



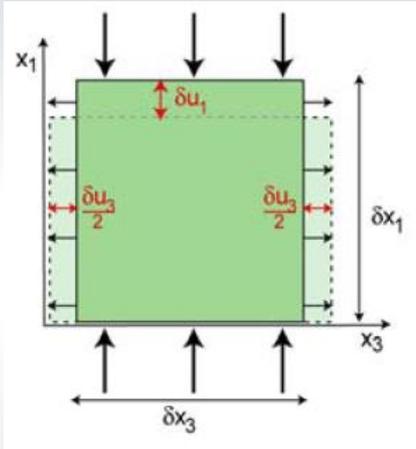
**YPF**

## Ejercitación propiedades mecánicas

Damián Hryb



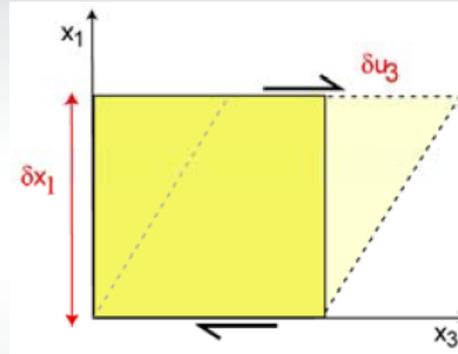
# Propiedades elásticas



$$\varepsilon_{11} = \frac{\delta u_1}{\delta x_1}; \quad \varepsilon_{33} = \frac{\delta u_3}{\delta x_3}$$

$$E = \frac{S_{11}}{\varepsilon_{11}} \quad \text{Módulo de Young}$$

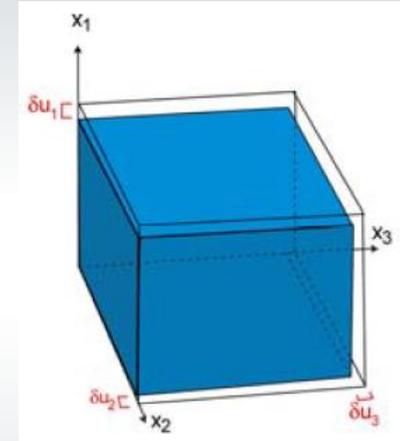
$$\nu = -\frac{\varepsilon_{33}}{\varepsilon_{11}} \quad \text{Relación de Poisson}$$



$$\varepsilon_{13} = \frac{\delta u_3}{\delta x_1}$$

$$G = \frac{1}{2} \left( \frac{S_{13}}{\varepsilon_{13}} \right)$$

Módulo de corte



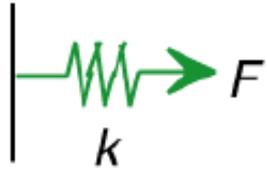
$$\varepsilon_{00} = \varepsilon_{11} + \varepsilon_{22} + \varepsilon_{33}$$

$$S_{00} = \frac{1}{3} (S_{11} + S_{22} + S_{33})$$

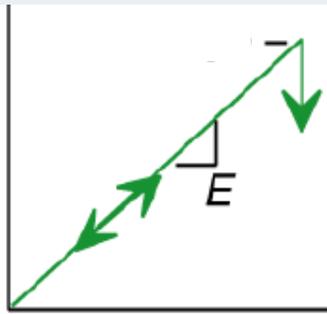
$$K = \frac{S_{00}}{\varepsilon_{00}} \quad \text{Módulo volumétrico}$$

# Propiedades elásticas

Conocidos dos parámetros elásticos se pueden calcular los restantes asumiendo un material isotrópico, homogéneo y elástico lineal



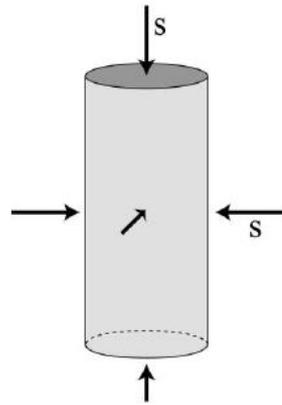
Tensión



Deformación

$K$	$E$	$\lambda$	$\nu$	$G = \rho V_s^2$	$M = \rho V_p^2$
$\lambda + \frac{2G}{3}$	$G \frac{3\lambda + 2G}{\lambda + G}$	-	$\frac{\lambda}{2(\lambda + G)}$	-	$\lambda + 2G$
-	$9K \frac{K - \lambda}{3K - \lambda}$	-	$\frac{\lambda}{3K - \lambda}$	$3 \frac{K - \lambda}{2}$	$3K - 2\lambda$
-	$\frac{9K - G}{3K - G}$	$K - \frac{2G}{3}$	$\frac{3K - 2G}{2(3K + G)}$	-	$K + 4 \frac{G}{3}$
$\frac{EG}{3(3G - E)}$	-	$G \frac{E - 2G}{3G - E}$	$\frac{E}{2G} - 1$	-	$G \frac{4G - E}{3G - E}$
-	-	$3K \frac{3K - E}{9K - E}$	$\frac{3K - E}{6K}$	$\frac{3KE}{9K - E}$	$3K \frac{3K + E}{9K - E}$
$\lambda \frac{1 + \nu}{3\nu}$	$\lambda \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{\nu}$	-	-	$\lambda \frac{1 - 2\nu}{2\nu}$	$\lambda \frac{1 - \nu}{\nu}$
$G \frac{2(1 + \nu)}{3(1 - 2\nu)}$	$2G(1 + \nu)$	$G \frac{2\nu}{1 - 2\nu}$	-	-	$G \frac{2 - 2\nu}{1 - 2\nu}$
-	$3K(1 - 2\nu)$	$3K \frac{\nu}{1 + \nu}$	-	$3K \frac{1 - 2\nu}{2 + 2\nu}$	$3K \frac{1 - \nu}{1 + \nu}$
$\frac{E}{3(1 - 2\nu)}$	-	$\frac{E\nu}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}$	-	$\frac{E}{2 + 2\nu}$	$\frac{E(1 - \nu)}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}$

# Medición de propiedades mecánicas



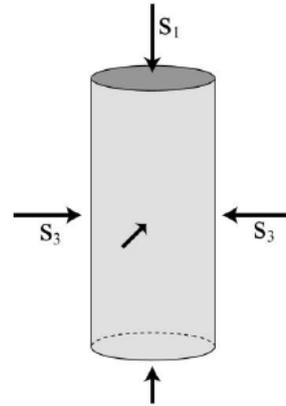
HYDROSTATIC

$$S = S_1 = S_2 = S_3$$



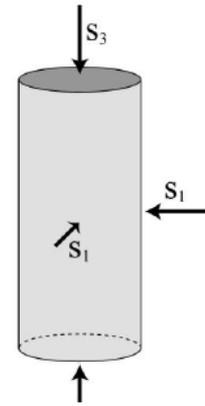
UNIAXIAL

$$S_1 \neq 0, S_2 = S_3 = 0$$

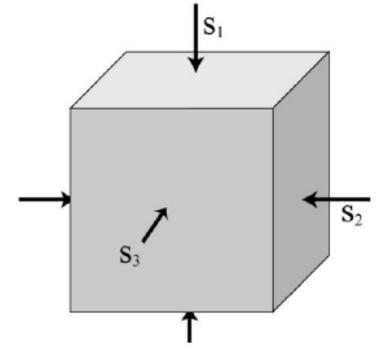


TRIAXIAL

$$S_1 > S_2 = S_3$$

TRIAXIAL  
EXTENSION

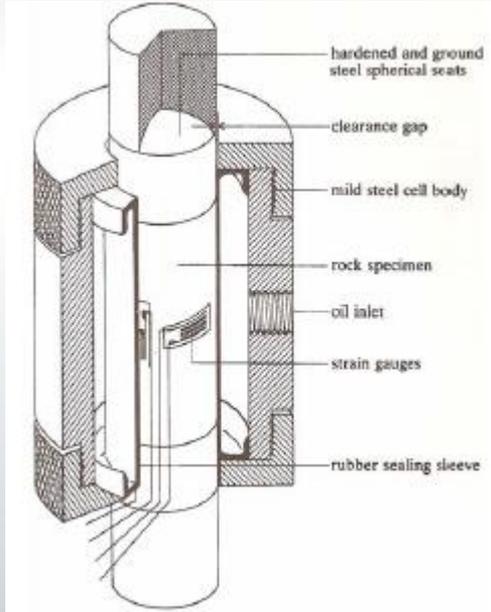
$$S_1 = S_2 > S_3$$



POLYAXIAL

$$S_1 \neq S_2 \neq S_3$$

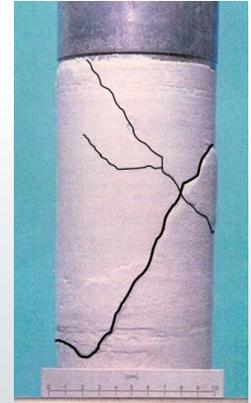
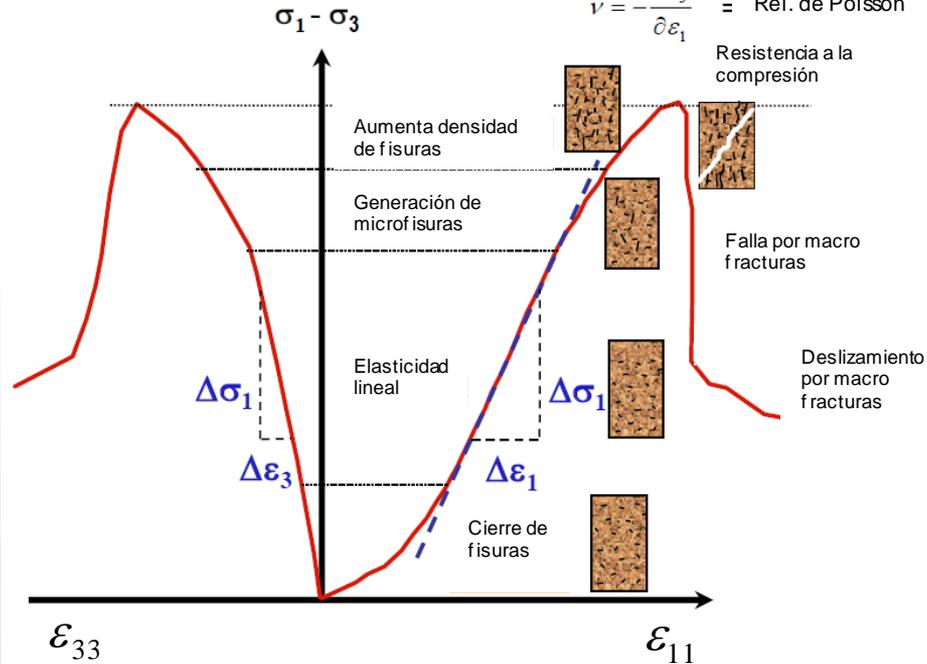
# Medición de propiedades mecánicas



Curva típica tensión deformación

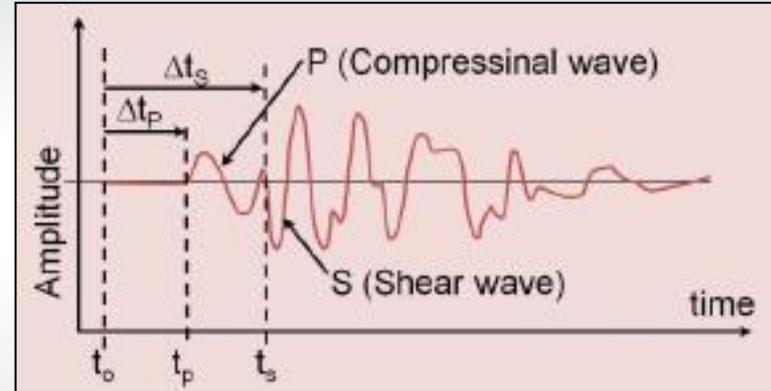
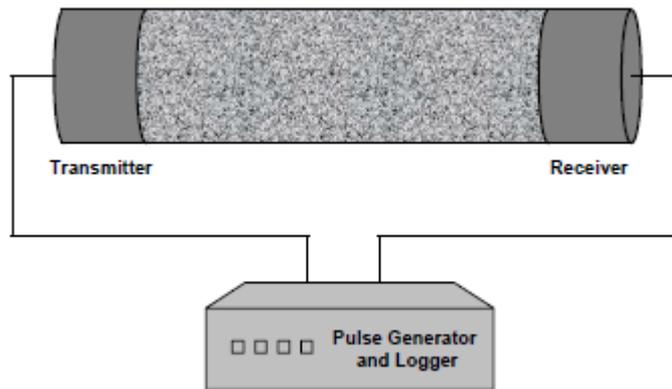
$$E = \frac{\partial \sigma_1}{\partial \varepsilon_1} = \text{Módulo de Young}$$

$$\nu = -\frac{\partial \varepsilon_3}{\partial \varepsilon_1} = \text{Rel. de Poisson}$$



# Medición de propiedades mecánicas

Asume un material elástico, isotrópico y homogéneo.



$$\nu = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)}$$

$$K = \rho V_p^2 - \frac{4\rho V_s^2}{3}$$

$$E = \frac{\rho V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2)}{(V_p^2 - V_s^2)}$$

$$G = \rho V_s^2$$

# Medición de propiedades mecánicas

Asume un material elástico,  
isotrópico y homogéneo.

Módulo de Corte  $\longrightarrow G = 13474.45 * (Den / DTS^2)$

Módulo Volumétrico  $\longrightarrow K = 13474.45 * (Den / DT^2) - 4/3 * G$

Módulo de Young  $\longrightarrow E = 9 * G * K / (G + 3 * K)$

Coefficiente de Poisson  $\longrightarrow PR = (3 * K - 2 * G) / (6 * K + 2 * G)$

Den [g/cc]  
DT [us/ft]  
DTS [us/ft]

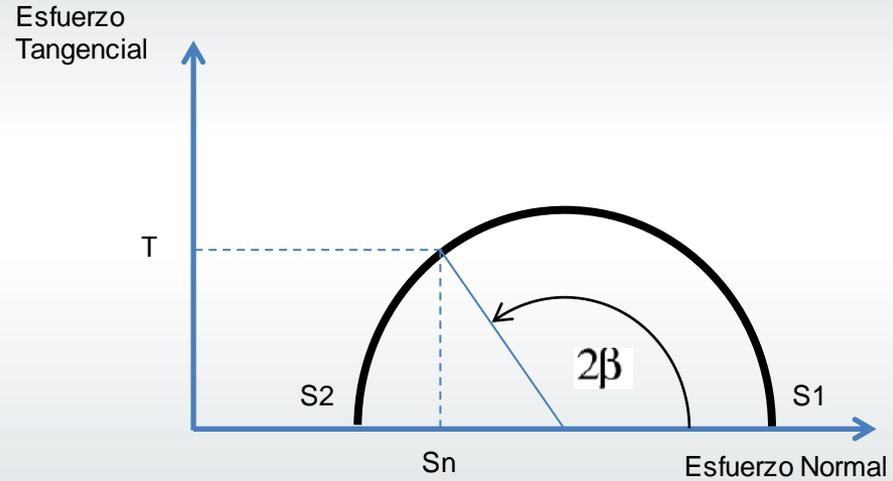
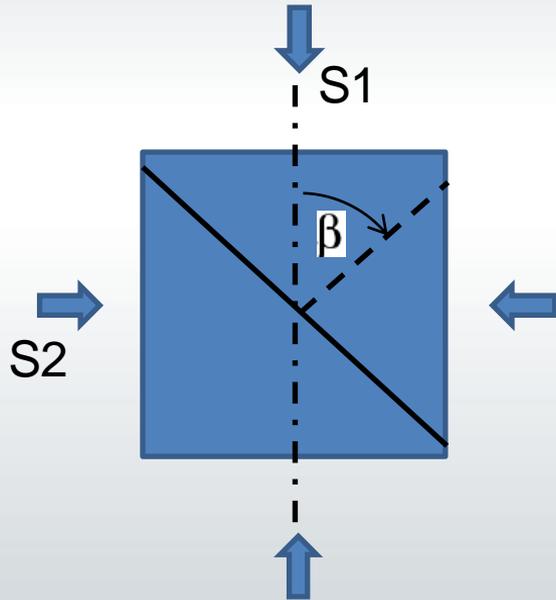
G [Mpsi]  
K [Mpsi]  
E [Mpsi]  
PR []

## Ejercicio – Propiedades mecánicas

Utilizando los datos en el archivo “calcular propiedades mecánicas 2024.xlsx”:

- Completar los cálculos faltantes (celdas rojas)
  - Dynamic Young's Modulus
  - Dynamic Poisson's Ratio
  - Dynamic Bulk Modulus
  - Dynamic Shear Modulus
  - Young's Modulus
  - Poisson's Ratio

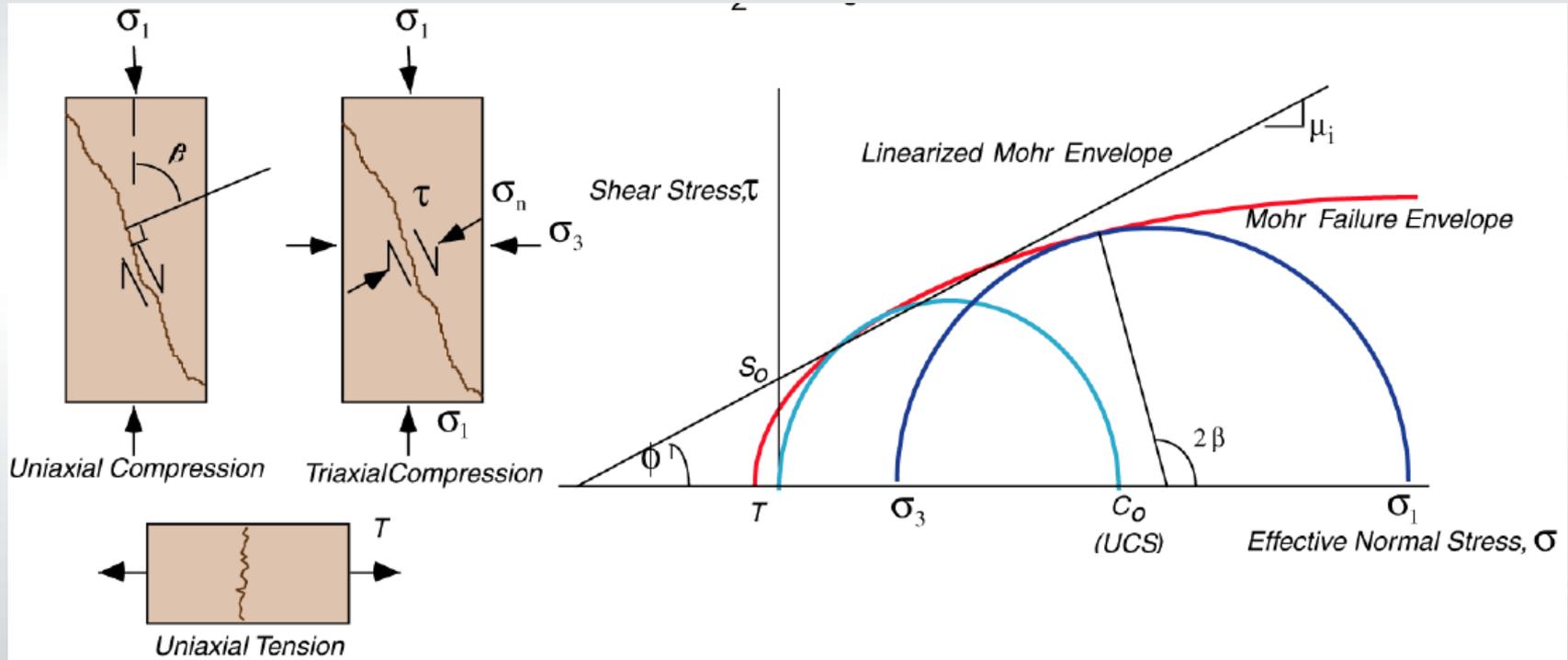
# Circulo de Mohr



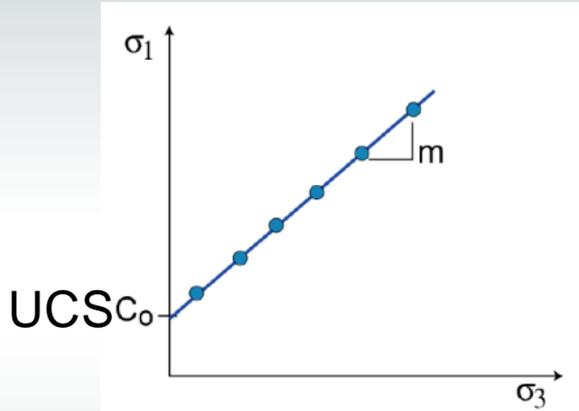
$$\tau = 0.5 (\sigma_1 - \sigma_3) \sin 2\beta$$

$$\sigma_n = 0.5 (\sigma_1 + \sigma_3) + 0.5 (\sigma_1 - \sigma_3) \cos 2\beta$$

# Criterio de falla de Mohr-Coulomb



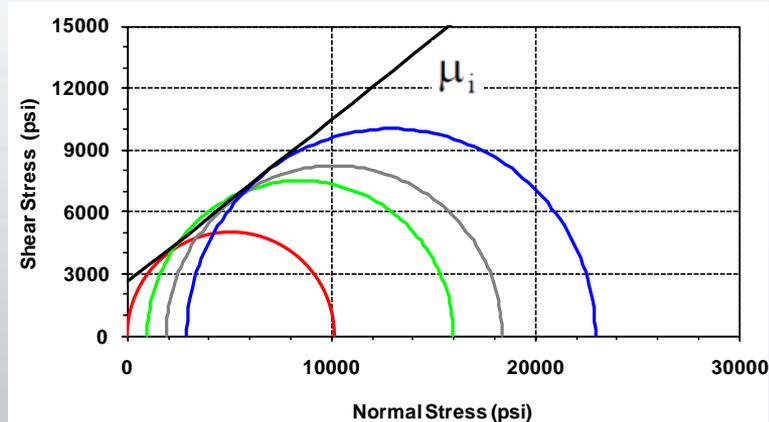
# Criterio de falla de Mohr-Coulomb



Coeficiente de fricción interna  $\mu_i = \frac{m-1}{2\sqrt{m}}$

Ángulo de fricción interna  $\arctan \mu_i$

Cohesión  $S_0 = \frac{UCS}{2 [ (\mu_i^2 + 1)^{1/2} + \mu_i ]}$



## Ejercicio – Propiedades mecánicas

Utilizando los datos en el archivo “calcular propiedades mecánicas 2024.xlsx”:

- Completar los cálculos faltantes (celdas rojas)

- Differential Stress
- Compressive Strength
- Slope on S1 vs PC
- Unconfined Compressive Strength
- Angle of internal friction
- Coefficient of internal friction
- Cohesion

- Dibujar los círculos de Mohr correspondientes a los diferentes ensayos
- Obtener correlaciones de propiedades estáticas a dinámicas
- Contrastar los datos de ultrasonido y densidad contra los perfiles de pozo
- Calcular propiedades mecánicas dinámicas en el pozo a partir de los perfiles
- Calcular propiedades mecánicas estáticas en el pozo a partir de las correlaciones obtenidas