FACULTAD DE INGENIERÍA

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Maestría en Ingeniería Geotécnica - MIG
(Carrera Binacional Argentina - Alemania)

Asignatura ACMIG03:

Comportamiento Mecánico de Suelos

Dr. Juan Pablo Ibañez
juan.pablo.Ibanez@ingenieria.uncuyo.edu.ar
+54 261 5796326

FACULTAD DE INGENIERÍA

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Maestría en Ingeniería Geotécnica - MIG
(Carrera Binacional Argentina - Alemania)

Consolidación en Suelos

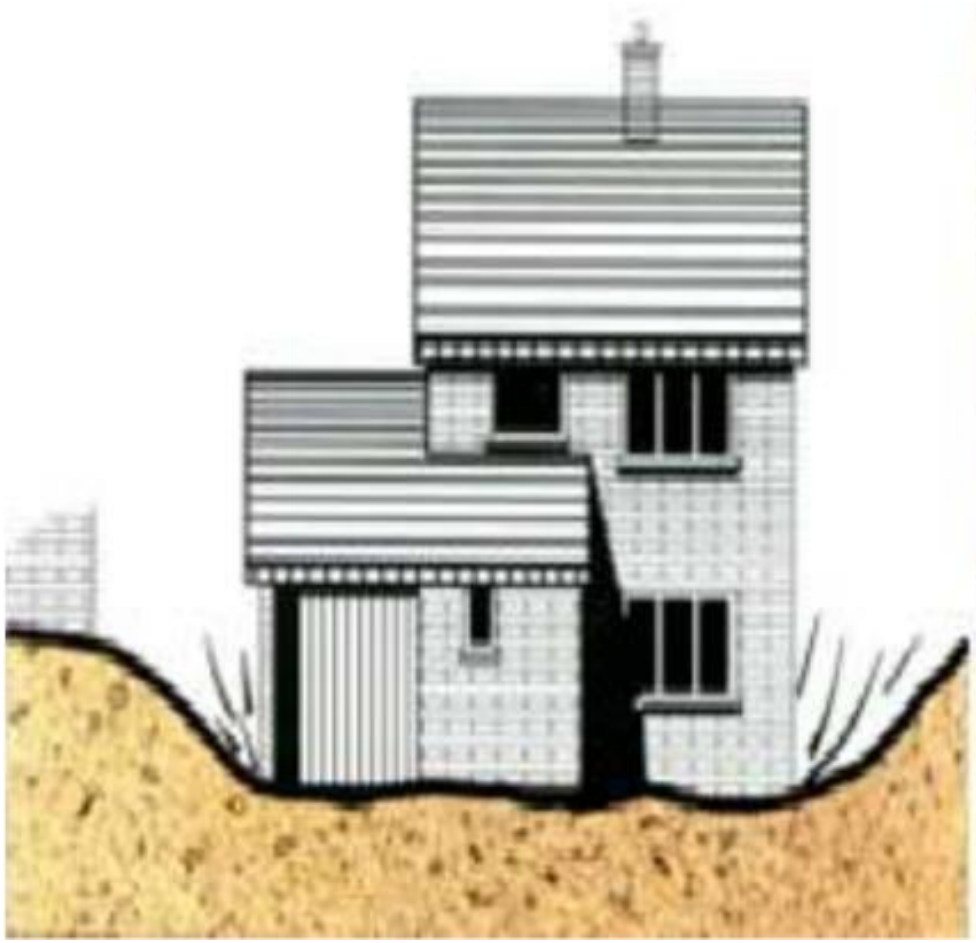
ACMIG03: Comportamiento Mecánico de Suelos

Dr. Juan Pablo Ibañez

juan.pablo.Ibanez@ingenieria.uncuyo.edu.ar

+54 261 5796326

Fenómeno de consolidación en suelos

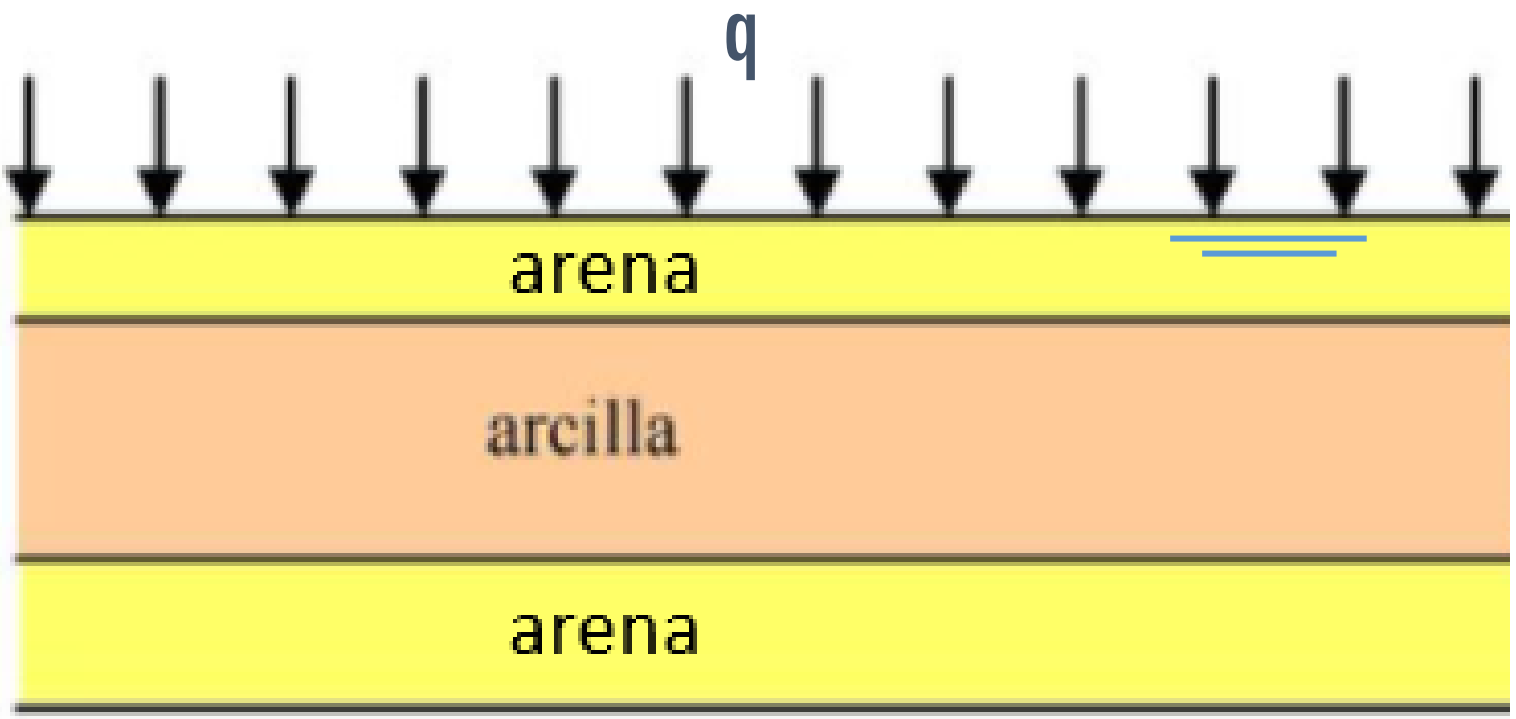






Como son las tensiones totales, efectivas y neutras?

- Antes de aplicar la carga q
- Inmediatamente después de la carga q;
- Mucho tiempo después de la carga q;



NF en superficie

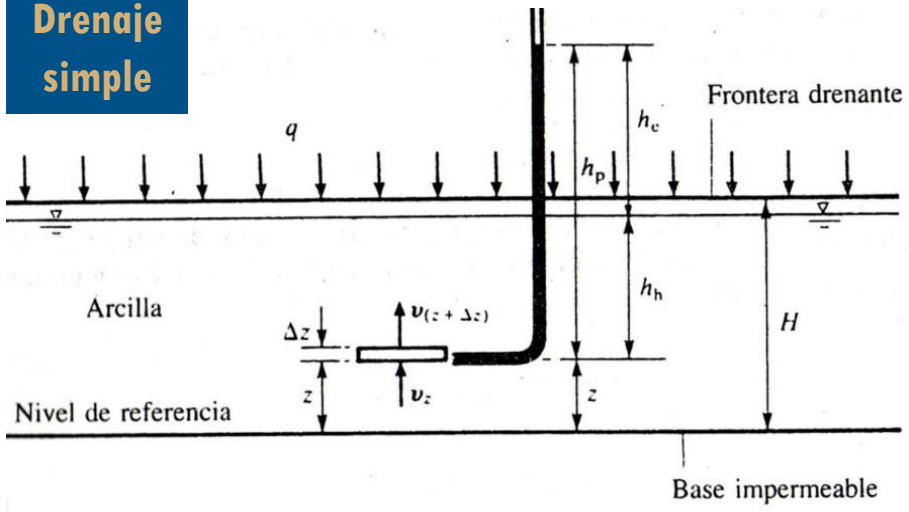
$\gamma arcilla = \gamma arena$

Fenómeno de consolidación en suelos

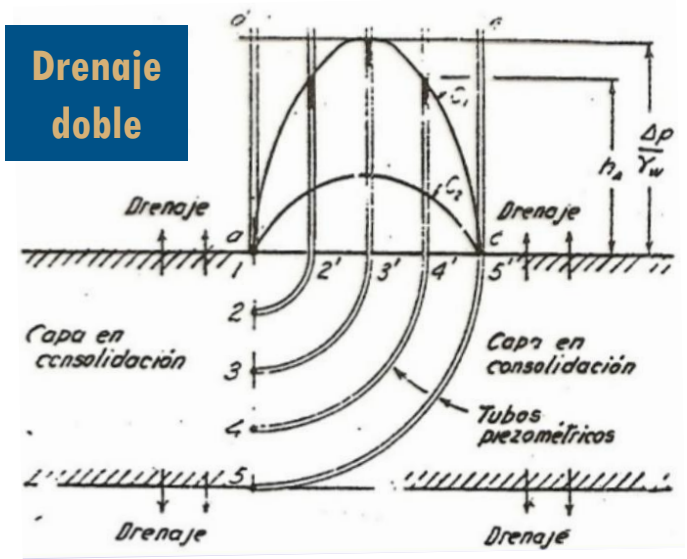
Proceso de disminución de volumen por reducción de la relación de vacíos del suelo, diferido en el tiempo, provocado por el incremento de tensiones efectivas verticales.

La consolidación es un asentamiento diferido en el tiempo que se desarrolla en arcillas, generalmente saturadas, al disiparse un exceso de presión neutra inducida por una acción exterior, según las condiciones de drenaje.

Drenaje simple



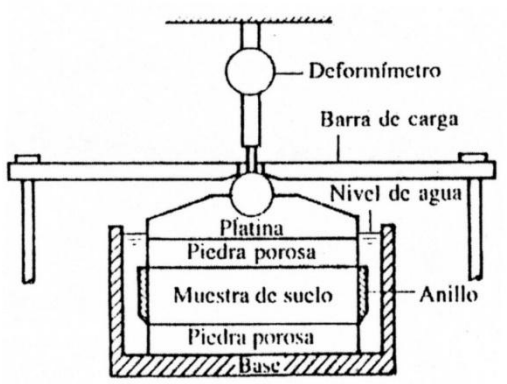
Drenaje doble





Ensayo de consolidación vertical [Edómetro]

(ASTM D2435)



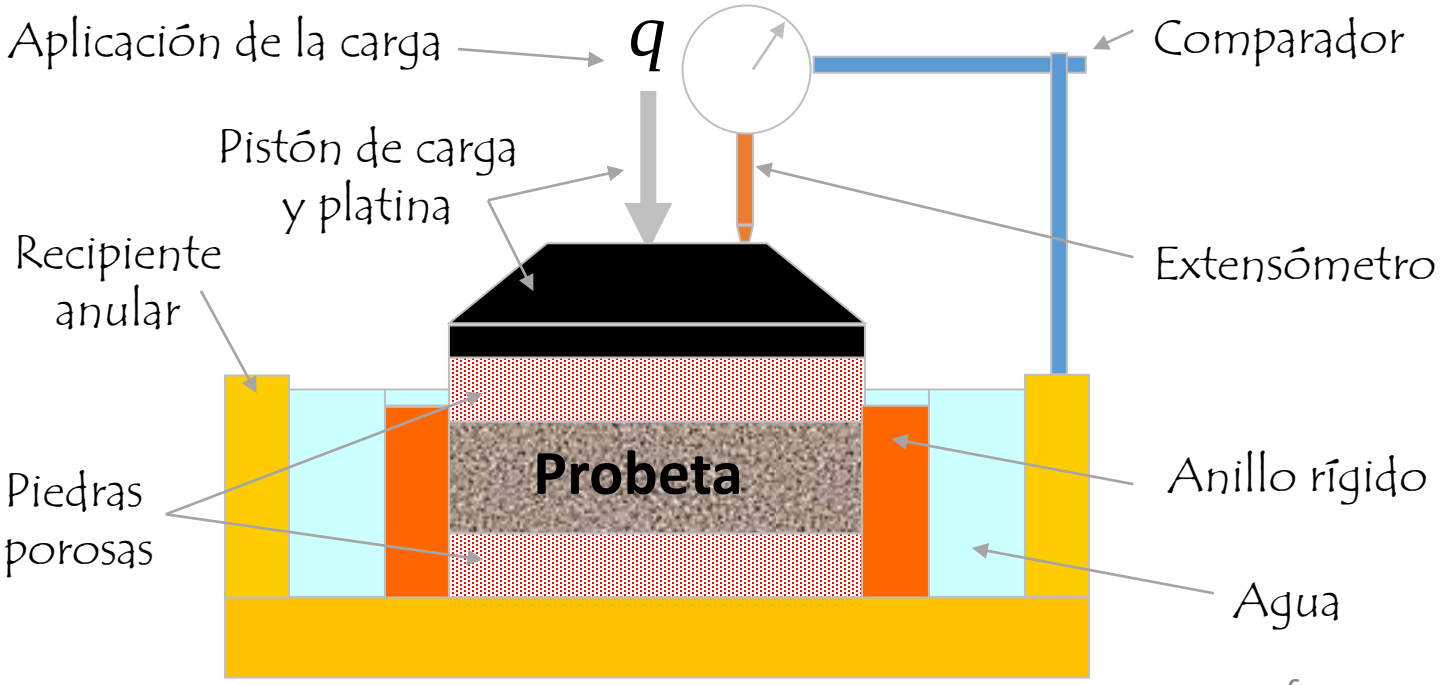
Finalidad y metodología del ensayo:

- Determinar el régimen y la magnitud de la consolidación de un suelo, cuando está confinado lateralmente y se carga y drena axialmente.
- Además puede determinarse el coeficiente de permeabilidad del suelo y sus características expansivas.

- La probeta (pastilla) de suelo se satura en la celda;
- Se aplican escalones de carga vertical (q);
- Se mide desplazamiento vertical de la platina en el tiempo;
- Cuando velocidad de consolidación ≈ 0

  ➔ Final del proceso (≈ 24hs);
- Se determina deformación unitaria (e) o relación de vacíos (e) en función del tiempo (t)

  ➔ Curva de Consolidación;



Ensayo de consolidación vertical [Edómetro]

Pastilla de suelo remoldeada

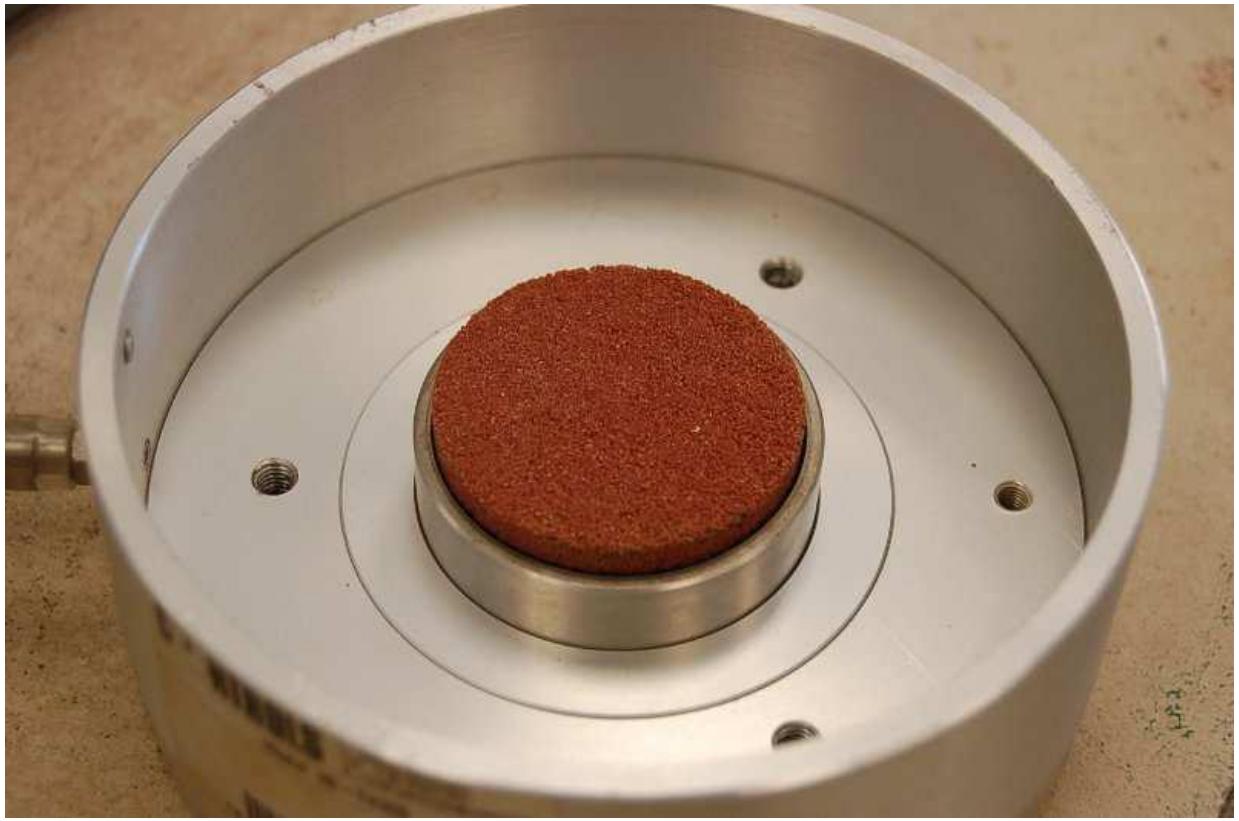


Pastilla de suelo tallada (inalterada)



Ensayo de consolidación vertical [Edómetro]

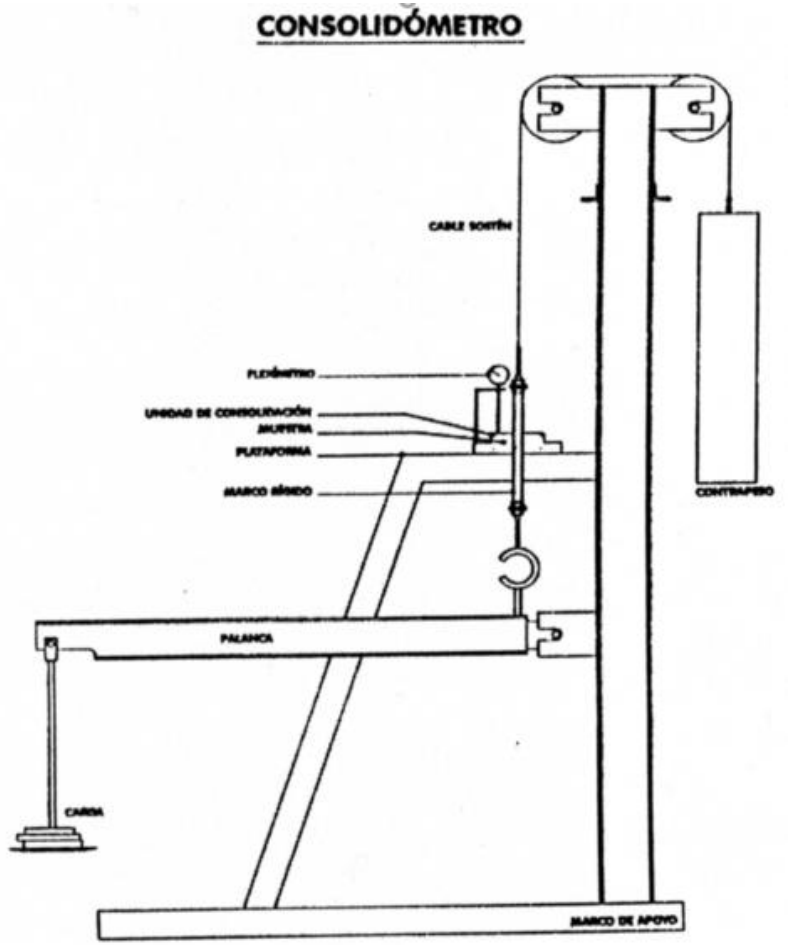
Celda edométrica



Marco y pistón de carga



Ensayo de consolidación vertical [Edómetro]





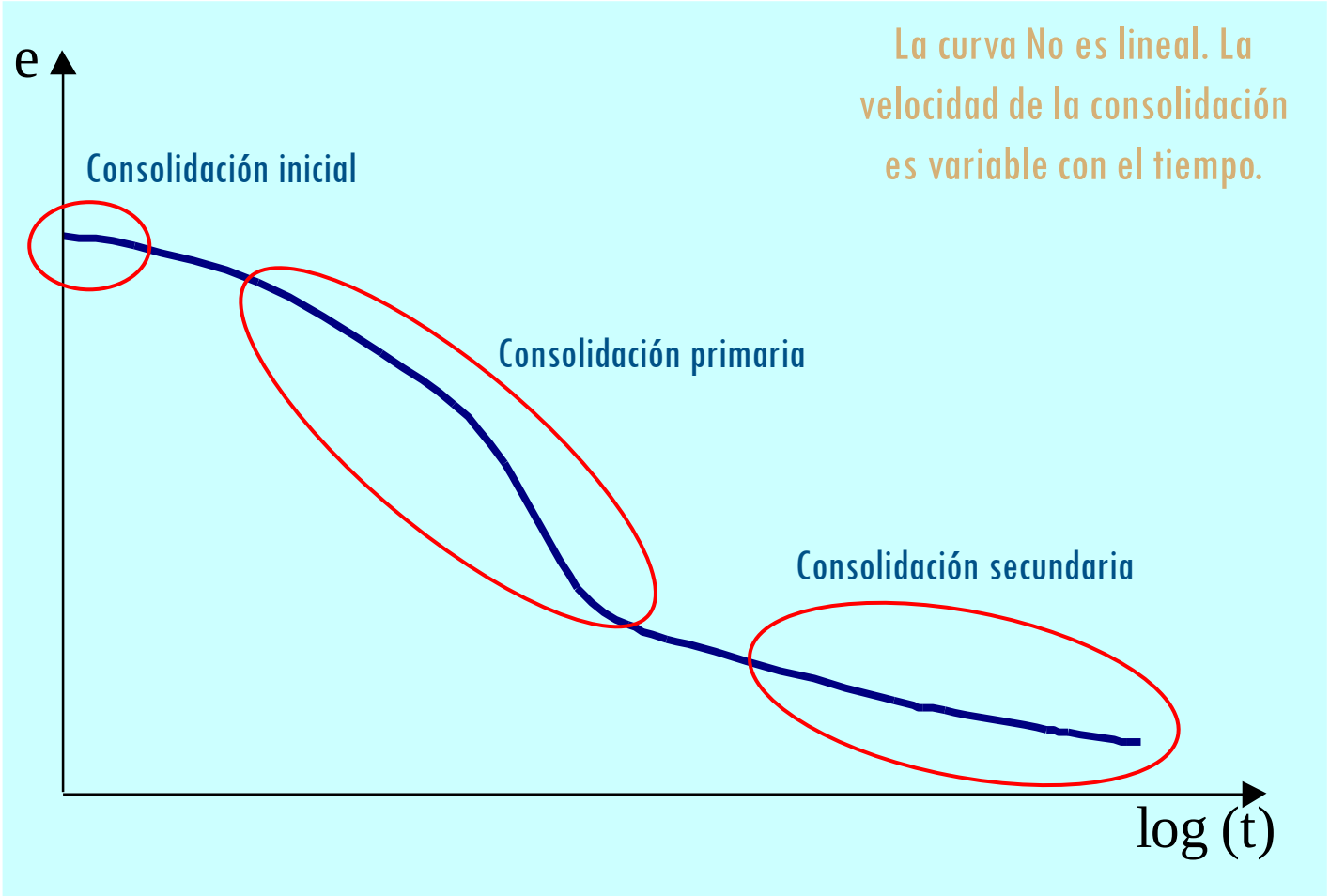
Instrumento para medición del desplazamiento vertical

Marco y palanca de aplicación de la carga vertical



Curva de consolidación [para cada escalón de carga]

- **Consolidación Inicial:** Reducción de vacíos por eliminación de aire.
- **Consolidación Primaria:** Reducción de vacíos por eliminación de agua.
- **Consolidación Secundaria:** Reacomodación de las partículas bajo tensión efectiva constante.
- Midiendo el desplazamiento de la platina (asentamiento de la pastilla) a tiempos definidos obtenemos la **curva de consolidación**.
- La velocidad de consolidación se expresa mediante el **Coeficiente de Consolidación Cv:**
  - Cv no es constante y depende de la sobrecarga aplicada y de la conductividad hidráulica del suelo.
  - Cv nos permite estimar los tiempos de consolidación en el terreno.



Curva de consolidación [para cada escalón de carga]

$$Tv = Cv \cdot t / H^2$$

[Cv] Coeficiente de consolidación: Como obtenerlo?

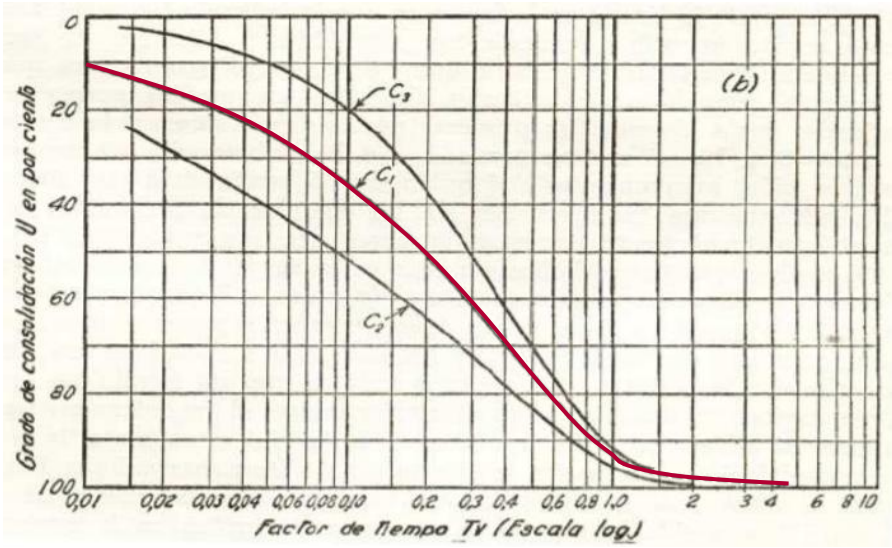
- El define una variable teórica adimensional, el factor de tiempo.
- El mismo se obtiene de un gráfico teórico, donde en ordenadas aparece el grado promedio de consolidación y en abscisas el Tv (curva C1).
- Se utilizan los valores característicos Tv50% y Tv90%:

$$Tv(50\%) = 0{,}196 \qquad Tv(90\%) = 0{,}848$$

- Con Tv50% y Tv90% se puede calcular CV90 y CV50 con las siguientes fórmulas:

$$C_{V90} = \frac{T_{V90} \cdot H^2}{t_{90}} \qquad C_{V50} = \frac{T_{V50} \cdot H^2}{t_{50}}$$

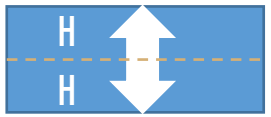
- H es la "altura hidráulica", la máxima distancia a recorrer por el agua:
  - Drenaje simple: H = altura de la pastilla
  - Drenaje doble: H = altura de la pastilla / 2
- "t" es el tiempo correspondiente al 50% y 90% de la consolidación para el escalón.



Drenaje simple



Drenaje doble



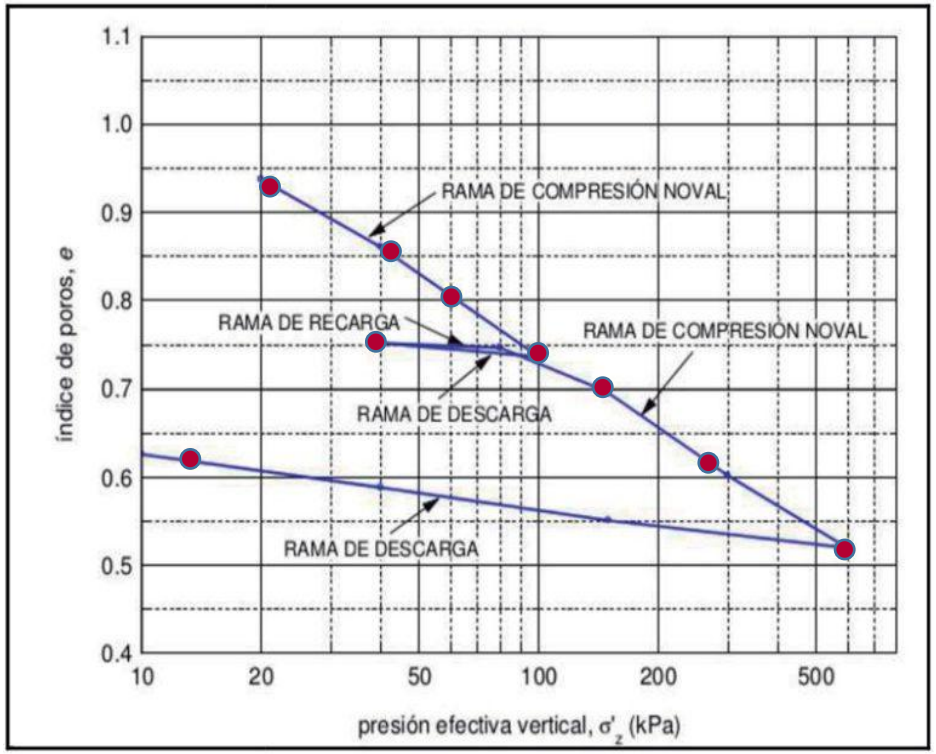
Curva de compresibilidad [con todos los escalones]

- Se aplica un escalón de carga (el doble del escalón anterior).
- El escalón de carga genera una tensión efectiva (σ') en la pastilla de suelo.
- Se determina la relación de vacíos final (e) para el escalón de carga.
- Se obtiene la curva de consolidación para el escalón de carga.
- Se aplican varios escalones de carga (rama o tramo virgen o de compresión noval).
- Se aplican escalones de descarga y se obtiene la rama o tramo de recuperación elástica del suelo.
- Se aplican escalones de recarga y se obtiene la rama o tramo de recarga elástica.
- Con los puntos σ´- e (•) se obtiene la curva de compresibilidad.

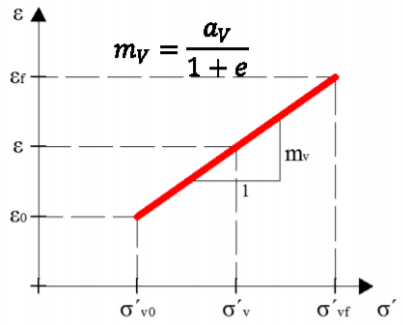
$$Hsólida = Ws / (A.Gs.\gamma w)$$

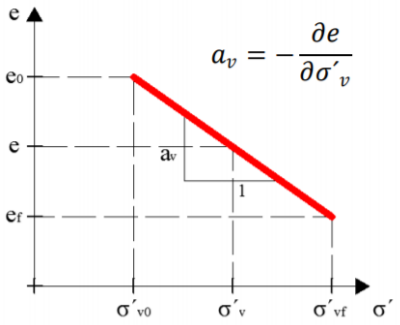
$$Hvacios = Hpastilla - Hsólida$$

$$e = Hvacios / Hsólida$$



Curva de compresibilidad [con todos los escalones]





Coeficiente de Compresibilidad (a_v): Pendiente de la recta tangente a la Curva de Compresibilidad

$$a_v = -\frac{de}{d\sigma'} \qquad \text{o también} \qquad a_v = -\frac{\Delta e}{\Delta \sigma'}$$

Coeficiente de Compresibilidad volumétrica (m_v):

$$m_v = \frac{a_v}{(1+e)}$$

Permeabilidad (k):

$$C_v = k/(m_v \cdot \gamma_w)$$

Pendiente del Tramo virgen o noval:

$$C_c = \frac{e_{inicial} - e_{final}}{\log\left(\frac{\sigma'_{final}}{\sigma'_{inicial}}\right)}$$

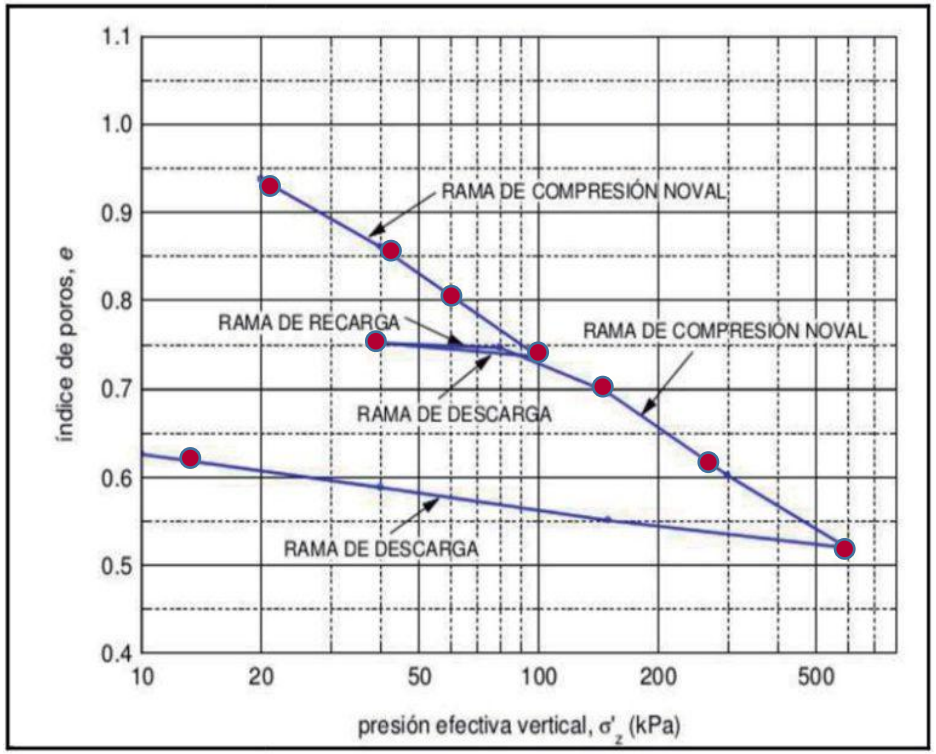
Índice de Compresión (C_c)

Pendiente del Tramo descarga:

$$C_s = \frac{e_{final} - e_{inicial}}{\log\left(\frac{\sigma'_{inicial}}{\sigma'_{final}}\right)}$$

Índice de Hinchamiento (C_s)

Cálculo de asientos en el terreno



Curva de compresibilidad [con todos los escalones]

Historia de cargas y sobreconsolidación

El comportamiento σ - ε depende de historia de tensiones:

- **Arcilla Normalmente Consolidada:** Aquélla que nunca estuvo sometida a tensiones efectivas mayores a las que tiene actualmente.
- **Arcilla Sobreconsolidada:** Aquélla que alguna vez estuvo sometida a tensiones efectivas mayores a las tiene actualmente.
- **Tensión de Preconsolidación (σ'_p):** Máxima tensión a que ha estado sometido el suelo en su historia.
- **Causas de sobreconsolidación:**
  - Procesos de erosión.
  - Avance y retroceso de glaciaciones.
  - Procesos de desecación y humedecimiento.
  - Fluctuación de nivel freático.

Razón de Sobreconsolidación

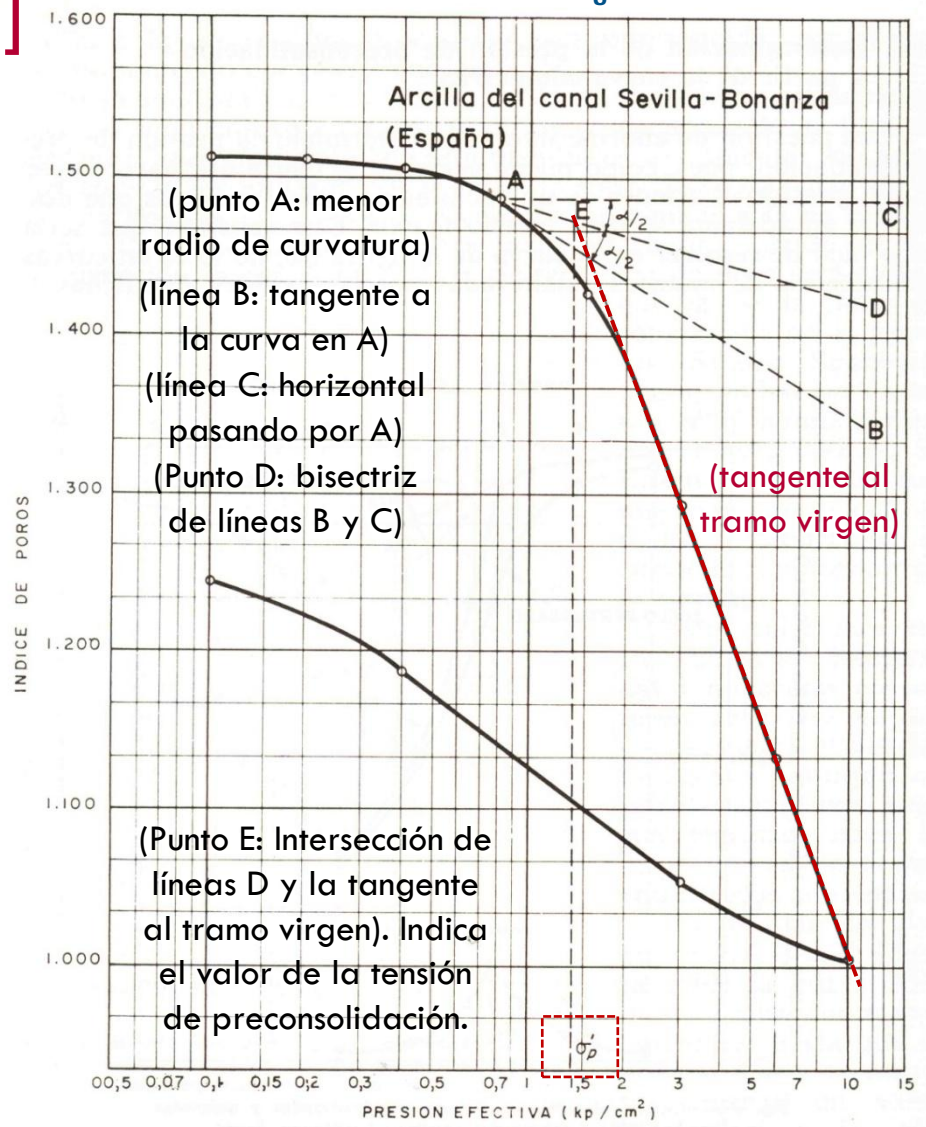
$$OCR = \frac{\sigma'_p}{\sigma'_o}$$

(σ'_p: Tensión máxima sufrida)

(σ'_o: Tensión vertical actual)

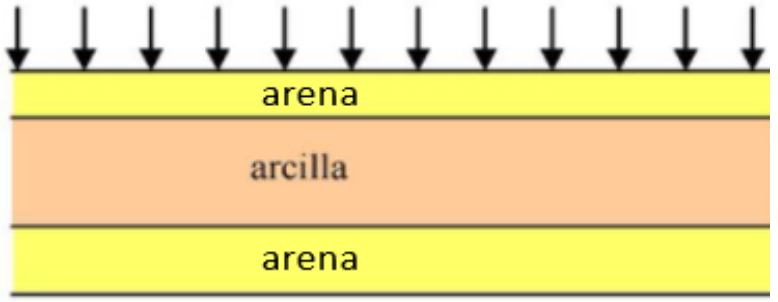
Si $\sigma'_p = \sigma'_o$: suelo normalmente consolidado
Si $\sigma'_p > \sigma'_o$: suelo sobreconsolidado

Método de Casagrande



Cálculo en el terreno





Tiempo 90% consolidación

H = altura de drenaje de la capa de suelo blando

Cv = obtenido del ensayo [el suelo está NC]

$$C_{V90} = \frac{T_{V90} . H^2}{t_{90}}$$

Calcular t_{90} a partir de los valores de Tv, H y Cv.

Asiento por consolidación

Δs = asientos en la capa de arcilla

ΔH = altura de la capa de arcilla

$\Delta \sigma v$ = incremento de tensión vertical

Mv = módulo de compresibilidad volumétrica

$$\Delta s = \Delta H . Mv . \Delta \sigma v$$