GEOLOGIA Y GEOTECNIA

2020

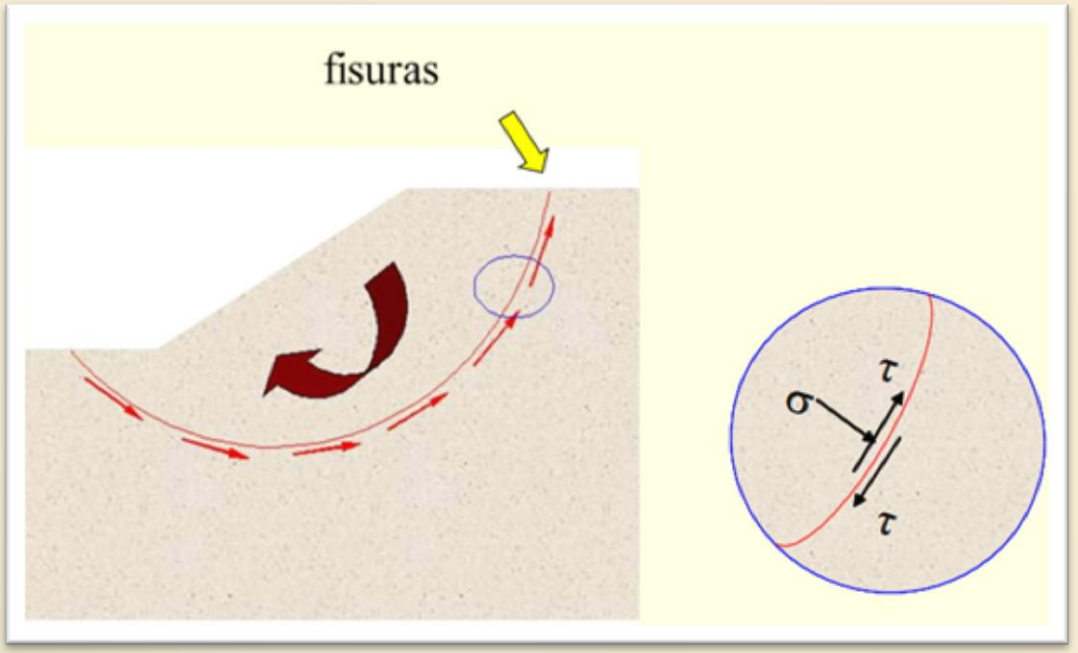
TEORÍA DE RESISTENCIA AL CORTE DE SUELOS

Dra. Ing. Silvia Angelone

Mg. Ing. María Teresa Garibay

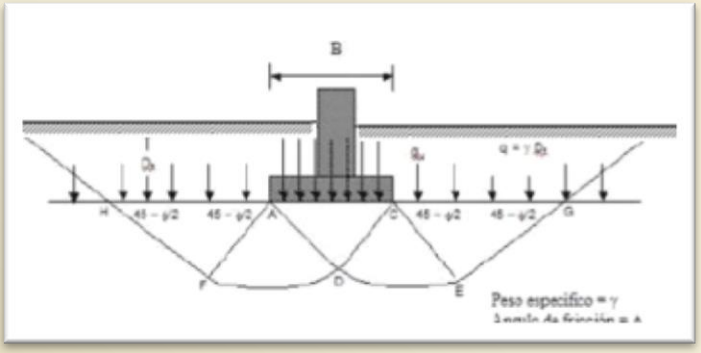
APLICACIONES DE LA TEORIA

Problemas de estabilidad de taludes



APLICACIONES DE LA TEORIA

Problemas de capacidad de carga en fundaciones



APLICACIONES DE LA TEORIA

Problemas de presión lateral sobre estructuras de retención de tierras

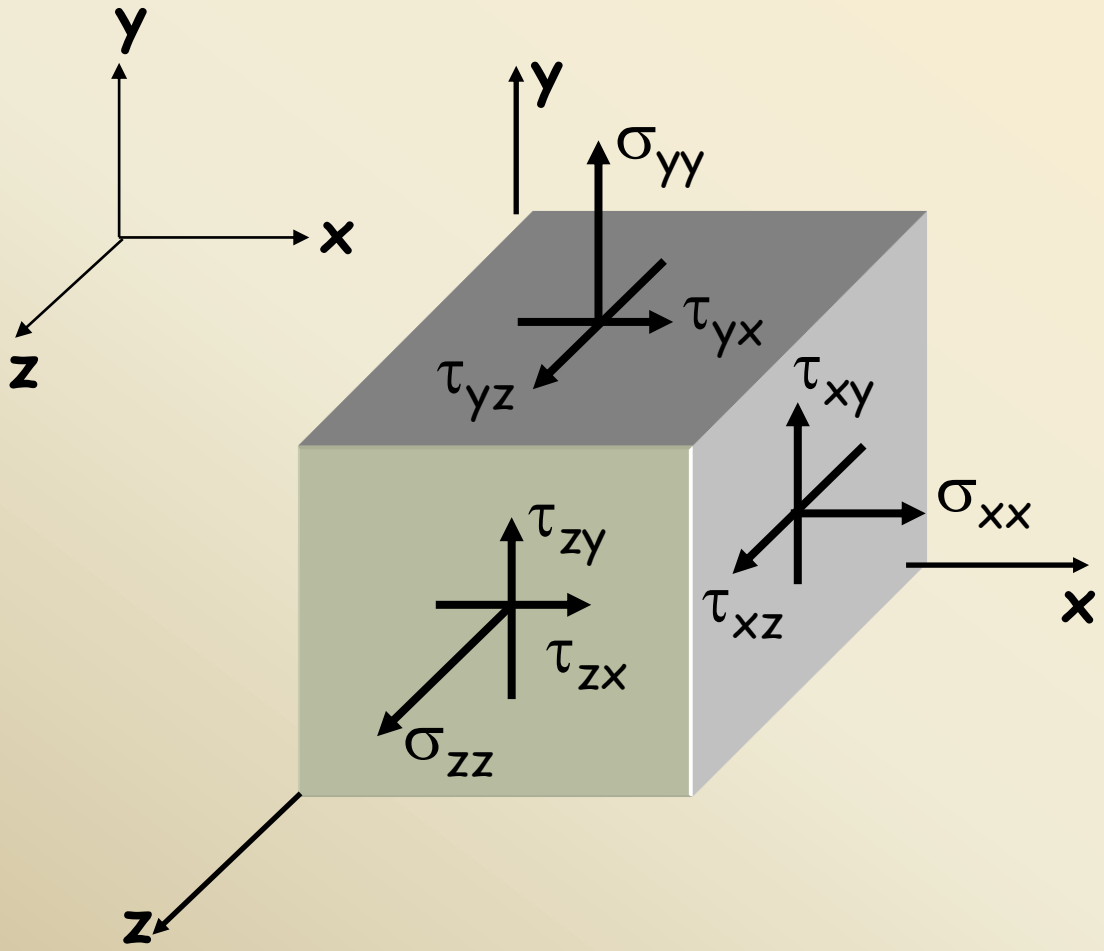
BIBLIOGRAFIA

- Fundamentos de Ingeniería geotécnica . Braja Das. Cap. 7

- Mecánica de Suelos. EJ. Badillo. Tomo I, Cap XI y XII.

DESCRIPCIÓN DE LA TENSIÓN

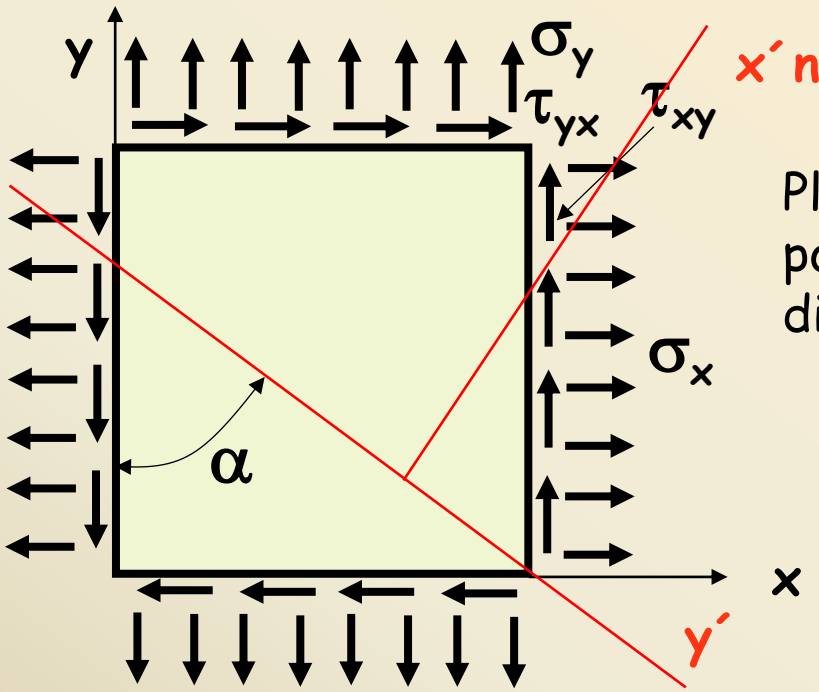
- Sobre planos perpendiculares a un sistema coordenado (x,y,z)



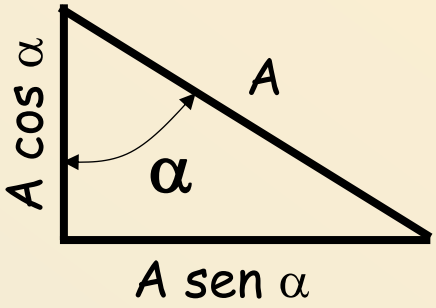
$$\tau_{xy} = \tau_{xy}$$

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ji}$$

TENSIONES EN 2D



Planteando condiciones de equilibrio es posible obtener las tensiones en cualquier dirección x´ y´



$$\sigma_{x'} = \sigma_x \cos^2 \alpha + \sigma_y \text{sen}^2 \alpha + 2\tau_{xy} \cdot \text{sen}\alpha \cdot \cos \alpha$$

$$\sigma_{y'} = \sigma_x \text{sen}^2 \alpha + \sigma_y \cos^2 \alpha - 2\tau_{xy} \cdot \text{sen}\alpha \cdot \cos \alpha$$

$$\tau_{x'y'} = (\sigma_y - \sigma_x)\text{sen}\alpha \cdot \cos \alpha + \tau_{xy}(\cos^2 \alpha - \text{sen}^2 \alpha)$$

TENSIÓN PRINCIPALES

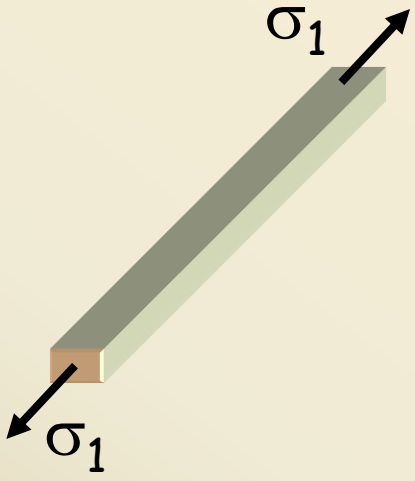
- Es posible encontrar el ángulo α para el que $\tau_{x'y'}$ es nulo. El correspondiente ángulo α define las direcciones de los planos principales para los que son máxima y mínima las tensiones nominales.

$$\tan 2\alpha = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}$$

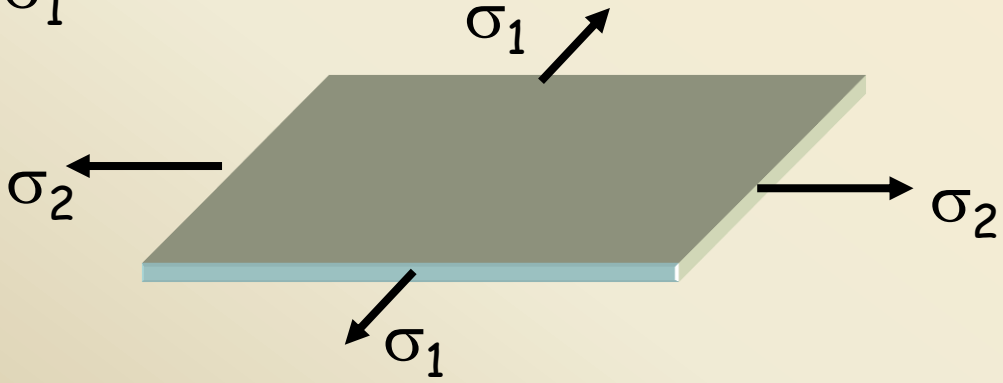
$$\sigma_{max} = \sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_{min} = \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Tensión Principales

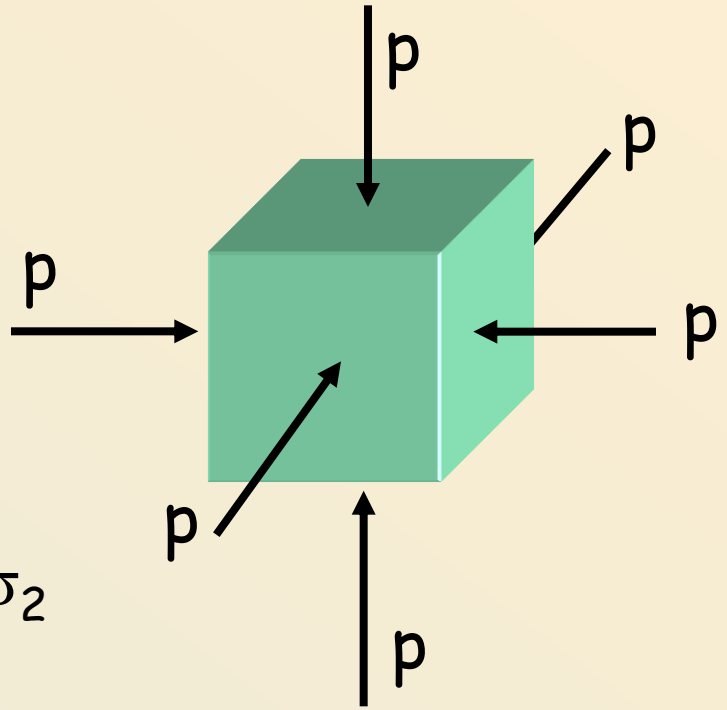


$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$



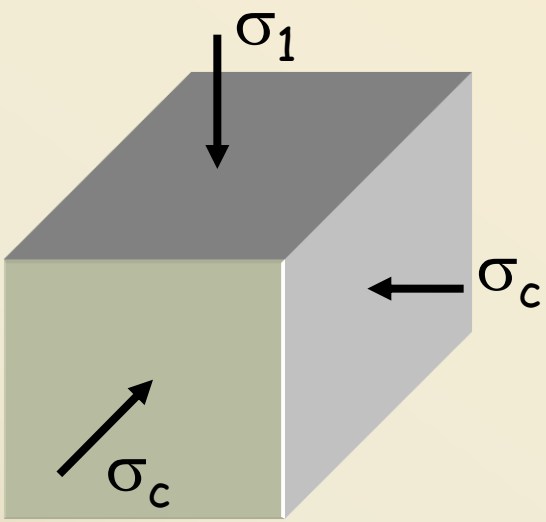
$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Presión hidrostática



$$\sigma = \begin{bmatrix} -p & 0 & 0 \\ 0 & -p & 0 \\ 0 & 0 & -p \end{bmatrix}$$

CASO PARTICULAR (TRIAXIAL)



Si $\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_c \Rightarrow \sigma_d = \sigma_1 - \sigma_c$

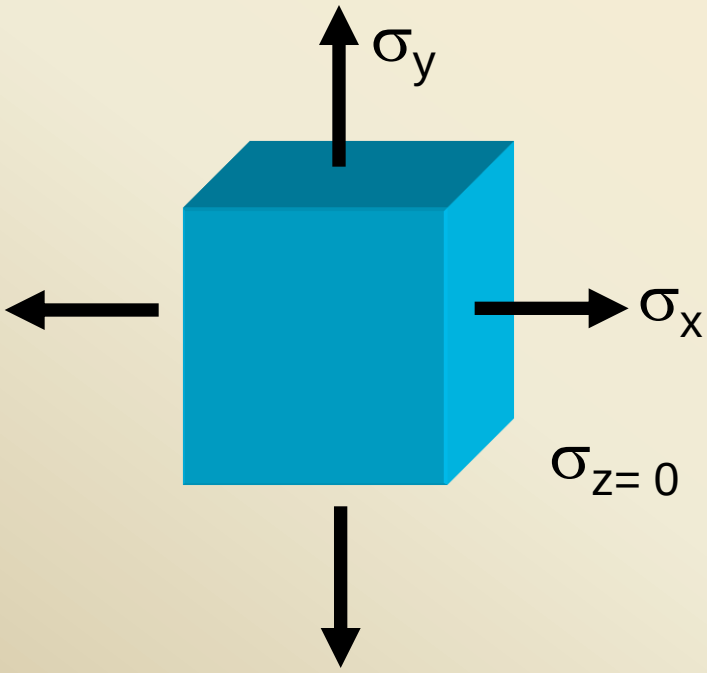
Tensor desviador

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_c & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_c \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} \sigma_c & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_c & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_c \end{bmatrix}} + \begin{bmatrix} \sigma_1 - \sigma_c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Presión confinamiento

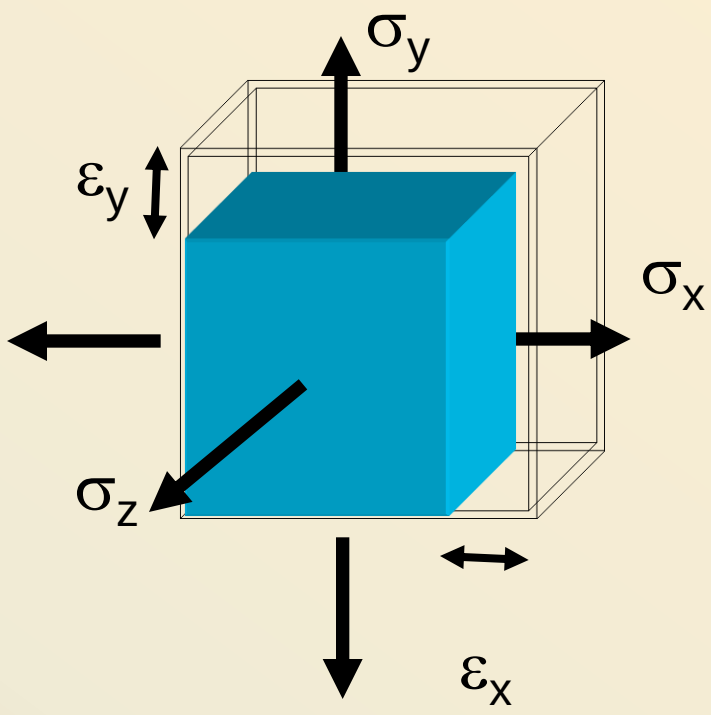
ESTADOS PLANOS

Estado plano de tensiones



ε_x , ε_y , ε_z no nulas

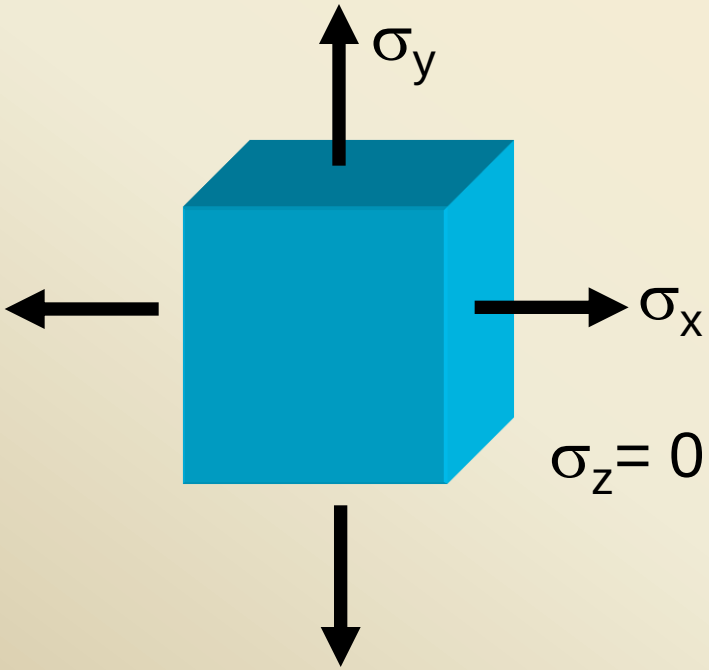
Estado plano de deformaciones



σ_x , σ_y , σ_z no nulas

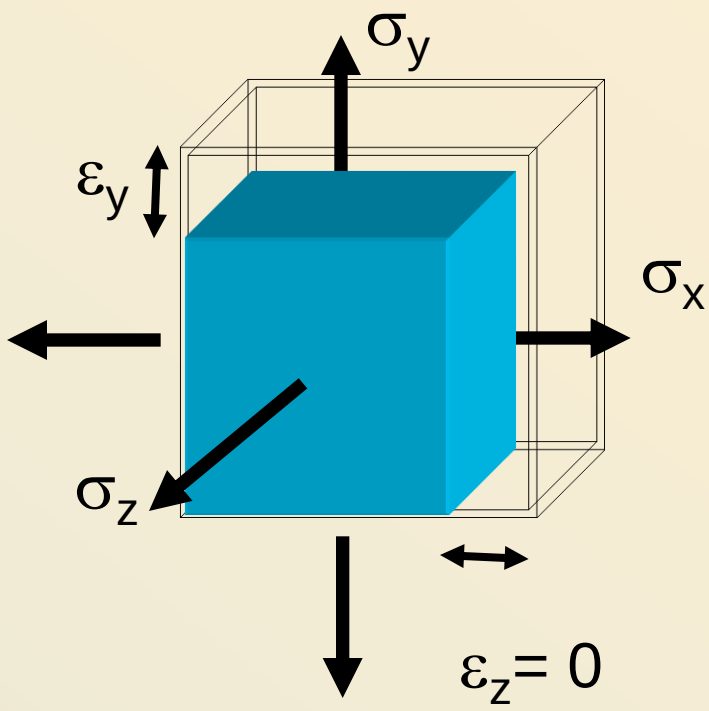
ESTADOS PLANOS

Estado plano de tensiones en un medio continuo



ε_x , ε_y , ε_z no nulas

Estado plano de deformaciones

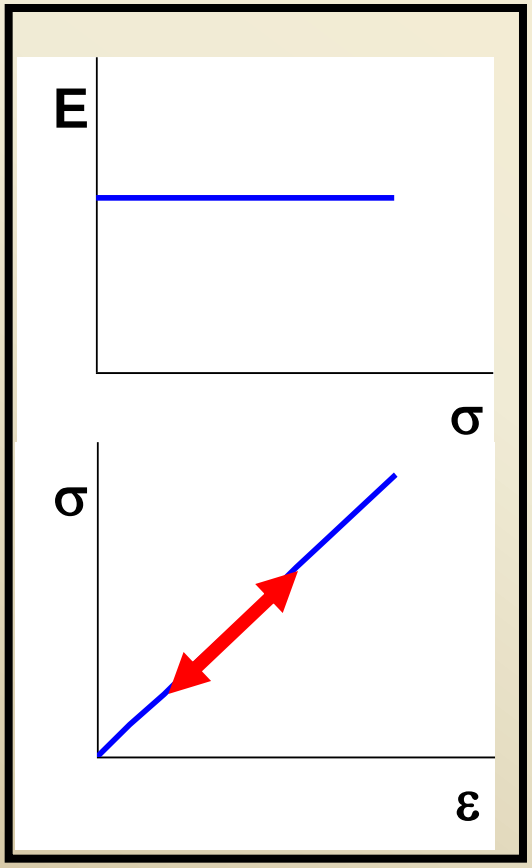


σ_x , σ_y , σ_z no nulas

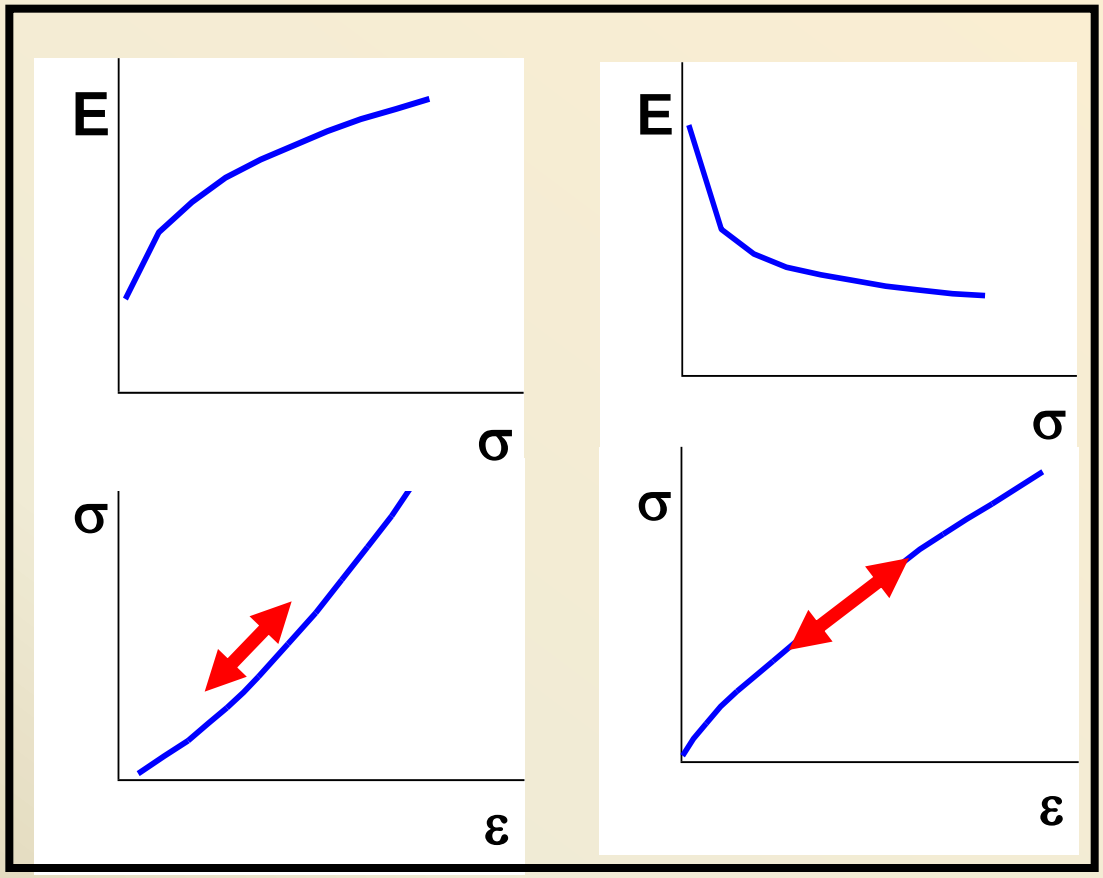
Materiales elásticos no lineales

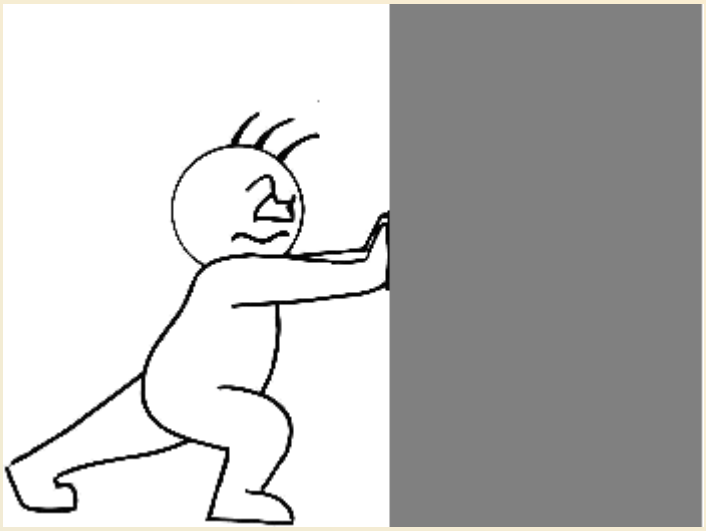
- El módulo elástico es función del estado de tensiones $E = f(\sigma)$

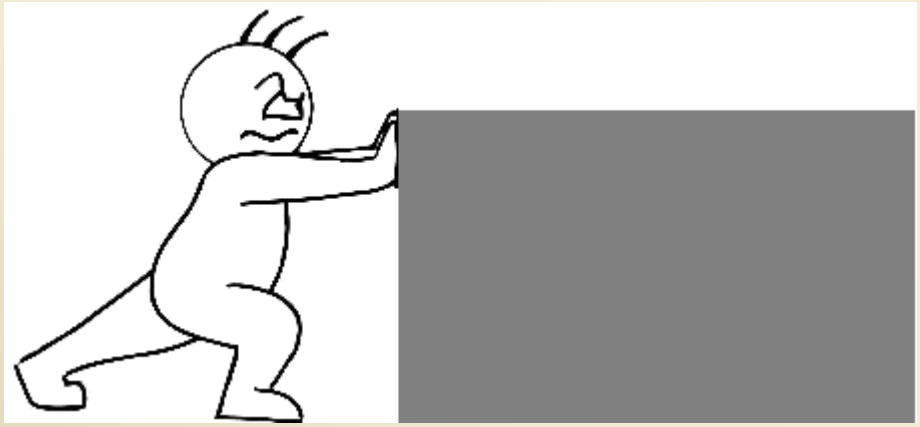
Elástico lineal



Elástico no lineal







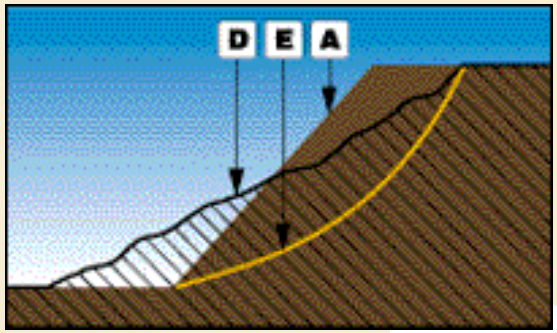
RESISTENCIA LA CORTE EL SUELO

La resistencia al corte de una masa de suelo es la resistencia interna por área unitaria que dicha masa ofrece para resistir la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano dentro de ella.

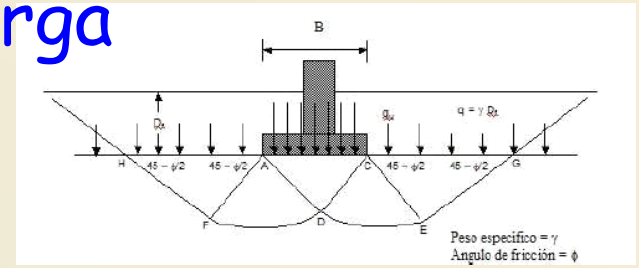
APLICACIONES DE LA TEORIA

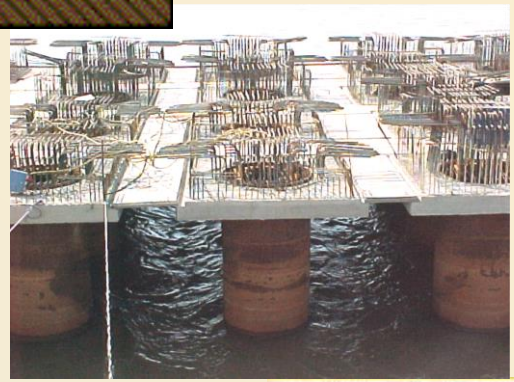
Problemas de:

- estabilidad de taludes



- capacidad de carga en fundaciones





- de presión lateral sobre estructuras de retención de tierras

© Txema.Net | Nº 127016 | www.photaki.com

24/11/2009

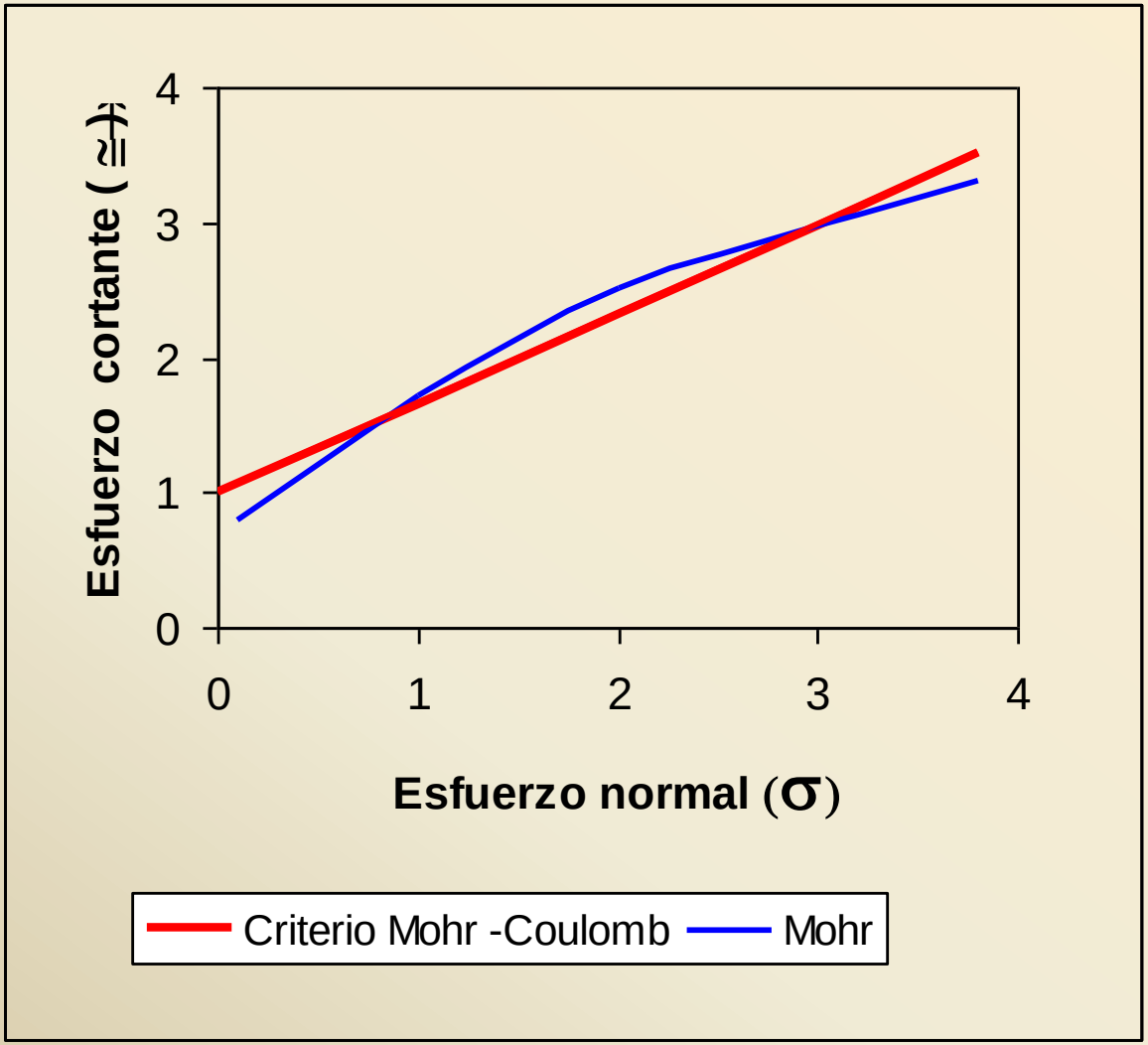
CRITERIO DE FALLA DE MOHR-COULOMB

- 1900 Mohr presenta una teoría de falla
- Un material falla por la combinación crítica de esfuerzos normales y tangenciales en un plano de falla
- Y no por un esfuerzo máximo normal o un esfuerzo máximo tangenciales

$$\tau_f = f(\sigma)$$

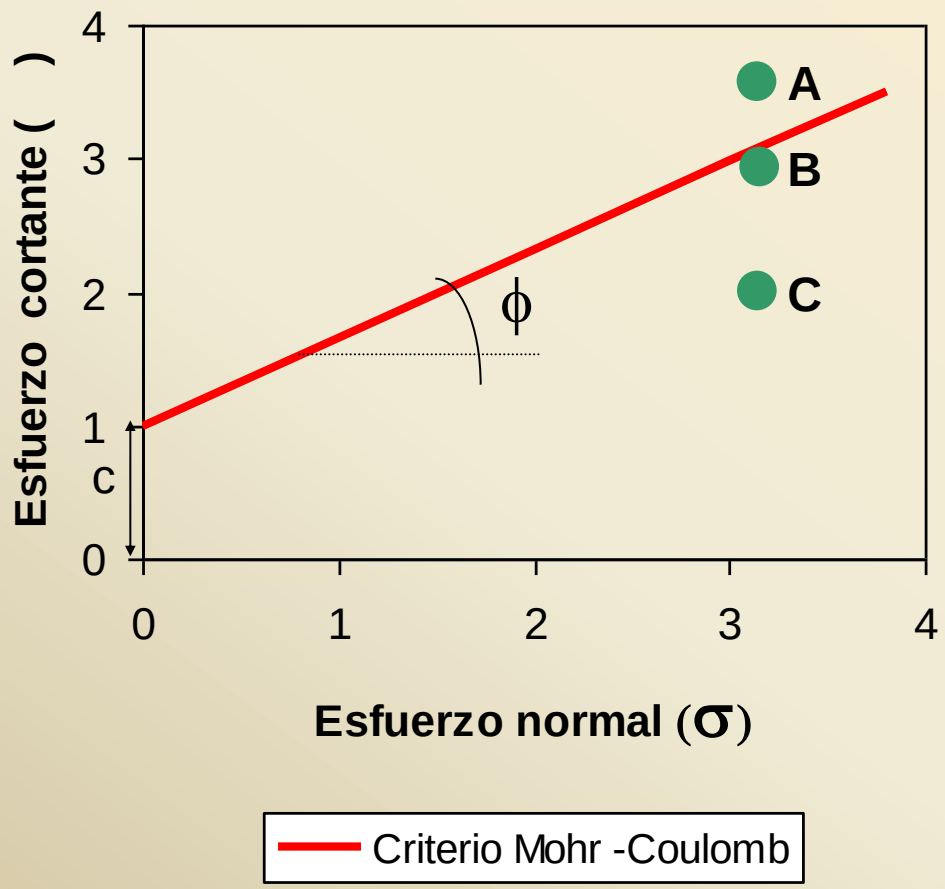
CRITERIO DE FALLA DE MOHR-COULOMB

$$\tau = c + \sigma \cdot tg\phi \qquad \tau_f = f(\sigma)$$



CRITERIO DE FALLA DE MOHR-COULOMB

$$\tau = c + \sigma \cdot tg\phi$$



c: Cohesión

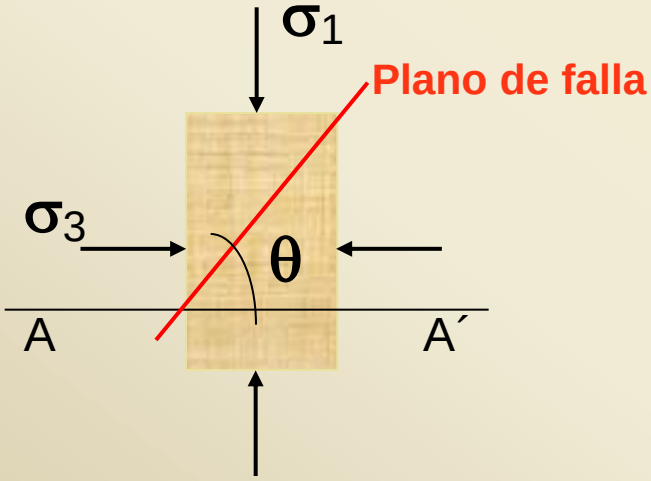
ϕ: angulo de fricción interna

c y ϕ

son los parámetros de corte

PLANO DE FALLA

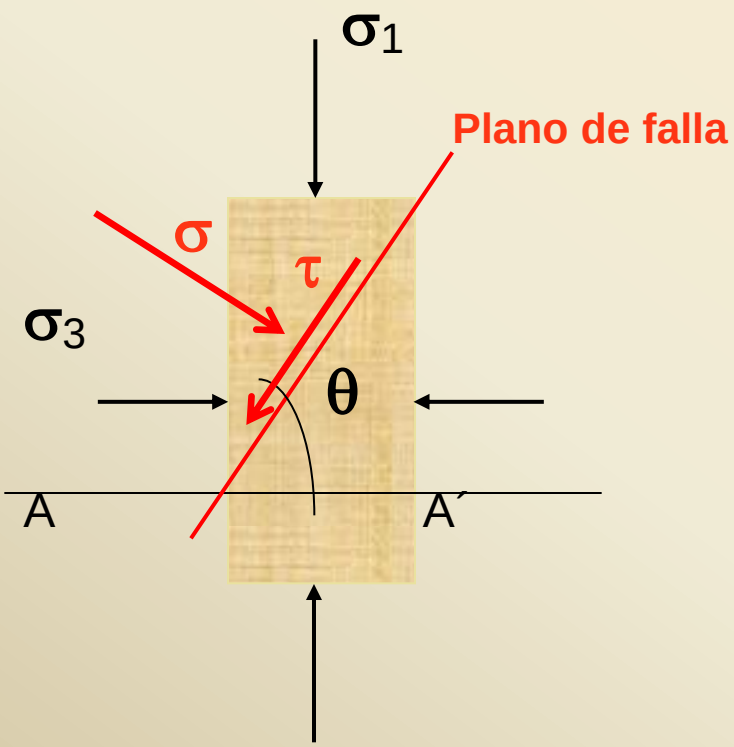
- σ_1 esfuerzo vertical principal mayor, actúa sobre plano A –A´
- σ_3 esfuerzo vertical principal menor, actúa perpendicular al plano A –A´
- θ ángulo que forma el plano de falla con respecto al plano principal mayor



$$\theta = 45 + \frac{\phi}{2}$$

PLANO DE FALLA

- σ esfuerzo normal sobre el plano de falla
- τ esfuerzo tangencial sobre el plano de falla



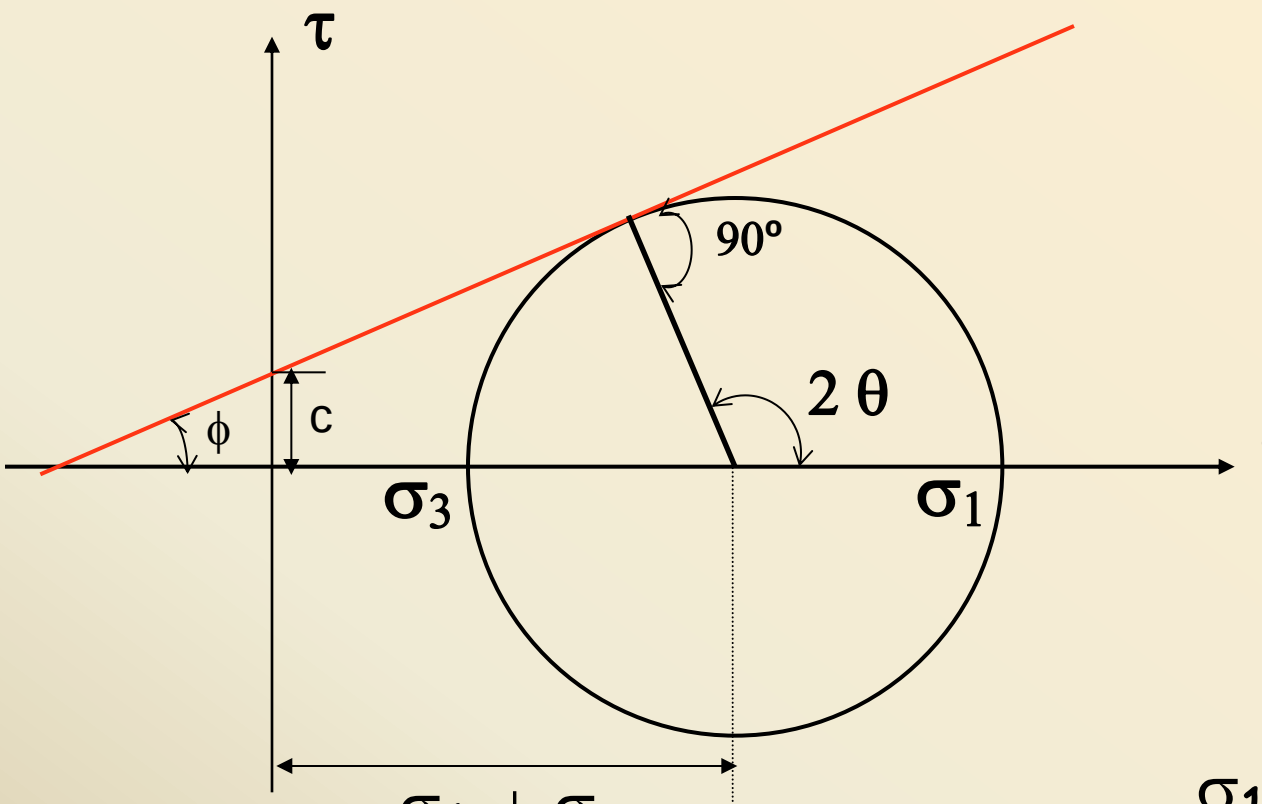
$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\cos 2\theta$$

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\operatorname{sen} 2\theta$$

$\tau > 0$ para $\theta < 90^o$

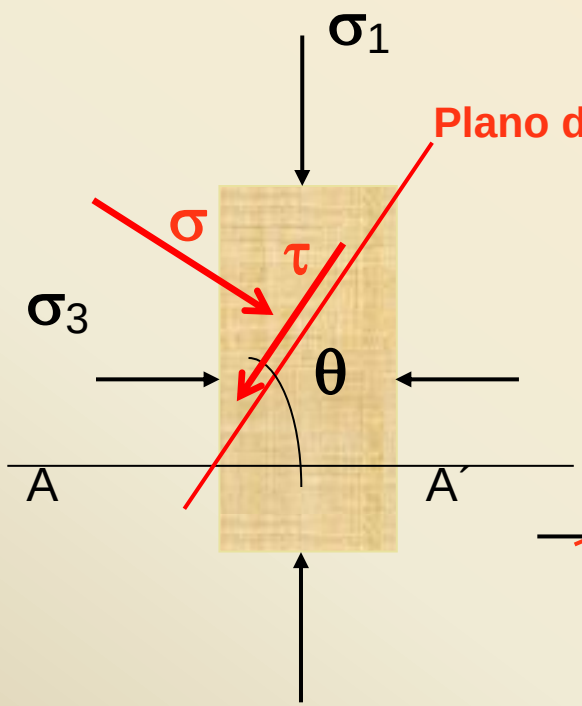
$\theta > 0$ giro antihorario

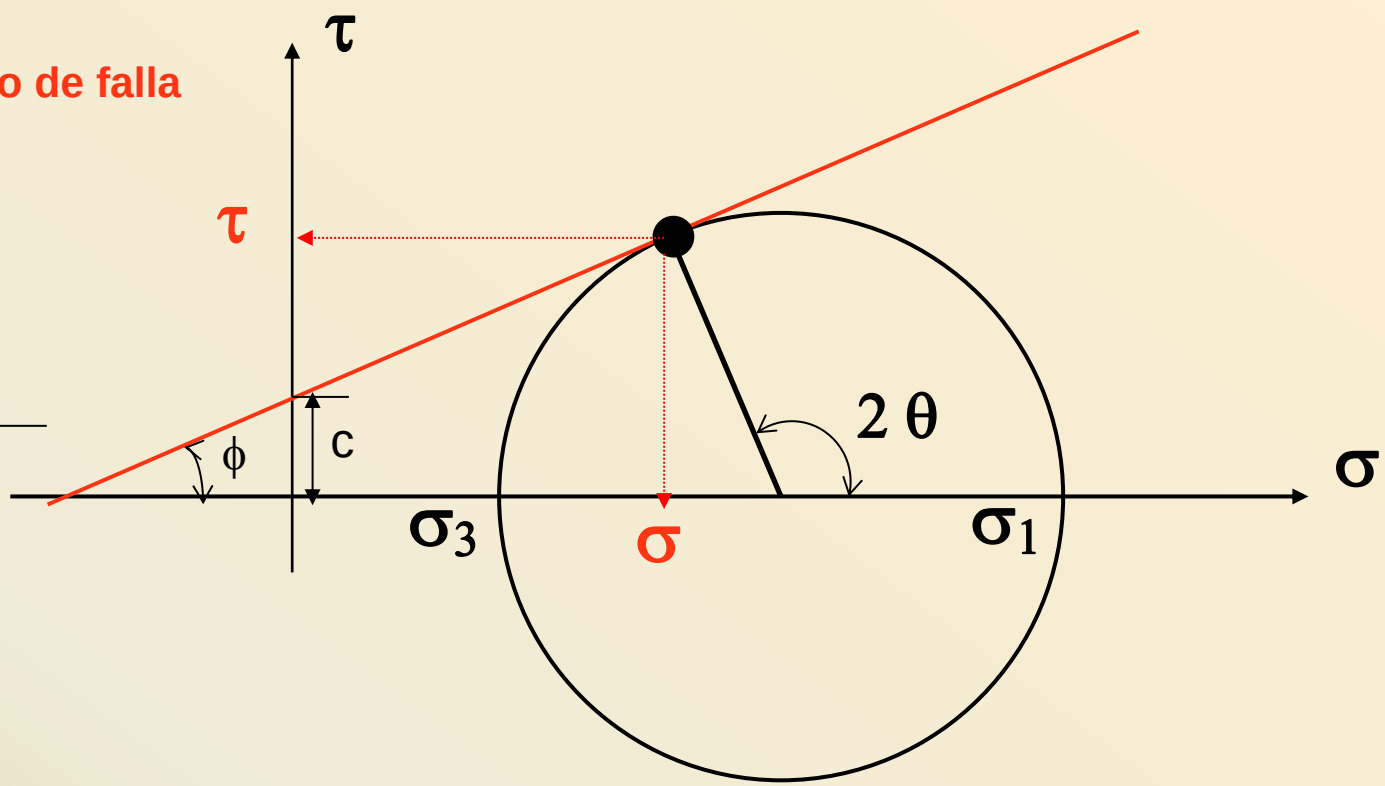
CIRCULO DE MOHR



$$\text{radio} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

ESFUERZOS EN EL PLANO DE FALLA





$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) + 2c\tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

Es el criterio de Mohr-Coulomb expresado en términos de esfuerzos principales

LEY DE FALLA POR CORTE EN SUELOS SATURADOS

$$\tau = c + (\sigma - u) \cdot tg\phi = c + \sigma' \cdot tg\phi$$

En algunas arenas y limos c= 0 y algunos valores indicativos de ϕ son

VALORES INDICATIVOS DE ϕ

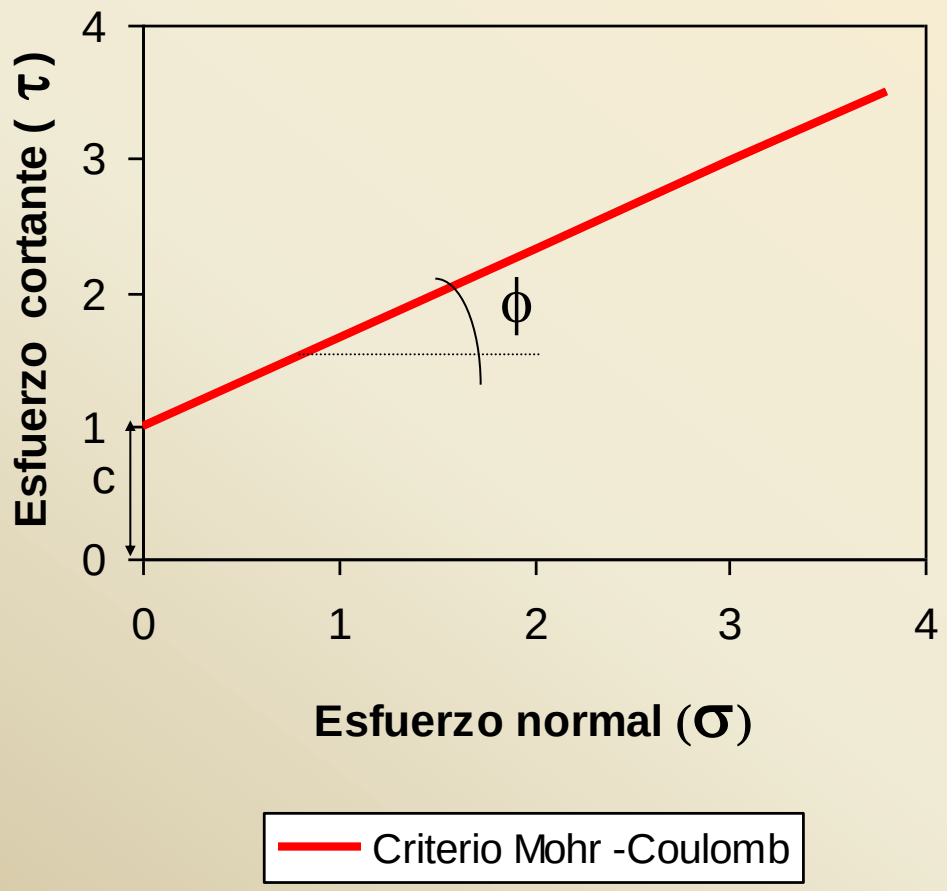
Arenas, granos redondeados	ϕ (grados)
Suelta	**27 - 30**
Media	**30 - 35**
Densa	**35 - 38**
Arenas granos angulares	
Suelta	**30 - 35**
Media	**35 - 40**
Densa	**40 - 45**
Grava con algo de arena	**34 - 48**
Limos	**26 - 35**
Arcillas normalmente consolidadas	**20 - 30**

RESISTENCIA LA CORTE EL SUELO

El suelo falla debido a una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante y no solo por la presencia de un esfuerzo normal máximo o esfuerzo cortante máximo .

CRITERIO DE FALLA DE MOHR-COULOMB

$$\tau = c + \sigma \cdot tg\phi$$



c: Cohesión

ϕ: angulo de fricción interna

c y ϕ

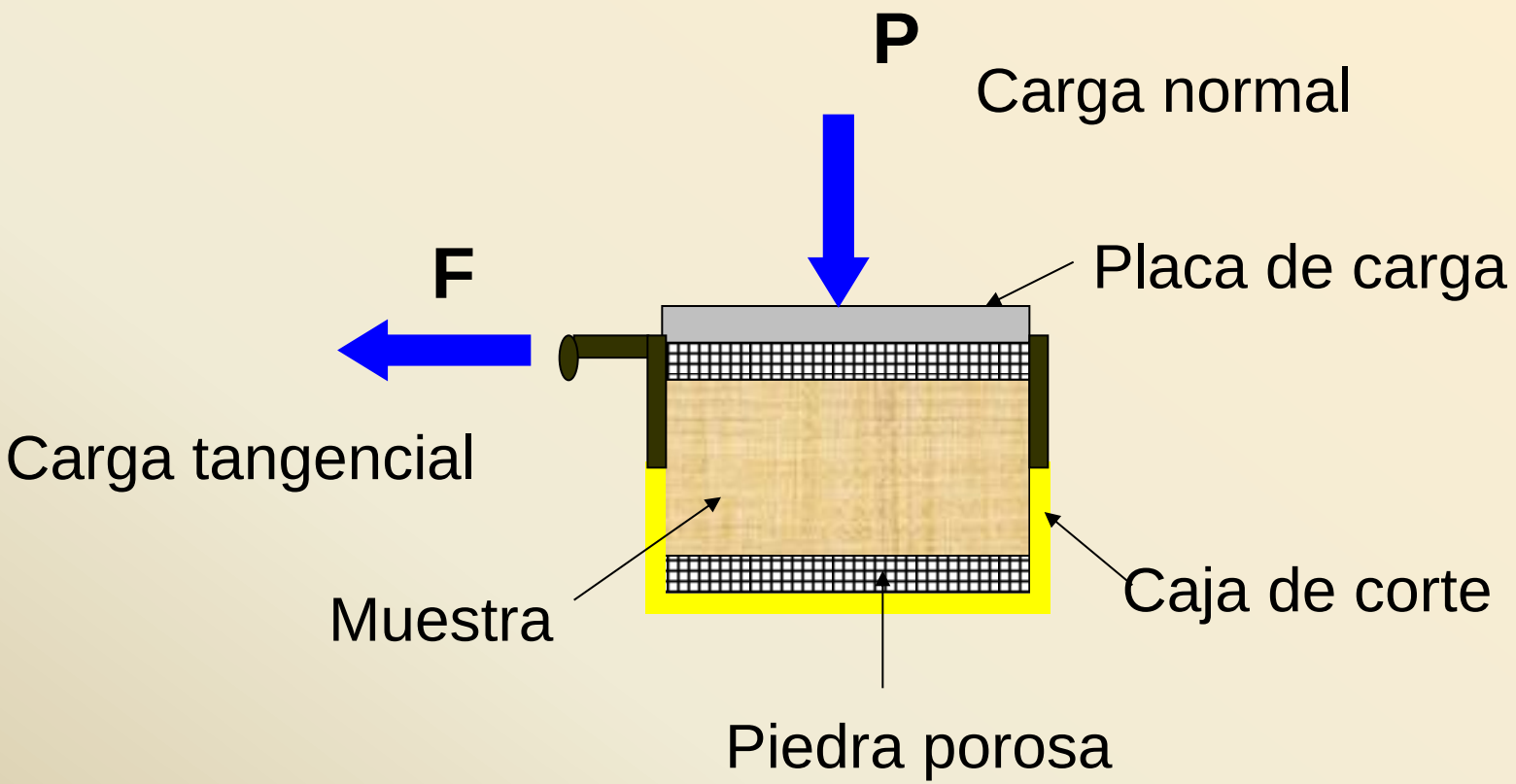
son los parámetros de corte

Determinación en laboratorio de los parámetros de corte c y ϕ

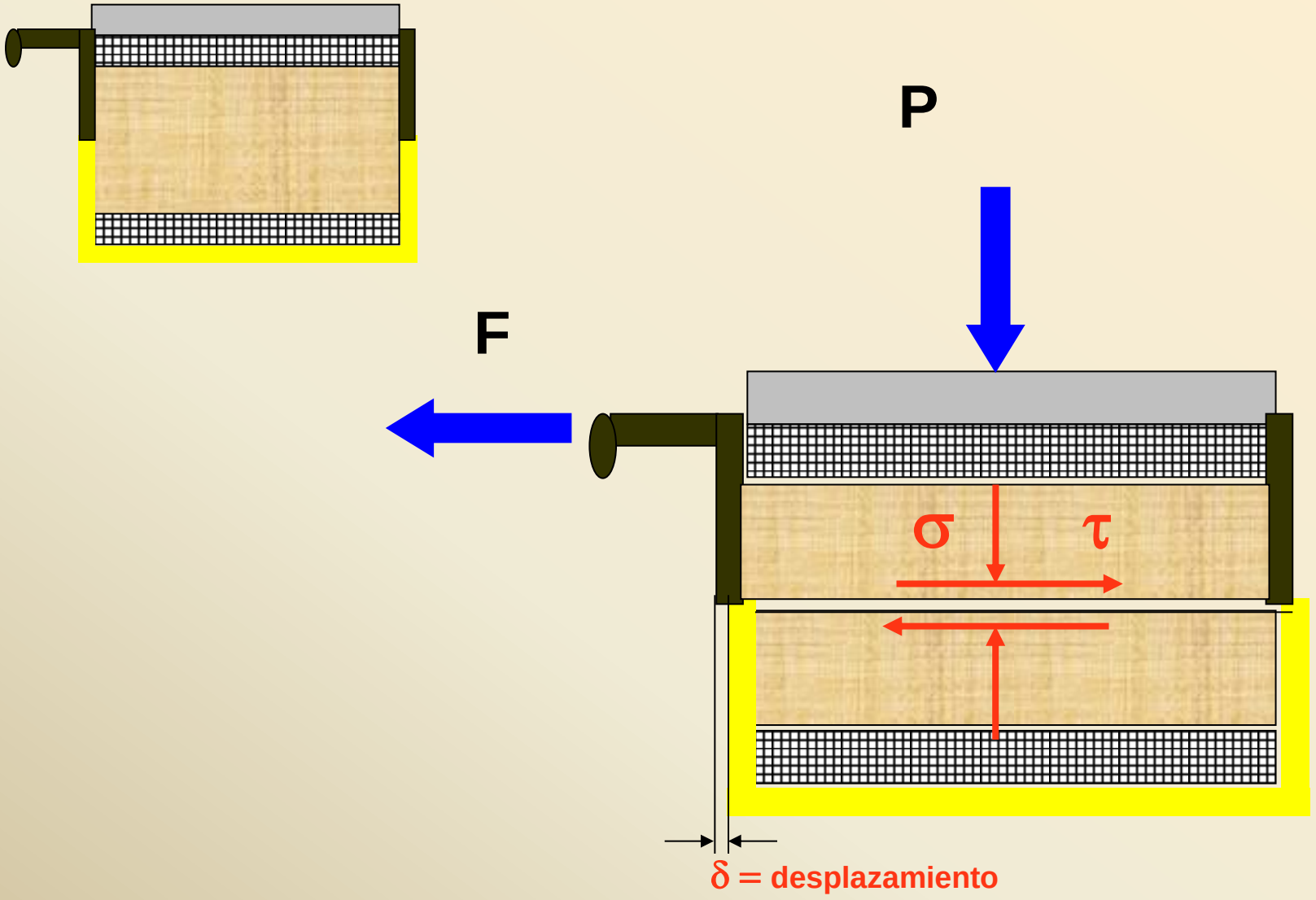
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ENSAYO TRIAXIAL

ENSAYO DE CORTE DIRECTO



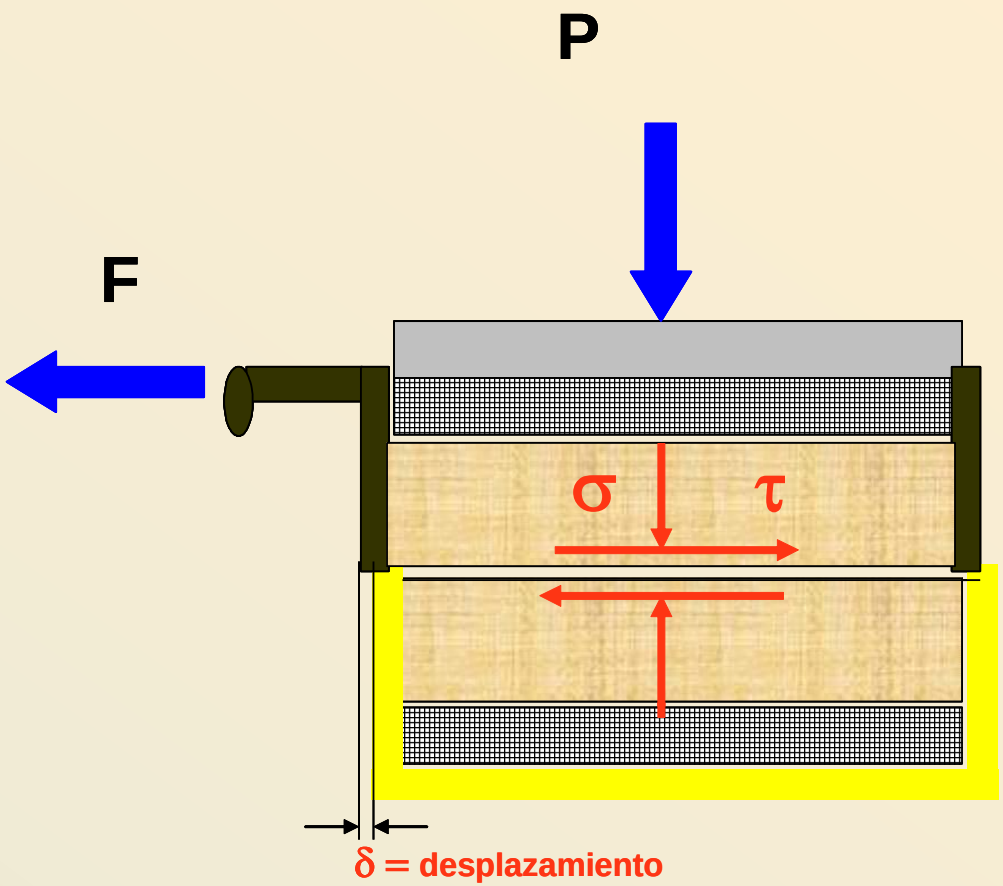
ENSAYO DE CORTE DIRECTO



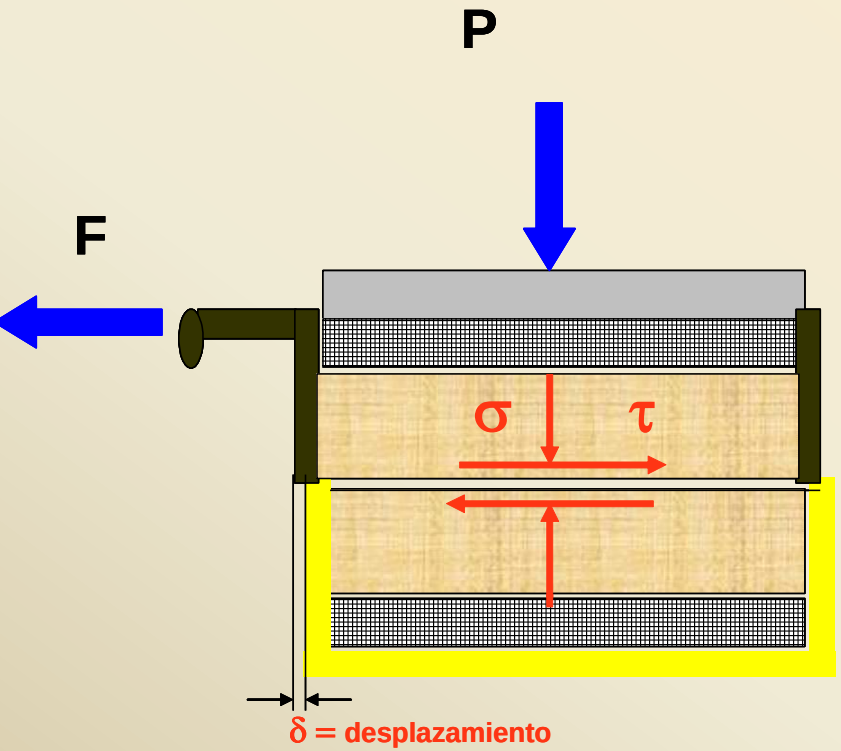
ENSAYO DE CORTE DIRECTO

$$\sigma = \frac{P}{Area}$$

$$\tau = \frac{F}{Area}$$



DATOS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO



Ensayo a deformación controlada:

Se aplica una deformación a velocidad constante y se mide la carga necesaria para provocarla

DATOS

Iniciales:

- Dimensiones de la probeta
- P carga vertical

Durante el ensayo

- F carga tangencial
- Desplazamiento Horizontal
- Desplazamiento Vertical

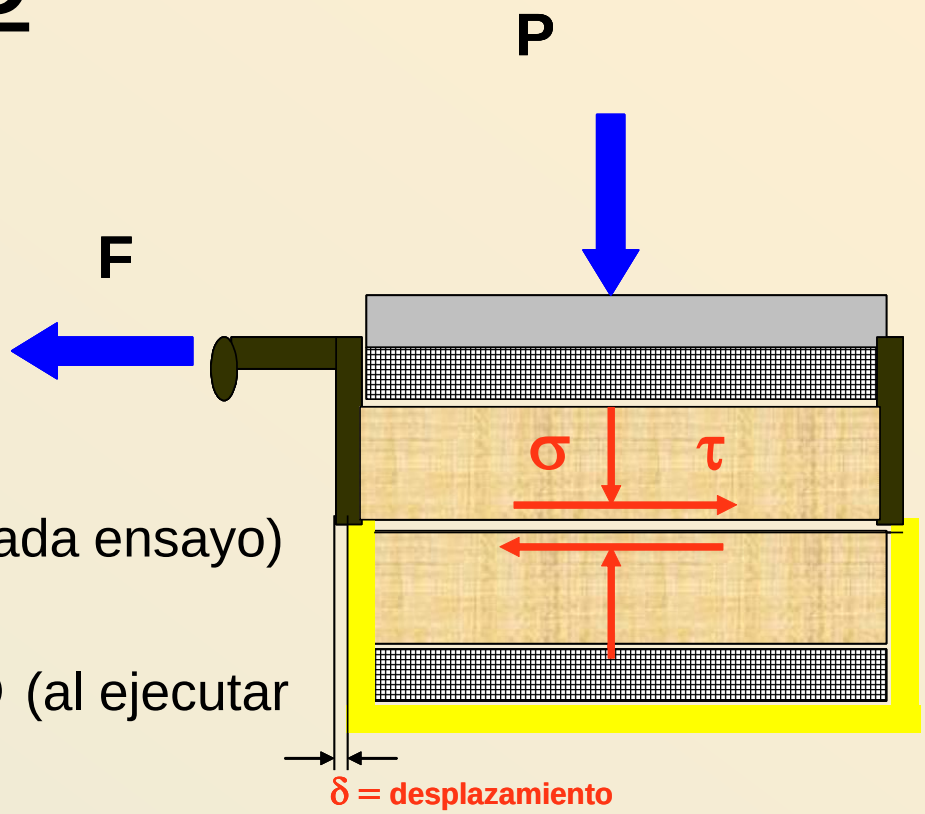
RESULTADOS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO

1. **Curva τ vs $\delta_{horizontal}$**

2. **Curva $\delta_{vertical}$ vs $\delta_{horizontal}$**

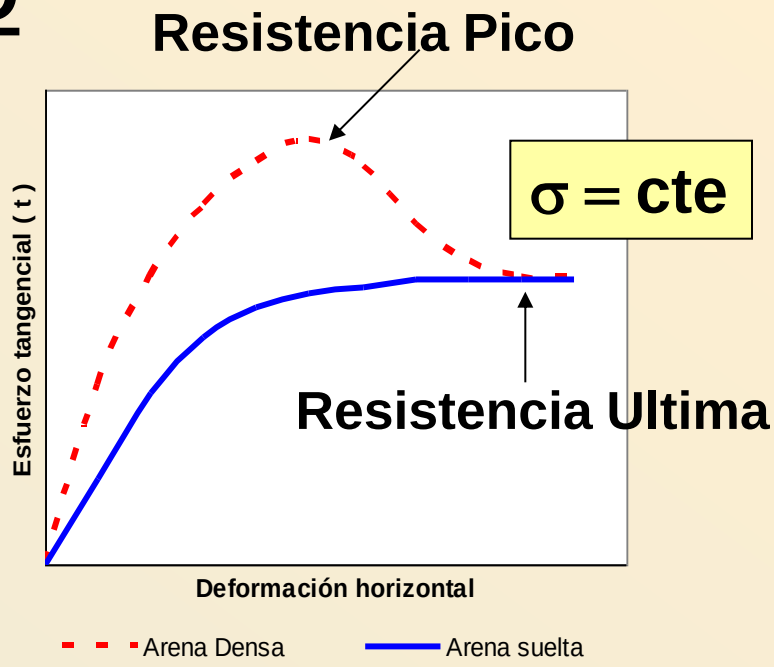
3. **Curva σ vs τ** (un punto por cada ensayo)

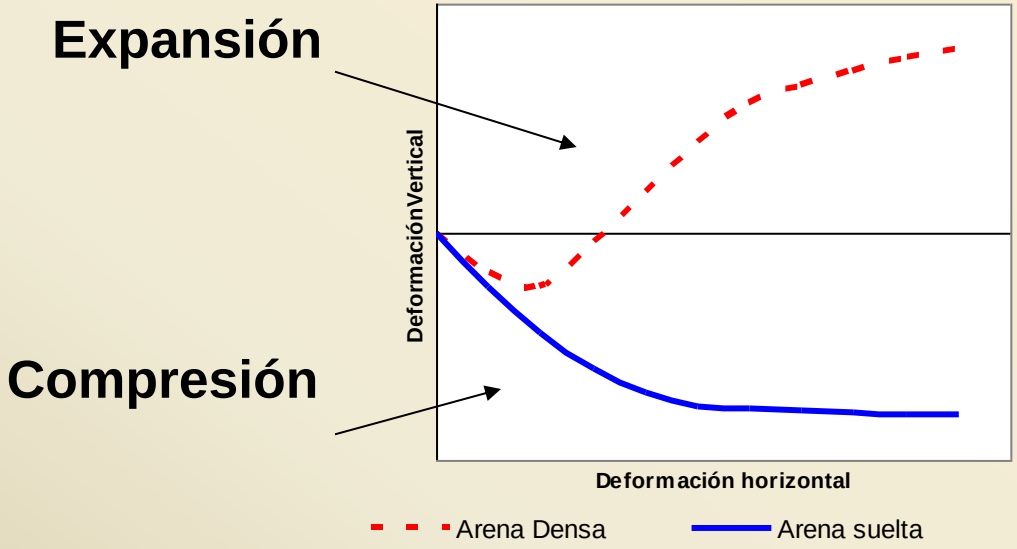
4. **Parámetros de corte c y ϕ** (al ejecutar al menos 3 ensayos)



RESULTADOS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO

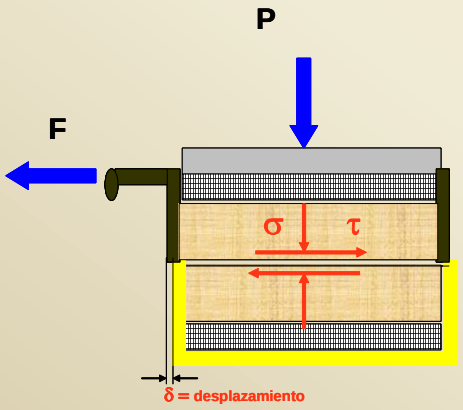
1. Curva τ vs $\delta_{horizontal}$
2. Curva $\delta_{vertical}$ vs $\delta_{horizontal}$
3. Curva σ vs τ
4. Parámetros de corte c y ϕ

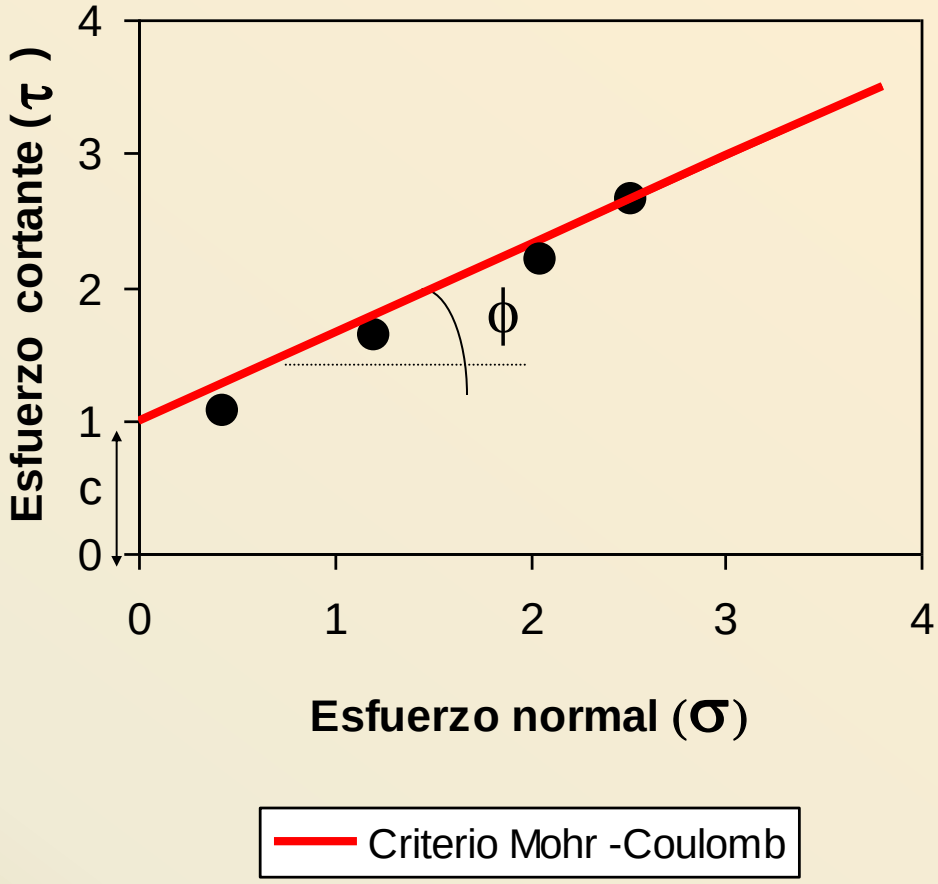




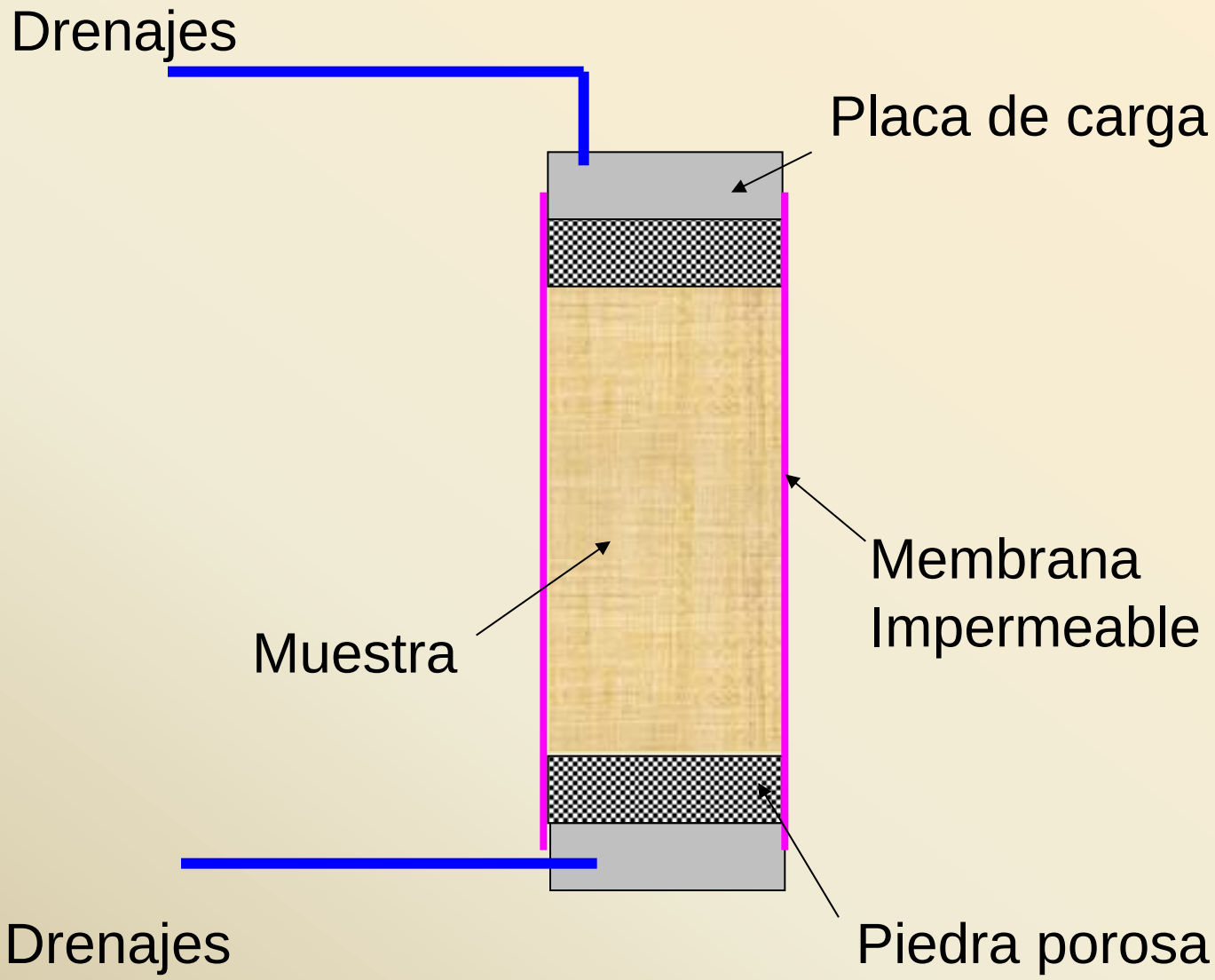
RESULTADOS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO

1. Curva τ vs $\delta_{horizontal}$
2. Curva $\delta_{vertical}$ vs $\delta_{horizontal}$
3. Curva σ vs τ
4. Parámetros de corte c y ϕ



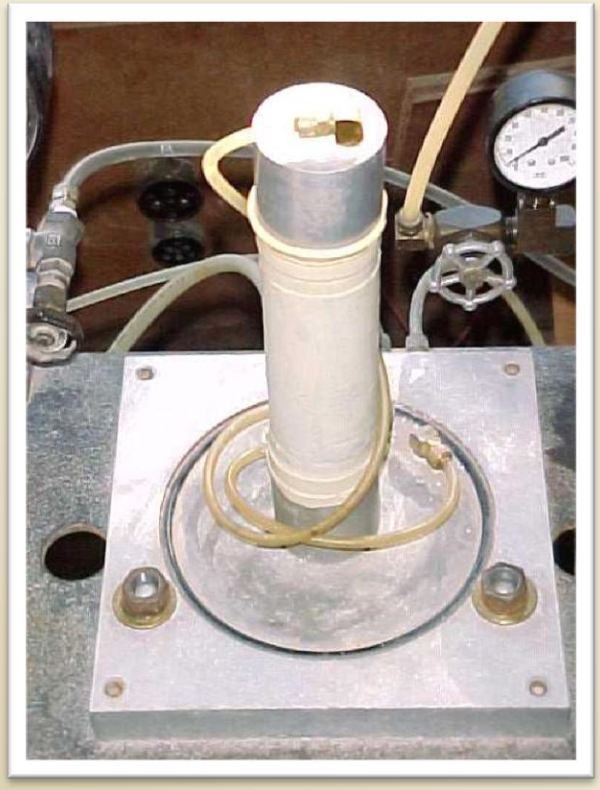


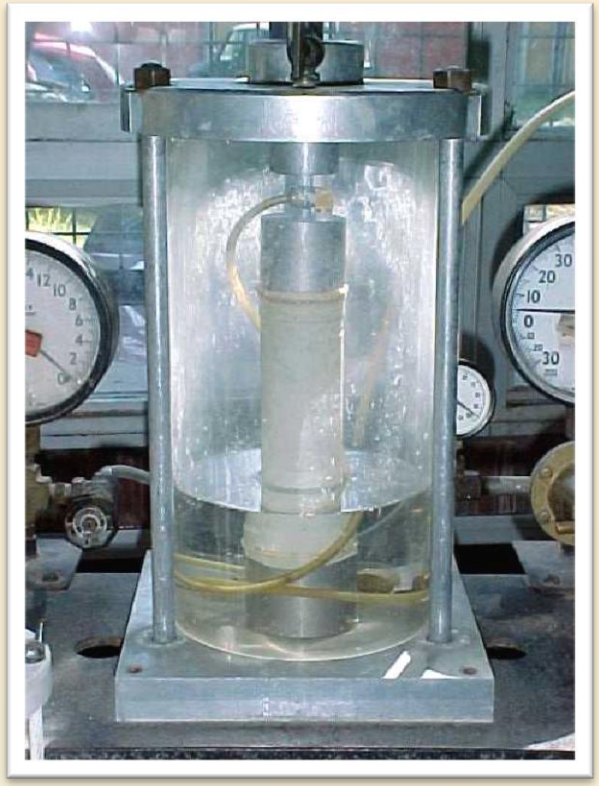
ENSAYO TRIAXIAL



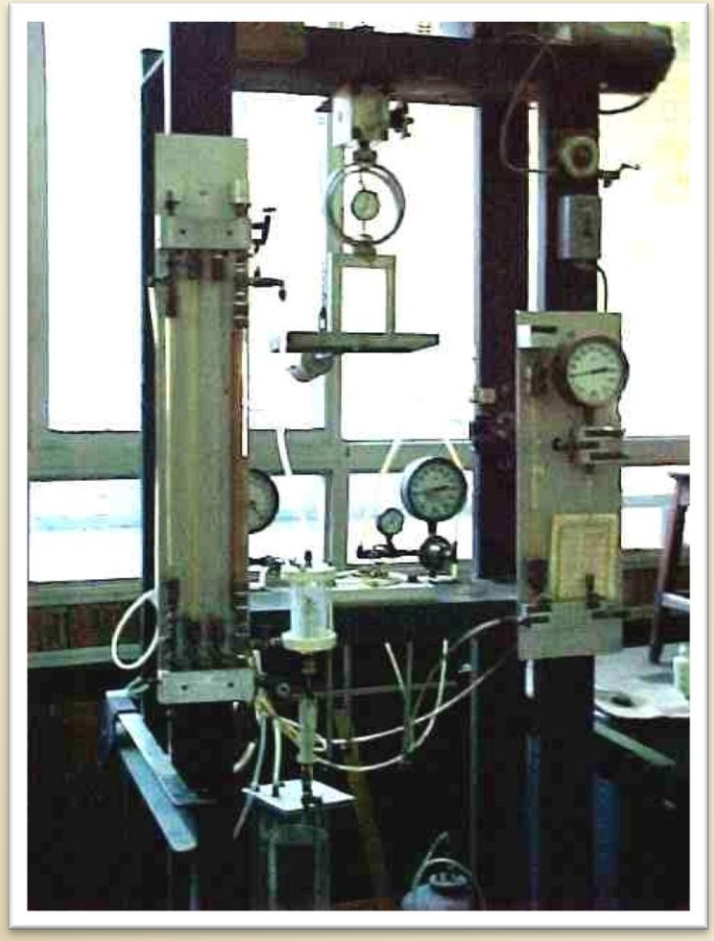
ENSAYO TRIAXIAL

ENSAYO TRIAXIAL

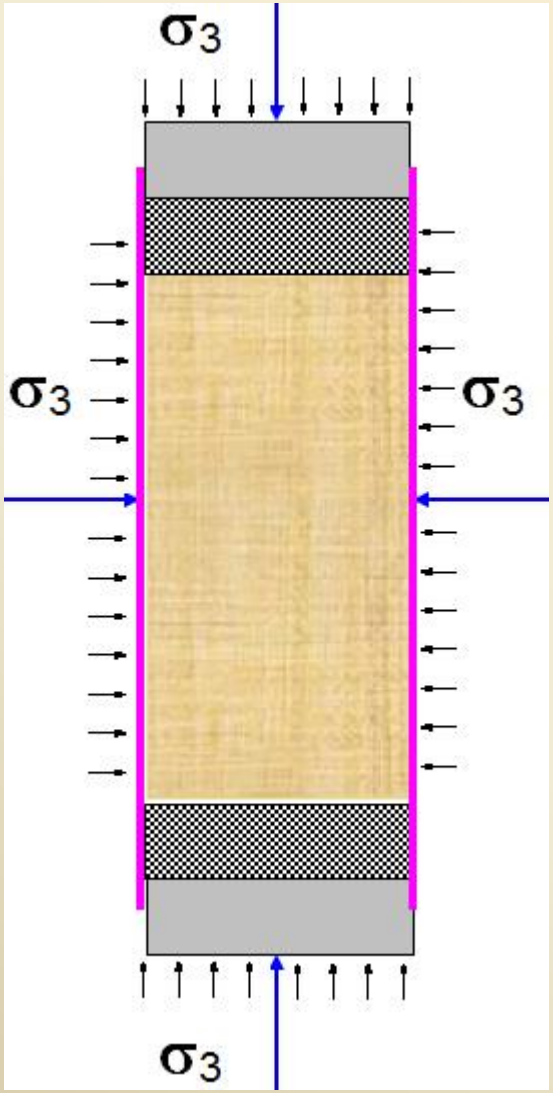


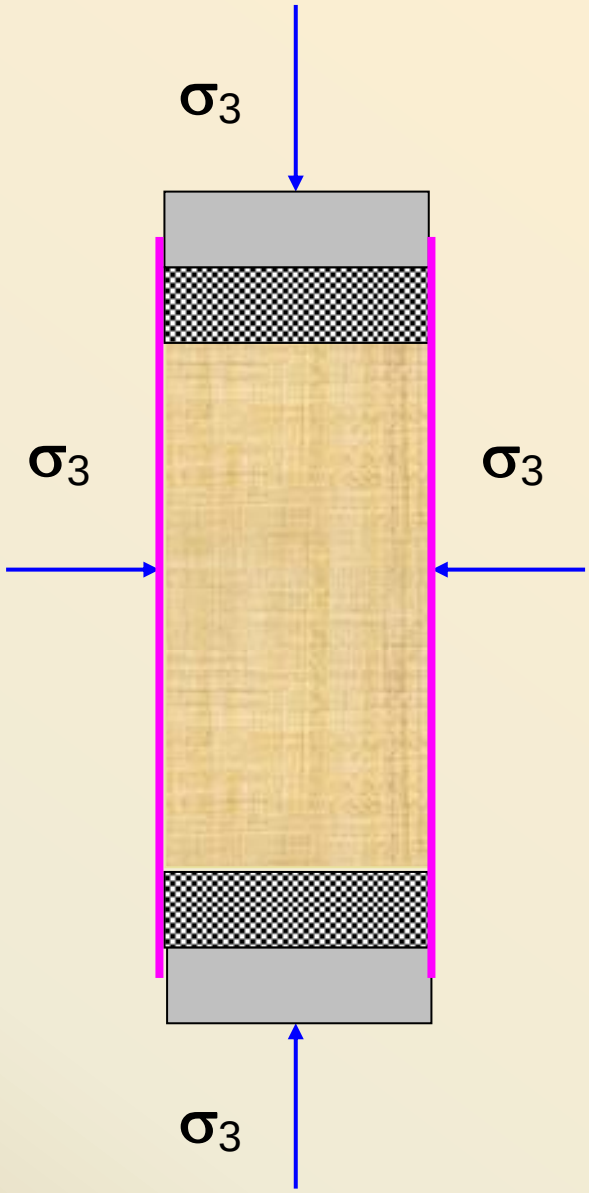


ENSAYO TRIAXIAL



ENSAYO TRIAXIAL

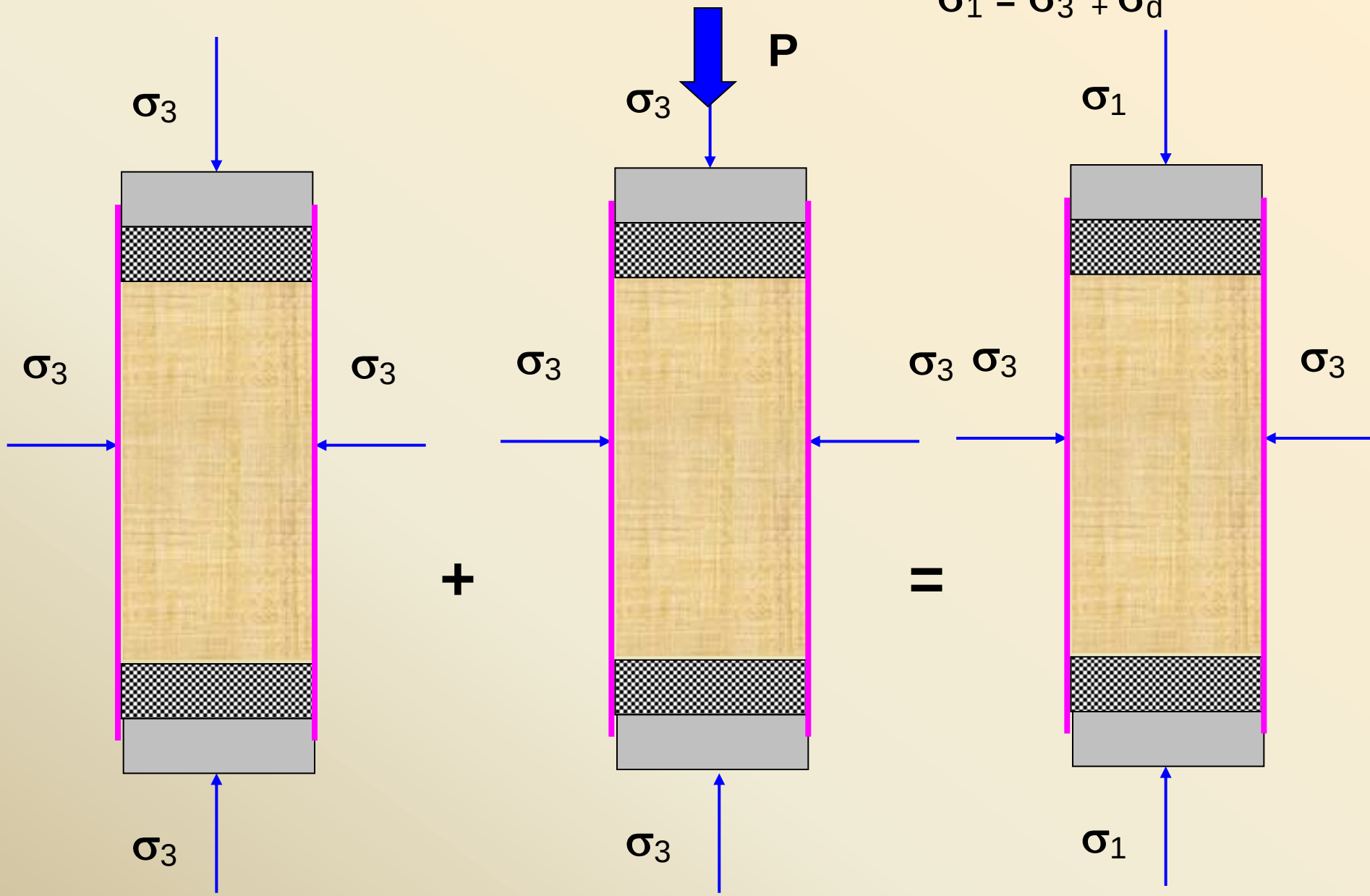




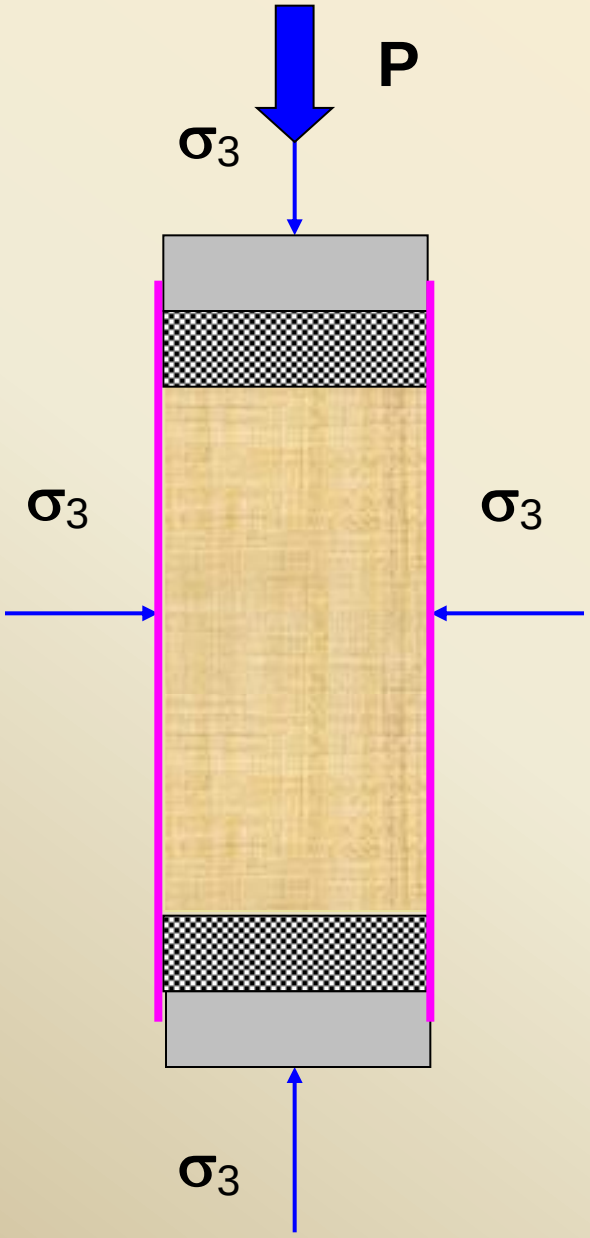
ENSAYO TRIAXIAL

$$P = \sigma_d \cdot A = (\sigma_1 - \sigma_3)\, A$$

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_d$$



DATOS DEL ENSAYO TRIAXIAL



Ensayo a deformación controlada:

Se aplica una deformación a velocidad constante y se mide la carga necesaria para provocarla.

DATOS

Iniciales

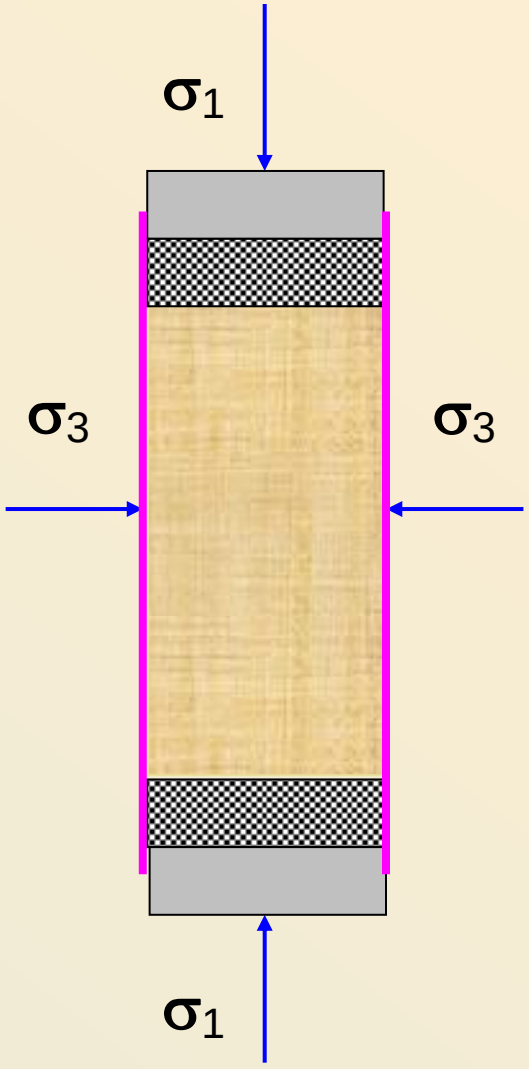
- Dimensiones de la probeta
- σ_3 Presión de confinamiento

Durante el ensayo

- P carga vertical desviadora
- Desplazamiento Vertical

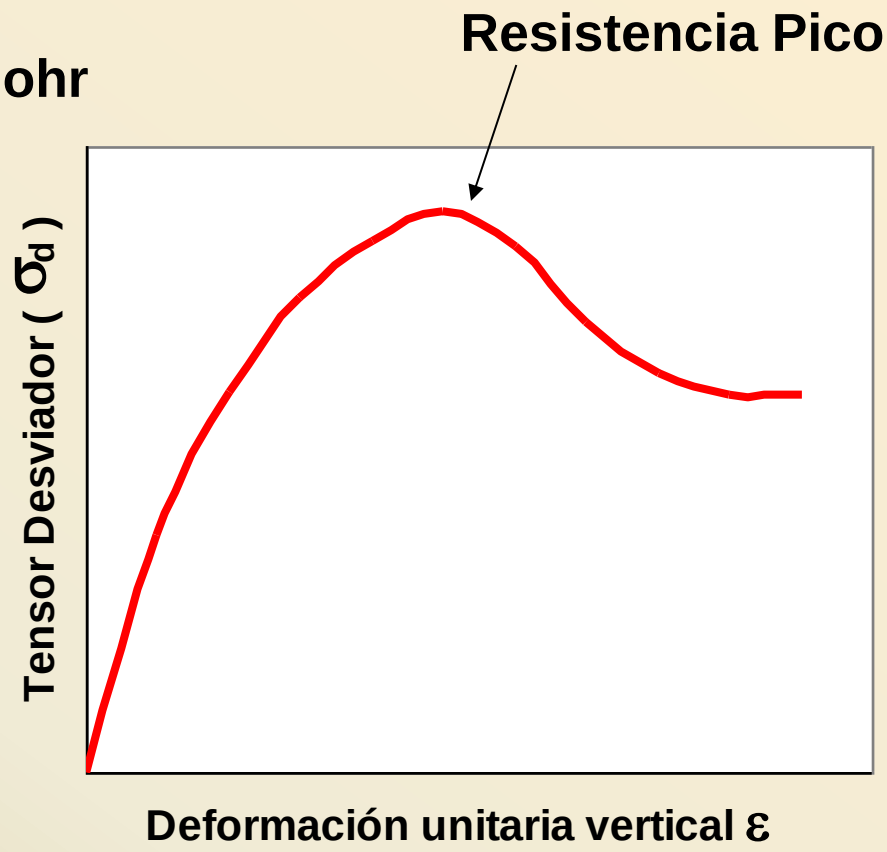
RESULTADOS DEL ENSAYO TRIAXIAL

1. **Curva σ_d vs $\varepsilon_{vertical}$**
2. **Trazado de los círculos de Mohr** (un círculo de Morh por cada muestra ensayada)
3. **Curva σ vs τ**
4. **Parámetros de corte c y ϕ** (al ejecutar al menos 3 ensayos)



RESULTADOS DEL ENSAYO TRIAXIAL

1. Curva σ_d vs $\varepsilon_{vertical}$
2. Trazado de los círculos de Mohr
3. Curva σ vs τ
4. Parámetros de corte c y ϕ

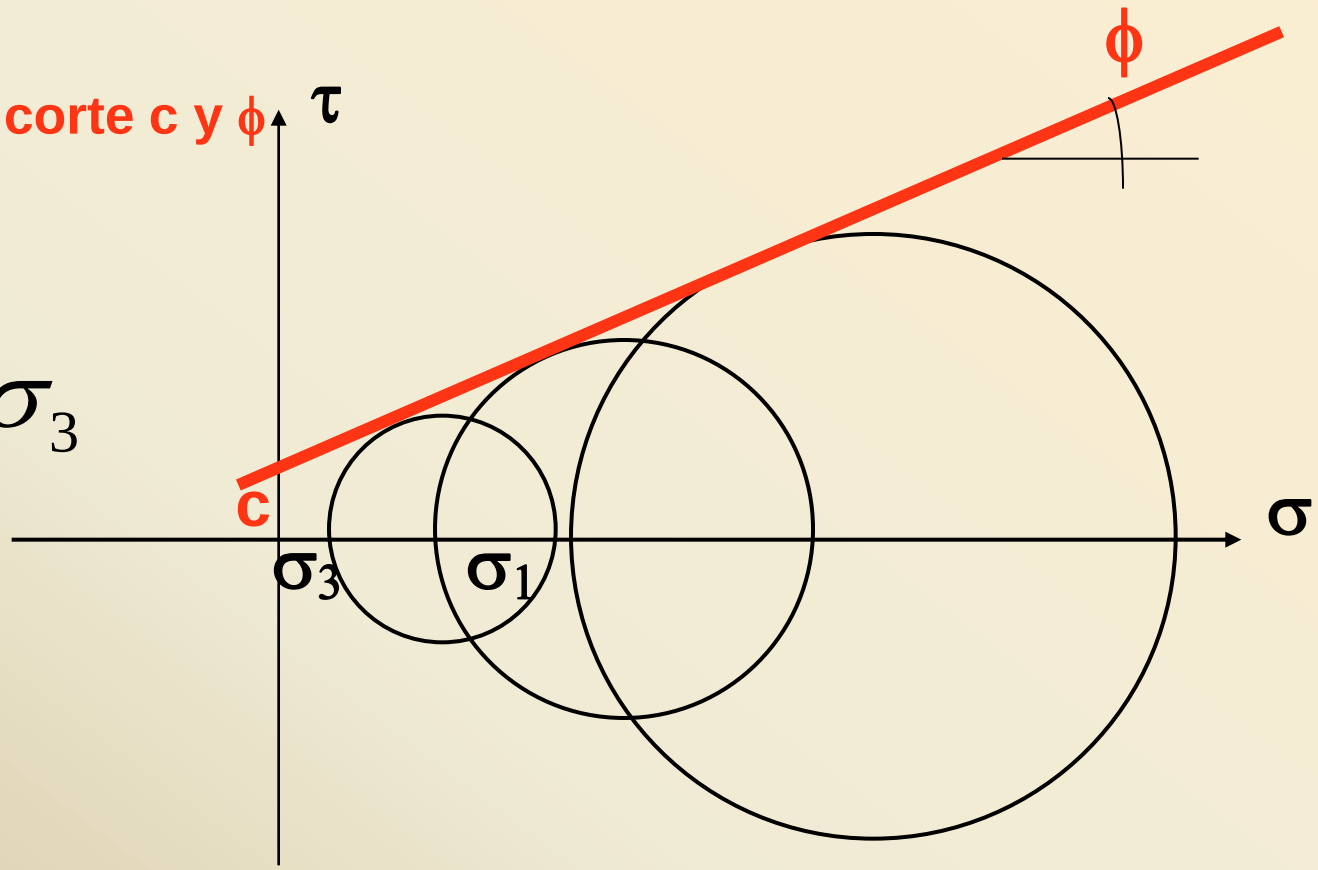


RESULTADOS DEL ENSAYO TRIAXIAL

1. Curva σ_d vs $\varepsilon_{vertical}$
2. Trazado de los círculos de Mohr
3. Curva σ vs τ
4. Parámetros de corte c y ϕ

$$\sigma_3 = \text{dato}$$

$$\sigma_1 = \sigma_d + \sigma_3$$



RESULTADOS DEL ENSAYO TRIAXIAL