Compresión unidimensional

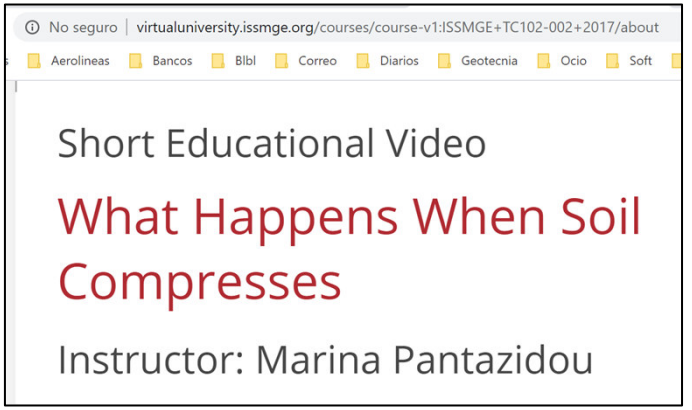
Mecánica de Suelos y Geología

Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

Índice

- Definición de compresión edométrica
- Ensayo edométrico
- Preconsolidación
- Deformación diferida
- Arcillas naturales
- La torre de Pisa

http://virtualuniversity.issmge.org/courses/course-v1:ISSMGE+SEV101+2020/about

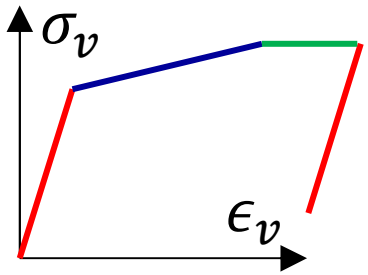


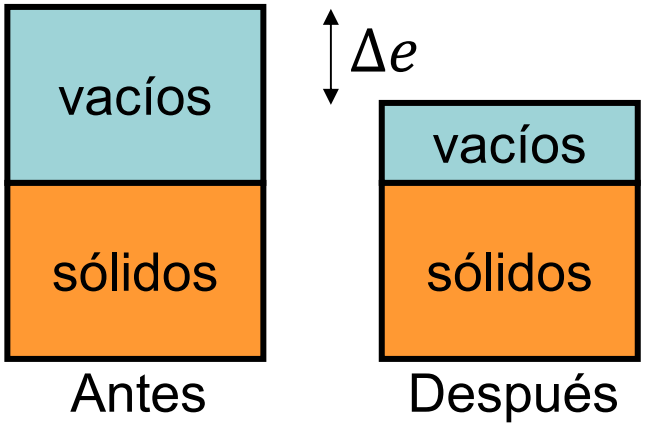
http://virtualuniversity.issmge.org/courses/course-v1:ISSMGE+TC102-002+2017/about

Compresión edométrica (o compresión unidimensional)

Trayectoria de compresión típica de suelos blandos cargados con rellenos

- Vertical $\epsilon_1 > 0$
- Horizontal $\epsilon_3 = 0$





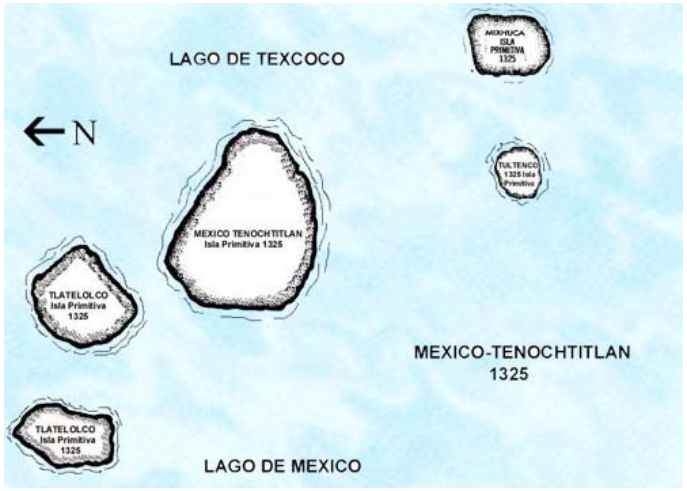
Puede ser

- Reversible (elástica)
- Permanente (elastoplástica)
- Dependiente del tiempo (viscosa)

La reducción de e produce aumento de rigidez (línea azul no es horizontal)

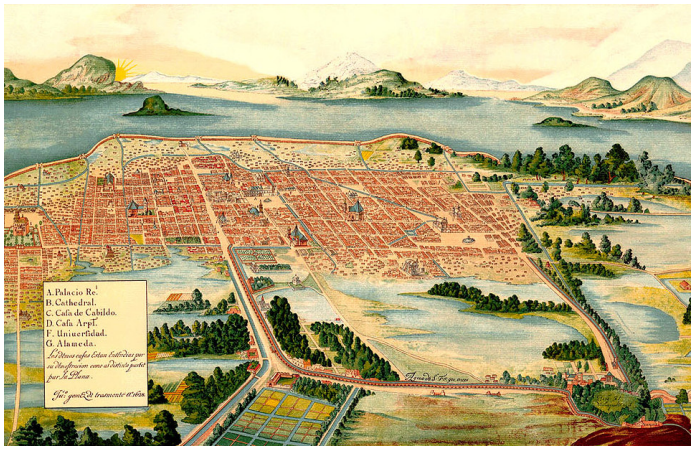
Evolución Ciudad de México DF

Año 1325



Año 1519

Año 1628



Año 1930

Catedral metropolitana

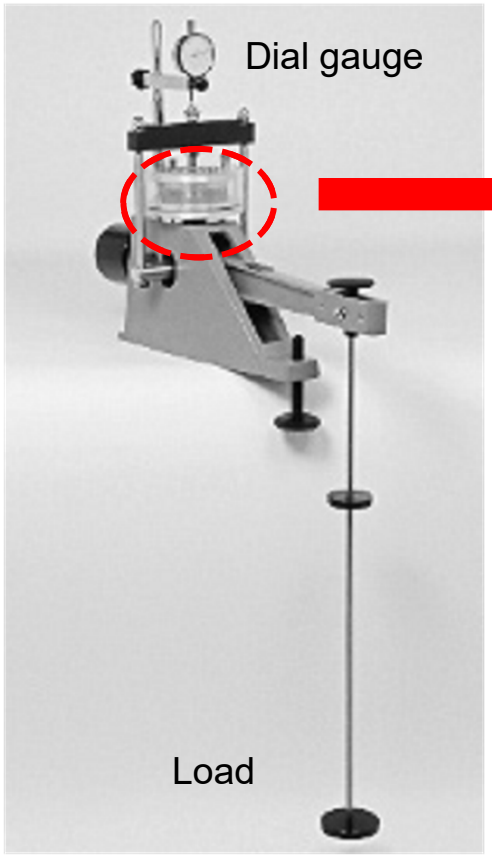
Ruinas del Templo Mayor

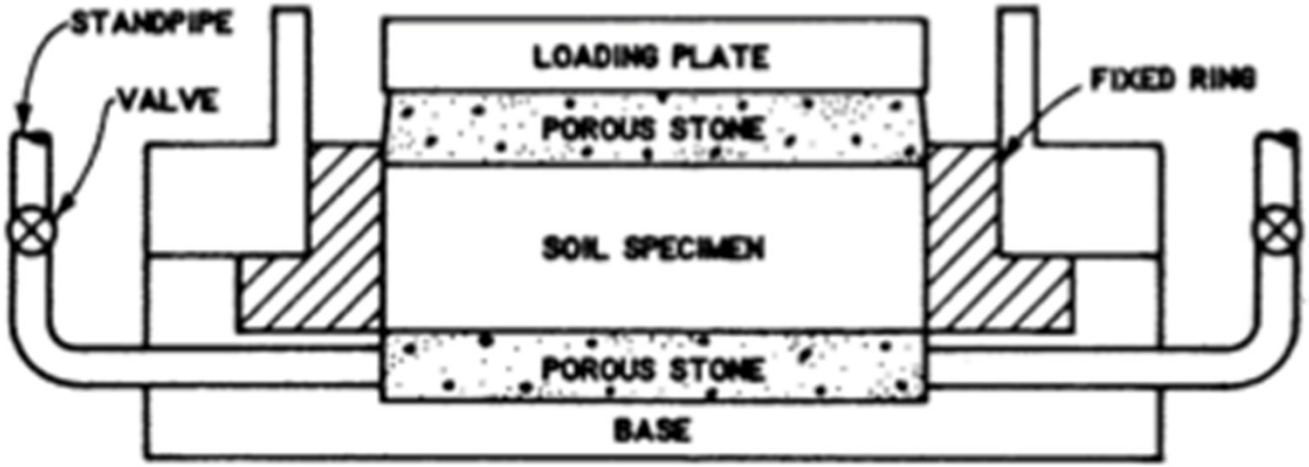
300 a
400 cm

Índice

- Definición de compresión edométrica
- Ensayo edométrico
- Preconsolidación
- Deformación diferida
- Arcillas naturales
- La torre de Pisa

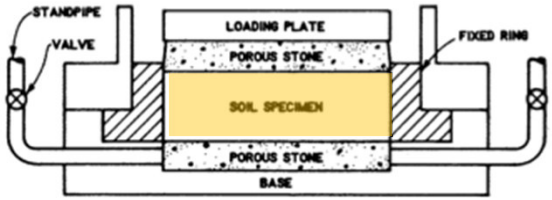
Ensayo edométrico: equipo



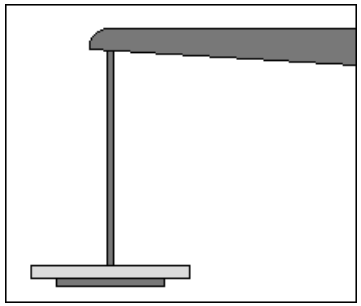


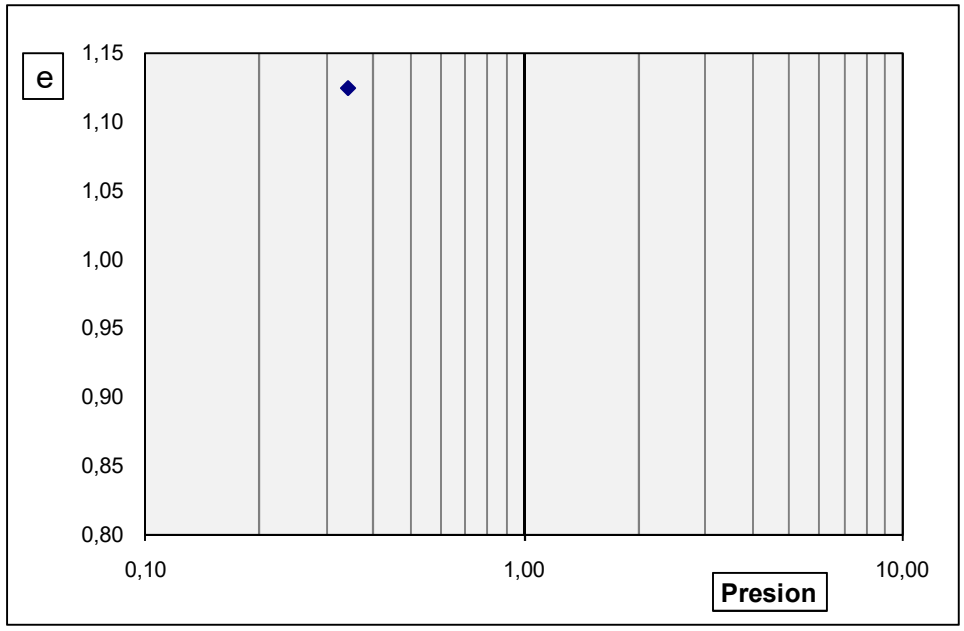
(Craig. Soil mechanics)

Ensayo edométrico: procedimiento (1º escalón carga)

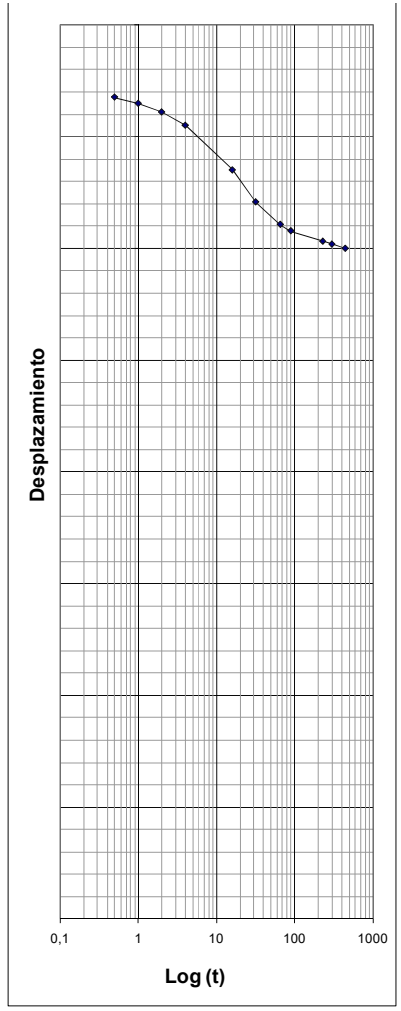


Carga

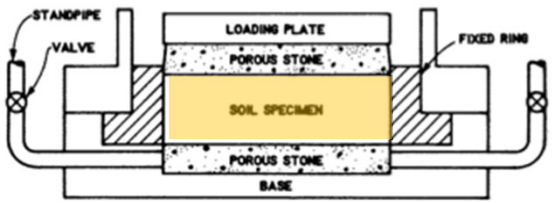




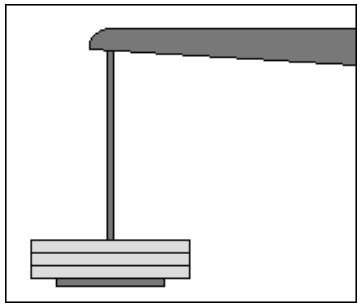
Registro deformación - tiempo

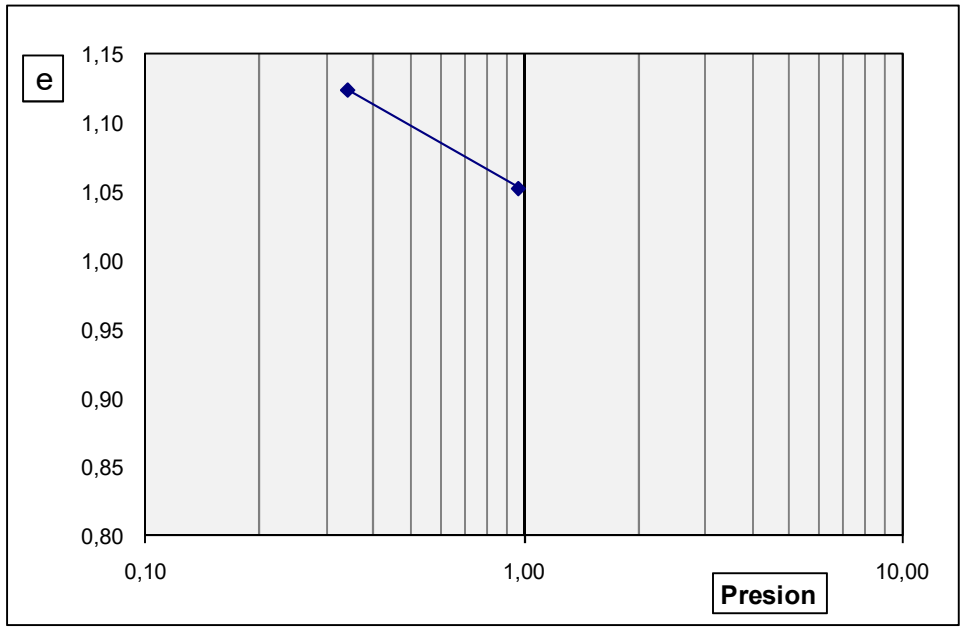


Ensayo edométrico: procedimiento (2º escalón carga)

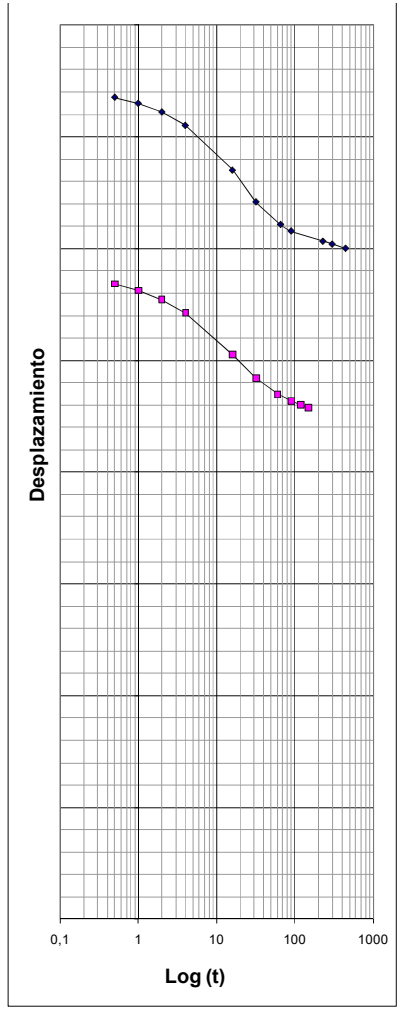


Carga

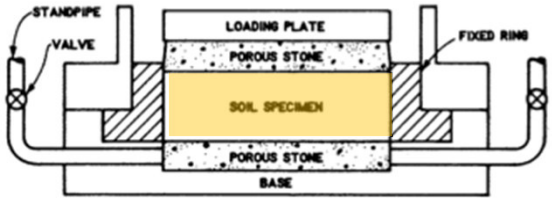




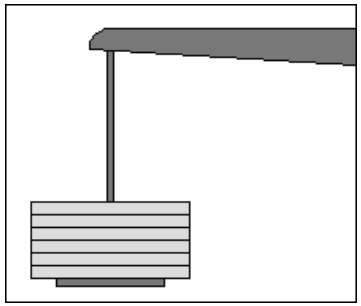
Registro deformación - tiempo

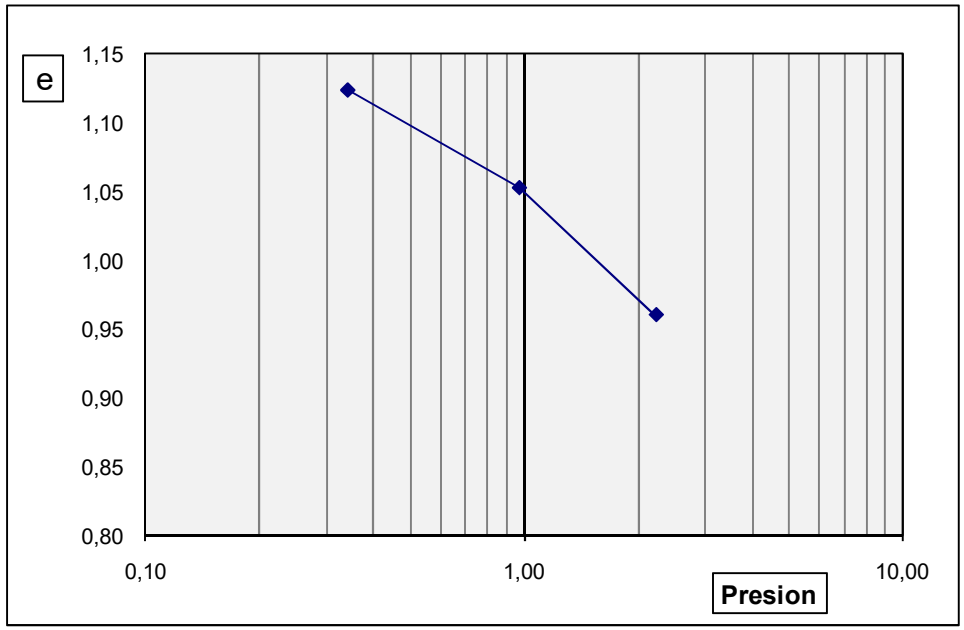


Ensayo edométrico: procedimiento (3º escalón carga)

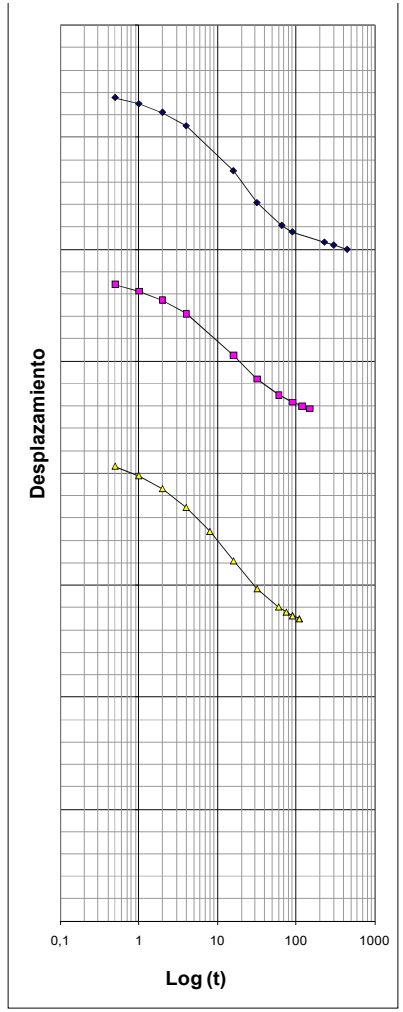


Carga

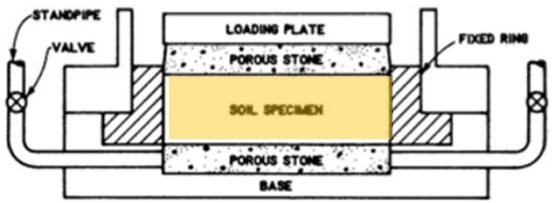




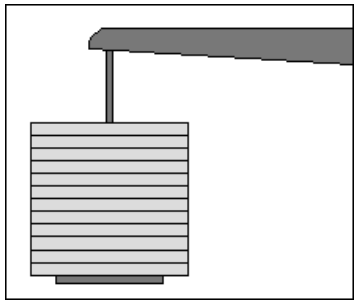
Registro deformación - tiempo

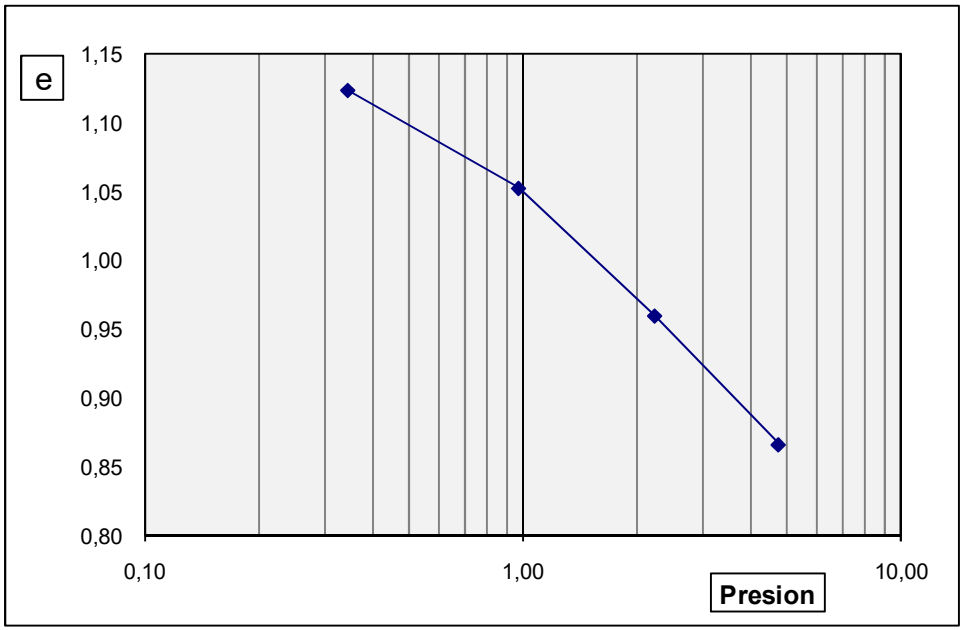


Ensayo edométrico: procedimiento (4º escalón carga)

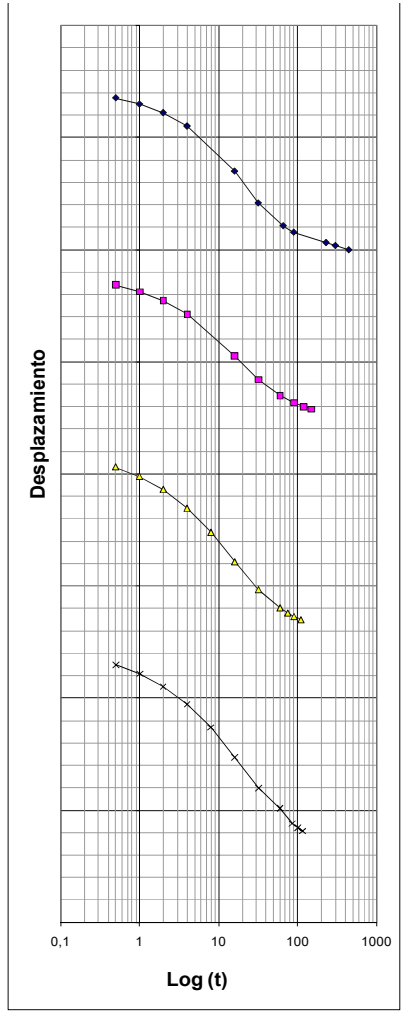


Carga

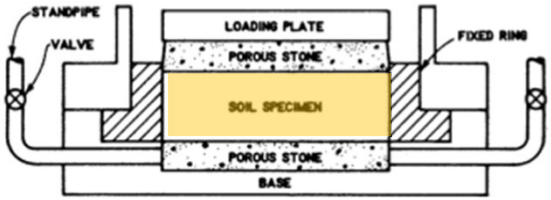




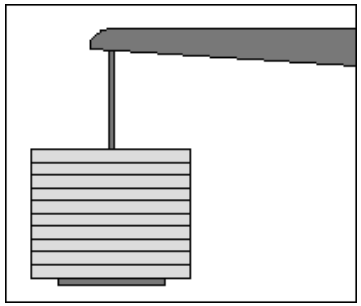
Registro deformación - tiempo

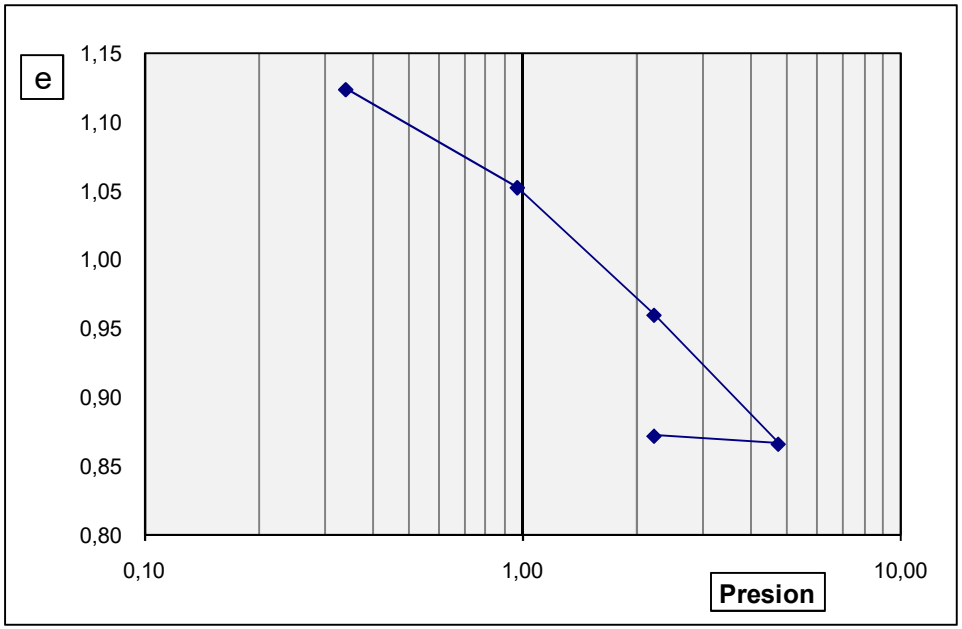


Ensayo edométrico: procedimiento (5º escalón descarga)

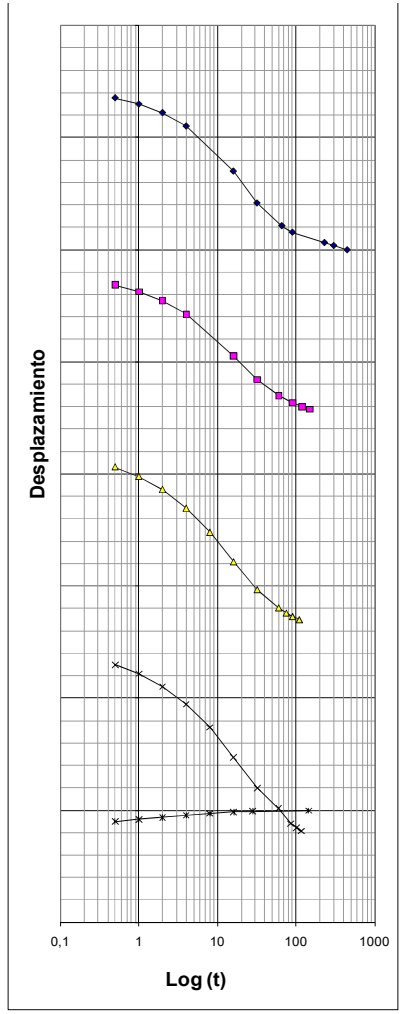


Carga

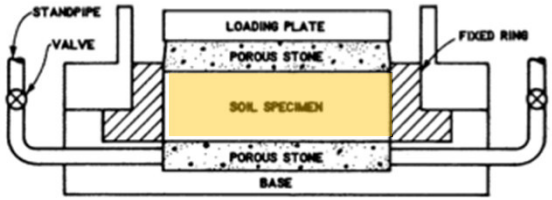




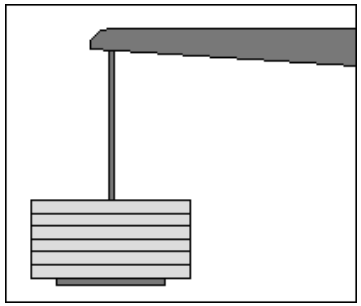
Registro deformación - tiempo

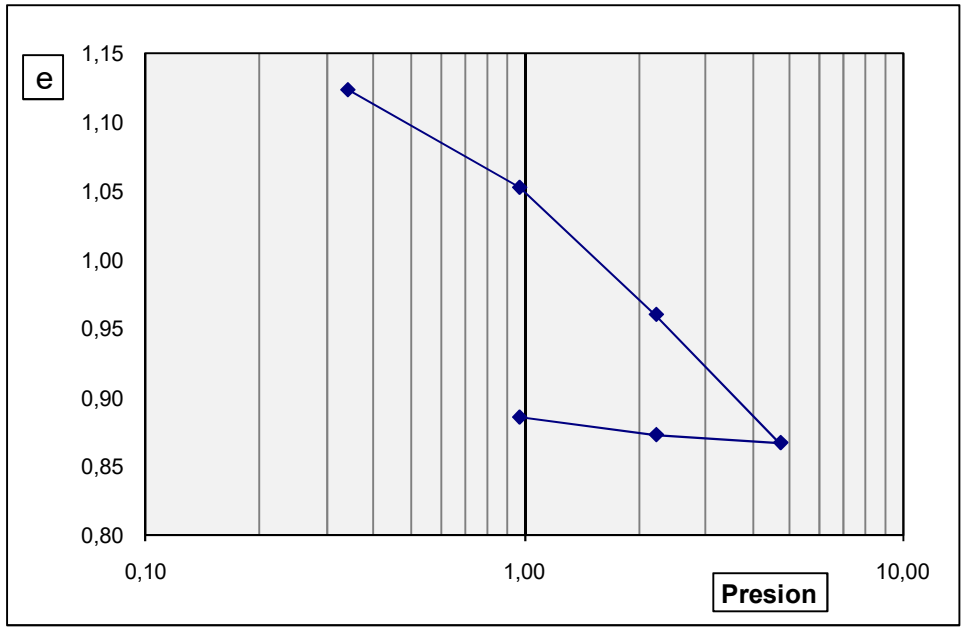


Ensayo edométrico: procedimiento (6º escalón descarga)

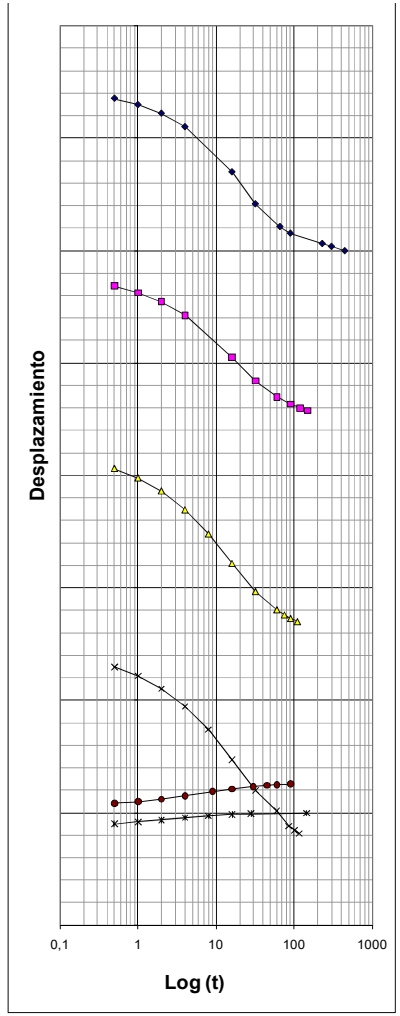


Carga

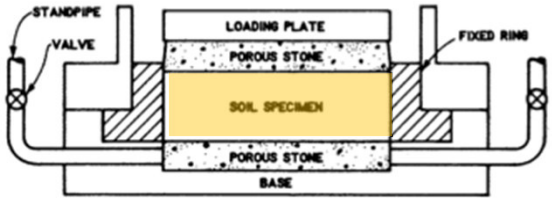




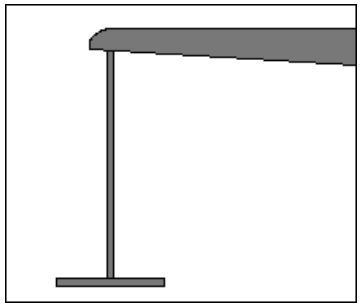
Registro deformación - tiempo

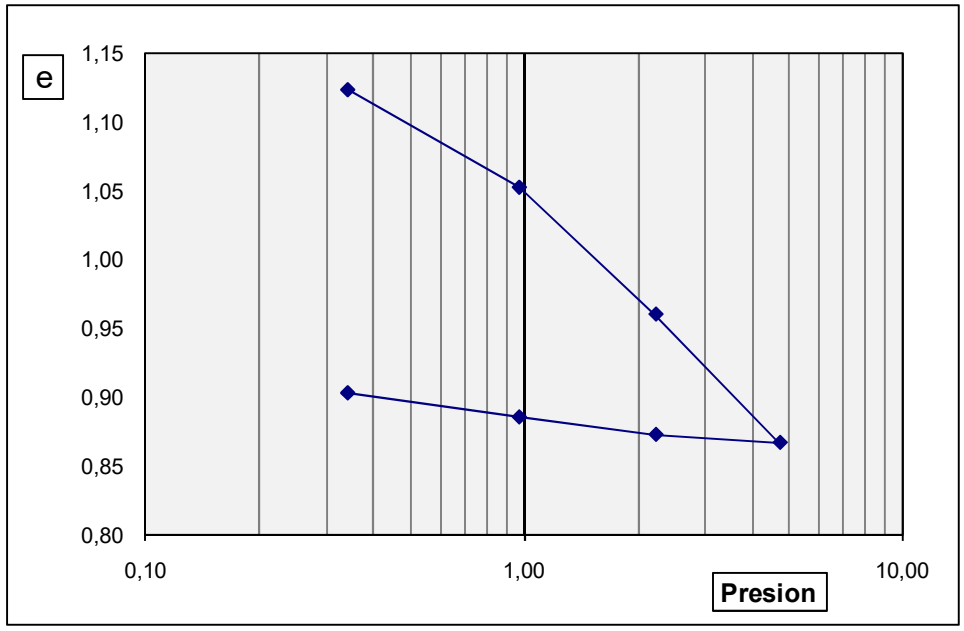


Ensayo edométrico: procedimiento (7º escalón descarga)

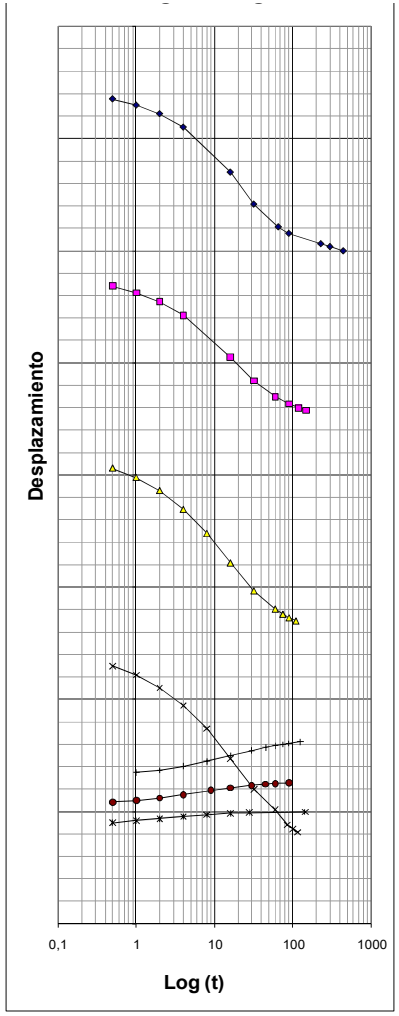


Carga

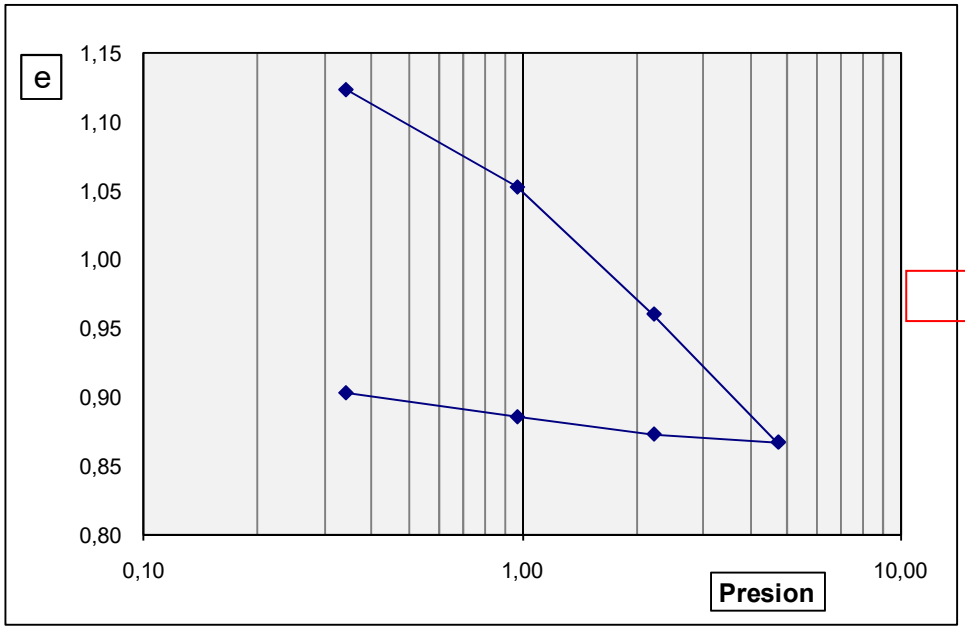


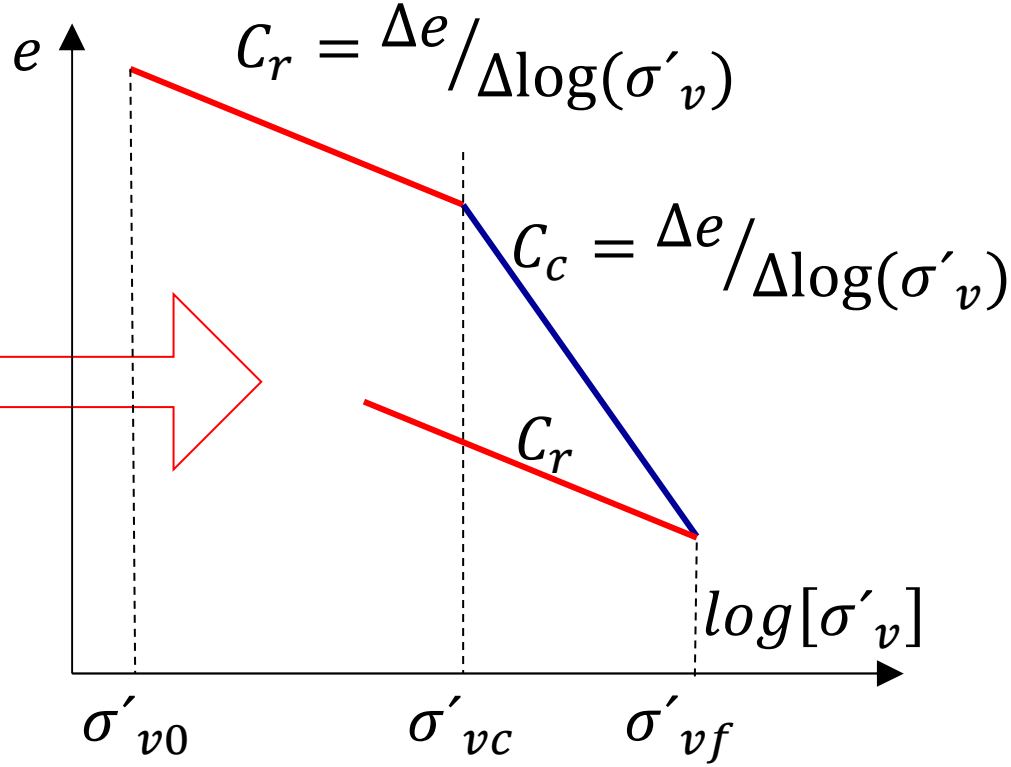


Registro deformación - tiempo



Ensayo edométrico: resultados

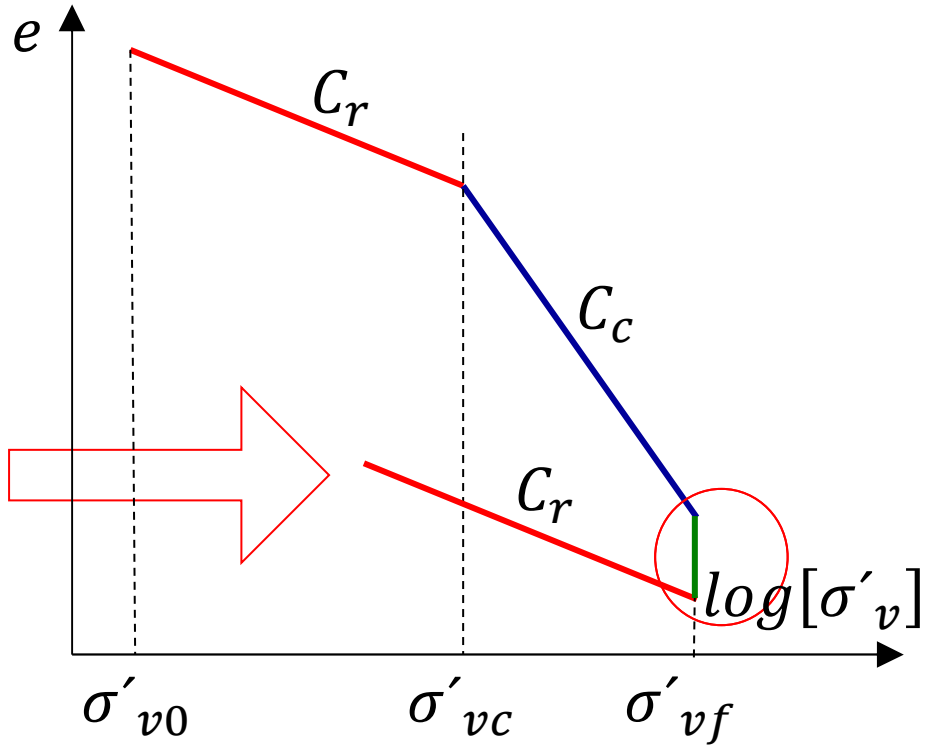




Pendiente ramas “elástica”, “elastoplástica” y tensión de fluencia σ'_{vc} (“presión de preconsolidación”)

Ensayo edométrico: resultados

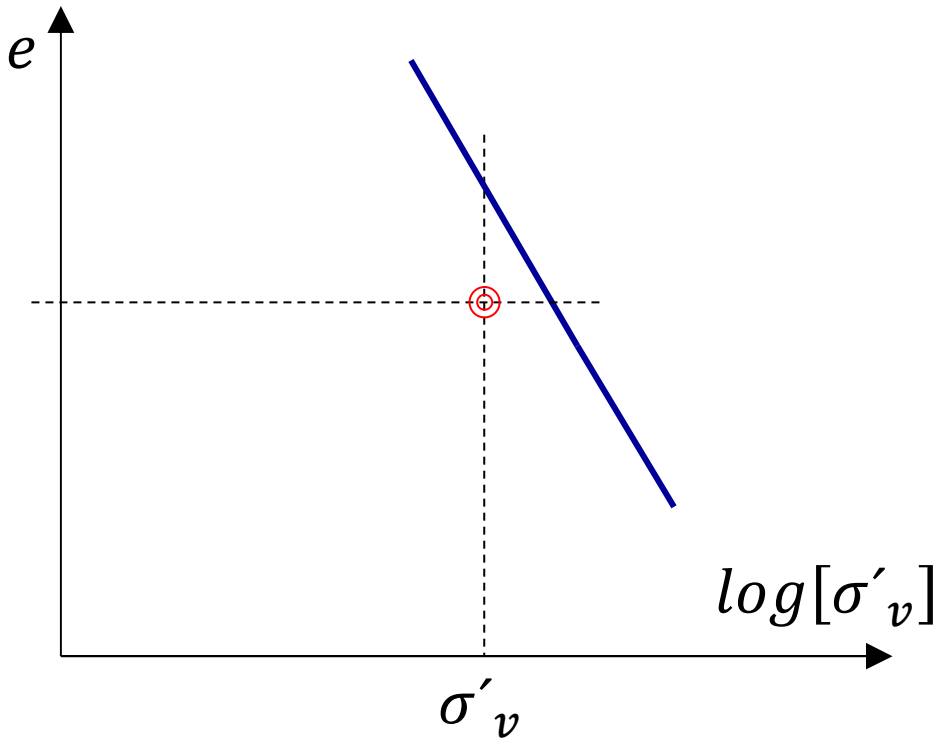
Si la carga se mantiene en el tiempo se produce una compresión adicional (comportamiento viscoplástico)



Índice

- Definición de compresión edométrica
- Ensayo edométrico
- Preconsolidación
- Deformación diferida
- Arcillas naturales
- La torre de Pisa

Suelos preconsolidados

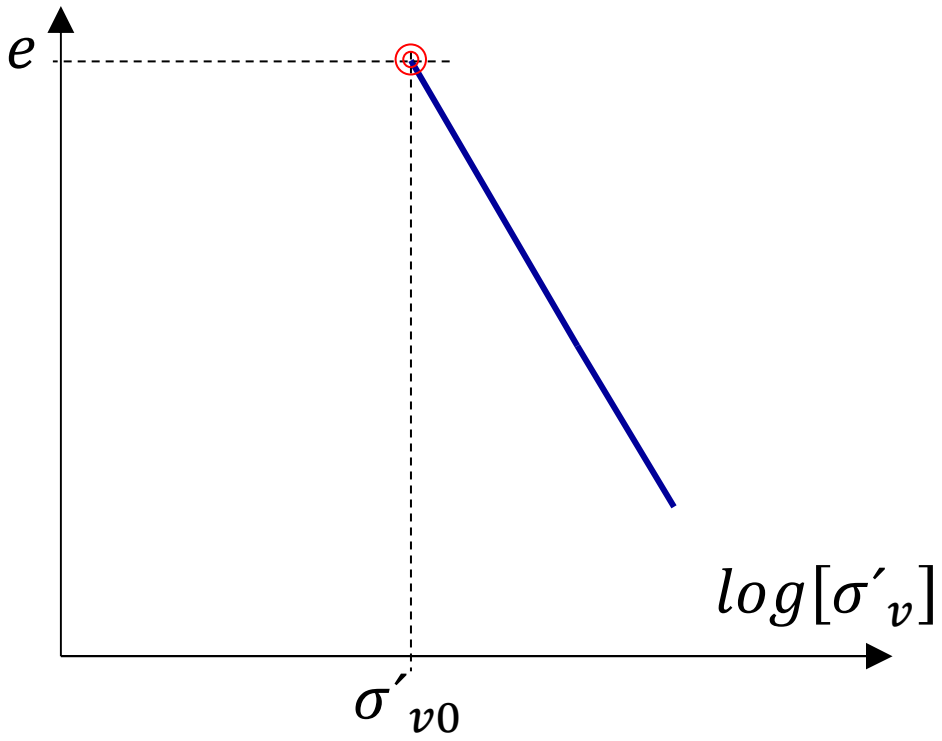


Un suelo está preconsolidado si su estado $(e - \sigma'_v)$ está a la izquierda de la línea de compresión normalmente consolidado

Esto puede ocurrir por dos razones

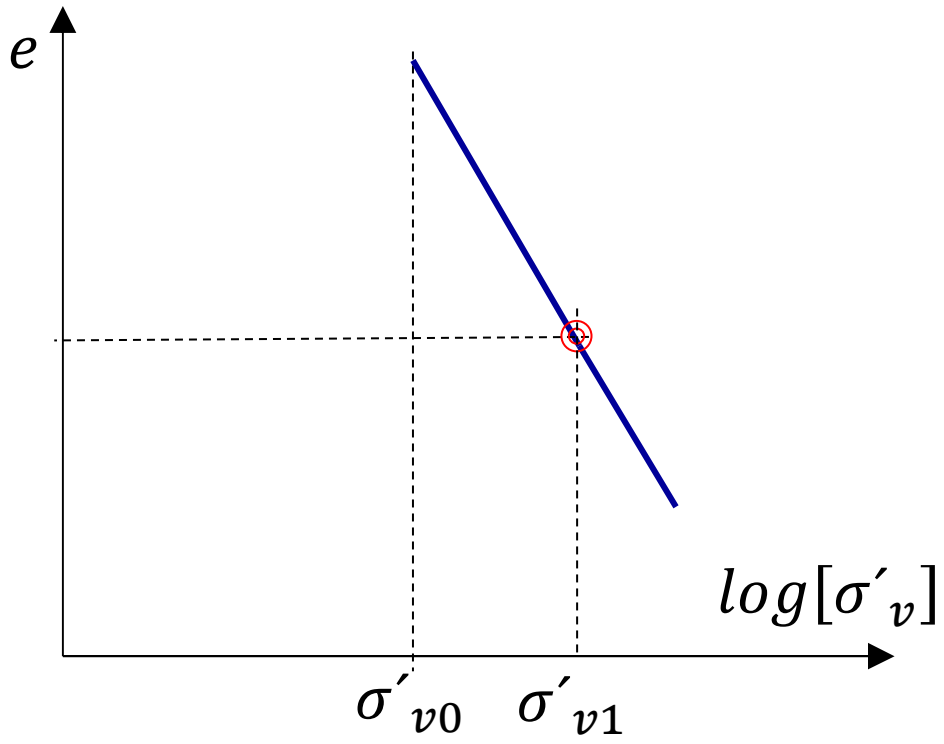
- Tensión pasada mayor que la actual
- Tensión actual aplicada mucho tiempo

Preconsolidación por ciclo de carga y descarga



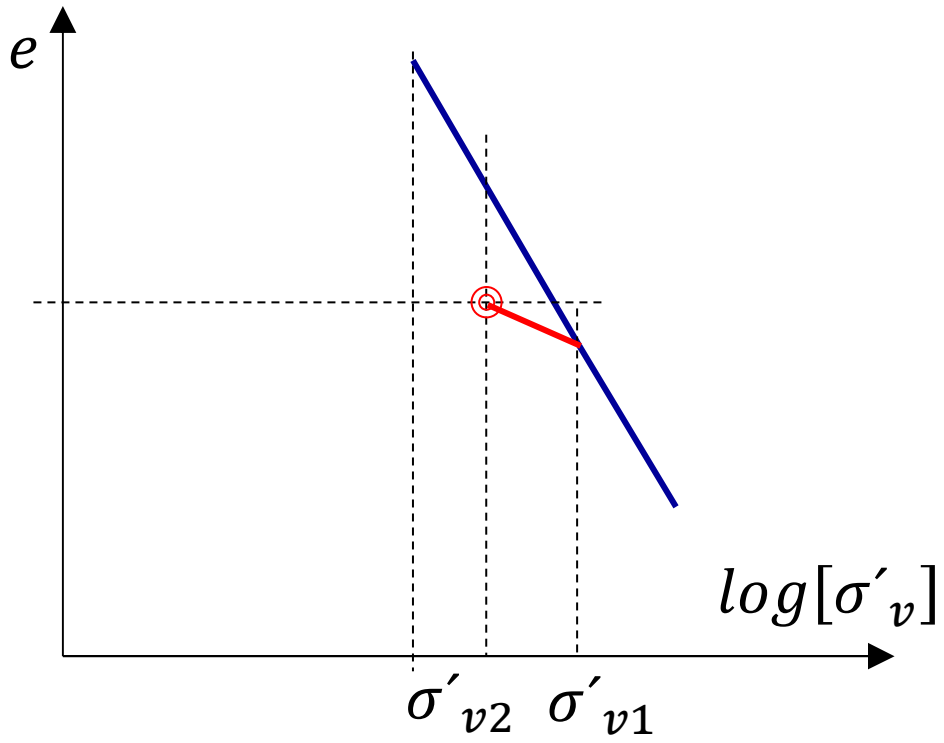
- Parte de un estado normalmente cons. (sobre la línea NC)

Preconsolidación por ciclo de carga y descarga



- Parte de un estado normalmente cons.
- Se incrementa σ'_v

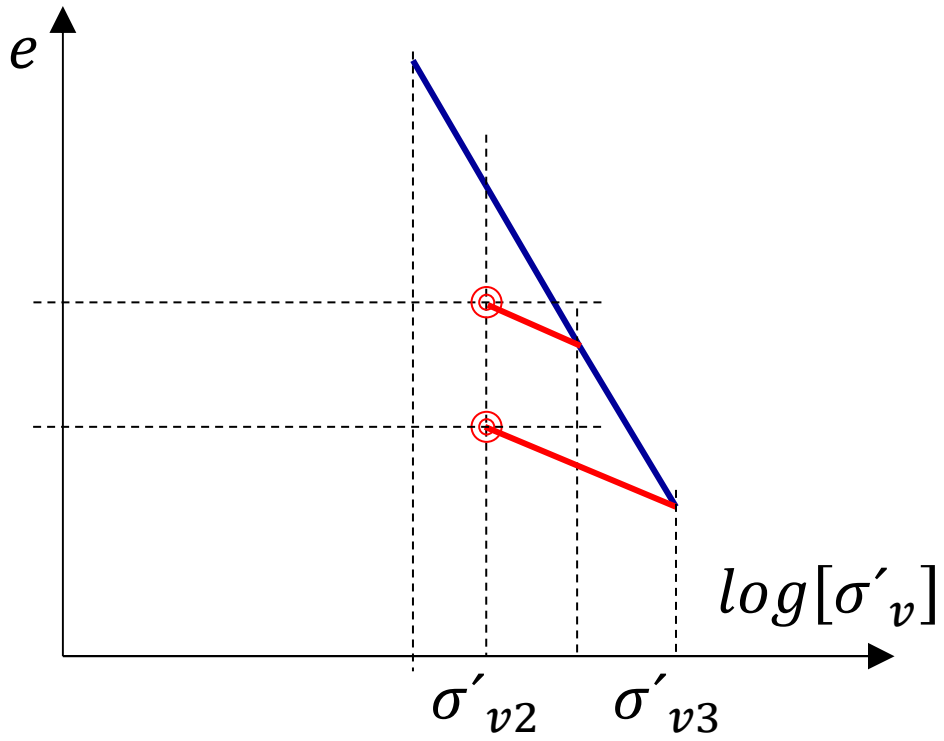
Preconsolidación por ciclo de carga y descarga



- Parte de un estado normalmente cons.
- Se incrementa σ'_v
- Se reduce σ'_v
- Se define el Over Consolidation Ratio

$$OCR = \frac{\sigma'_{v1}}{\sigma'_{v2}}$$

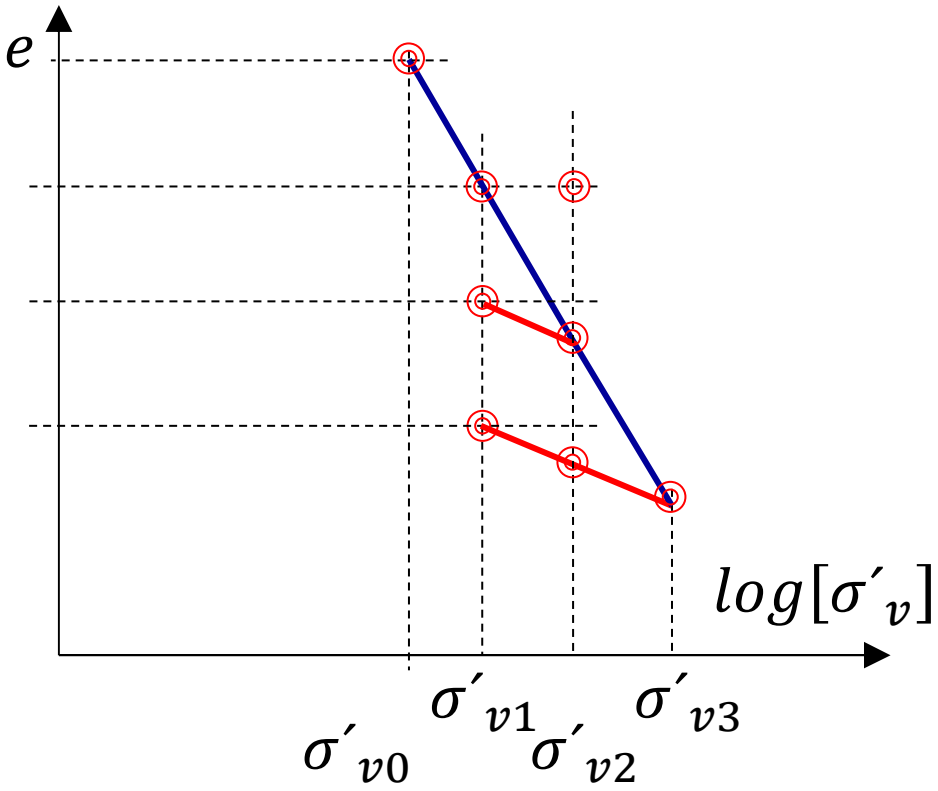
Preconsolidación por ciclo de carga y descarga



- Parte de un estado normalmente cons.
- Se incrementa σ'_v
- Se reduce σ'_v
- Se define el Over Consolidation Ratio
- Mismo σ'_v, distinto OCR

$$OCR = \frac{\sigma'_{v3}}{\sigma'_{v2}}$$

Preconsolidación: ejercicio

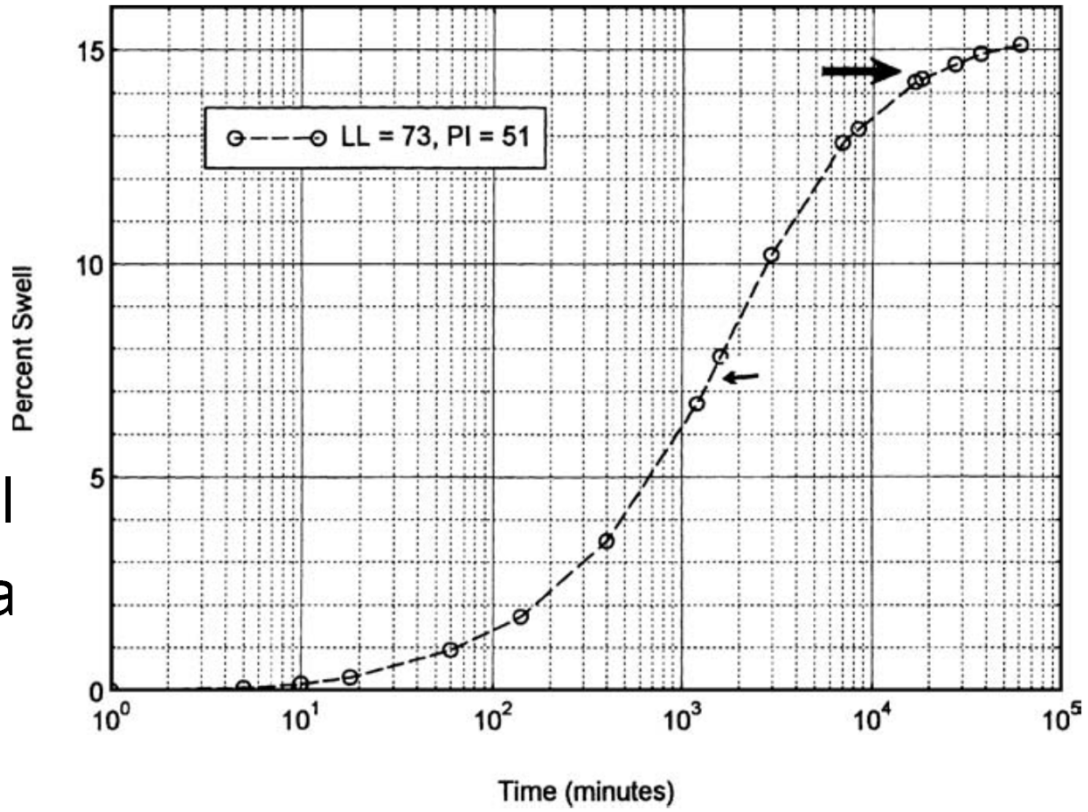


Para cada uno de los puntos de la figura, determine si está normalmente consolidado o preconsolidado, cual es su tensión vertical de fluencia y cual es su relación de preconsolidación (OCR)

La rama preconsolidada no es “elástica”

Cuando se remueve carga, el material sufre

- Arenas: descompresión elástica de partículas y contactos
  - Deslizamiento de algunos contactos
- Arcillas: distorsión del balance electroquímico de sales en espacio poral
  - Expansión volumétrica inelástica



Índice

- Definición de compresión edométrica
- Ensayo edométrico
- Preconsolidación
- Deformación diferida
- Arcillas naturales
- La torre de Pisa

Factores que introducen deformación diferida en suelos finos

Físicos

- Desplazamiento, ruptura y flexión de paquetes de partículas

Químicos

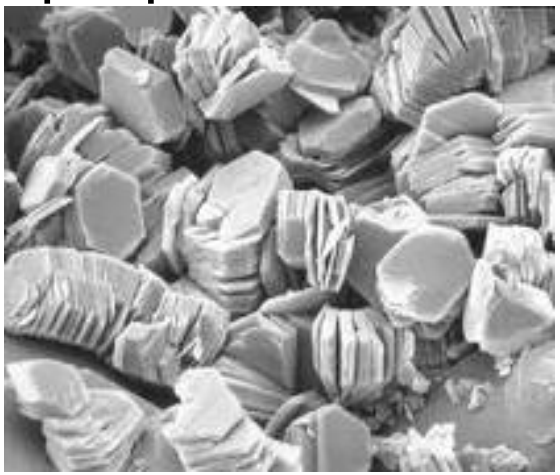
- Interacción entre iones y partículas en la doble-capa
- Precipitado de sales en puntos de contacto entre partículas
- Cambios en la composición química del agua que percola

Estructura

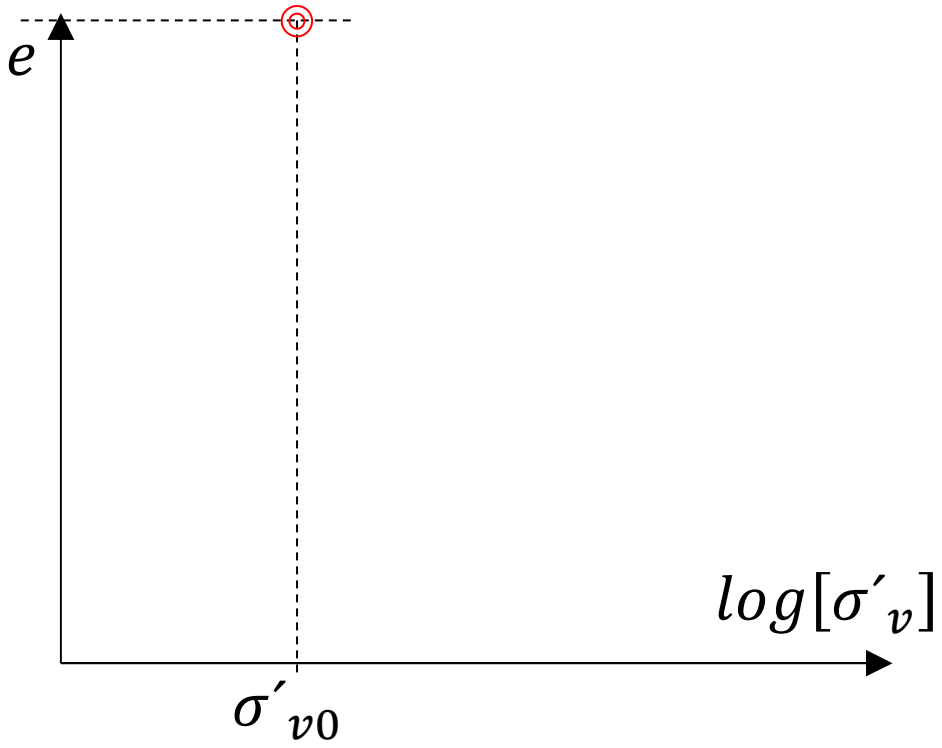
- Arreglos dispersos vs floculados

Historia de tensiones

- Sobreconsolidación (incl. anisotrópica), edad, humedecimiento/secado, desaturación

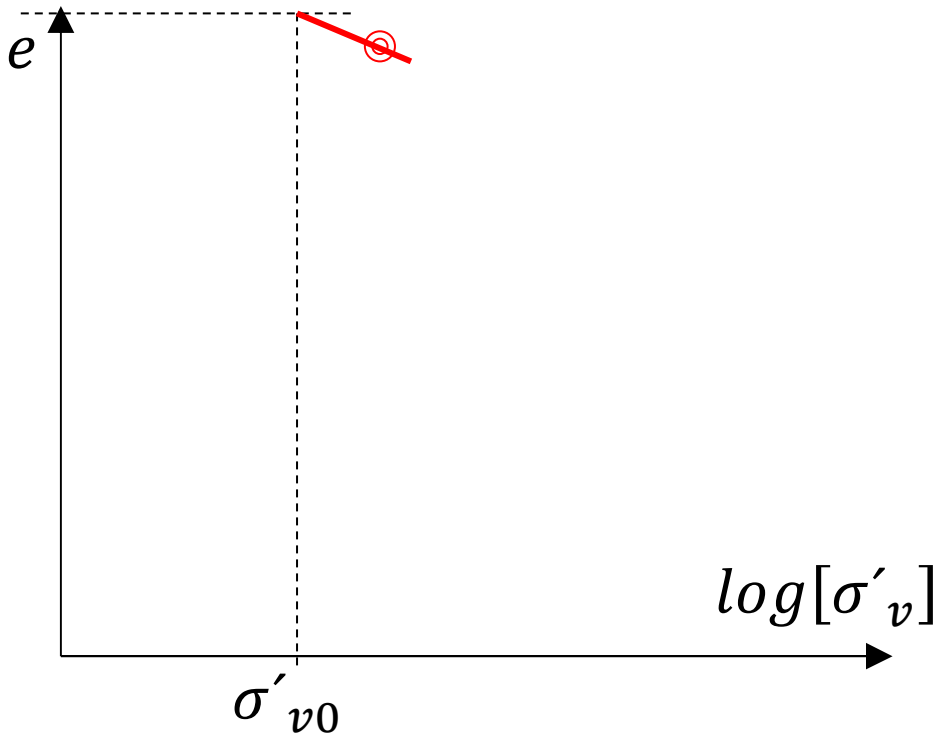


Preconsolidación por tiempo



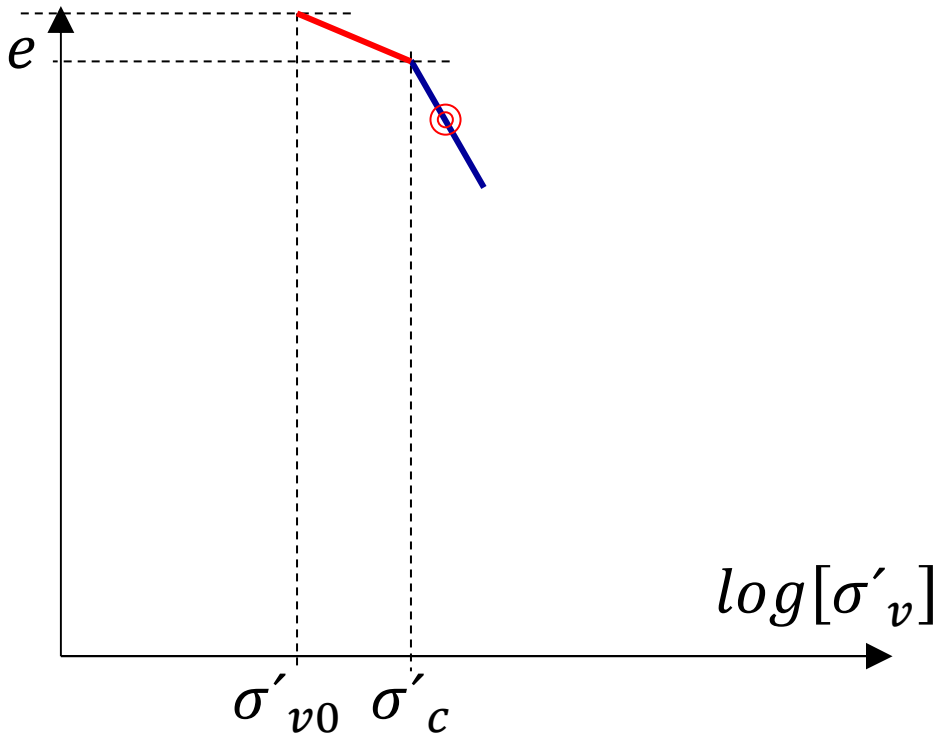
- Estado inicial

Preconsolidación por tiempo



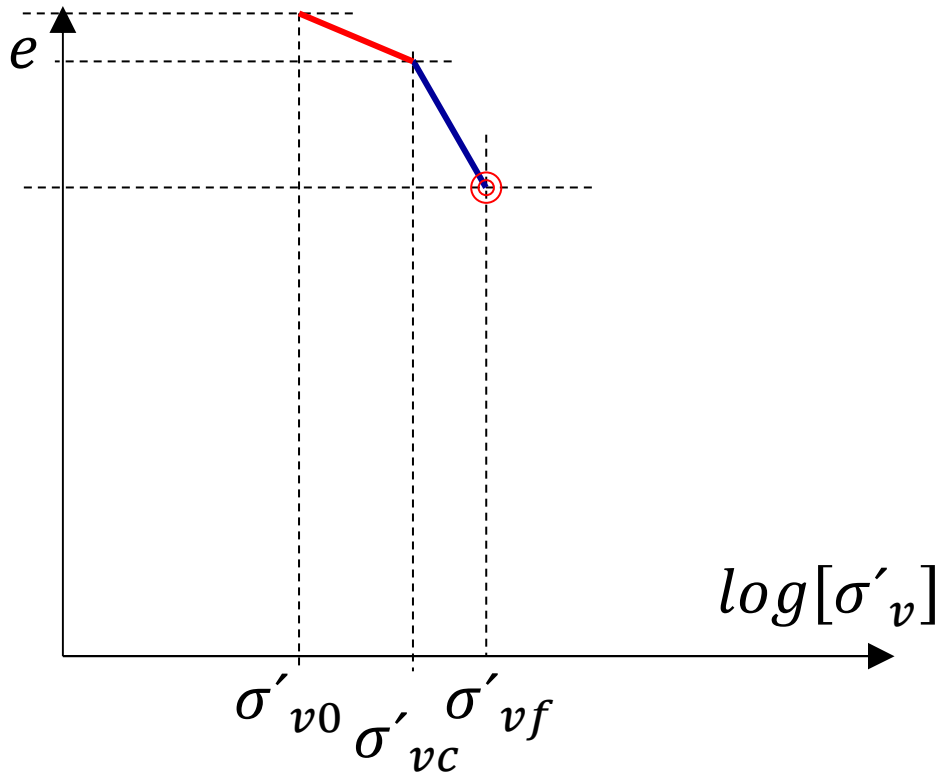
- Estado inicial
- Se recorre la rama preconsolidada

Preconsolidación por tiempo



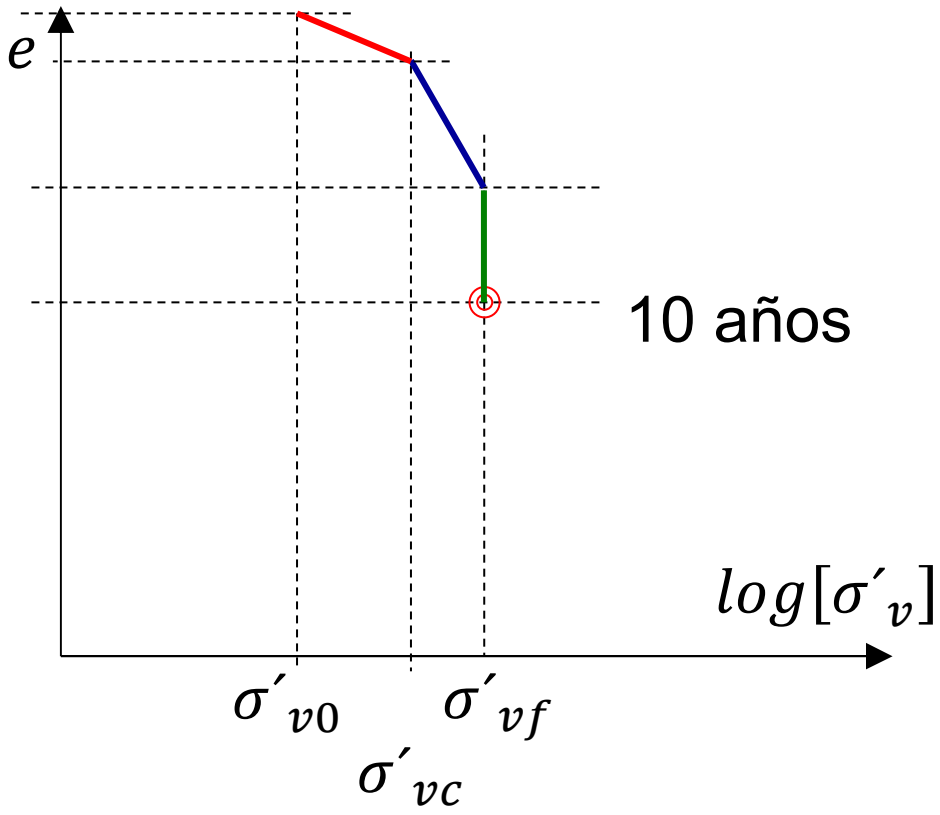
- Estado inicial
- Se recorre la rama preconsolidada
- Se cruza la tensión de fluencia
- Se recorre la rama normalmente cons.

Preconsolidación por tiempo



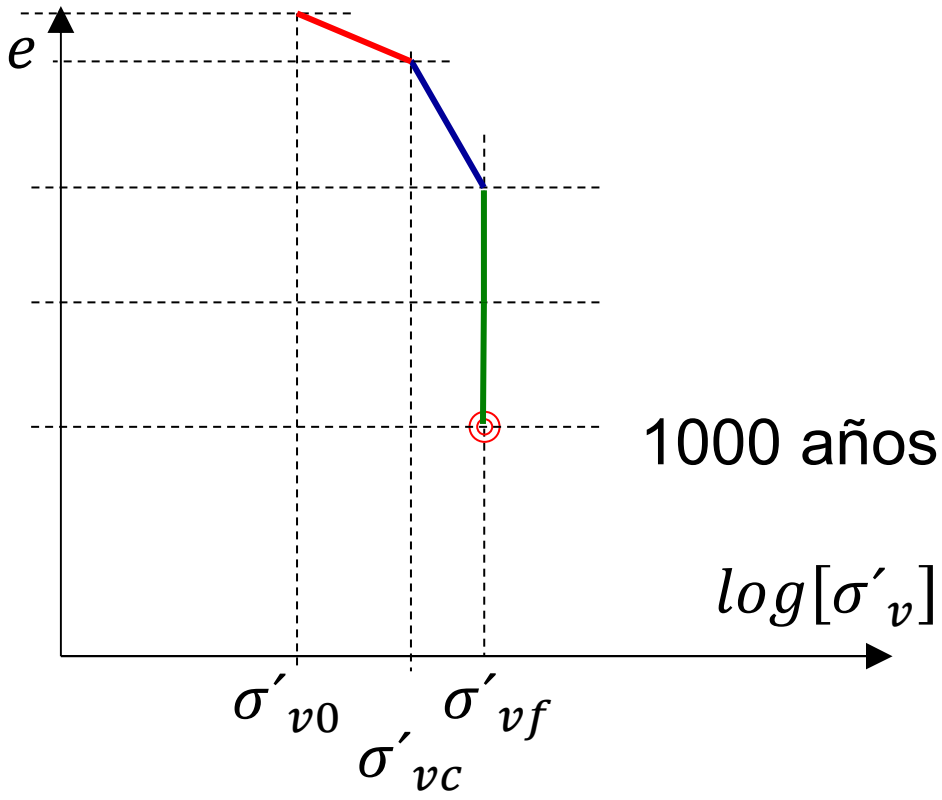
- Estado inicial
- Se recorre la rama preconsolidada
- Se cruza la tensión de fluencia
- Se recorre la rama normalmente cons.
- Se alcanza la tensión final

Preconsolidación por tiempo



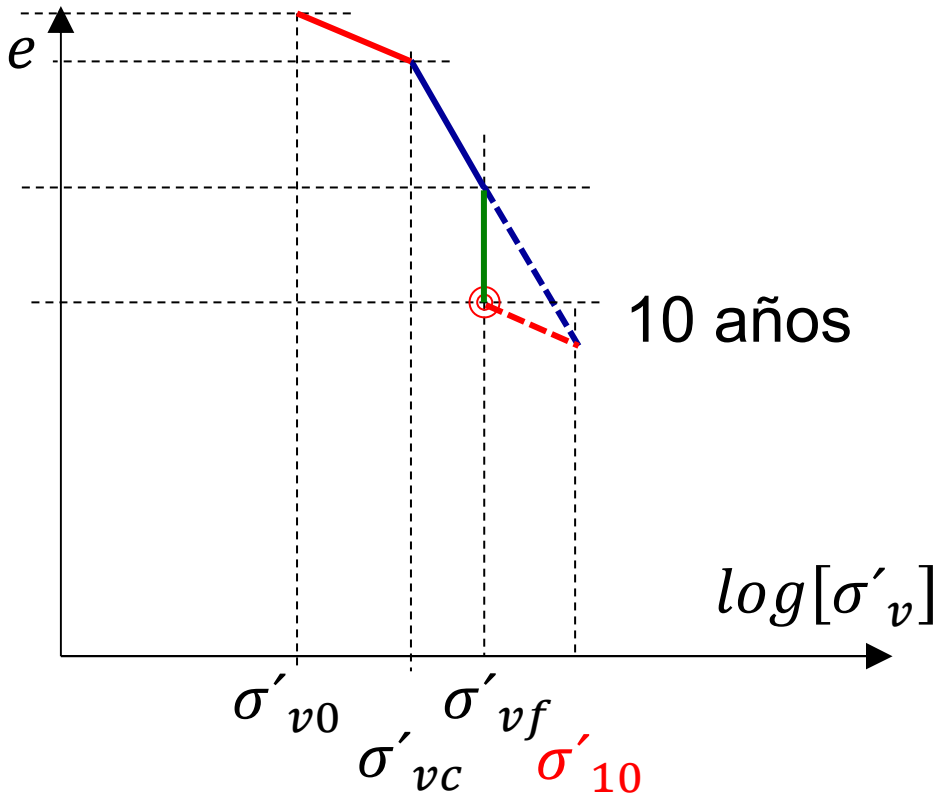
- Estado inicial
- Se recorre la rama preconsolidada
- Se cruza la tensión de fluencia
- Se recorre la rama normalmente cons.
- Se alcanza la tensión final
- Pasan 10 años

Preconsolidación por tiempo



- Estado inicial
- Se recorre la rama preconsolidada
- Se cruza la tensión de fluencia
- Se recorre la rama normalmente cons.
- Se alcanza la tensión final
- Pasan 10 años
- Pasan 1000 años

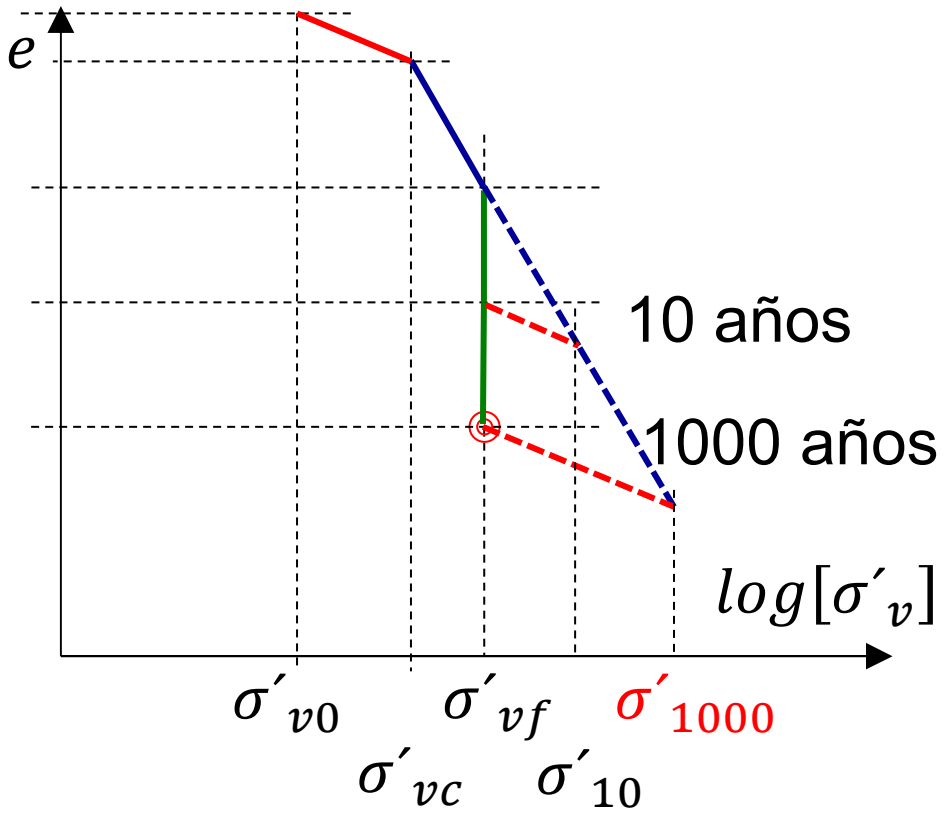
Preconsolidación por tiempo



El tiempo preconsolida

- A los 10 años se alcanza el punto ◎
- Al mismo punto se llega si se carga hasta σ'_{10} y descarga hasta σ'_{vf}
- Entonces, NC con 10 años es preconsolidado

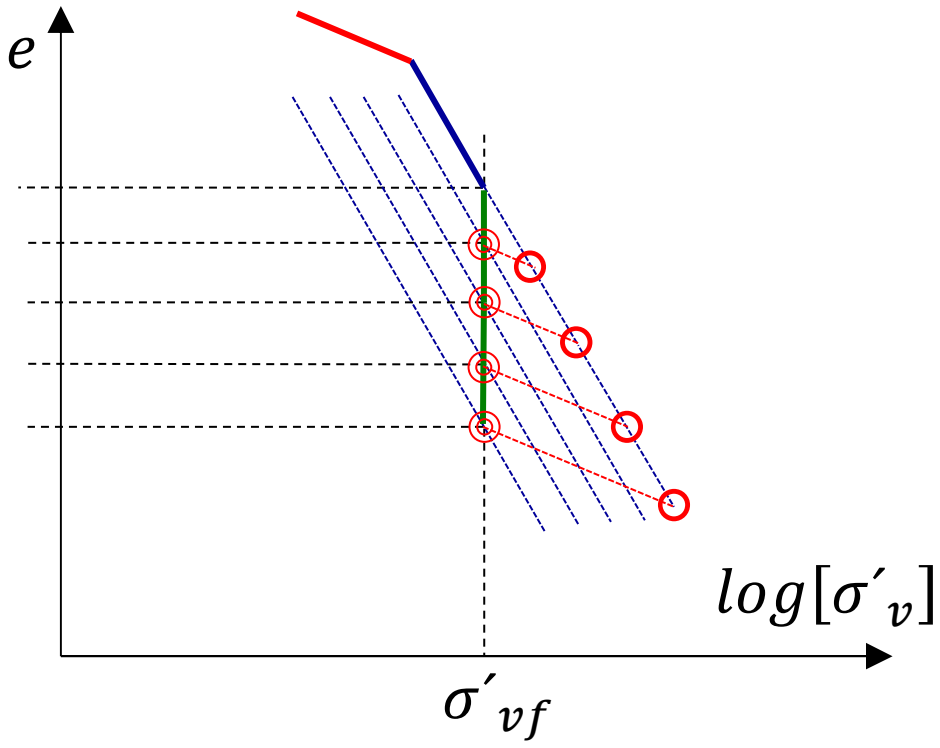
Preconsolidación por tiempo



El tiempo preconsolida

- A los 1000 años se alcanza el punto ◎
- Al mismo punto se llega si se carga hasta σ'_{1000} y descarga hasta σ'_{vf}
- Entonces, NC con 1000 años es más preconsolidado

Preconsolidación por tiempo



El diagrama $e - \sigma'_v$ puede completarse con una serie de líneas paralelas que indiquen el efecto de la edad (tiempo de aplicación de las cargas)

Diferencias entre compresión primaria y secundaria

Compresión primaria

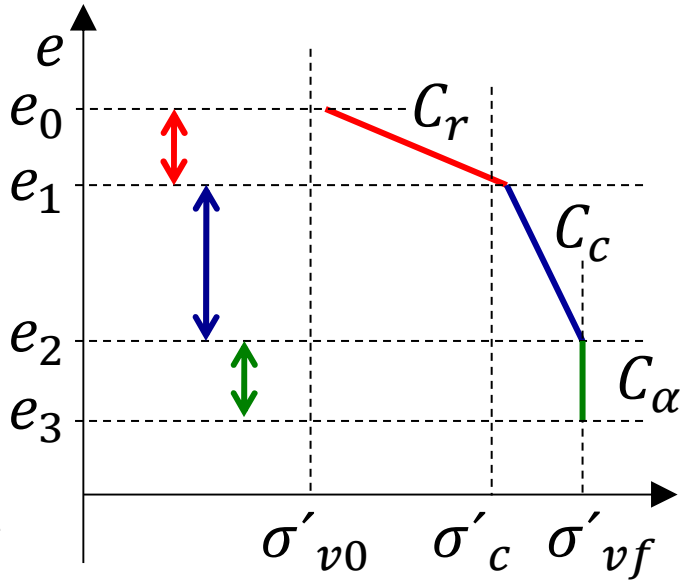
- Es producida por el cambio de presión efectiva
- Si el agua no tuviera viscosidad sería un fenómeno instantáneo

Compresión secundaria

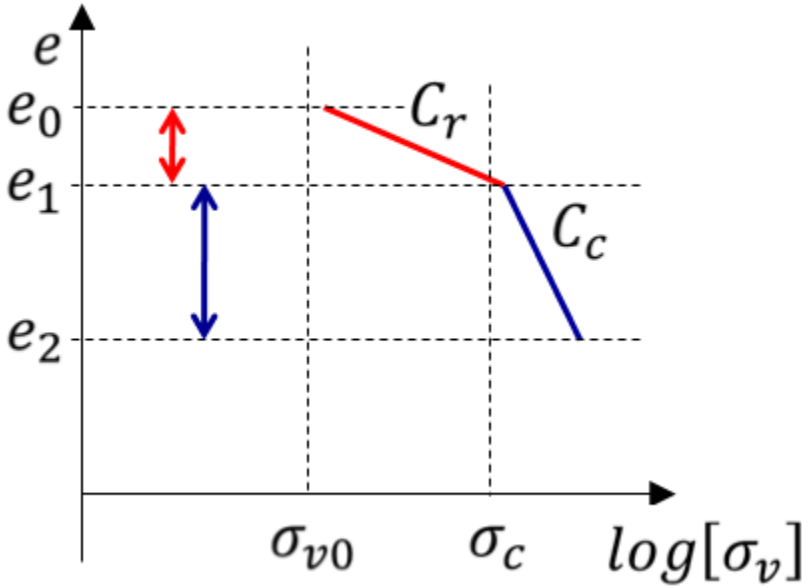
- Es producida a presión efectiva constante
- Está asociada a un comportamiento viscoplástico de las arcillas

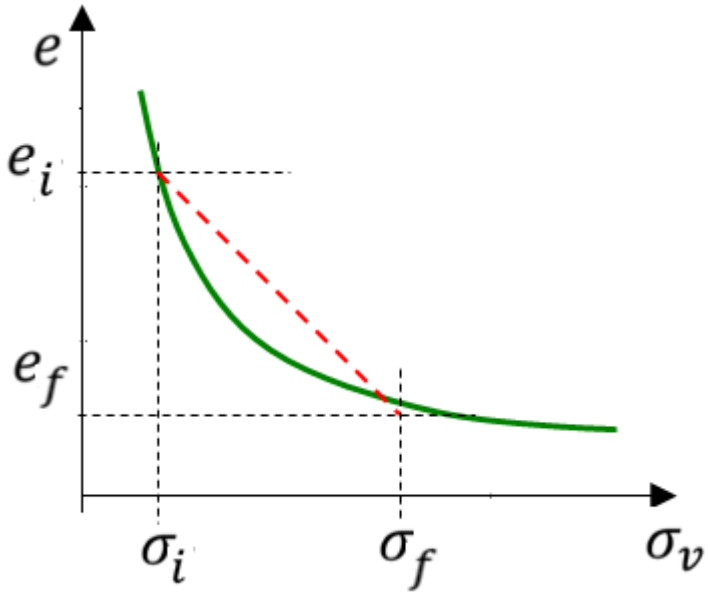
Cálculo del asentamiento total

- Asentamiento: $\Delta h = \Delta n\, h$
- Cambio de porosidad: $\Delta n = \frac{\Delta e}{1+e_0}$
- $\Delta e_1 = C_r\, log\left[\frac{\sigma'_c}{\sigma'_{v0}}\right] \rightarrow \Delta h_1 = \frac{C_r}{1+e_0} log\left[\frac{\sigma'_c}{\sigma'_{v0}}\right] h_0$
- $\Delta e_2 = C_c\, log\left[\frac{\sigma'_{vf}}{\sigma'_c}\right] \rightarrow \Delta h_2 = \frac{C_c}{1+e_1} log\left[\frac{\sigma'_{vf}}{\sigma'_c}\right] h_1$
- $\Delta e_3 = C_\alpha\, log\left[\frac{t}{t_p}\right] \rightarrow \Delta h_3 = \frac{C_\alpha}{1+e_2} log\left[\frac{t}{t_p}\right] h_2$
- $\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3$



Cálculo del asentamiento total





$$\Delta h_1 = \frac{C_r}{1+e_0} log\left[\frac{\sigma_c}{\sigma_{v0}}\right] h_0$$

$$\Delta h_2 = \frac{C_c}{1+e_1} log\left[\frac{\sigma_{vf}}{\sigma_c}\right] h_1$$

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma_v} \qquad m_v = \frac{a_v}{1+e_i}$$

$$\Delta h = m_v . h_0 . \Delta \sigma_v = \frac{h_0 . \Delta \sigma_v}{E_{oed}}$$

Ejercicios

- Cálculo de coeficientes C_c, C_r (pizarrón)
- Asentamiento de un depósito NC por cambio de nivel freático (pizarrón)
- Asentamiento de un depósito OC por relleno superficial (pizarrón)
- Asentamiento del mismo depósito a largo plazo (pizarrón)
- Preconsolidación por tiempo (pizarrón)

Índice

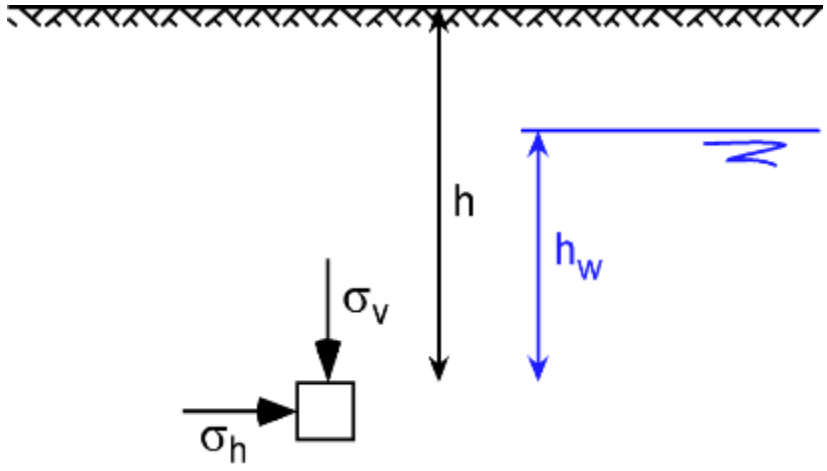
- Definición de compresión edométrica
- Ensayo edométrico
- Preconsolidación
- Deformación diferida
- Arcillas naturales
- La torre de Pisa

Estado tensional del terreno horizontal natural en reposo

- Hipótesis
  - Deposición en capas
  - Superficie horizontal
  - Deformación lateral nula

$$\sigma'_v = \sigma_v - u$$

$$\sigma'_h = K_0 \sigma'_v$$

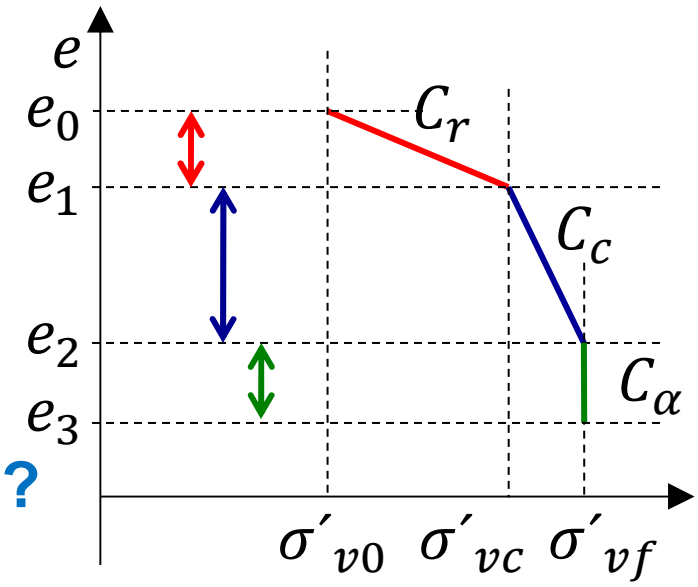


- Expresiones semiempíricas para K_0
  - Suelo normalmente consolidado
  - Arcilla sobreconsolidada por carga

$$K_0^{NC} \cong 1 - \sin[\phi']$$

$$K_0^{oc} \cong K_0^{NC} \mathrm{OCR}^{\sin[\phi']}$$

Cálculo del asentamiento de un terraplén



- Estrato de arcilla de espesor h_0 tiene 10000 años bajo una tensión σ'_{v0}
- Se extrae una muestra, se mide e_0
- **¿Cuanto es el asentamiento bajo un incremento de tensión $\Delta\sigma'_v$ durante Δt?**

Respuesta

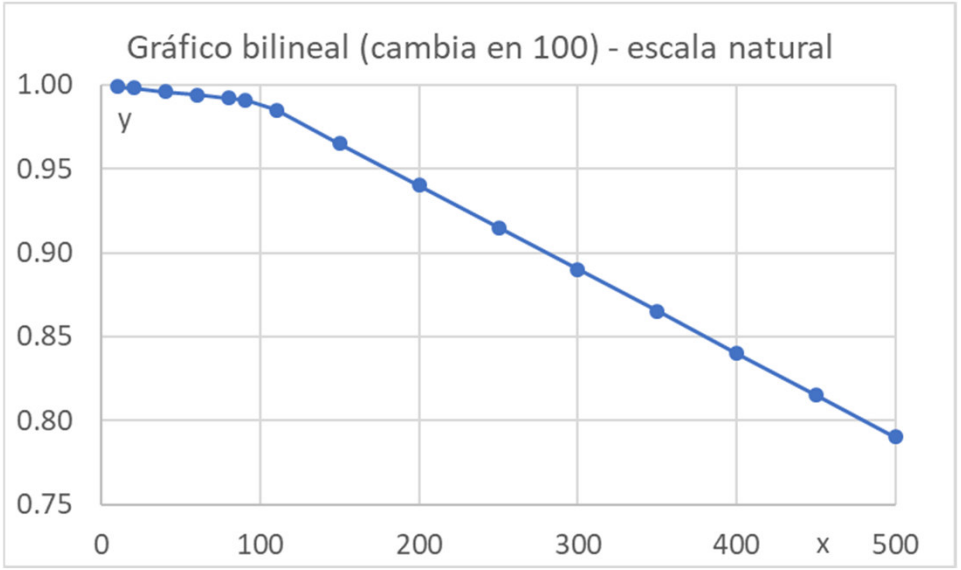
- Con e_0 y σ_{v0} calculamos σ'_{vc}
- Los 10.000 años no interesan, están incluidos en σ'_{vc}
- Si $\sigma'_{vc} < \sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v \rightarrow$
- Si $\sigma'_{vc} > \sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v \rightarrow$"Elástico"

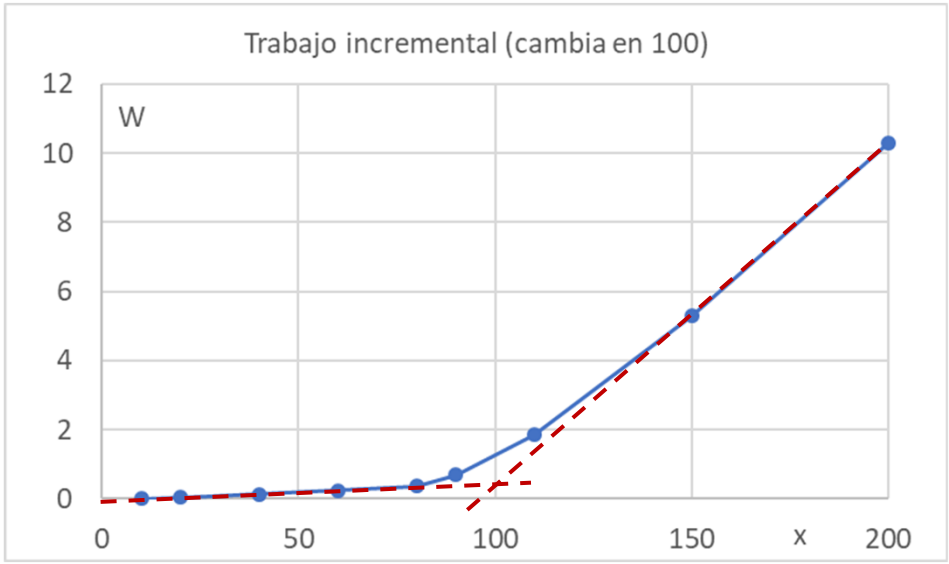
$$\Delta h = \frac{C_r}{1+e_0} log[\sigma'_{vc}/\sigma'_{v0}]\, h_0 + \frac{C_c}{1+e_1} log[(\sigma'_{v0}+\Delta\sigma'_v)/\sigma'_{vc}]\,(h_0 - \Delta h^e) + \frac{C_\alpha}{1+e_2} log[\Delta t/t_p]\,(h_0 - \Delta h^e - \Delta h^{ep})$$

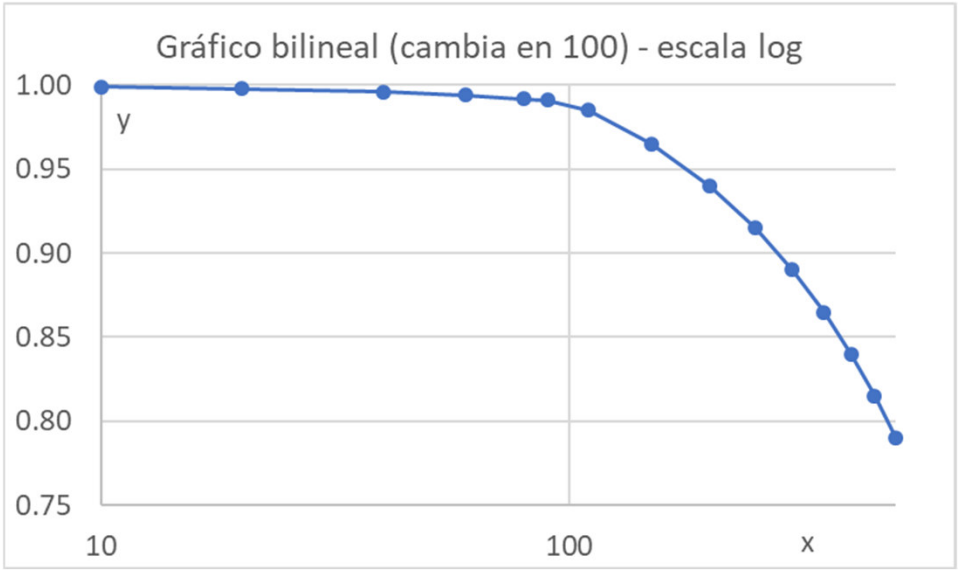
Determinación de la tensión vertical de fluencia σ'_{vc}

El trabajo acumulado muestra un quiebre cuando crece la deformación incremental

- $\dot{W}_i = \sigma' \Delta\epsilon_v \rightarrow \overline{W_i} = \sum_0^i \dot{W}_i$







Correlaciones de parámetros

Arcillas remoldeadas

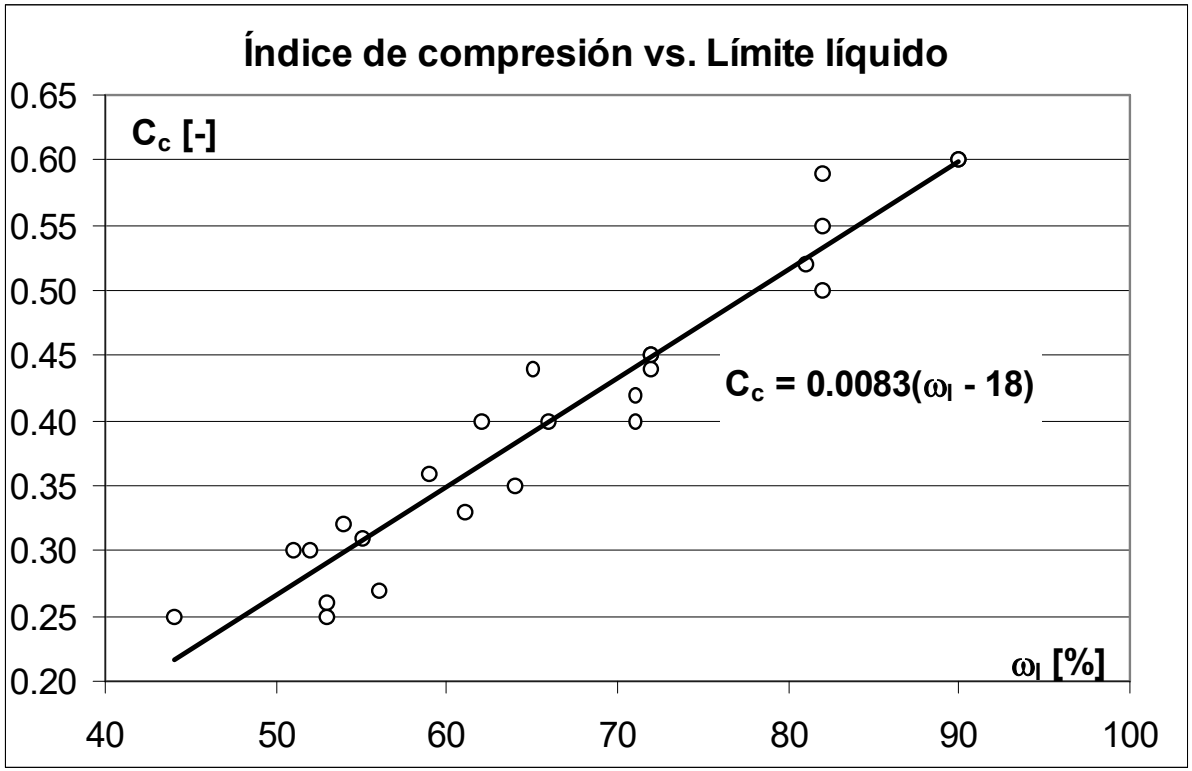
$$C_c \cong 0.007(\omega_L - 10)$$

Arcillas naturales

$$C_c \cong 0.009(\omega_L - 10)$$

$$C_r \cong 0.10\, C_c$$

$$C_\alpha \cong 0.02\, C_c$$



Arcillas del lecho del Río de La Plata

Índice

- Definición de compresión edométrica
- Ensayo edométrico
- Preconsolidación
- Deformación diferida
- Arcillas naturales
- La torre de Pisa

La torre de Pisa

Estructura de mampostería de 54m de altura y 145MN de peso

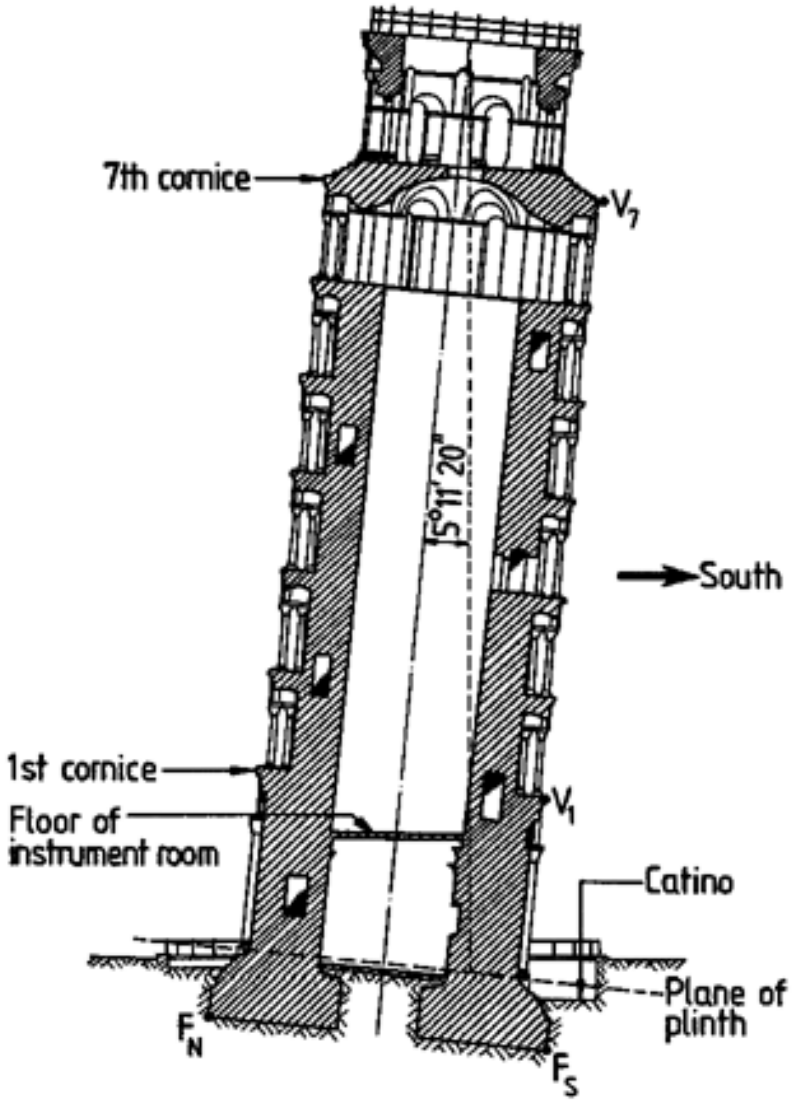
Tensión de contacto media 500kPa

Terreno

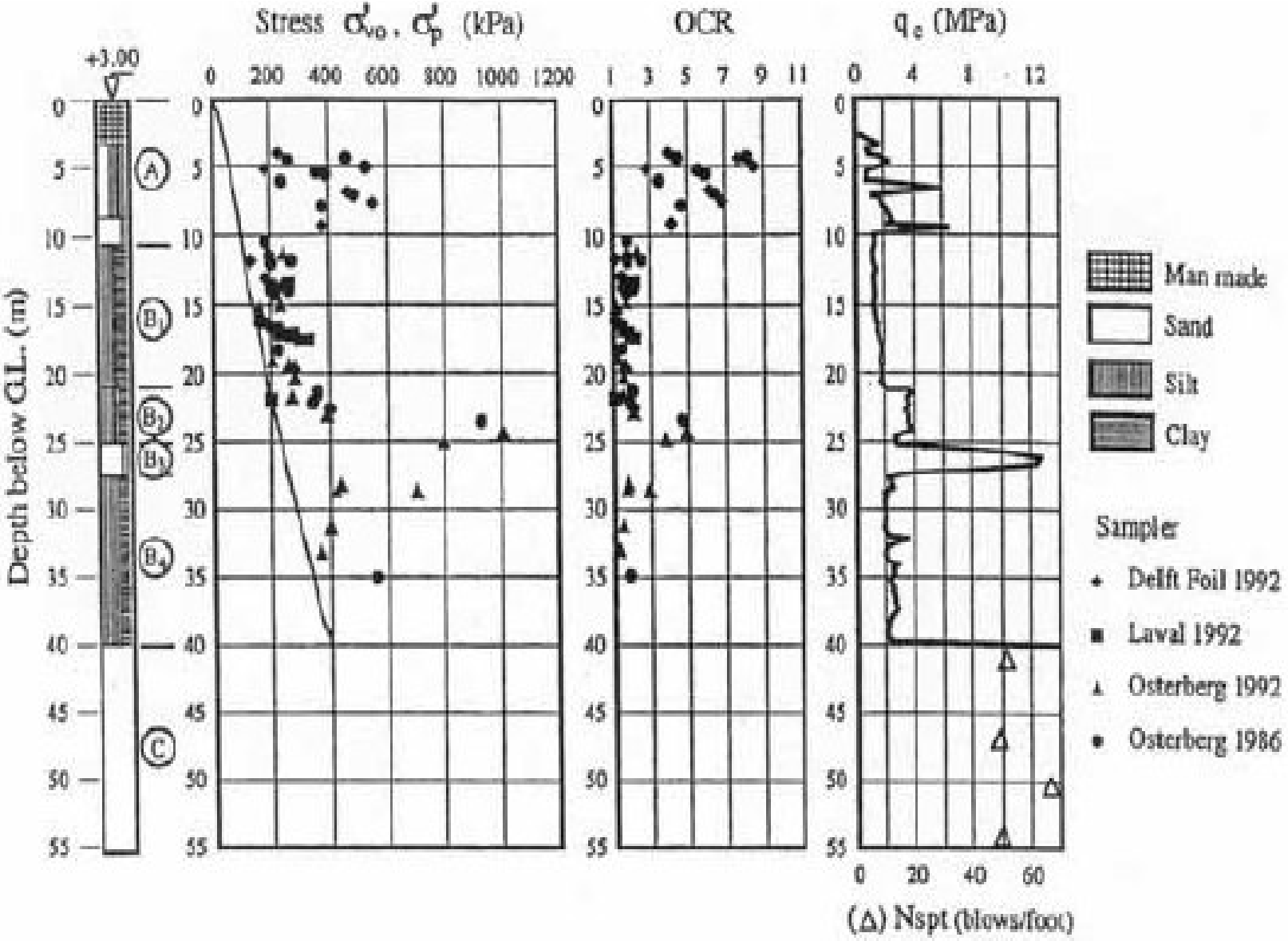
- 0m a 10m: Limos blandos
- 10m a 50m: Arcillas blandas de origen marino

El lado sur asentó 2.85m

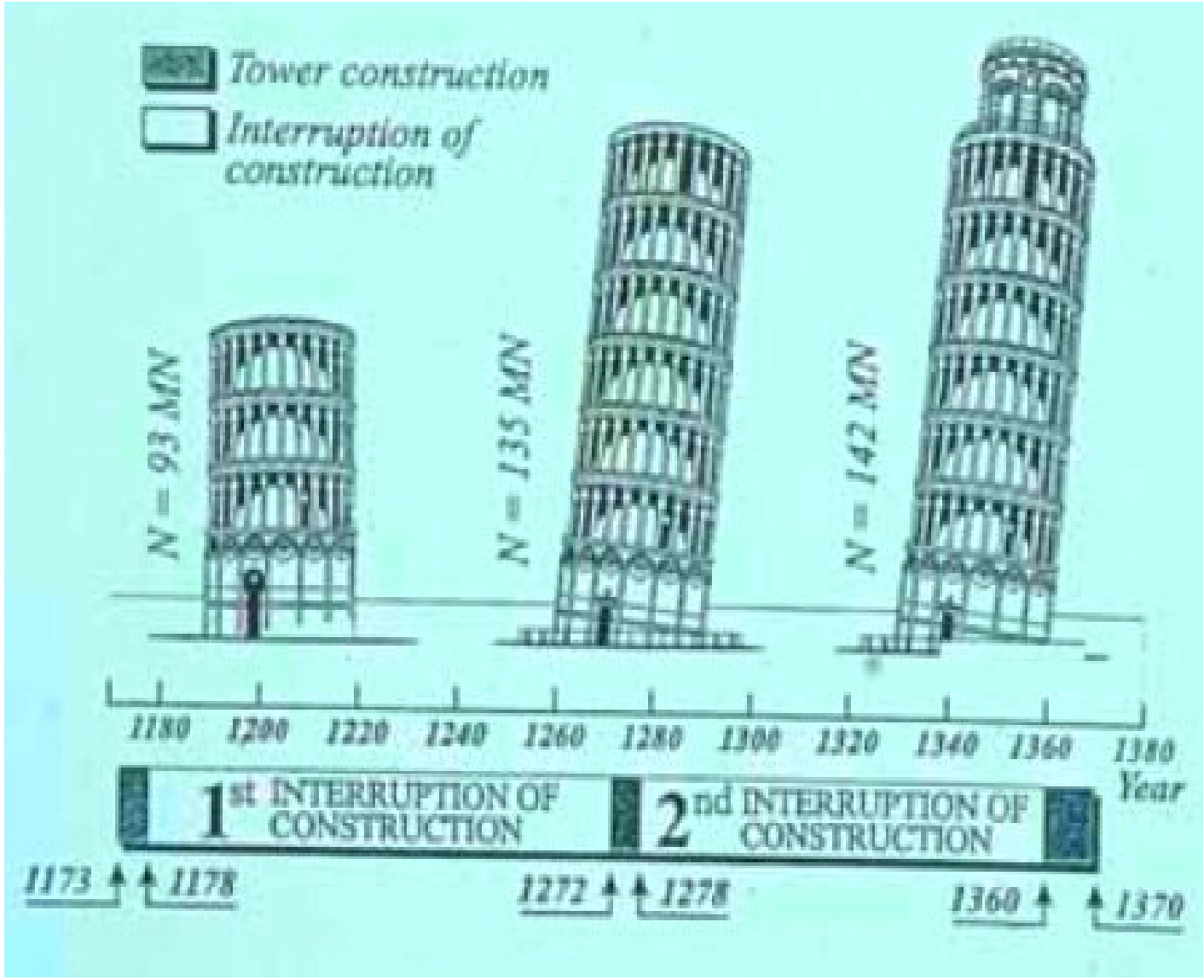
El lado norte asentó 2.15m



La torre de Pisa

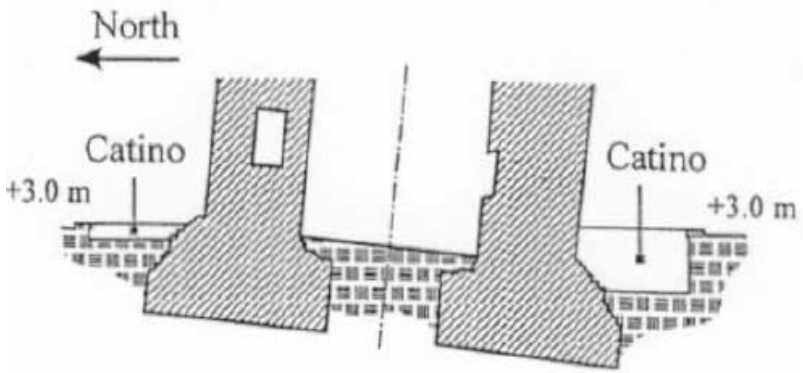


Etapas de construcción

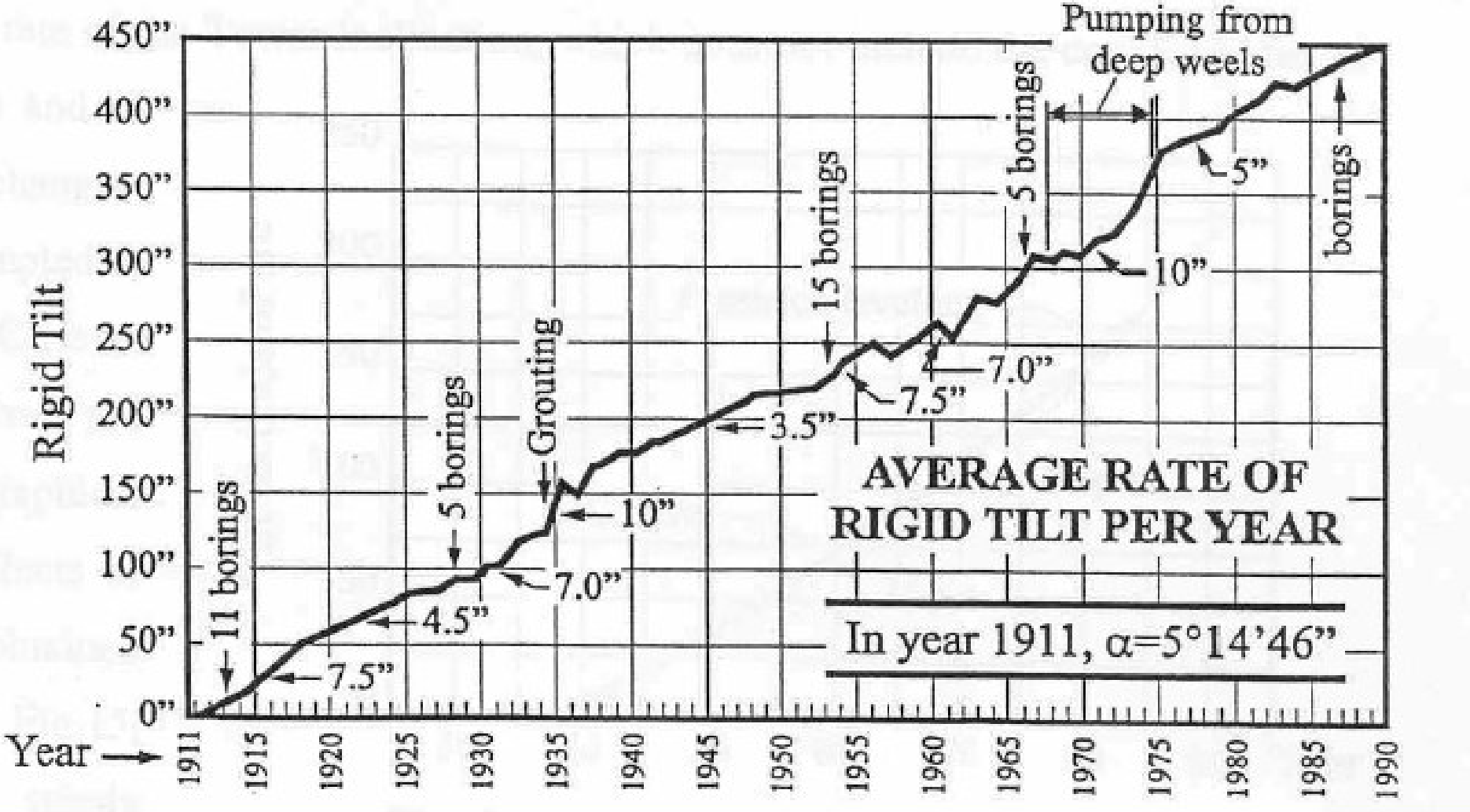


Trinchera y depresión de napa (1838)

La construcción de la trinchera es simultánea con el abatimiento de napa: se acelera la velocidad de asentamiento

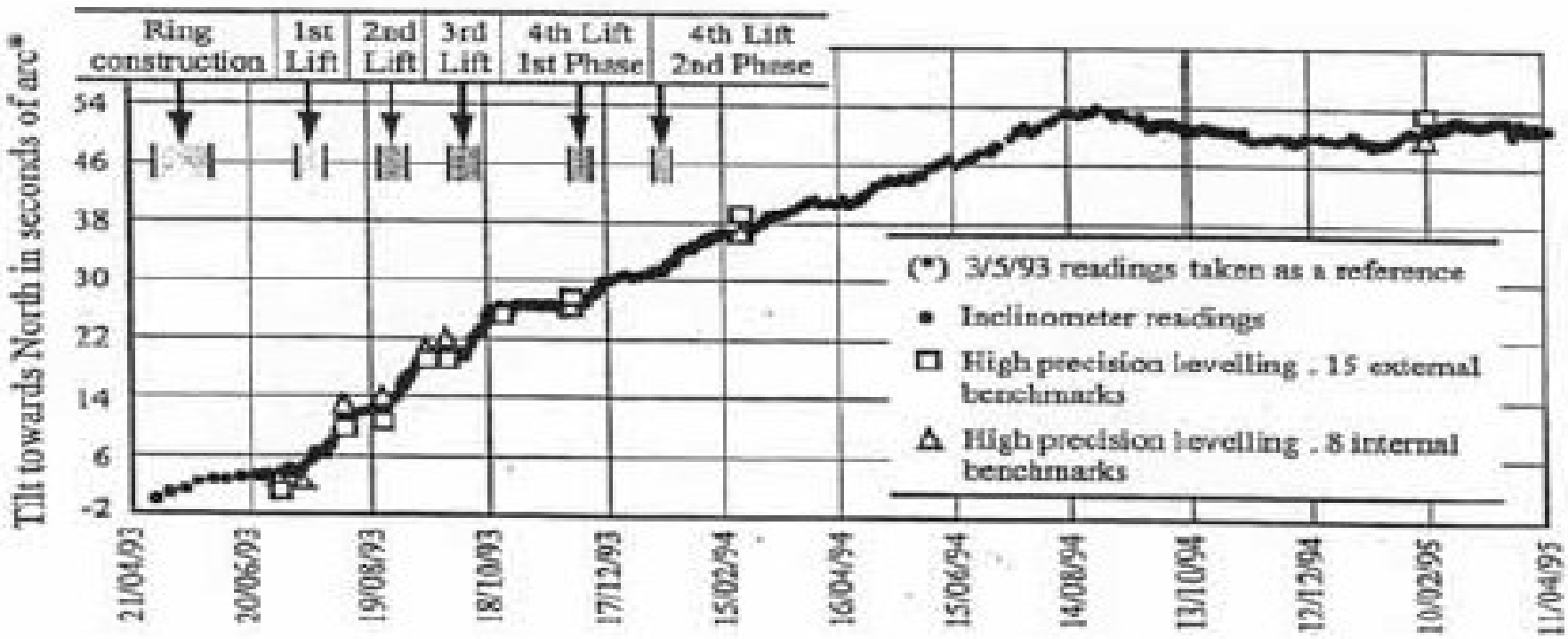


Trinchera y depresión de napa (1838)

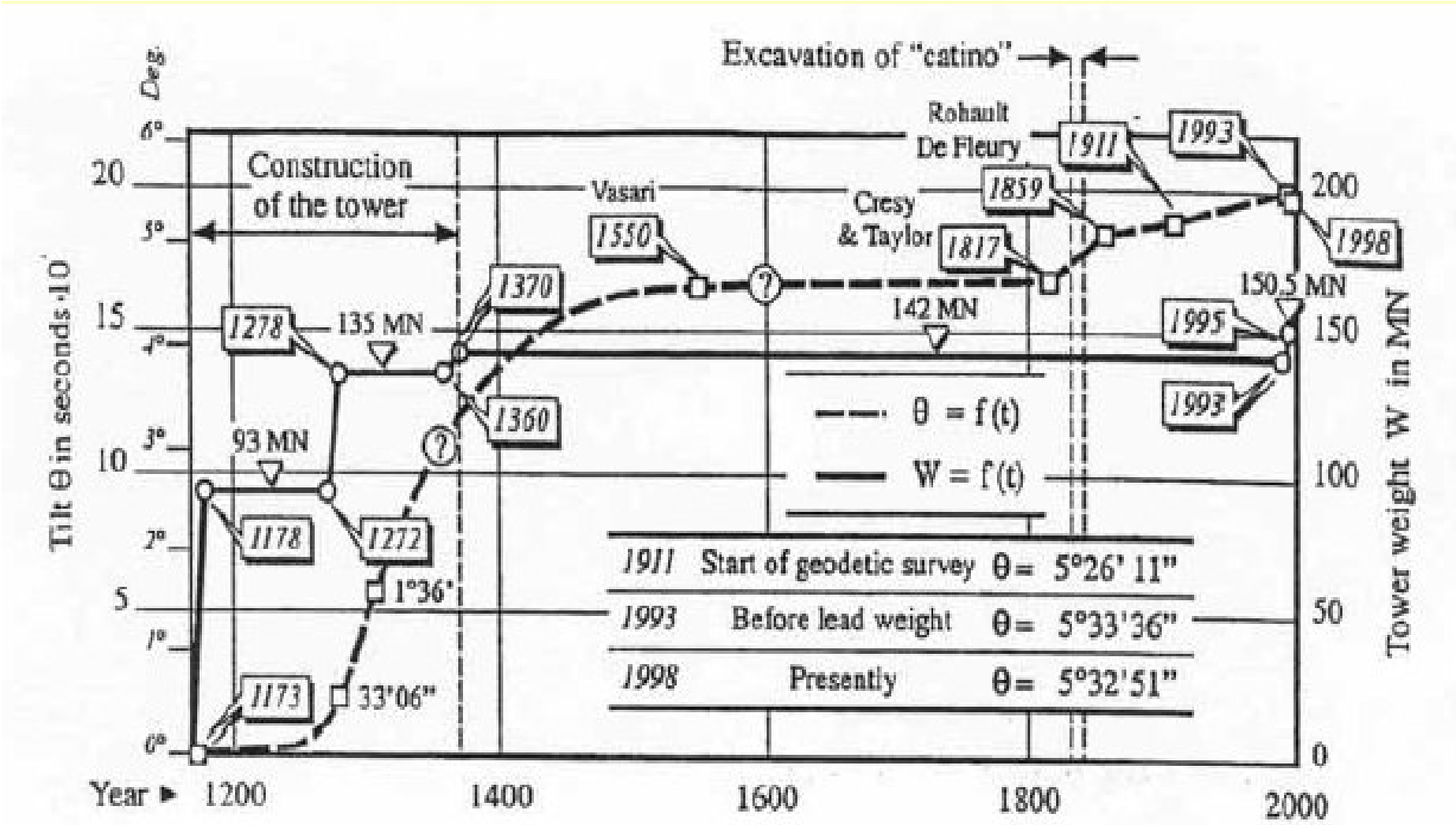


Contrapesos y anclajes en lado norte

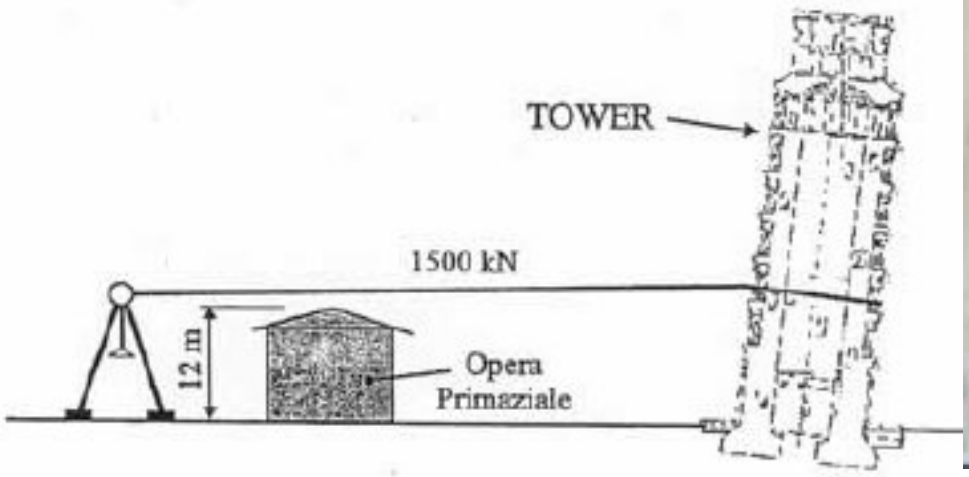
Contrapesos en lado norte (1993)



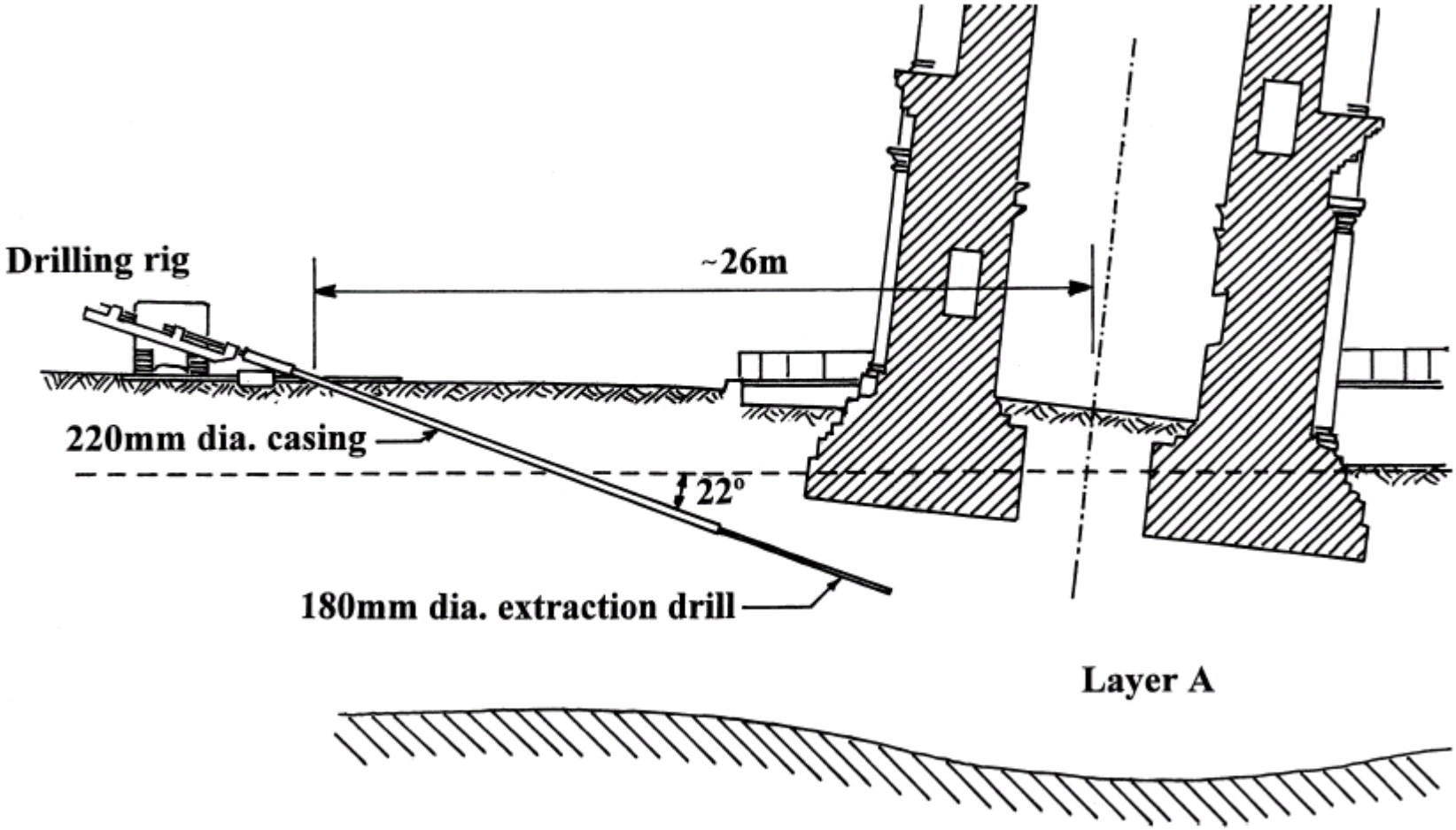
Contrapesos en lado norte (1993)



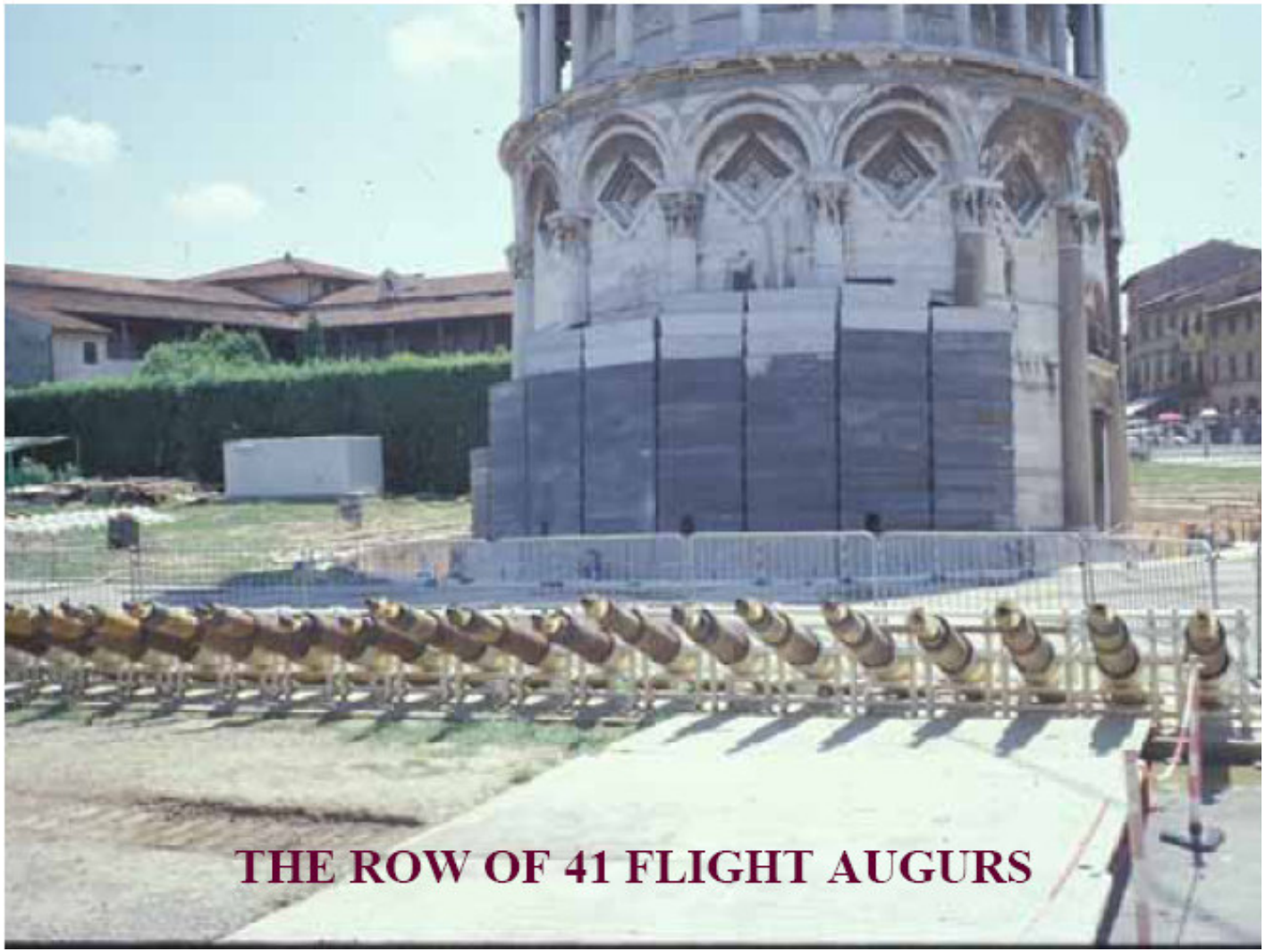
Cables de estabilización



Solución definitiva: “hundir” el lado mas alto (idea de Terracina 1962)

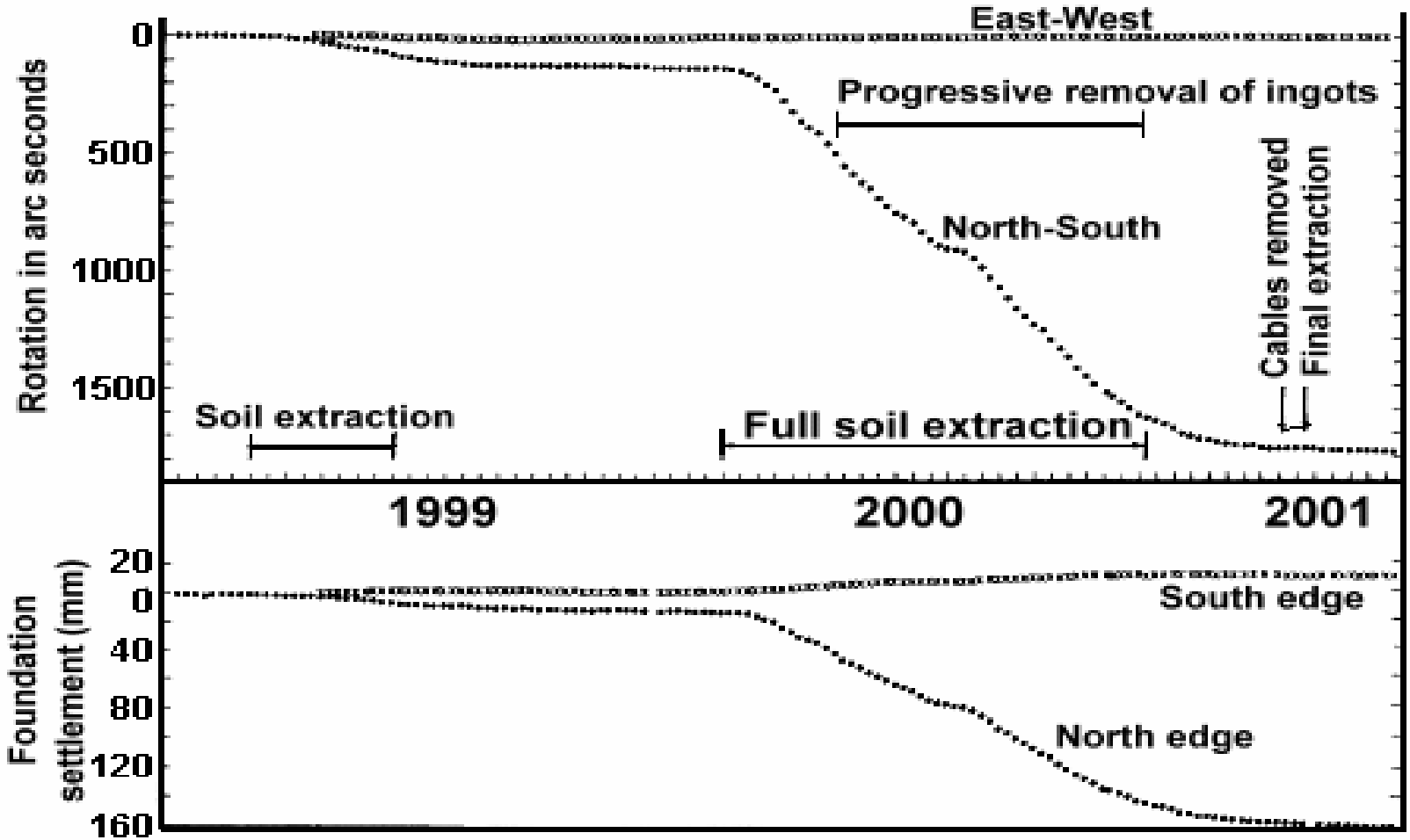


Solución definitiva: “hundir” el lado mas alto (idea de Terracina 1962)



Solución definitiva: “hundir” el lado mas alto (idea de Terracina 1962)

Solución definitiva: se retiran 7m^3 de suelo entre febrero y junio 1999



Bibliografía

Básica

- Jiménez Salas y otros. Geotecnia y Cimientos. Ed. Rueda
- Powrie. Soil Mechanics. Ed. Spon Press

Complementaria

- Mitchell. Fundamentals of soil behavior. Wiley.
- Terzaghi, Peck y Mesri. Soil Mechanics in Engineering Practice. Wiley
- USACE. Settlement analysis.