

Resistencia al corte de los suelos (Clase práctica)



Mecánica de Suelos y Geología

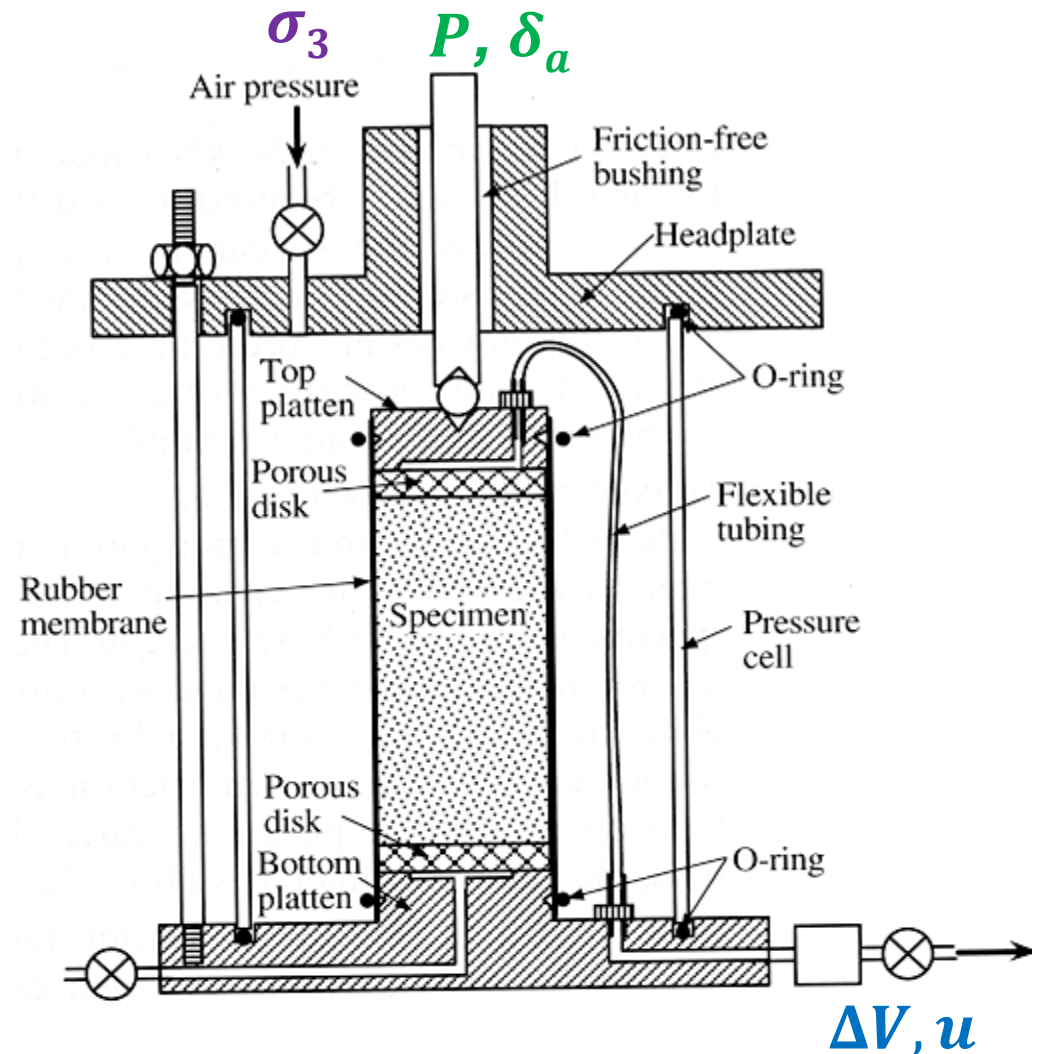
Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

Ensayo triaxial: mediciones



Mediciones

- Carga axial P
- Despl. axial δ_a
- Cambio volumen ΔV
- Presión de poros u
- Despl. radial δ_r



$\Delta V, u$

Ensayo triaxial: cálculos

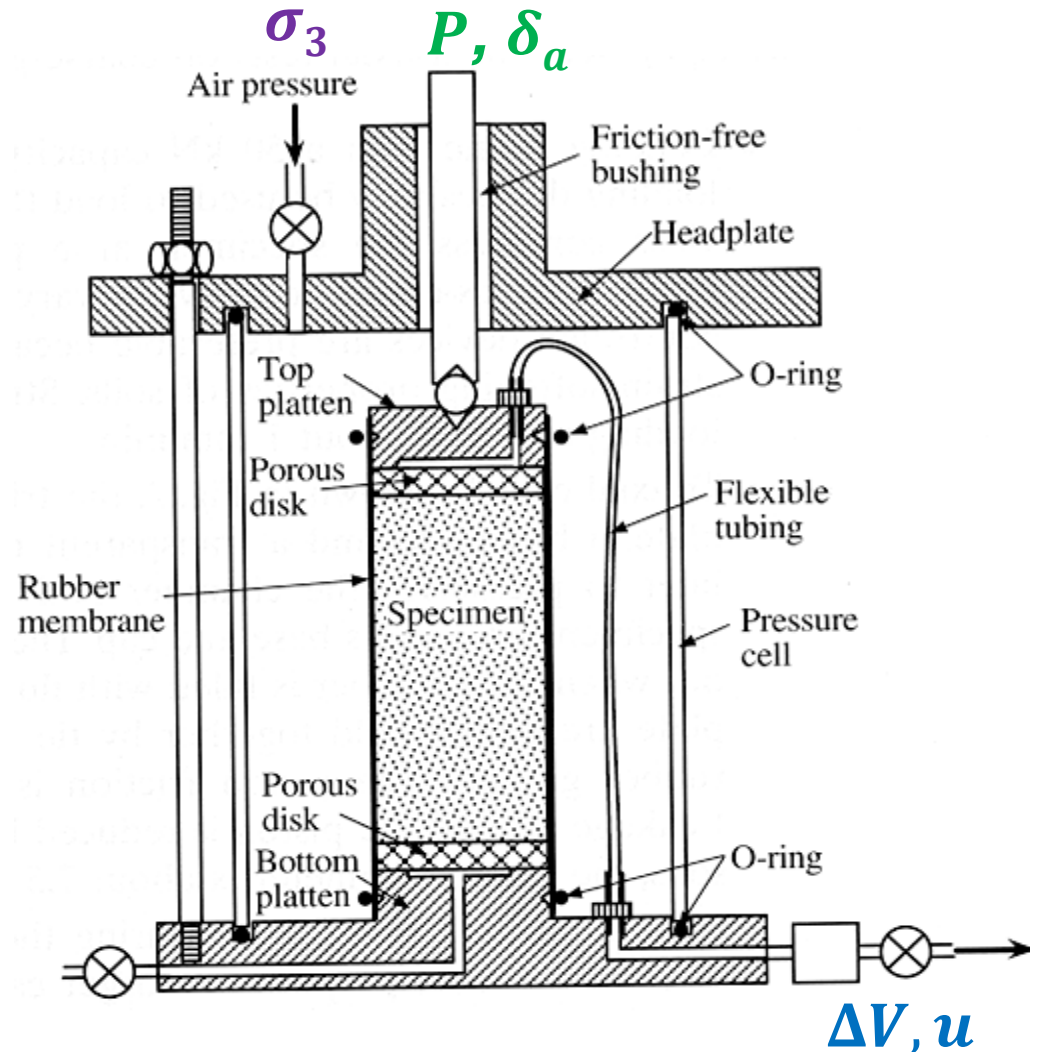


Cálculos

- $\sigma_d = P/A$
- $\epsilon_a = \delta_a / H$
- $\epsilon_v = \Delta V / V$

Resistencia:

- $\sigma_{df} = \sigma_1 - \sigma_3 = q$



Ejercicio 3.5



- Se realizaron una serie de ensayos triaxiales sobre muestras extraídas de un depósito de arcilla. La tabla resume los resultados. Considerando que el ángulo de fricción interna del depósito es $\phi_{cv} = 29^\circ$, se pide:
 - Calcular los valores faltantes de la tabla

Tipo de ensayo triaxial	σ_3 [kPa]	$\sigma_{d,f}$ [kPa]	u_f [kPa]
Compresión, S	100	XX	-
Compresión, Q	200	XX	20
Compresión, R	300	150	XX
Compresión, R	150	400	XX
Compresión simple	0	150	XX
Extensión, S	150	XX	-

Tipos de ensayos triaxial



- **No consolidado – No drenado (UU):** La probeta se somete a una presión de confinamiento especificada y se aplica inmediatamente σ_d , sin permitir el drenaje/consolidación en ninguna fase del ensayo
- **Consolidado – No drenado (CU):** Se permite el drenaje de la probeta bajo una presión de confinamiento especificada hasta que se complete la consolidación; a continuación, se aplica σ_d sin permitir más drenaje. En general, consolidación isotrópica: CIU
- **Consolidado – Drenado (CD):** Se permite el drenaje de la probeta bajo una presión de confinamiento especificada hasta que se haya completado la consolidación. Se aplica σ_d a una velocidad lo suficientemente lenta como para garantizar que el exceso de presión del agua de poros se mantenga en cero.

Ejercicio 3.5



Ensayo triaxial S (CD): $\sigma_3 = 100 \text{ kPa} \mid u_f = 0 \text{ kPa} \mid \sigma_{d,f} = ?$

- $N_\phi = \tan^2(45 + \phi/2) = 2.88$
- $\sigma'_1 = \sigma'_3 N_\phi = 100 \text{ kPa} \cdot 2.88 = 288 \text{ kPa}$
- $\sigma_{d,f} = \sigma'_1 - \sigma'_3 = 288 \text{ kPa} - 100 \text{ kPa} = 188 \text{ kPa}$



Ejercicio 3.5



Ensayo triaxial Q (UU): $\sigma_3 = 200 \text{ kPa}$ | $u_f = 20 \text{ kPa}$ | $\sigma_{d,f} = ?$

- $\sigma'_3 = \sigma_3 - u_f = 200 \text{ kPa} - 20 \text{ kPa} = 180 \text{ kPa}$
- $N_\phi = \tan^2(45 + \phi/2) = 2.88$
- $\sigma'_1 = \sigma'_3 N_\phi = 180 \text{ kPa} \cdot 2.88 = 518 \text{ kPa}$
- $\sigma_{d,f} = \sigma'_1 - \sigma'_3 = 518 \text{ kPa} - 180 \text{ kPa} = 338 \text{ kPa}$



Ejercicio 3.5



Ensayo triaxial R (CU): $\sigma_3 = 300 \text{ kPa} \mid u_f = ? \mid \sigma_{d,f} = 150 \text{ kPa}$

- $\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{d,f} = 300 \text{ kPa} + 150 \text{ kPa} = 450 \text{ kPa}$
- $\sigma'_3 = \sigma_3 - u_f = 300 \text{ kPa} - u_f$
- $\sigma'_1 = \sigma_1 - u_f = 450 \text{ kPa} - u_f$
- $\sigma'_1 = N_\phi \sigma'_3 = 2.88 (300 \text{ kPa} - u_f) \rightarrow u_f = 220 \text{ kPa}$



Ejercicio 3.5



Ensayo triaxial R (CU): $\sigma_3 = 150 \text{ kPa} \mid u_f = ? \mid \sigma_{d,f} = 400 \text{ kPa}$

- $\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{d,f} = 150 \text{ kPa} + 400 \text{ kPa} = 550 \text{ kPa}$
- $\sigma_3' = \sigma_3 - u_f = 150 \text{ kPa} - u_f$
- $\sigma_1' = \sigma_1 - u_f = 550 \text{ kPa} - u_f$
- $\sigma_1' = N_\phi \sigma_3' = 2.88 (150 \text{ kPa} - u_f) \rightarrow u_f = -62 \text{ kPa}$



Ejercicio 3.5



Ensayo compresión (CS): $\sigma_3 = 0 \text{ kPa} \mid u_f = ? \mid \sigma_{d,f} = 150 \text{ kPa}$

- $\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{d,f} = 0 \text{ kPa} + 150 \text{ kPa} = 150 \text{ kPa}$
- $\sigma_3' = \sigma_3 - u_f = -u_f$
- $\sigma_1' = \sigma_1 - u_f = 150 \text{ kPa} - u_f$
- $\sigma_1' = N_\phi \sigma_3' = (150 \text{ kPa} - u_f) = 2.88 (-u_f) \rightarrow u_f = -80 \text{ kPa}$



Ejercicio 3.5



Ensayo extensión (S): $\sigma_3 = 150 \text{ kPa} \mid u_f = 0 \mid \sigma_{d,f} = ?$

- $N_\phi = \tan^2(45 + \phi/2) = 2.88$
- $\sigma'_1 = \sigma'_3 (1/N_\phi) = 150 \text{ kPa} \cdot (1/2.88) = 52 \text{ kPa}$
- $\sigma_{d,f} = \sigma'_1 - \sigma'_3 = 52 \text{ kPa} - 150 \text{ kPa} = -98 \text{ kPa}$



Ejercicio 3.6



- Una muestra de arcilla, cuyo ángulo de fricción interno crítico es $\phi_{cv} = 29^\circ$, se preconsolida con relaciones $OCR = 1.2$ y $OCR = 3.0$ y se somete a ensayos triaxiales tipo R con una presión de confinamiento al final de la consolidación de $\sigma_3 = 200 \text{ kPa}$. La resistencia al corte no drenado de esta arcilla responde a la relación $s_u/\sigma'_{1,c} = 0.25 OCR^{0.75}$, siendo $\sigma'_{1,c}$ la tensión efectiva principal 1 al final de la etapa de consolidación. Se pide, para cada muestra:
 - Dibujar cualitativamente las curvas $\sigma'_1/\sigma'_3 - \epsilon_1$ y $u - \epsilon_1$
 - Indicar el valor de σ'_1 una vez alcanzado el estado crítico
 - Indicar el valor de tensión de corte τ en el plano de falla, una vez alcanzado el estado crítico

Ejercicio 3.6



- Curvas $\sigma'_1/\sigma'_3 - \epsilon_1$ y $u - \epsilon_1$



Ejercicio 3.6



Indicar el valor de σ'_1 una vez alcanzado el estado crítico

$$OCR = 1.2$$

- $N_\phi = \tan^2(45 + \phi/2) = \tan^2(45 + 29/2) = 2.88$
- $s_u = 0.25 \sigma'_3 OCR^{0.75} = 0.25 \cdot 200 \text{ kPa} \cdot 1.20^{0.75} = 57 \text{ kPa}$
- $\sigma_1 = \sigma_3 + 2 s_u = 200 \text{ kPa} + 2 \cdot 57 \text{ kPa} = 314 \text{ kPa}$
- $\sigma'_3 = \sigma_3 - u_f = 200 \text{ kPa} - u_f$
- $\sigma'_1 = \sigma_1 - u_f = 314 \text{ kPa} - u_f$
- $\sigma'_1 = N_\phi \sigma'_3 = 2.88 (200 \text{ kPa} - u_f) = 314 \text{ kPa} - u_f \rightarrow u_f = 139 \text{ kPa}$

$$\sigma'_1 = 175 \text{ kPa}$$

Ejercicio 3.6



Indicar el valor de σ'_1 una vez alcanzado el estado crítico

$$OCR = 3.0$$

- $N_\phi = \tan^2(45 + \phi/2) = \tan^2(45 + 29/2) = 2.88$
- $s_u = 0.25 \sigma'_3 OCR^{0.75} = 0.25 \cdot 200 \text{ kPa} \cdot 3.0^{0.75} = 114 \text{ kPa}$
- $\sigma_1 = \sigma_3 + 2 s_u = 200 \text{ kPa} + 2 \cdot 114 \text{ kPa} = 428 \text{ kPa}$
- $\sigma'_3 = \sigma_3 - u_f = 200 \text{ kPa} - u_f$
- $\sigma'_1 = \sigma_1 - u_f = 428 \text{ kPa} - u_f$
- $\sigma'_1 = N_\phi \sigma'_3 = 2.88 (200 \text{ kPa} - u_f) = 428 \text{ kPa} - u_f \rightarrow u_f = 79 \text{ kPa}$

$$\sigma'_1 = 349 \text{ kPa}$$

Ejercicio 3.6



Tensión de corte τ en el plano de falla (una vez alcanzado el estado crítico)

$$\mathbf{OCR = 1.2}$$

$$\tau_f = \left(\frac{\sigma_{d,f}}{2} \right) \sin \left(2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \right) = \left(\frac{114 \text{ kPa}}{2} \right) \sin \left(2 \left(45 + \frac{29}{2} \right) \right) = 49.8 \text{ kPa}$$

$$\mathbf{OCR = 3.0}$$

$$\tau_f = \left(\frac{\sigma_{d,f}}{2} \right) \sin \left(2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \right) = \left(\frac{228 \text{ kPa}}{2} \right) \sin \left(2 \left(45 + \frac{29}{2} \right) \right) = 99.7 \text{ kPa}$$

Ejercicio 3.10



- Se fabricaron dos muestras de laboratorio con densidades relativas de $D_r = 20\%$ y $D_r = 85\%$ respectivamente de un suelo SW. Estas fueron sometidas a ensayos triaxiales tipo S, con una presión de confinamiento de $\sigma'_3 = 200 \text{ kPa}$. Considerando que se alcanzaron los valores de tensión desviadora en la falla de 400 kPa y 750 kPa , se pide:
 - Determinar los ángulos de fricción interna máximo y crítico y la dilatancia para cada muestra;
 - Indicar cual de las dos muestras presenta un volumen mayor al finalizar el ensayo;
 - Determinar los ángulos de fricción interna máximo y crítico y la dilatancia para cada muestra si hubiesen ensayado a una presión de confinamiento de $\sigma_3 = 10 \text{ MPa}$

Ejercicio 3.10



- Determinar los ángulos de fricción interna máximo y crítico y la dilatancia para cada muestra.

$$D_r = 20\%$$

- $\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_d = 200 \text{ kPa} + 400 \text{ kPa} = 600 \text{ kPa}$
- $N_\phi = \sigma'_1 / \sigma'_3 = 600 \text{ kPa} / 200 \text{ kPa} = 3 = \tan^2(45 + \phi/2)$
- $\psi = f(D_r) = 0$
- $\phi = \phi_{cv} = 30$

Ejercicio 3.10



- Determinar los ángulos de fricción interna máximo y crítico y la dilatancia para cada muestra.

$$D_r = 85\%$$

- $\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_d = 200 \text{ kPa} + 750 \text{ kPa} = 950 \text{ kPa}$
- $N_\phi = \sigma'_1 / \sigma'_3 = 950 \text{ kPa} / 200 \text{ kPa} = 4.75 = \tan^2(45 + \phi/2)$
- $\phi = 40.7^\circ$
- $\phi_{cv} = cte = 30^\circ$
- $\psi = \phi - \phi_{cv} = 10.7^\circ$