedad Físico o Química
Magnético	campo de fuerza magnético	permeabilidad magnética (μ)
Gravimétrico	campo de fuerza gravítico	densidad, gravitrones (γ)
Eléctrico	campos eléctricos natural y artificial	potenciales REDOX, conductividad eléctrica (σ)
Sísmico	campo atificial creado por las ondas símicas	densidad (ρ), elasticidad
Radiométrico	radiación radioactiva	radioactividad, emisión de partículas eléctricas cargadas desde el núcleo de átomos de materiales radioactivos
Geotérmico	gradiente de temperatura terrestre	conductividad térmica
Geoquímico	emanación de vapores, asenso y descenso de soluciones	potenciales REDOX, conductividad eléctrica (σ)

Métodos geofísicos



Ensayos in situ

Applications	Geophysical Methods											
	Seismic		Electrical		Electromagnetic						Gravity (6.12)	
	Refraction (6.1)	Reflection (6.2)	DC Resistivity (6.3)	SP (6.4)	Frequency Domain (6.5)	Time Domain (6.6)	VLF (6.7)	Pipe/Cable Locator (6.8)	Metal Detectors (6.9)	Ground Penetrating Radar (6.10)		Magnetics (6.11)
Natural Geologic and Hydrologic Conditions												
Soil/unconsolidated layers	A	B	A		B	A	B			A		
Rock layers	B	A	B			B				B		
Depth to bedrock	A	A	B		B	B	B			A		B
Depth to water table	A	A	B		B	B	B			A		
Fractures and fault zones	B	B	B		A	B	A			B	B	B
Voids and sinkholes	B	B	B		B	B				A		A
Soil and rock properties	A		A		B							
Dam and lagoon leakage			B	A	B					B		
Inorganic Contaminants												
Landfill leachate			A		A	A	B			B		
Saltwater intrusion			A		A	A	B			B		
Soil salinity			A		A							
Organic Contaminants												
Light, nonaqueous phase liquids			B		B	B				B		
Dissolved phase ^C												
Dense, nonaqueous phase liquids ^C												
Manmade Buried Objects												
Utilities					B			A	B	A		
Drums and USTs					A			A	A	A	A	
UXO									A	B	A	
Abandoned wells					B			B	B		A	
Landfill and trench boundaries	B		B		A	B				A		
Forensics			B		A			B	B	A	B	
Archaeological features	B	B	B		A					A	A	B

^A"A" implies primary choice of method.

^B"B" implies secondary choice or alternate method.

^CAlso see natural geologic and hydrologic conditions to characterize contaminant pathways.

Propagación de ondas mecánicas

Energía de cada tipo de onda:

$P = 7\%$, $S = 26\%$, $R = 67\%$

Deformación elástica ($\gamma < 10^{-6}$)

- Ondas de cuerpo (medios infinitos)

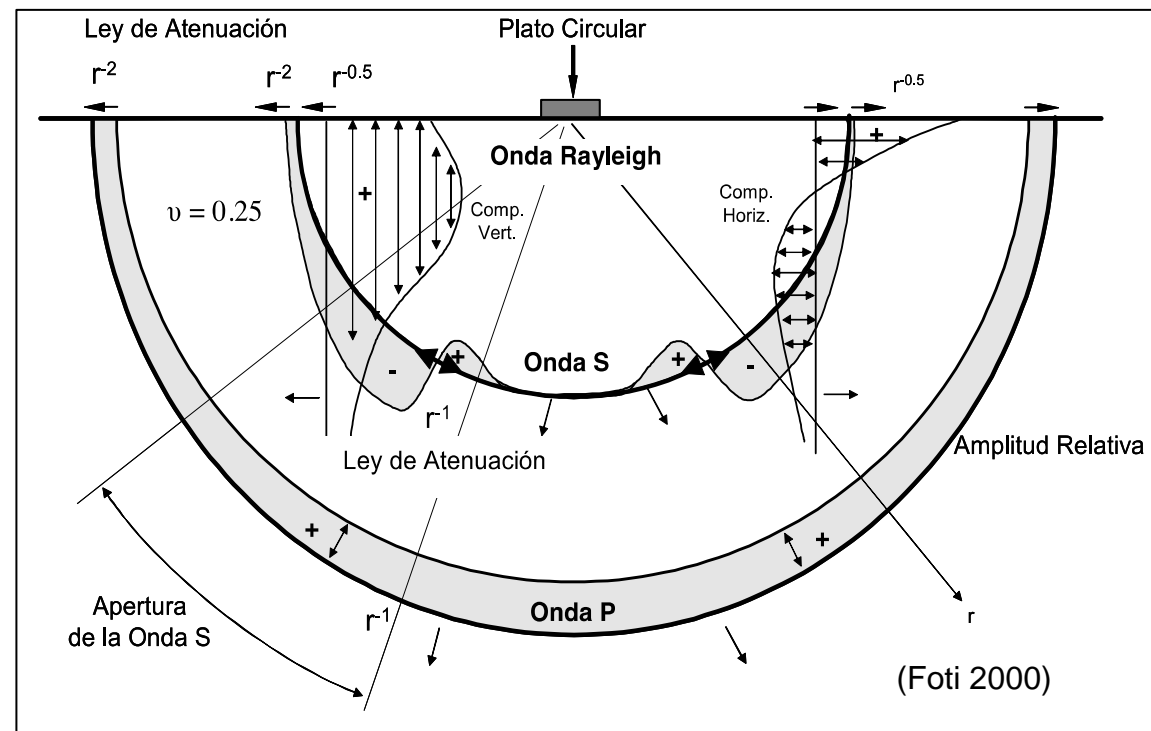
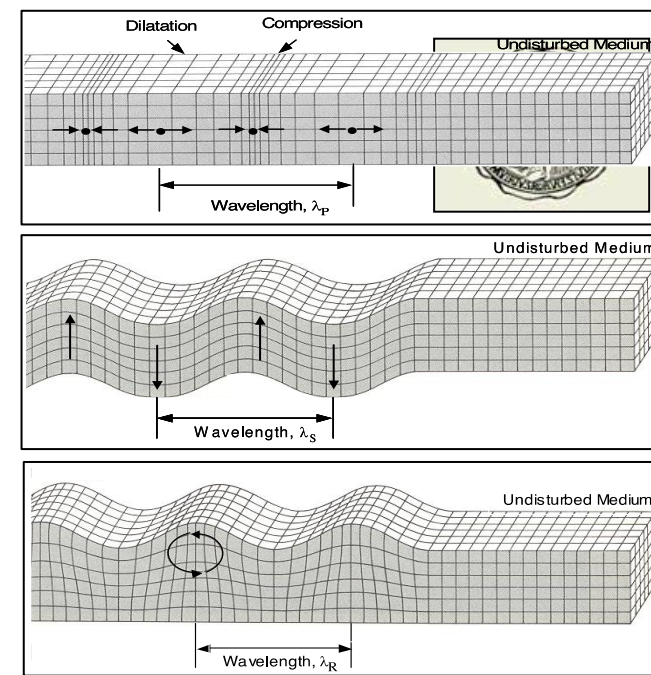
$$- V_s = \sqrt{G/\rho}$$

$$- V_p = V_s \sqrt{\frac{2-2\nu}{1-2\nu}}$$

- Ondas de superficie

$$- V_R \cong 0.9V_s$$

$$- V_L$$

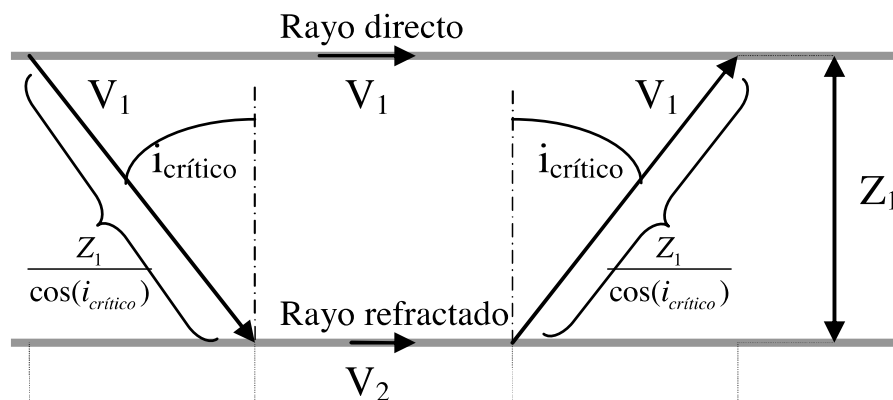


Sísmica de refracción (ondas P)

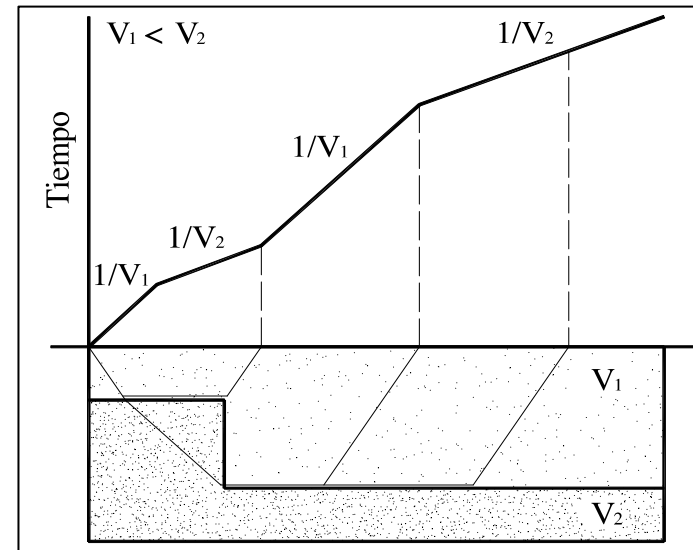
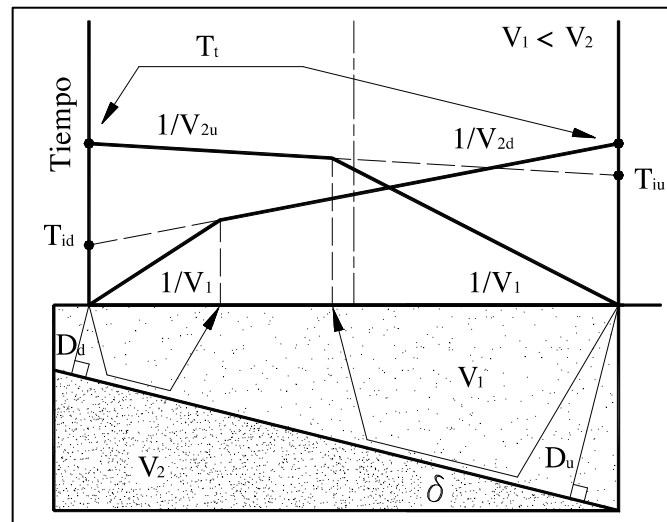
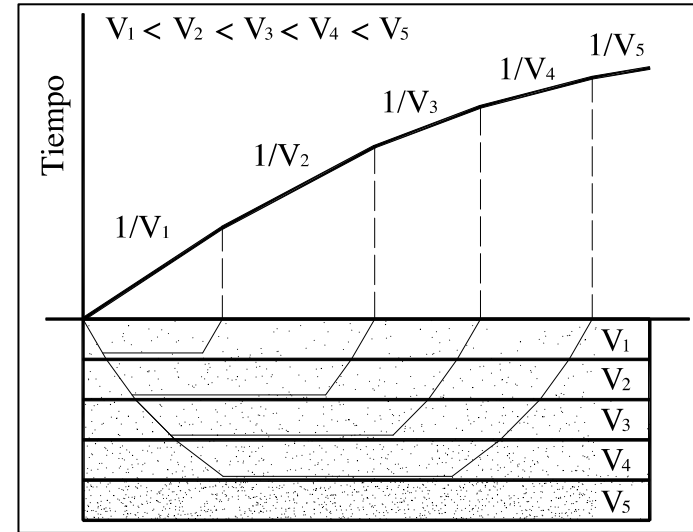
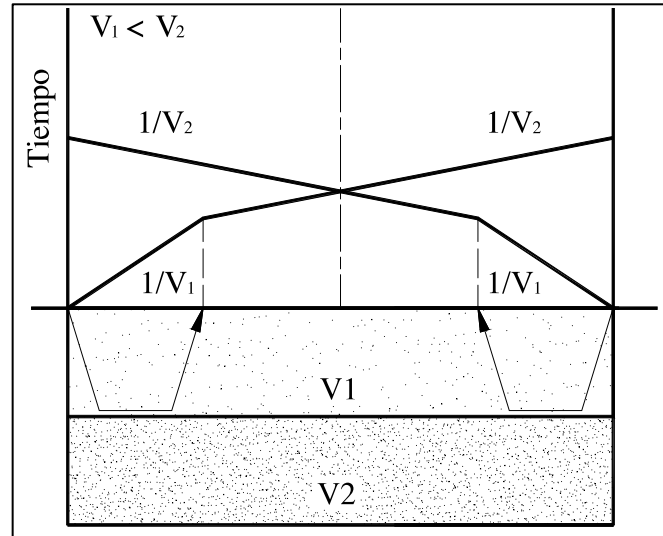


Se basa en el tiempo de arribo de ondas P (las más rápidas)

- Detectar estratos de rigidez creciente con profundidad
 - Posición
 - Inclinación
- Estimar módulo de Young



Sísmica de refracción: interpretación

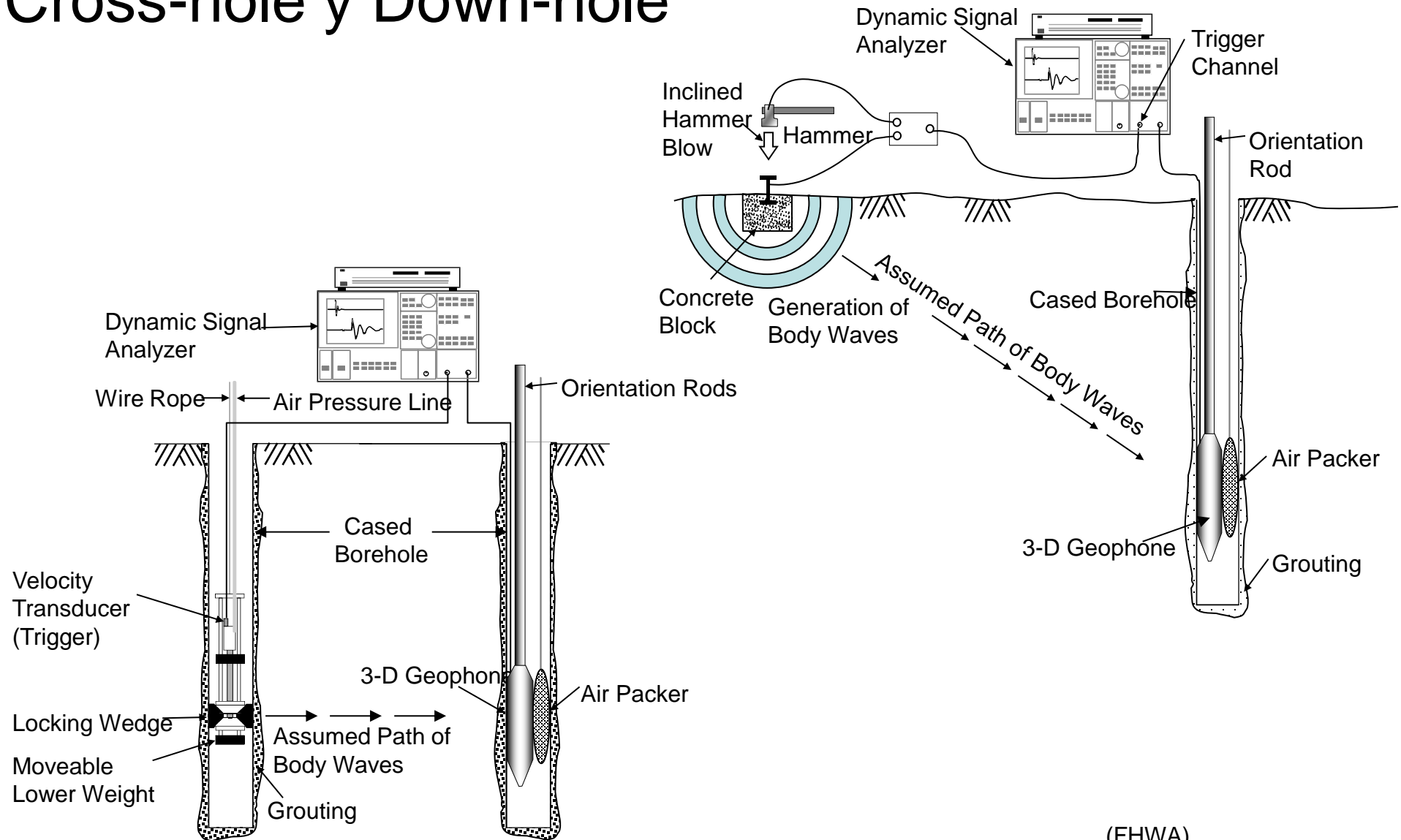


Ensayos en perforaciones

Cross-hole y Down-hole



Ensayos in situ

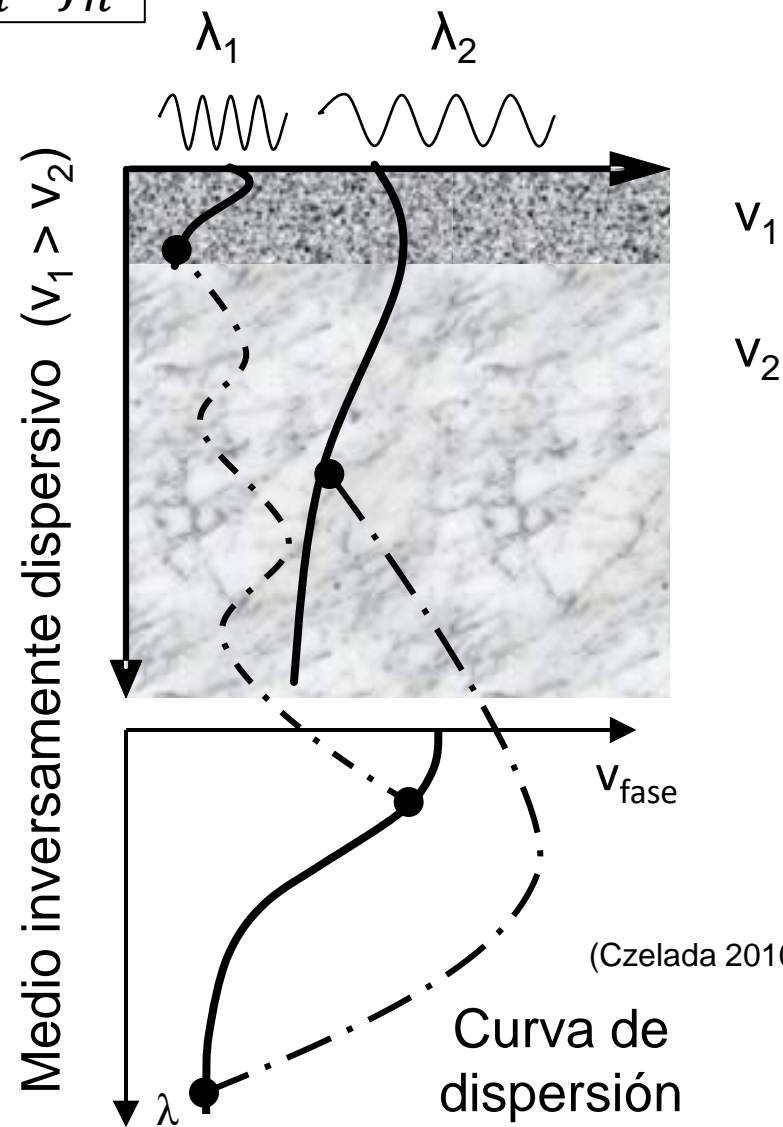
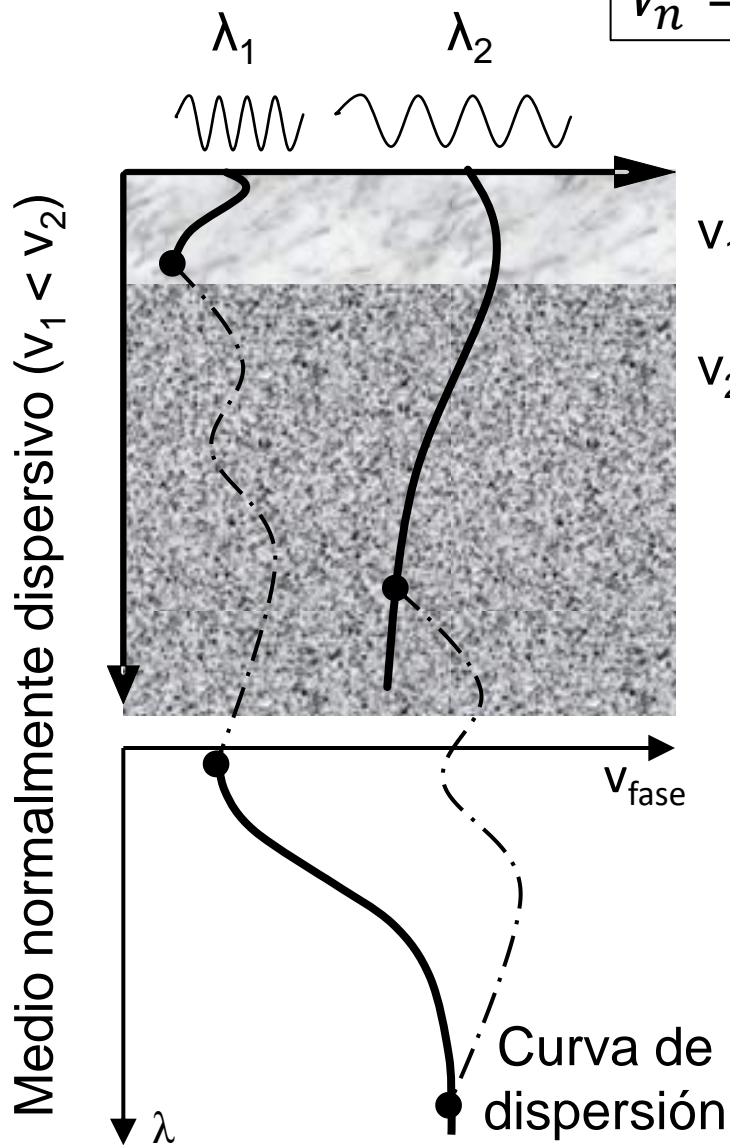


(FHWA)

Ensayos de dispersión (SASW | MASW)



$$V_n = \lambda_n \cdot f_n$$



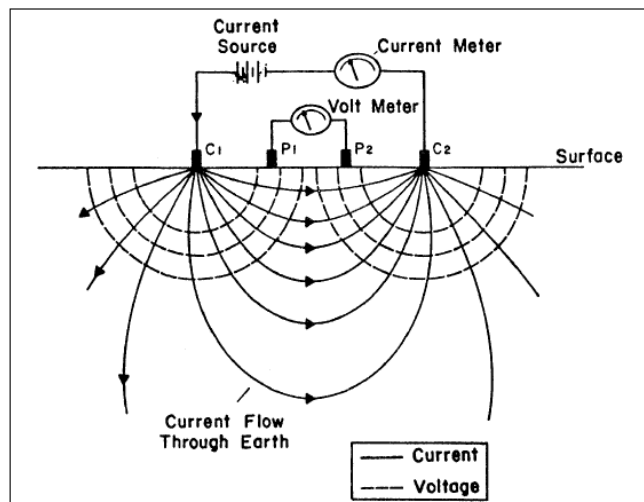
(Czelada 2010)

Geoeléctrica



Mide diferencias de resistividad de los sustratos que atraviesa

- Alcanza una profundidad media (~100 m)
- Permite detectar fluidos de diferente salinidad y horizonte de saturación

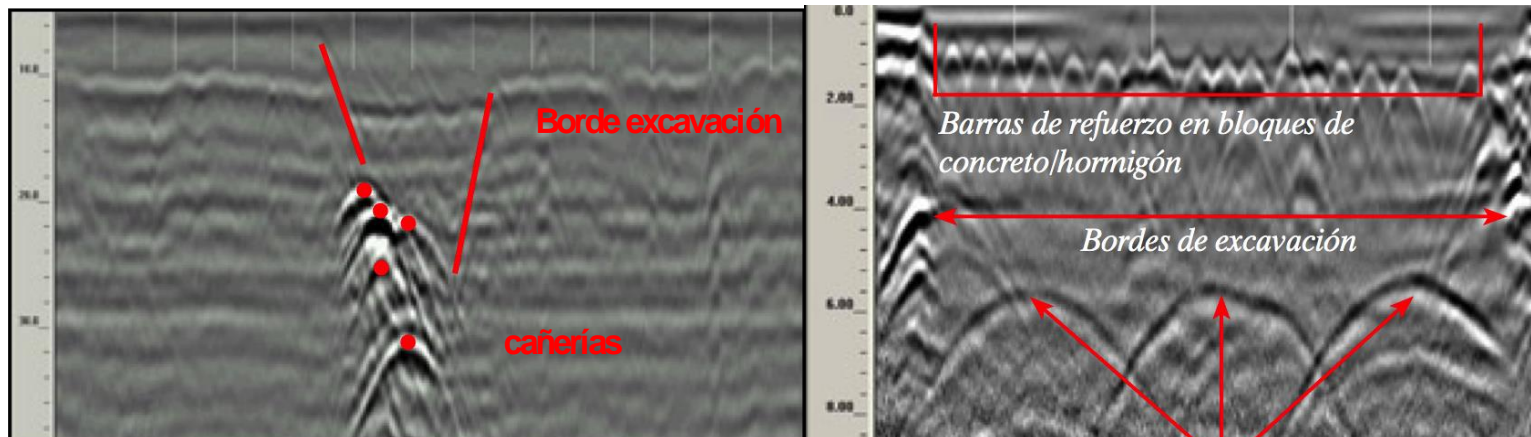


Georradar (GPR)



Se basa en propagación de ondas electromagnéticas

- Detección de oquedades, objetos enterrados
- Detección de armaduras en elementos estructurales
- Perfiles geológico-geotécnicos
- Posición nivel freático
- Fracturas o grietas en macizos



Resumen



- Saber la metodología de ejecución de cada ensayo
- Saber los recursos asignados (\$\$\$) de cada ensayo
- Saber que parámetros se determinan en cada ensayo
- El uso de correlaciones debe efectuarse con cuidado
- La combinación de varios ensayos mejora la descripción general de un perfil geotécnico

Bibliografía



Básica

- Kulhawy & Mayne. Manual on estimating soil properties for foundation design. EPRI (fuente de figuras)

Complementaria

- FHWA (2001). Manual on subsurface investigations. NHI-01-031.
- FHWA (2006). Soils and Foundations I y II. NHI-06-088
- USACE (2001). Geotechnical Investigations. EM 1110-1-1804