



CIMENTACIONES 74.11
GEOTECNIA APLICADA 94.09

<https://campus.fi.uba.ar/course/view.php?id=1171>

REPASO MECANICA DE SUELOS

Contenido

- 1. Clasificación de suelos y propiedades índice**
2. Presiones efectivas
3. Capacidad de carga
4. Empuje de suelos

Clasificación de suelos

La clasificación de suelos agrupa materiales con propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas similares

- Suelos gruesos (Gravas y arenas)
 - Las partículas se tocan entre si (Fuerzas de masa)
 - Controla: granulometría, forma y dureza de partículas
- Suelos finos (Limos y arcillas)
 - Las partículas no se tocan entre si
 - Las partículas tienen cargas eléctricas (f. superficiales)
 - Controla: capacidad de absorber agua

Suelos gruesos

Fracción suelo: tamaño menor a 75mm (criba 3")

Tamaño grava: 75mm a 4.75mm (tamiz #4)

Tamaño arena: 4.75mm a 74 μ m (tamiz #200)

Suelo grueso: $P_{200} < 50\%$



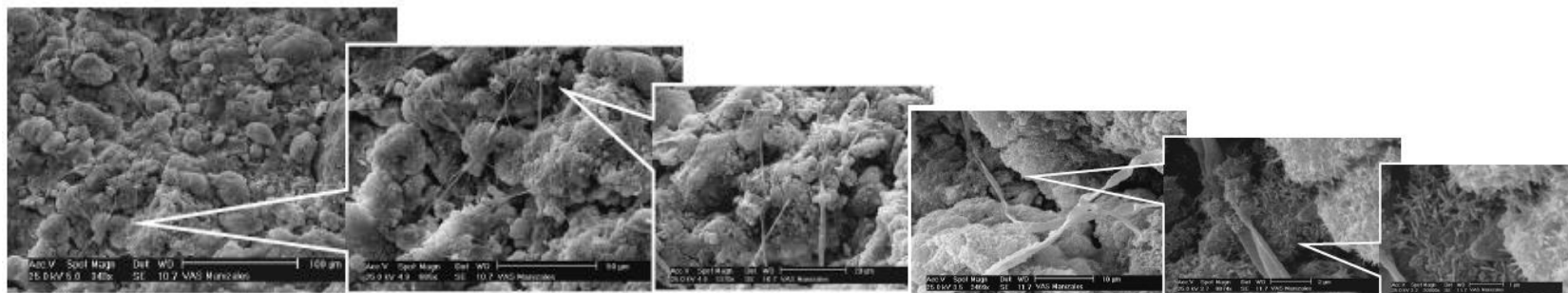
Suelos finos

Predominan las fuerzas de interacción electroquímica

La “granulometría” no controla el comportamiento

- Tamaño limo: $74\mu m$ (tamiz #200) a $2\mu m$
- Tamaño arcilla: menor a $2\mu m$

Lo que decide si es Limo o Arcilla es su capacidad de absorber agua (Los limos no suelen tener propiedades coloidales)



Carta de clasificación de suelos

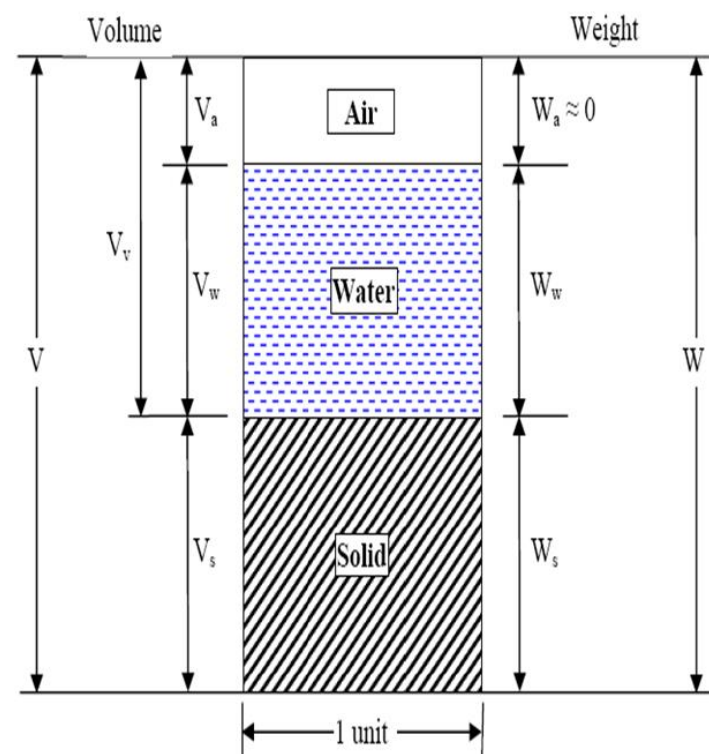
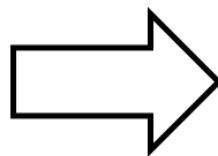
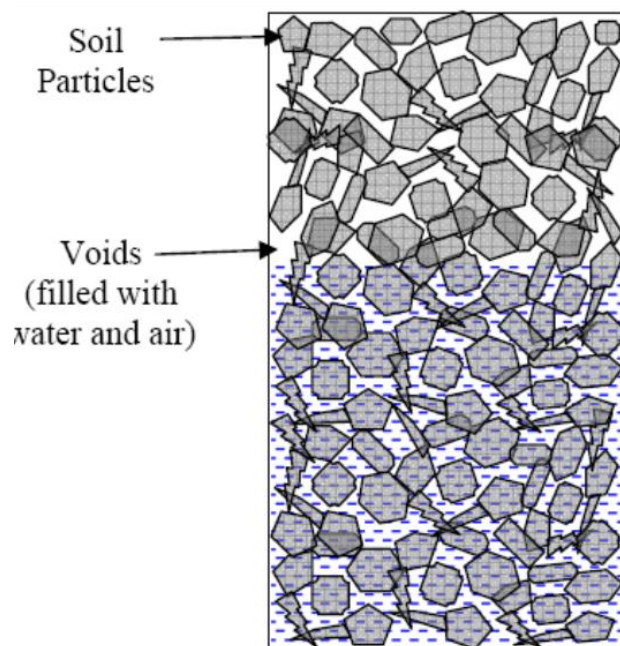
NOTES:

- a Based on the material passing the 3 in (75 mm) sieve.
b If field sample contained cobbles and/or boulders, add "with cobbles and/or boulders" to group name.
c Gravels with 5 to 12% fines require dual symbols:
GW-GM, well-graded gravel with silt
GW-GC, well-graded gravel with clay
GP-GM, poorly graded gravel with silt
GP-GC, poorly graded gravel with clay
d Sands with 5 to 12% fines require dual symbols:
SW-SM, well-graded sand with silt
SW-SC, well-graded sand with clay
SP-SM, poorly graded sand with silt
SP-SC, poorly graded sand with clay
e $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10})(D_{60})}$
[C_u : Uniformity Coefficient; C_c : Coefficient of Curvature]
f If soil contains $\geq 15\%$ sand, add "with sand" to group name.
g If fines classify as CL-ML, use dual symbol GC-GM, SC-SM.
h If fines are organic, add "with organic fines" to group name.
i If soil contains $\geq 15\%$ gravel, add "with gravel" to group name.
j If the liquid limit and plasticity index plot in hatched area on plasticity chart, soil is a CL-ML, silty clay.
k If soil contains 15 to 29% plus No. 200 (0.075 mm), add "with sand" or "with gravel," whichever is predominant.
l If soil contains $\geq 30\%$ plus No. 200 (0.075mm), predominantly sand, add "sandy" to group name.
m If soil contains $\geq 30\%$ plus No. 200 (0.075 mm), predominantly gravel, add "gravelly" to group name.
n $PI \geq 4$ and plots on or above "A" line.
o $PI < 4$ or plots below "A" line.
p PI plots on or above "A" line.
q PI plots below "A" line.

Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests ^a			Soil Classification	
			Group Symbol	Group Name ^b
COARSE-GRAINED SOILS (Sands and Gravels) - more than 50% retained on No. 200 (0.075 mm) sieve				
FINE-GRAINED (Silts and Clays) - 50% or more passes the No. 200 (0.075 mm) sieve				
GRAVELS More than 50% of coarse Fraction retained on No. 4 Sieve	CLEAN GRAVELS	$C_u \geq 4$ and $1 \leq C_c \leq 3^e$	GW	Well-graded gravel ^f
	< 5% fines	$C_u < 4$ and/or $1 > C_c > 3^e$	GP	Poorly-graded gravel ^f
	GRAVELS WITH FINES > 12% of fines ^e	Fines classify as ML or MH	GM	Silty gravel ^{f,g,h}
		Fines classify as CL or CH	GC	Clayey gravel ^{f,g,h}
SANDS 50% or more of coarse fraction passes No. 4 Sieve	CLEAN SANDS	$C_u \geq 6$ and $1 \leq C_c \leq 3^e$	SW	Well-graded Sand ⁱ
	< 5% fines ^d	$C_u < 6$ and/or $1 > C_c > 3^e$	SP	Poorly-graded sand ⁱ
	SANDS WITH FINES > 12% fines ^d	Fines classify as ML or MH	SM	Silty sand ^{g,h,i}
		Fines classify as CL or CH	SC	Clayey sand ^{g,h,i}
SILTS AND CLAYS Liquid limit less than 50	Inorganic	$PI > 7$ and plots on or above "A" line ^j	CL	Lean clay ^{k,l,m}
		$PI < 4$ or plots below "A" line ^j	ML	Silt ^{k,l,m}
	Organic	$\frac{\text{Liquid limit - overdried}}{\text{Liquid limit - not dried}} < 0.75$	OL	Organic clay ^{k,l,m,n} Organic silt ^{k,l,m,o}
SILTS AND CLAYS Liquid limit 50 or more	Inorganic	PI plots on or above "A" line	CH	Fat clay ^{k,l,m}
		PI plots below "A" line	MH	Elastic silt ^{k,l,m}
	Organic	$\frac{\text{Liquid limit - oven dried}}{\text{Liquid limit - not dried}} < 0.75$	OH	Organic clay ^{k,l,m,p} Organic silt ^{k,l,m,q}
Highly fibrous organic soils	Primary organic matter, dark in color, and organic odor		Pt	Peat

Propiedades índice

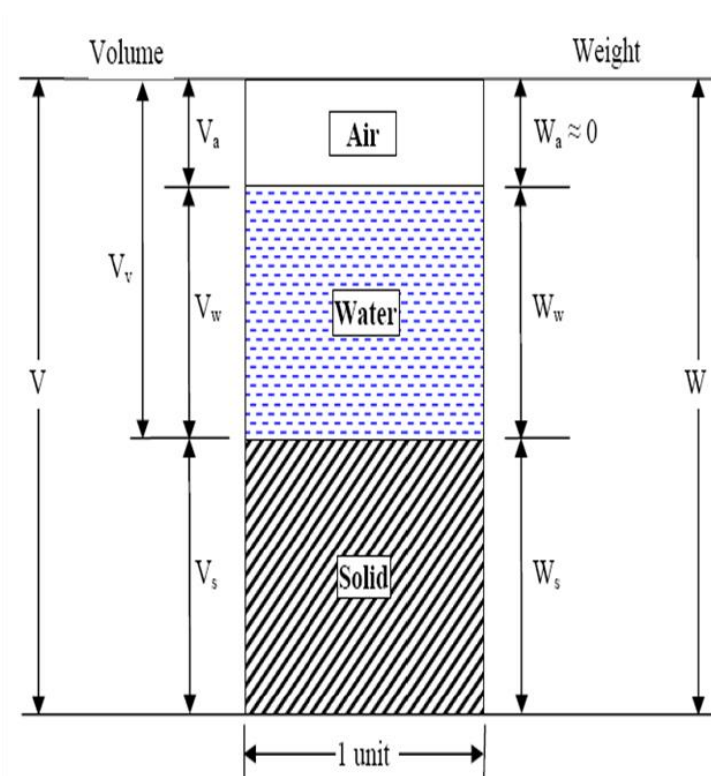
Las propiedades índice caracterizan el estado de un suelo.



Propiedades índice

Las propiedades índice caracterizan el estado de un suelo

- Humedad $\omega = W_W / W_S$
- Peso unitario $\gamma = W / V$
- Peso unitario seco $\gamma_d = W_S / V$
- Relación de vacíos $e = V_V / V_S$
- Porosidad $n = V_V / V$
- Grado de saturación $S_r = V_W / V_V$



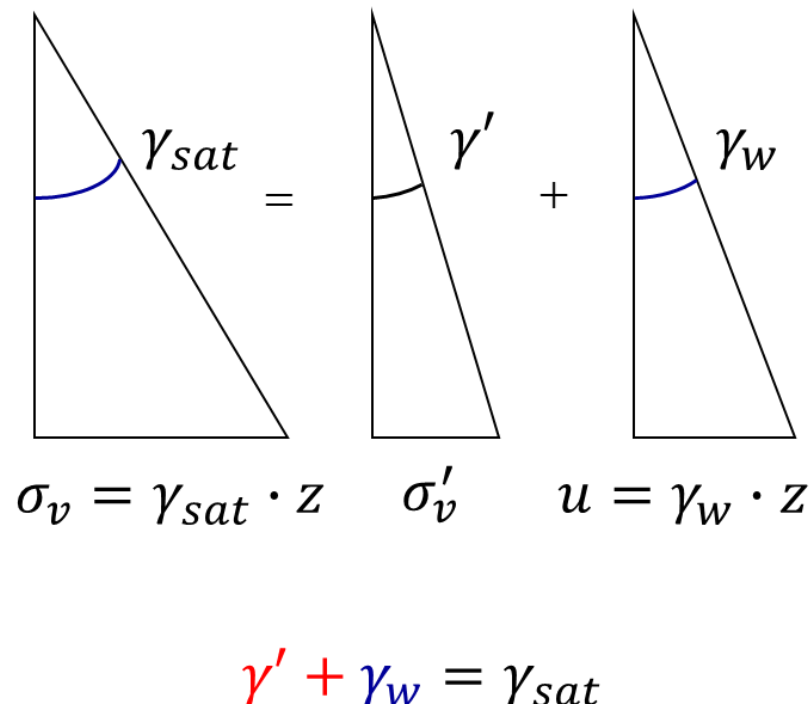
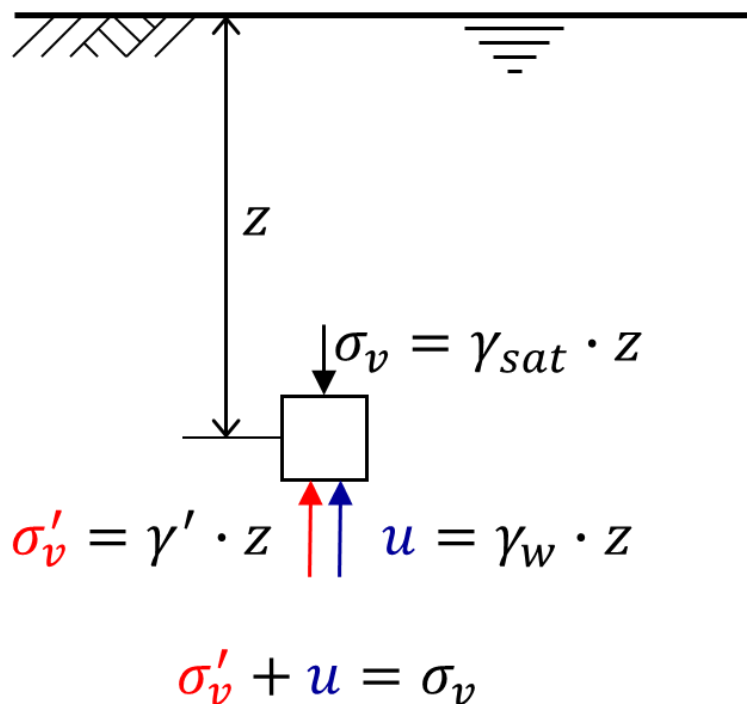


Contenido

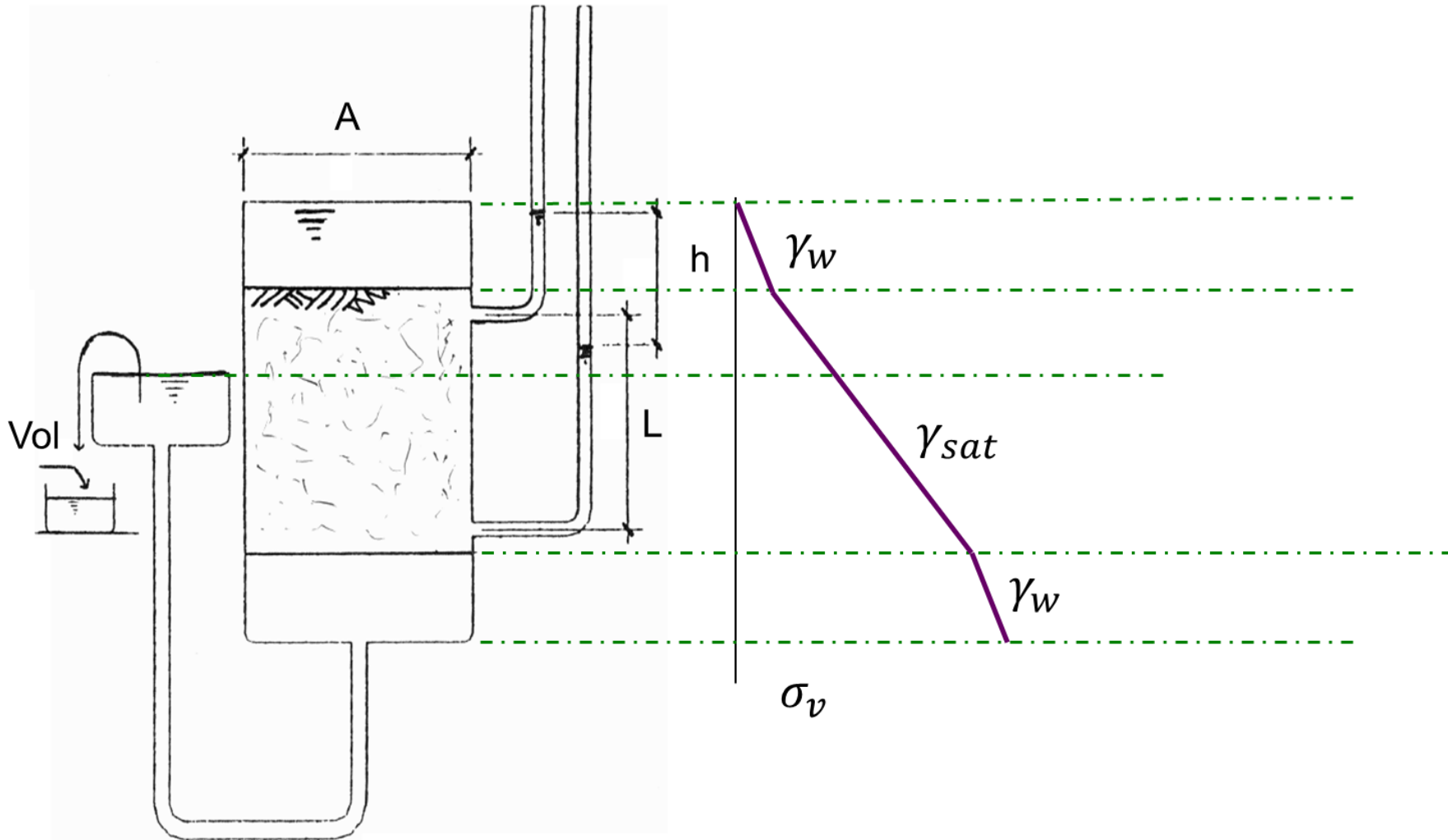
1. Propiedades índice
- 2. Presiones efectivas**
3. Capacidad de carga
4. Empuje de suelos

Presión efectiva

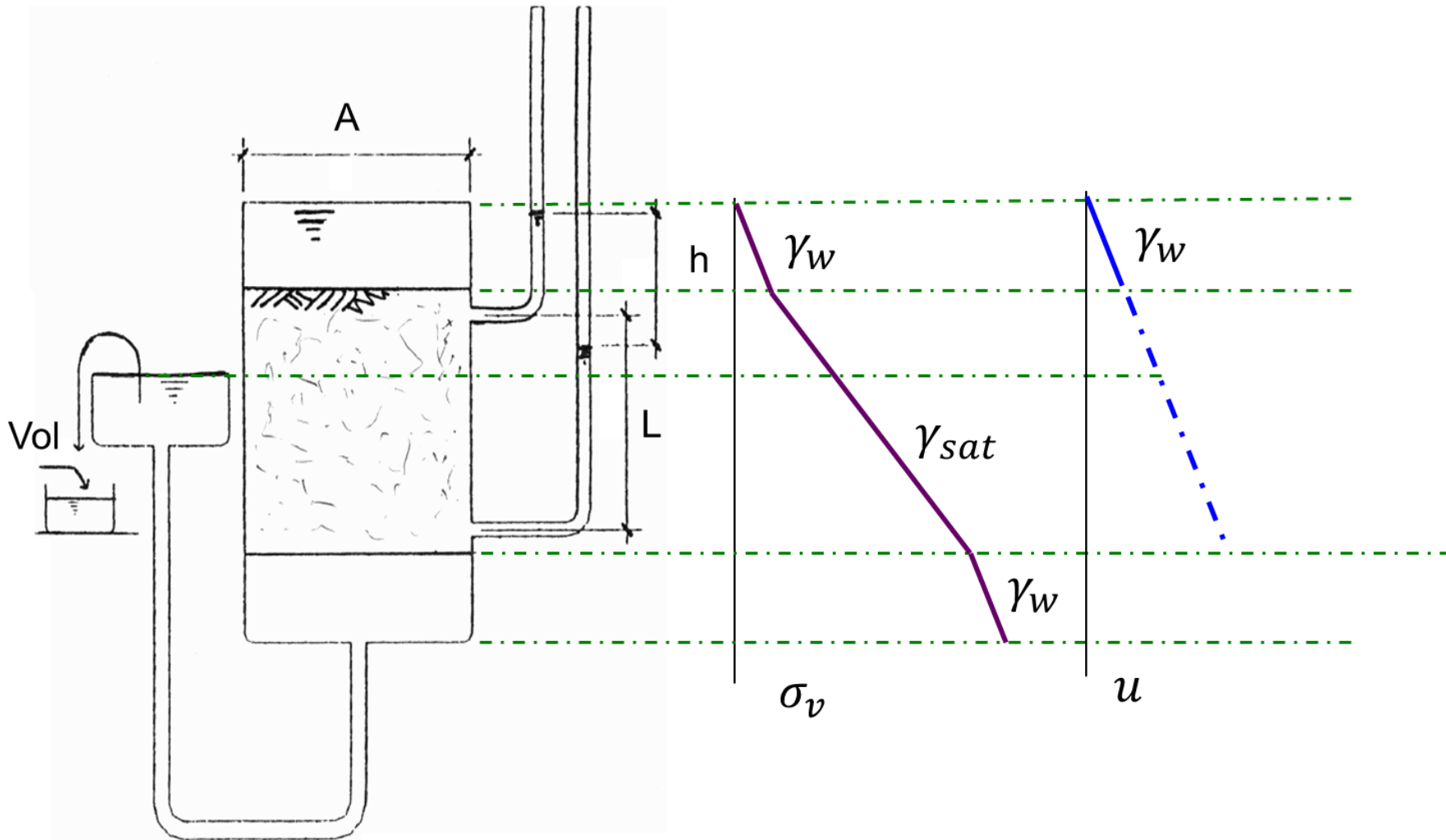
La **presión intergranular (efectiva)** es igual a la presión total menos la **presión del fluido de poros (agua)**



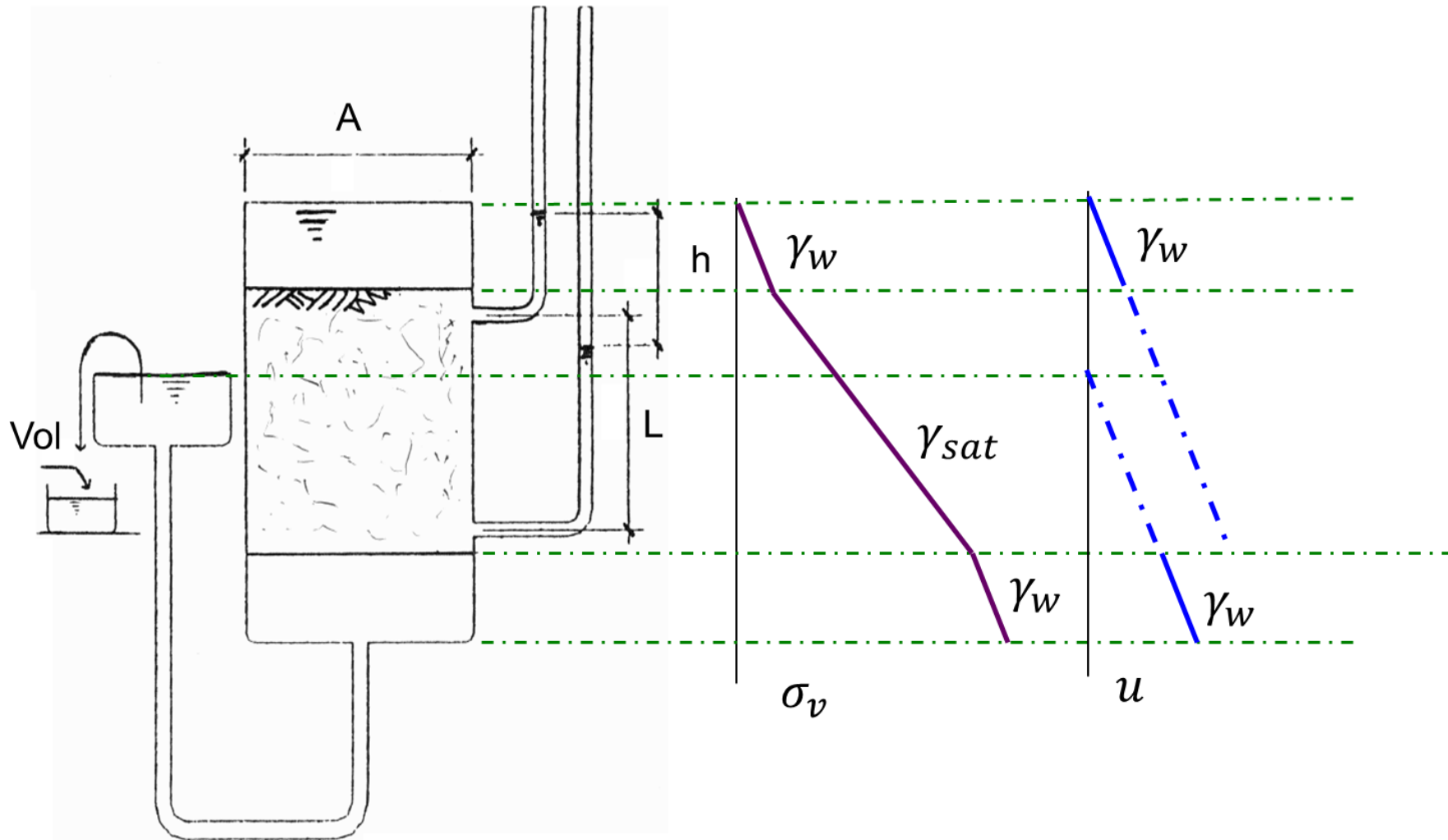
Permeámetro de carga constante



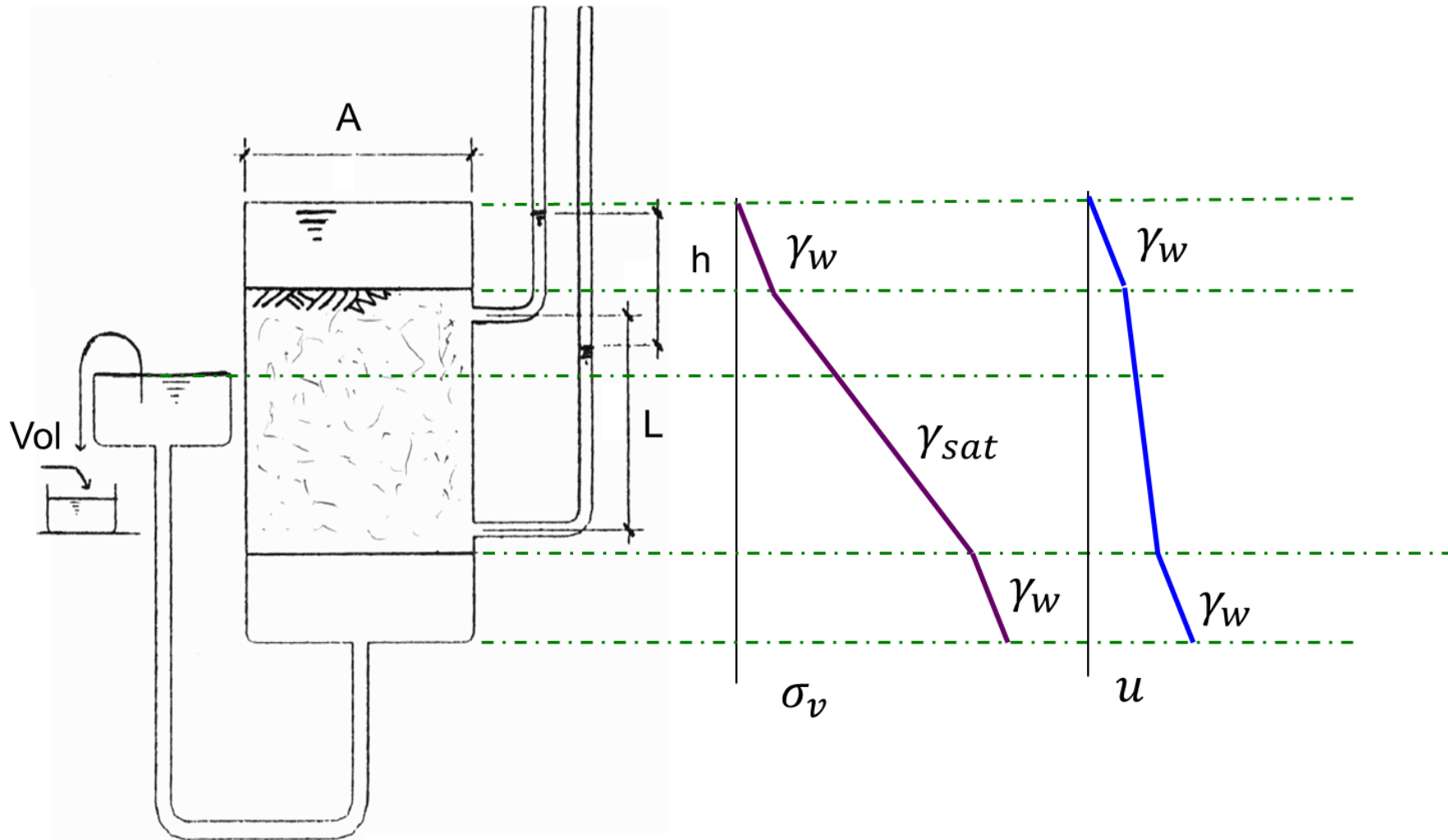
Permeámetro de carga constante



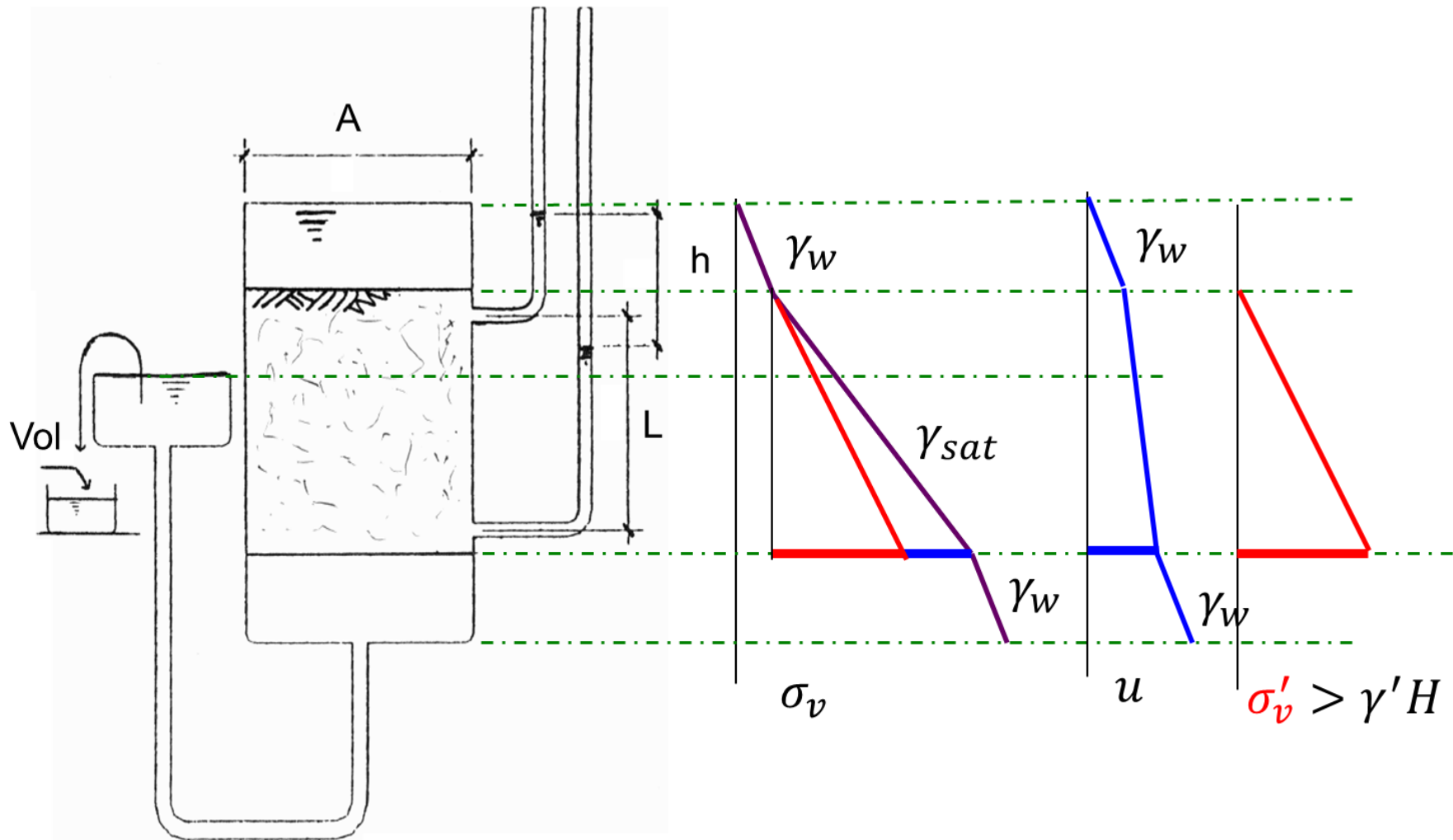
Permeámetro de carga constante



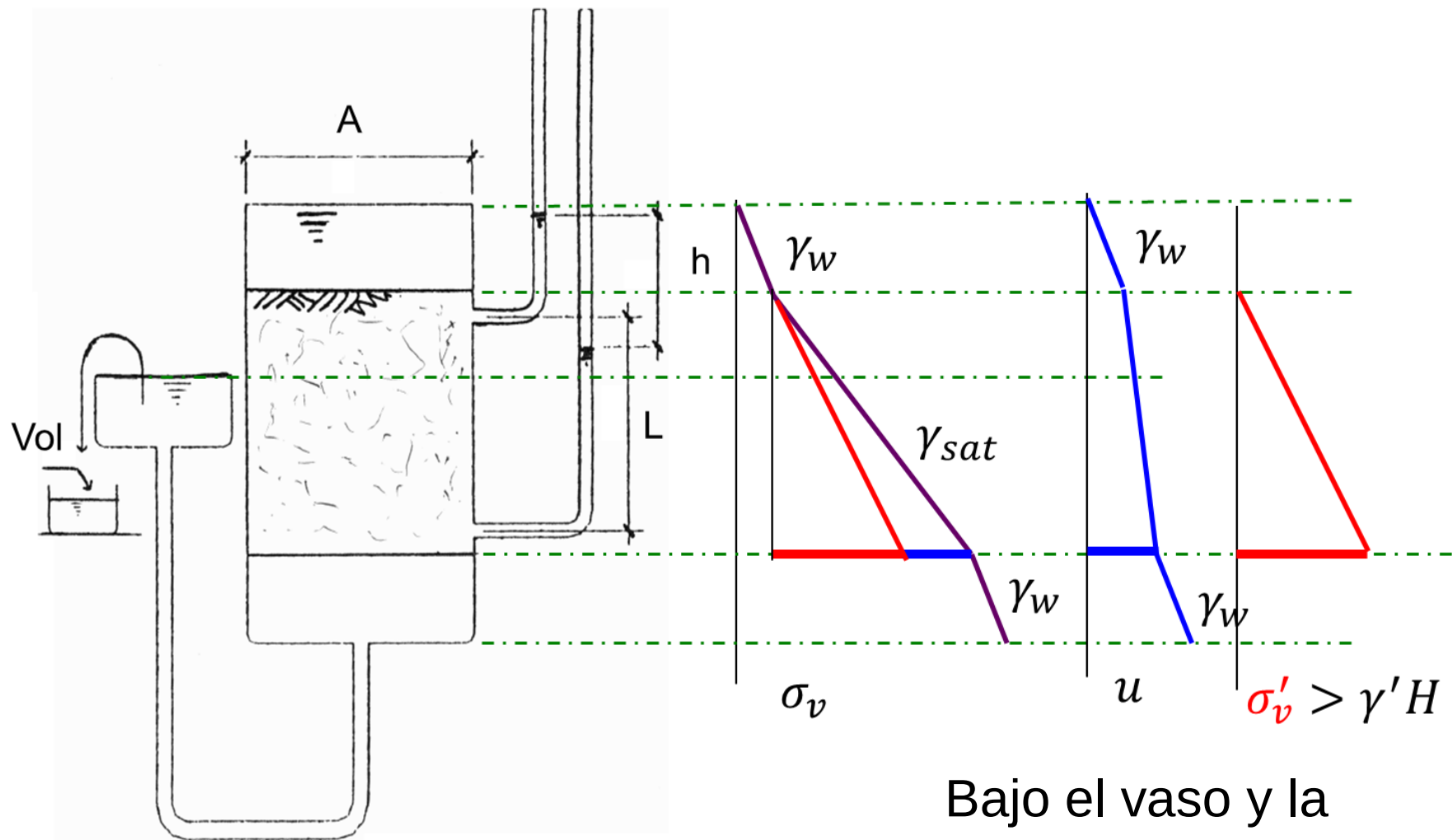
Permeámetro de carga constante



Permeámetro de carga constante

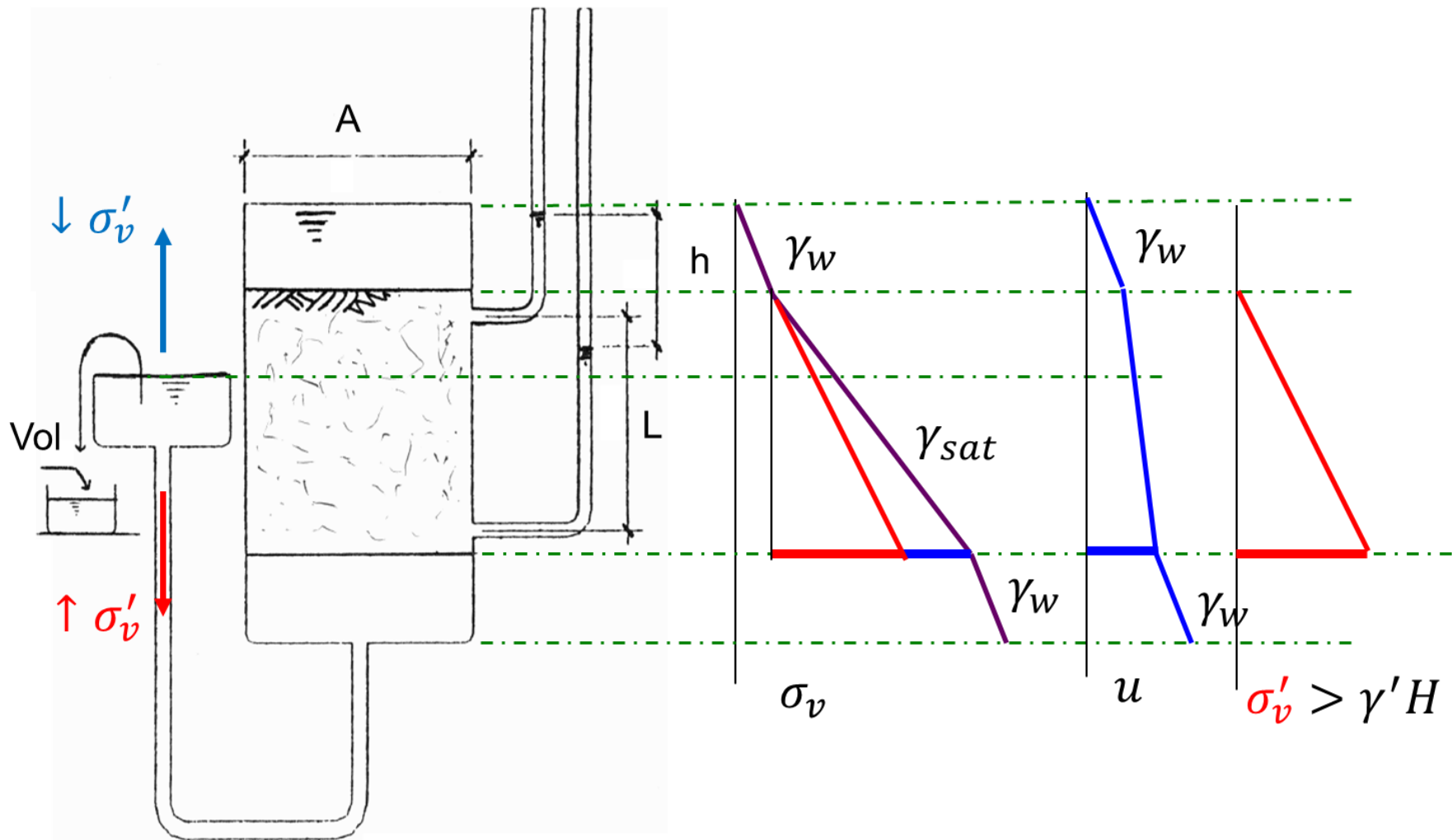


Permeámetro de carga constante



Bajo el vaso y la muestra se comprime.

Permeámetro de carga constante



Contenido

1. Propiedades índice
2. Presiones efectivas
- 3. Capacidad de carga**
4. Empuje de suelos

Zapatas: Formula de capacidad de carga



- Prandtl desarrolló la fórmula para ensayo de dureza de aceros, basada en plasticidad clásica
- Terzaghi la aplicó de manera directa a arcillas no drenadas ($\phi = 0$ como el acero)
- Comprendió que no podría extender esa solución a materiales friccionales (no hay integral exacta)
- Postuló entonces que **La capacidad de carga total es la suma de la contribución de tres mecanismos de falla diferentes (¡e incompatibles entre sí!)**

Zapatas: Formula de capacidad de carga

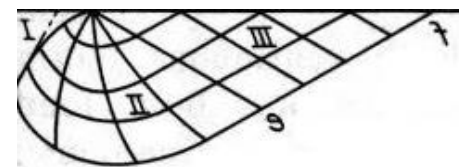
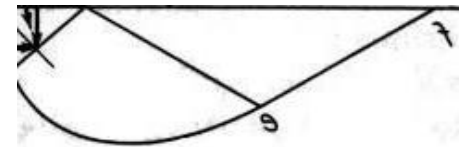
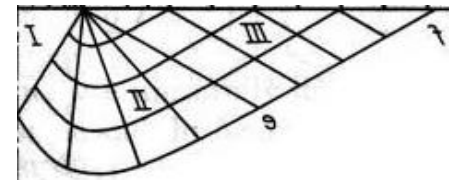
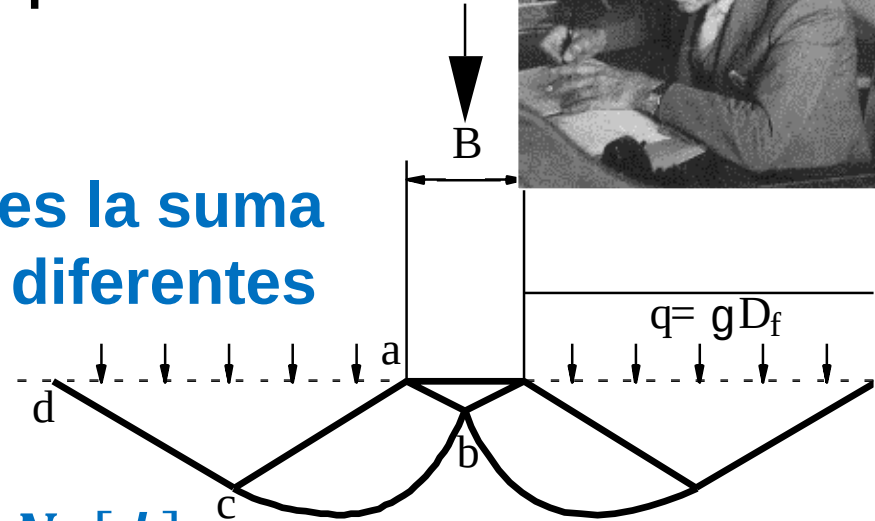
La capacidad de carga total es la suma de tres mecanismos de falla diferentes (¡e incompatibles entre sí!)

$$q_{ult} = cN_c[\phi] + qN_q[\phi] + \frac{1}{2}B\gamma N_\gamma[\phi]$$

Mecanismos incompatibles

- Sólo c y ϕ : $N_c = \cot[\phi] \cdot (N_q - 1)$
- Sólo q y ϕ : $N_q = e^{\pi \tan[\phi]} \tan^2[\pi/4 + \sigma/2]$
- Sólo γ y ϕ : $N_\gamma = 1.8 \cdot (N_q - 1) \tan[\phi]$

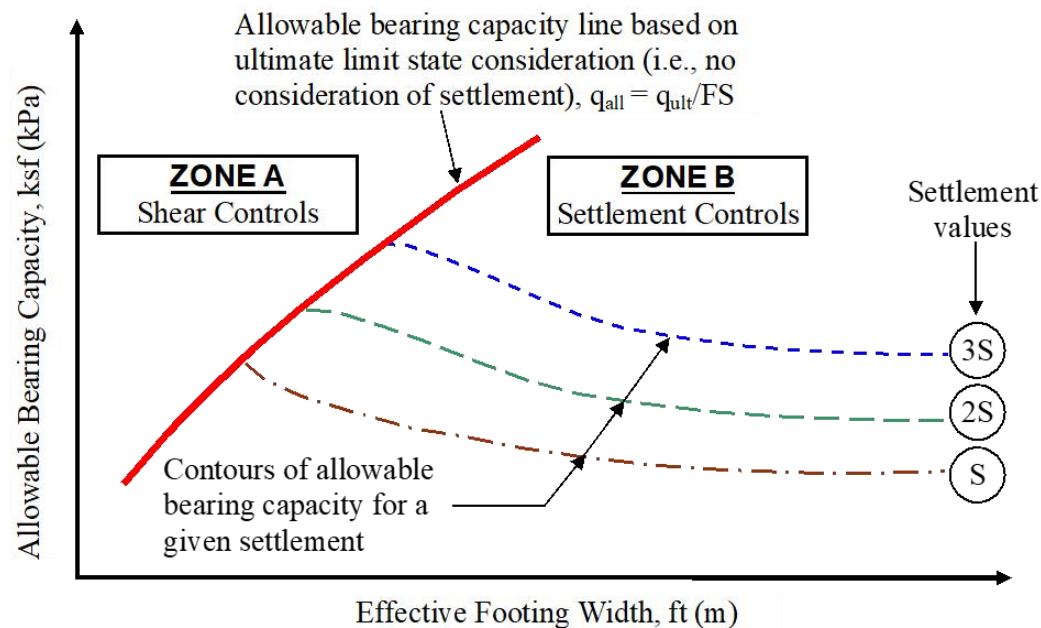
Todas las fórmulas trinómicas ignoran que el suelo reduce su volumen: sobre-estiman q_{ult}



Estados dimensionantes habituales en fundaciones superficiales

En arcillas duras controla la capacidad de carga (pero nunca q_{ult})

En arenas, controla el asentamiento: para que se alcance la carga última se requiere mucha deformación



El erróneo concepto de la “presión admisible”

La carga máxima admisible de una zapata debe ser aquella que asegure que los ocho estados límites de diseño tengan una seguridad adecuada

- **La carga máxima depende del tamaño de la zapata**
- **La presión = P/A también depende del tamaño de la zapata**
- Para pequeñas zapatas en suelos duros, usualmente se adopta una presión de contacto baja para que el asentamiento sea pequeño (que el dueño no lo note)
- Esa presión de contacto se usa luego para calcular el tamaño de todas las zapatas de un mismo edificio

El erróneo concepto de la “presión admisible”

La presión de trabajo depende del tamaño de la zapata
Entonces: es incorrecto usar la misma presión de contacto para zapatas de diferentes tamaños

Pero es práctico, y se usa en el 99% de los casos
Entonces, para elegir una “presión admisible”

- Se analiza la zapata mas cargada
- Se verifican los estados límites para esa zapata
- Se divide la carga máxima por el área = p_{adm}
- Se usa esa p_{adm} para calcular el área de todas las demás zapatas

El factor de seguridad

Las normas establecen dos tipos de factores de seguridad

- Seguridad a **escala material**: $SSR = s/\tau$
cociente entre resistencia y tensión
- Seguridad a **escala estructura**: $FoS = Q_{ult}/P$
cociente entre carga de falla y actuante

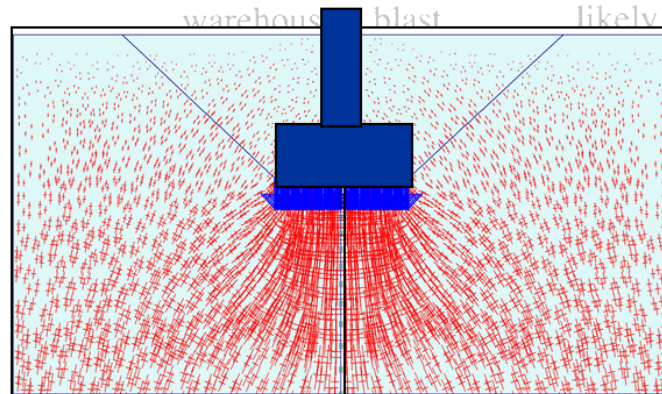
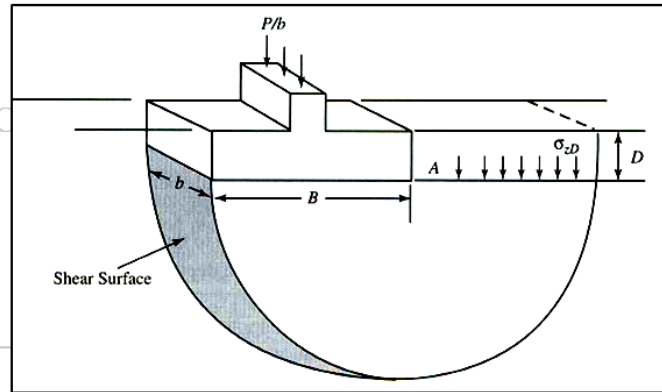
Los factores de seguridad a escala estructura deben estar **asociados a un procedimiento de cálculo**

- Una norma pide diseñar una base con $FoS = 3.0$
- Según Meyerhof $FoS = 3.3$, según Terzaghi $FoS = 2.8$
- ¿Verifica FoS ? La pregunta está mal formulada
- Pregunta correcta: ¿Verifica FoS según Terzaghi? R: No.

El factor de seguridad a escala estructural

Category	Typical Structures	Characteristics of the Category	$FoS = Q_{ult}/P$	
			Thorough and Complete Soil Exploration	Limited Soil Exploration
A	Railway bridges, warehouses, blast furnaces, hydraulic, retaining walls, silos	Maximum design load likely to occur often; consequences of failure disastrous	3.0	4.0
B	Highway bridges, light industrial and public buildings	Maximum design loads may occur occasionally, consequences of failure serious	2.5	3.5
C	Apartment and office buildings	Maximum design load unlikely to occur	2.0	3.0

El factor de seguridad a escala estructural *¿con qué método?*



C

Apartment and office buildings

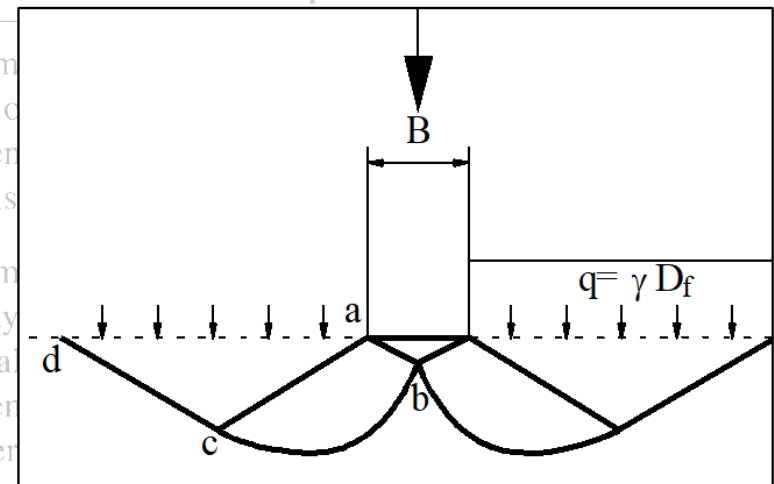
Maximum design load unlikely to occur

$$FoS = Q_{ult}/P$$

Characteristics of the Category

Thorough and Complete Soil Exploration

Limited Soil Exploration



2.0

3.0

Contenido

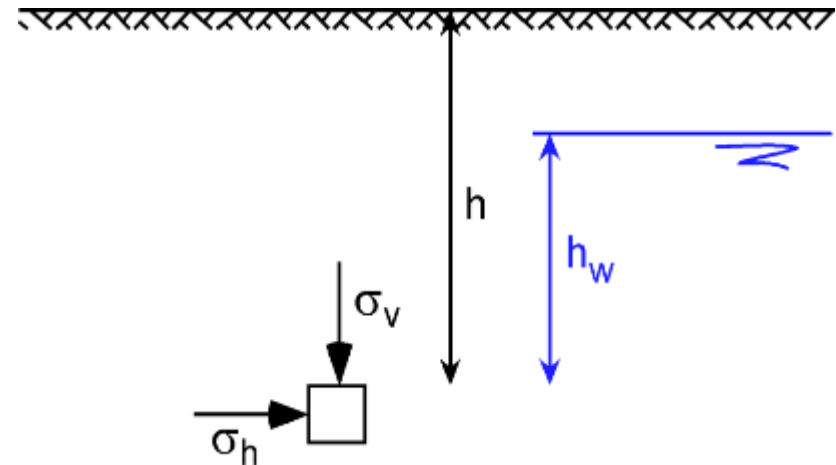
1. Propiedades índice
2. Presiones efectivas
3. Capacidad de carga
- 4. Empuje de suelos**

Estado tensional del terreno horizontal natural en reposo

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

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

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



- Expresiones semiempíricas para K_0
 - Suelo normalmente consolidado $K_0^{NC} \cong 1 - \sin[\phi']$
 - Arcilla sobreconsolidada por carga $K_0^{oc} \cong K_0^{NC} \text{OCR}^{\sin[\phi']}$

Estados de equilibrio plástico: activo y pasivo

- Hipótesis
 - La tensión vertical es una tensión principal
 - El material está en falla plástica de Mohr-Coulomb
- Relaciones de tensiones principales

Mohr–Coulomb

Estado activo ($\sigma_V = \sigma_1$)

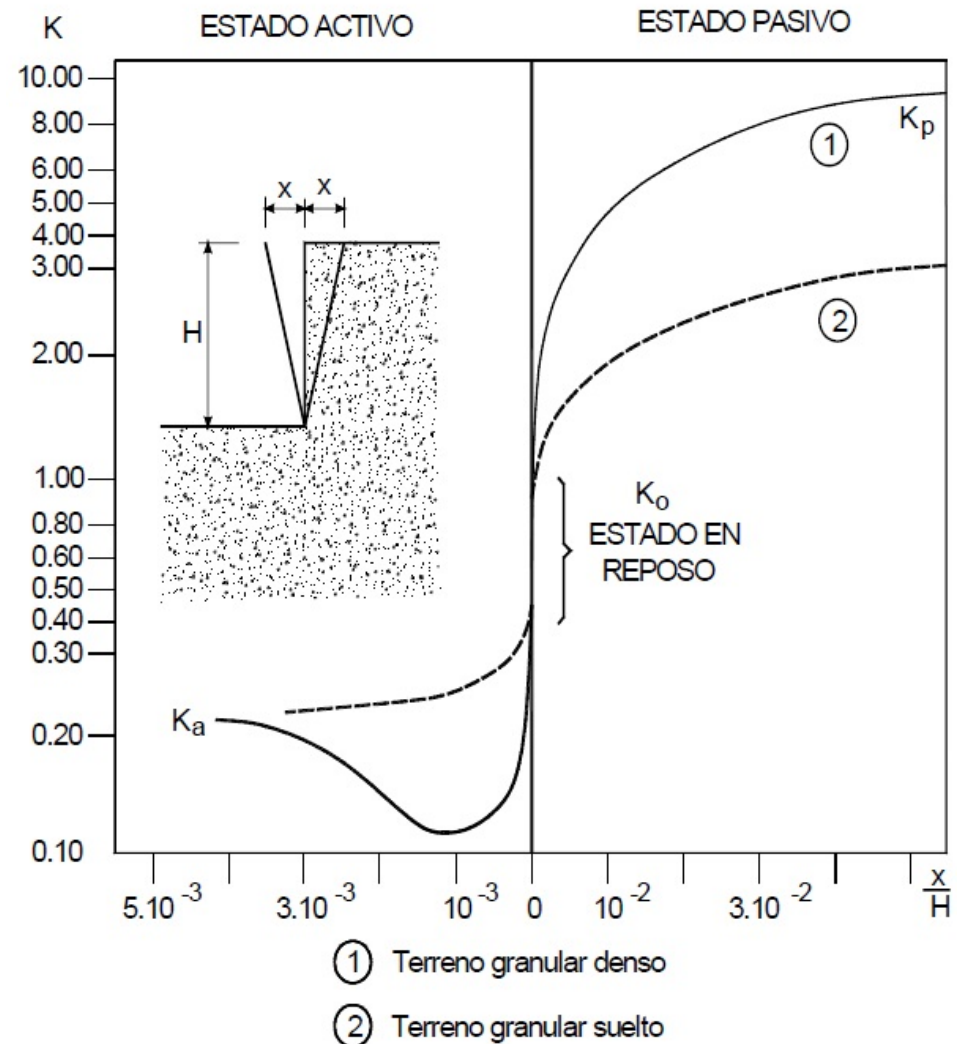
Estado pasivo ($\sigma_V = \sigma_3$)

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 N_\phi + 2c \sqrt{N_\phi}$$

$$\sigma'_v = \sigma'_h N_\phi + 2c \sqrt{N_\phi}$$

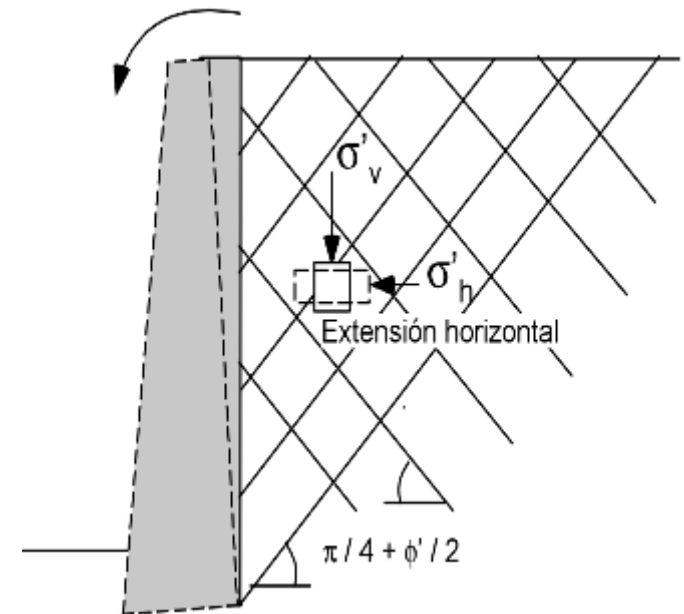
$$\sigma'_h = \sigma'_v N_\phi + 2c \sqrt{N_\phi}$$

Los empujes dependen del grado de deformación

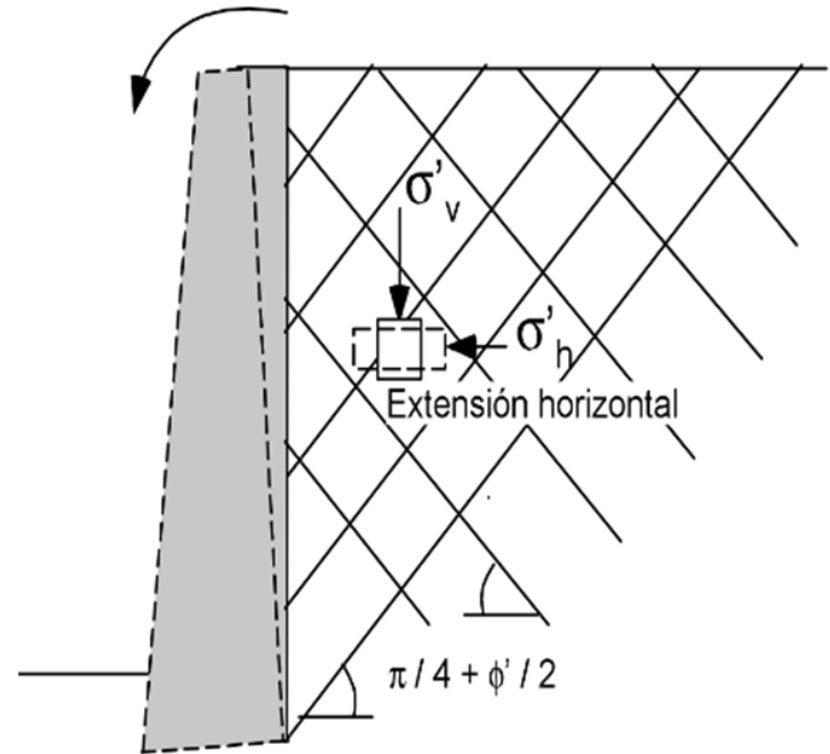
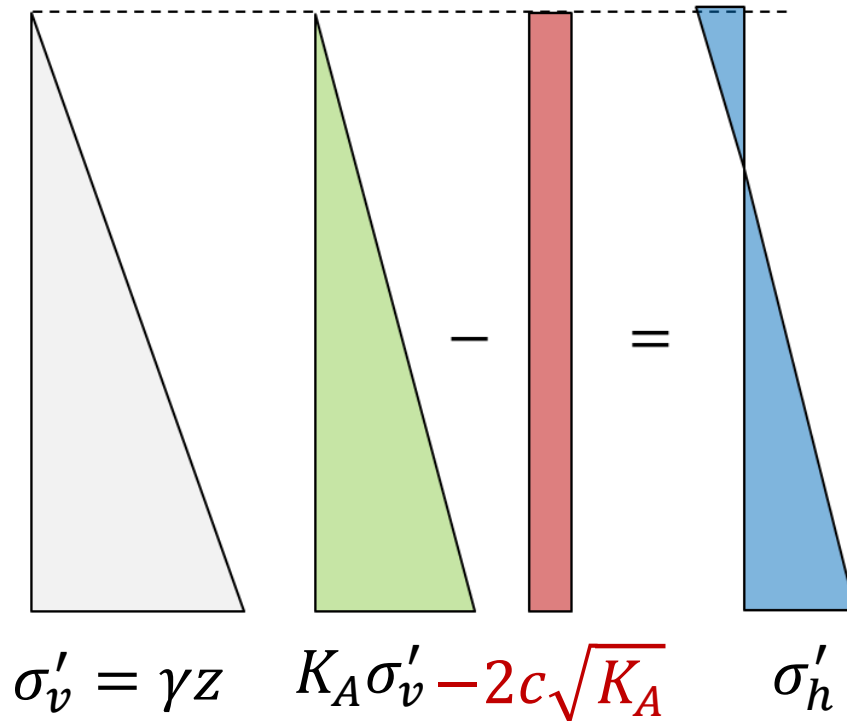


Método de Rankine (Teorema estático)

- Aplicación del teorema estático
- Se efectúan hipótesis que permiten establecer el estado tensional del terreno
 - Superficie horizontal
 - Estructura vertical
 - Contacto suelo – estructura sin fricción
- Con estas hipótesis, se integra la tensión horizontal



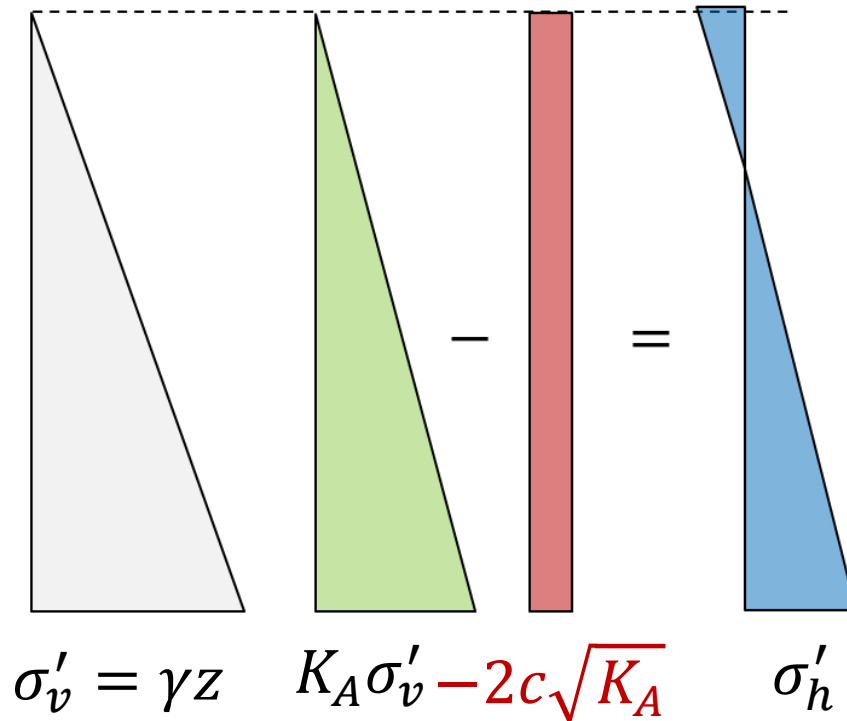
Método de Rankine, Empuje activo



$$\sigma'_h[z] = K_A \sigma'_v - 2c\sqrt{K_A}$$

$$E_A = \int_0^h \sigma'_h[z] dz = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_A - 2c\sqrt{K_A} H$$

Método de Rankine, Empuje activo



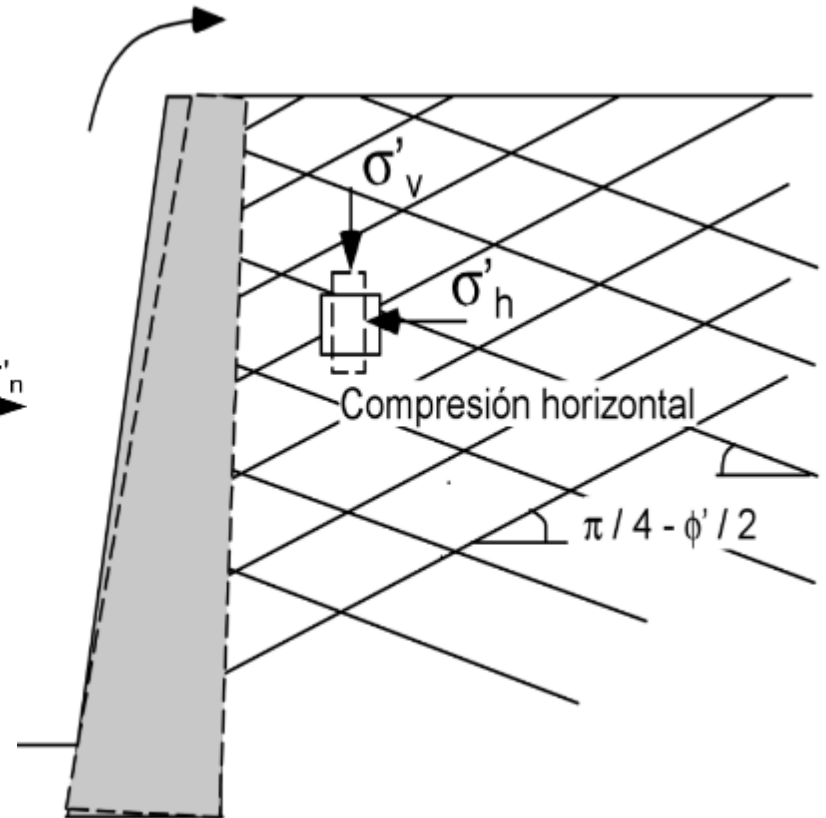
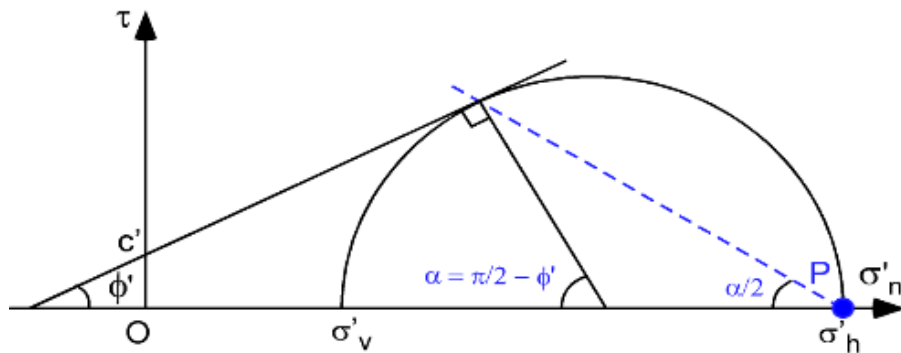
- El muro no se “pega” al suelo: $E_A \geq 0$
- Si hay una sobrecarga q en superficie $\sigma_v = \gamma z + q$
- Si también hay agua freática

$$\sigma_v = \gamma z_w + \gamma'(z - z_w) + q$$

$$\sigma'_h[z] = K_A \sigma'_v - 2c\sqrt{K_A}$$

$$E_A = \int_0^h \sigma'_h[z] dz = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_A - 2c\sqrt{K_A} H$$

Método de Rankine, Empuje pasivo



$$\sigma'_v = \gamma z$$

$$\sigma'_h[z] = K_P \gamma z + 2c\sqrt{K_P}$$

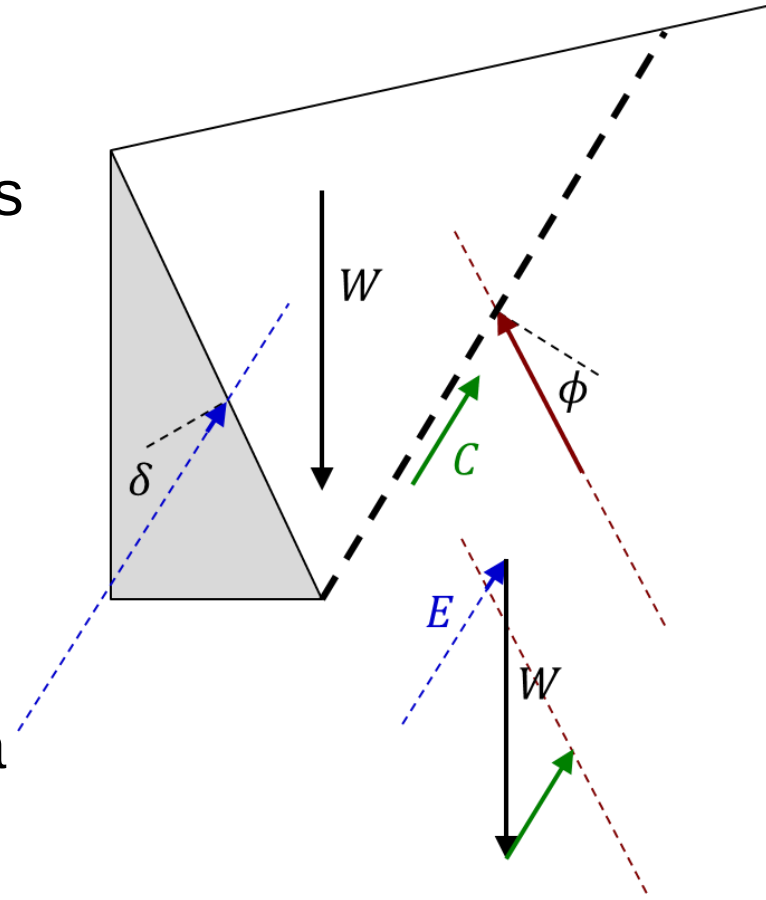
$$E_P = \int_0^h \sigma'_h[z] dz = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_P + 2c\sqrt{K_P} H$$

Método de Coulomb

- Aplicación del teorema cinemático
- Hipótesis sobre la geometría de falla
 - Cuña rígida
 - Contacto suelo – estructura puede tener fricción
- Sólo se calculan fuerzas en los planos de potencial deslizamiento
- No se cumple con el equilibrio estático fuera de las superficies de potencial deslizamiento

Método de Coulomb

- Se plantea una superficie de potencial deslizamiento
- Se forma el polígono de fuerzas
 - Peso propio W
 - Cohesión x longitud C
 - Dirección de la fricción (ϕ)
 - Dirección del empuje (δ)
- Se determina el empuje E
- Se prueba otra superficie hasta encontrar E_{max}



Pendientes a repasar

- Resistencia al corte
- Problemas de elasticidad en suelos
- Ensayos de campo (Ensayo SPT)
- Ensayos de laboratorio (Edometrico, de corte directo y triaxial)

Bibliografía

- Jimenez Salas et al. Geotecnia y Cimientos. Rueda
- Powrie. Soil Mechanics, Concepts and Applications. Spon Press
- Bowles. Foundation analysis and design. McGraw-Hill.
- Poulos & Davis. Elastic solutions for soil and rock mechanics. CGR Sidney
- USACE. Settlement análisis
- FHWA. Soils and foundations (I & II)



FIN

GRACIAS POR SU ATENCION !!!