

Introducción a la resistencia al corte de los suelos



Mecánica de Suelos y Geología
Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

Índice



- El ángulo de fricción interna
- El ensayo de corte directo
- El ensayo triaxial
- Ensayo lento (*S*), rápido (*Q*) e intermedio (*R*)
- Aspectos tecnológicos

Ángulo de fricción interna



- Experiencia: la botella con arena
- Experiencia: el ángulo de reposo
- Ángulo de reposo \sim Ángulo de fricción interna a volumen constante

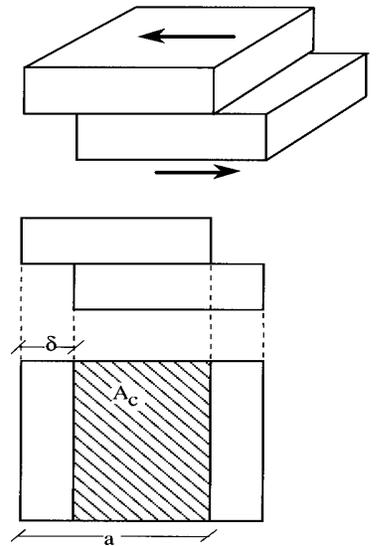
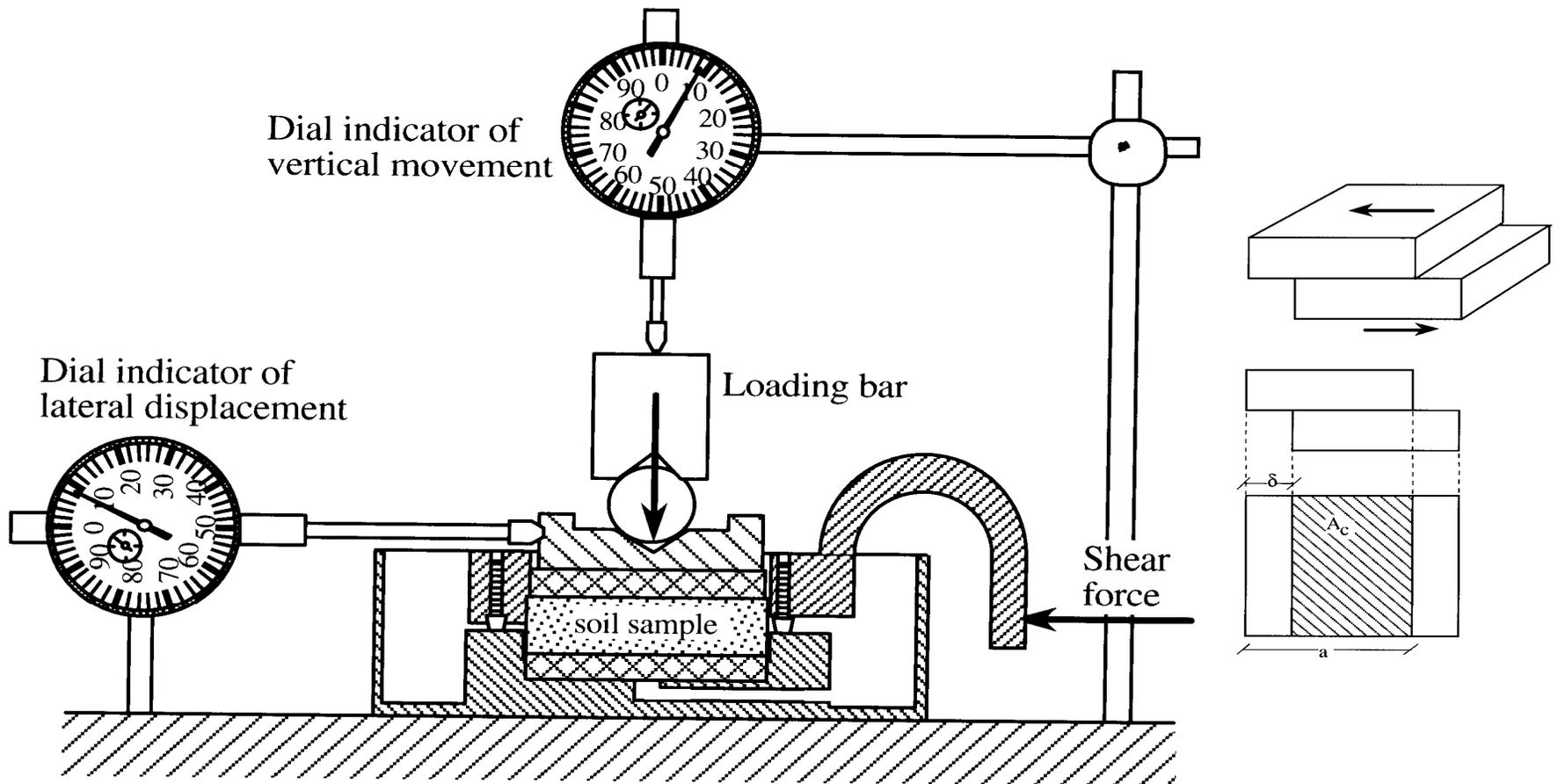


Índice



- El ángulo de fricción interna
- **El ensayo de corte directo**
- El ensayo triaxial
- Ensayo lento (*S*), rápido (*Q*) e intermedio (*R*)
- Aspectos tecnológicos

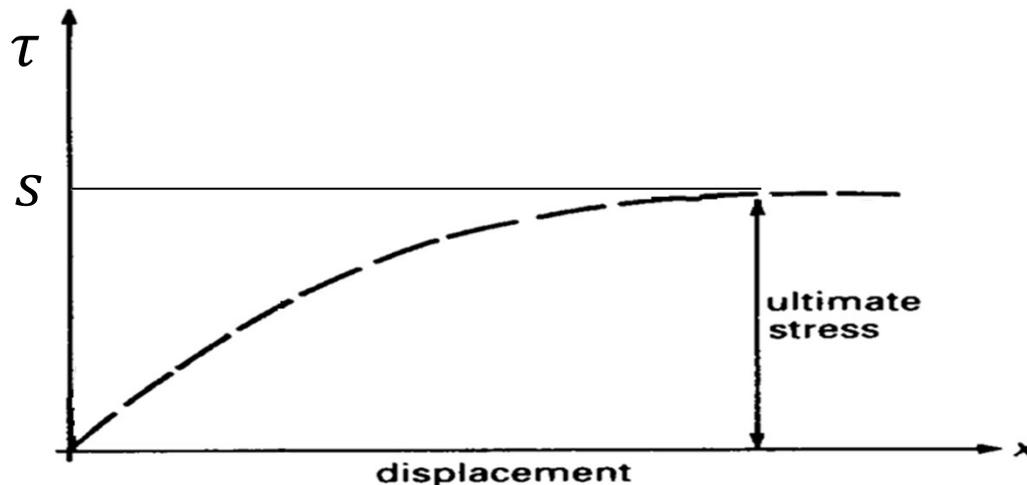
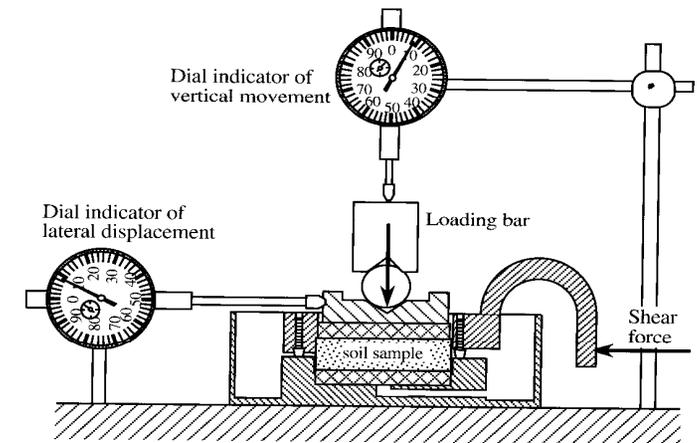
Ensayo de corte directo: equipo



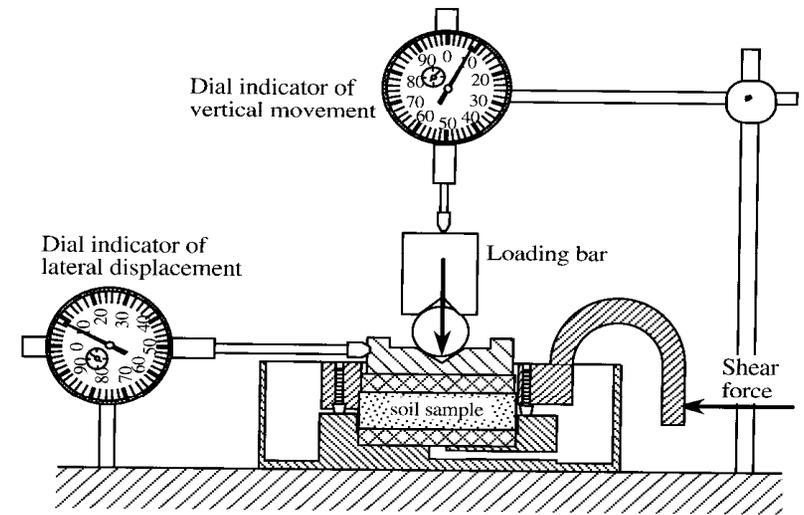
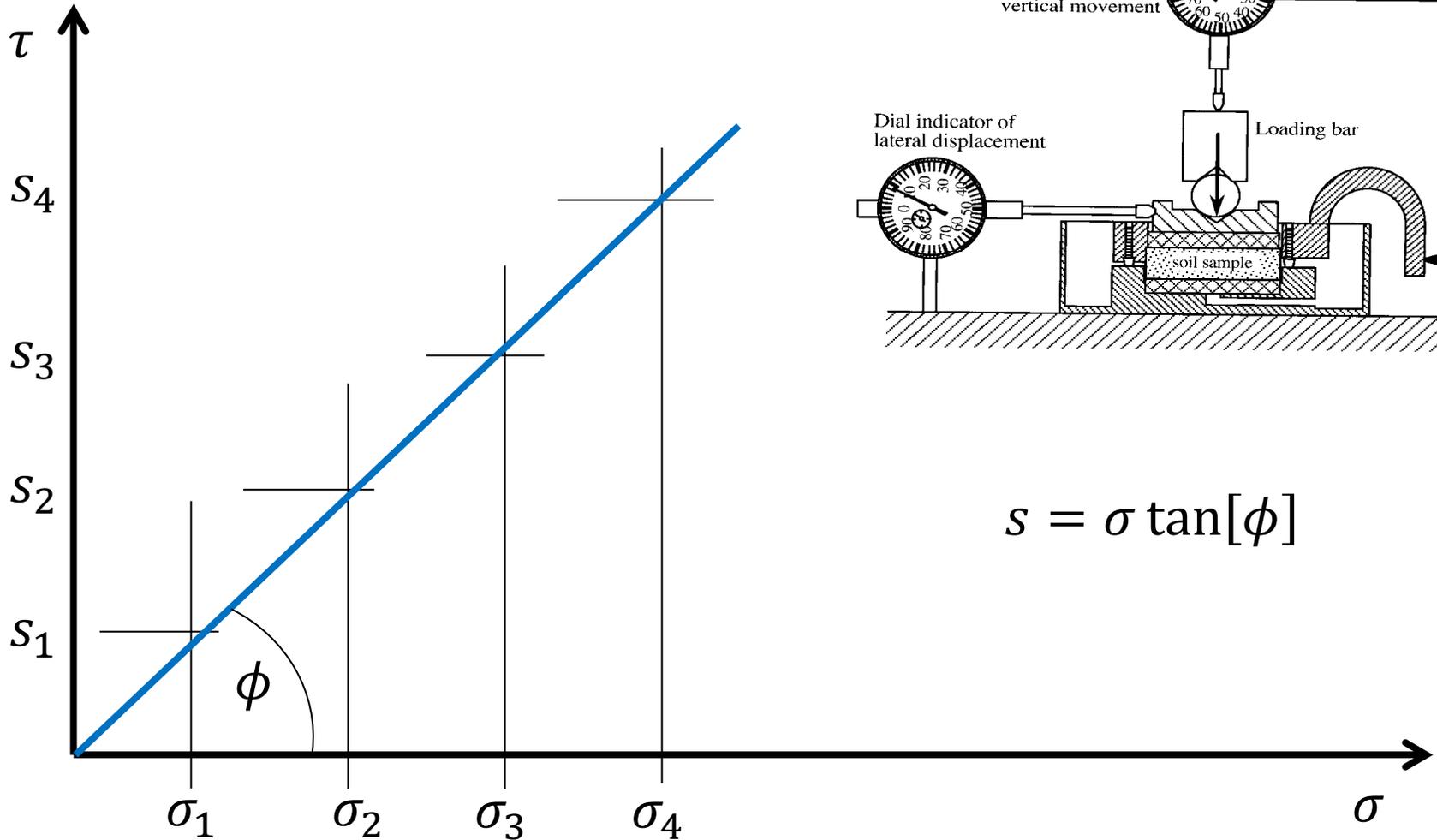
Ensayo de corte directo: descripción



- Se aplica una carga vertical constante
- Se aplica una carga horizontal creciente
- Se mide el desplazamiento horizontal
- El ensayo impone un plano de falla en la muestra
- En ese plano se mide la resistencia al corte s
- Se determina el ángulo de fricción interna $s = \sigma \tan[\phi]$



Ensayo de corte directo: resultados



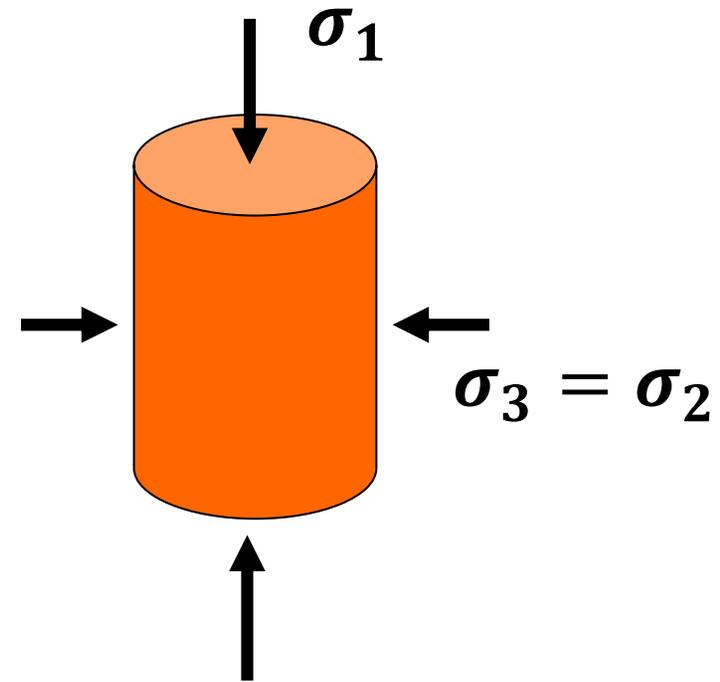
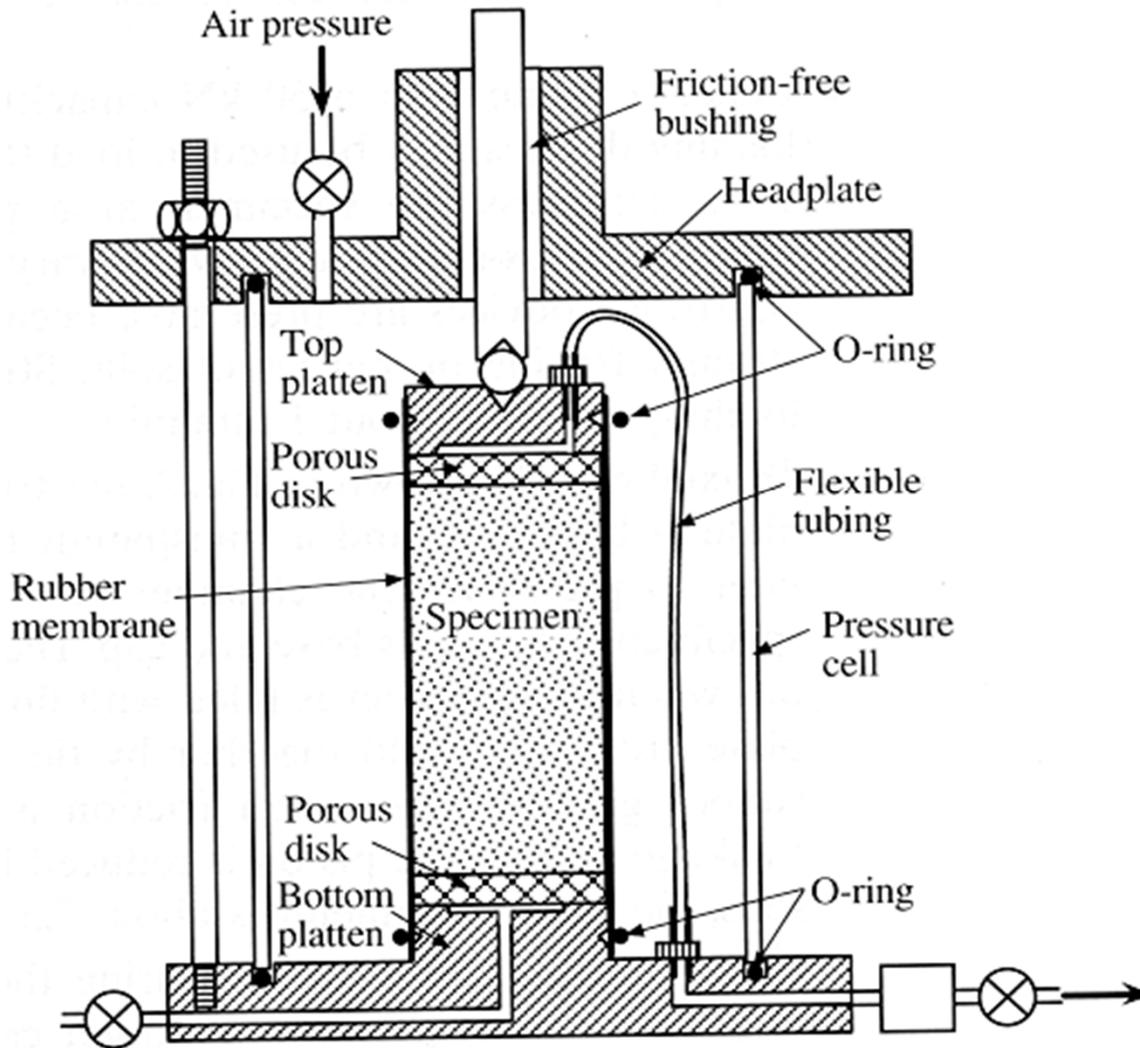
$$s = \sigma \tan[\phi]$$

Índice

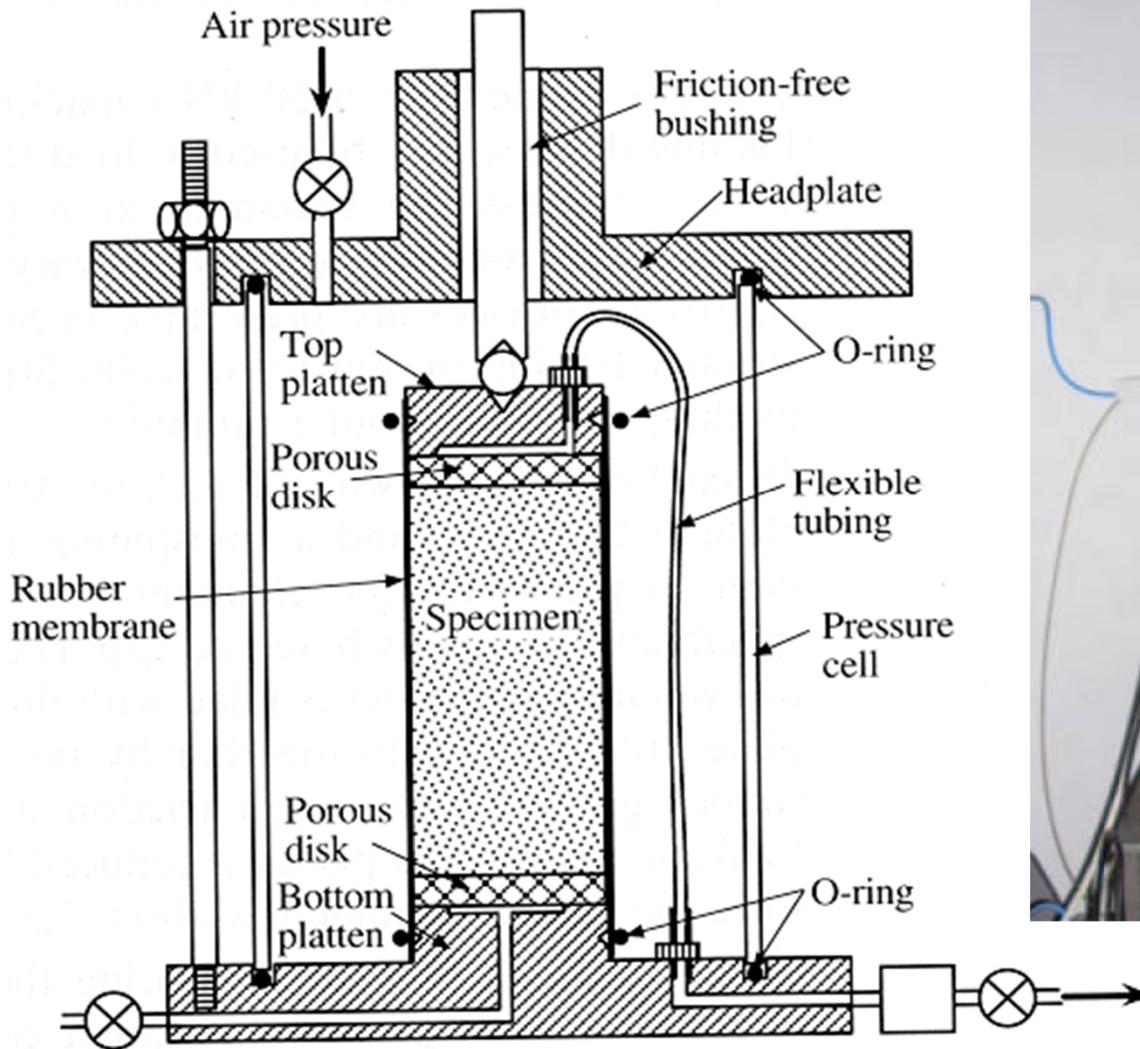


- El ángulo de fricción interna crítico
- El ensayo de corte directo
- **El ensayo triaxial**
- Ensayo lento (*S*), rápido (*Q*) e intermedio (*R*)
- Aspectos tecnológicos

Ensayo triaxial



Cámara triaxial

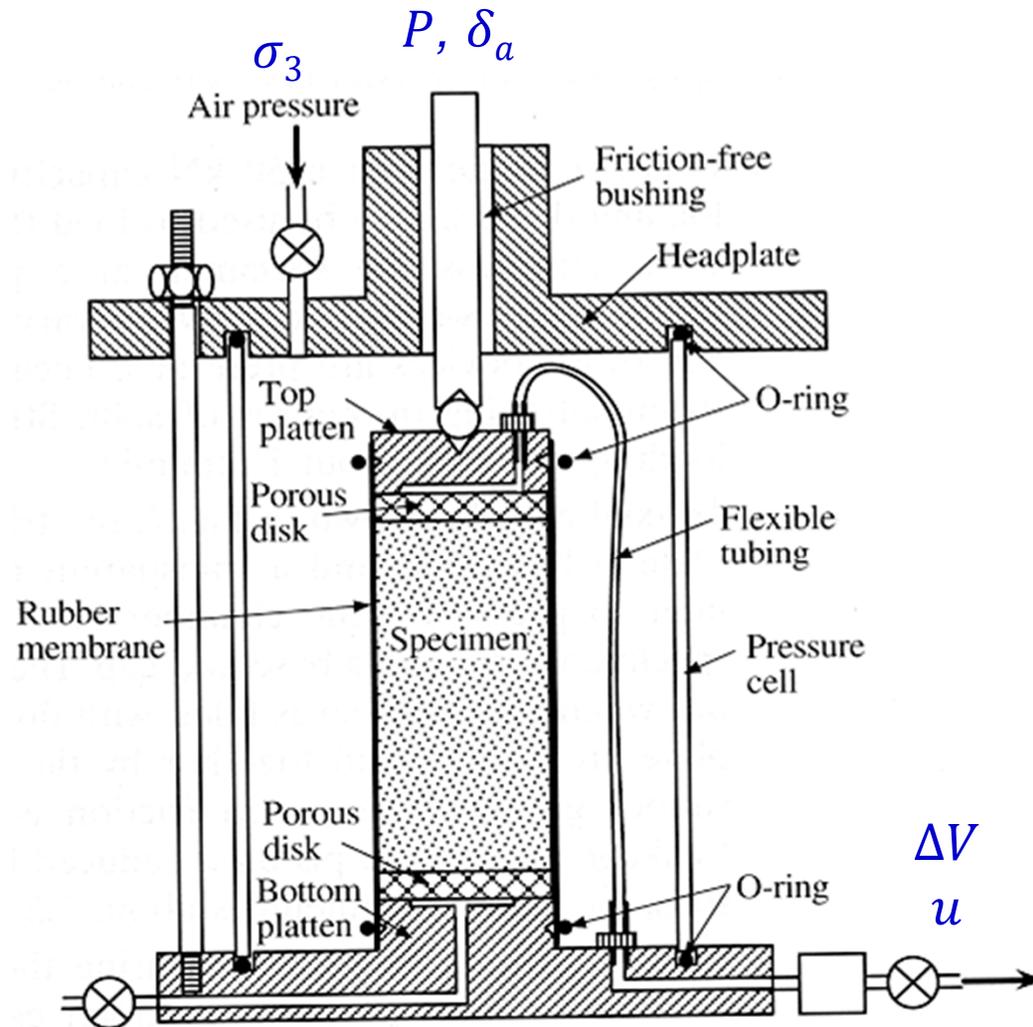


Ensayo triaxial: mediciones



Mediciones

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



Ensayo triaxial: cálculos

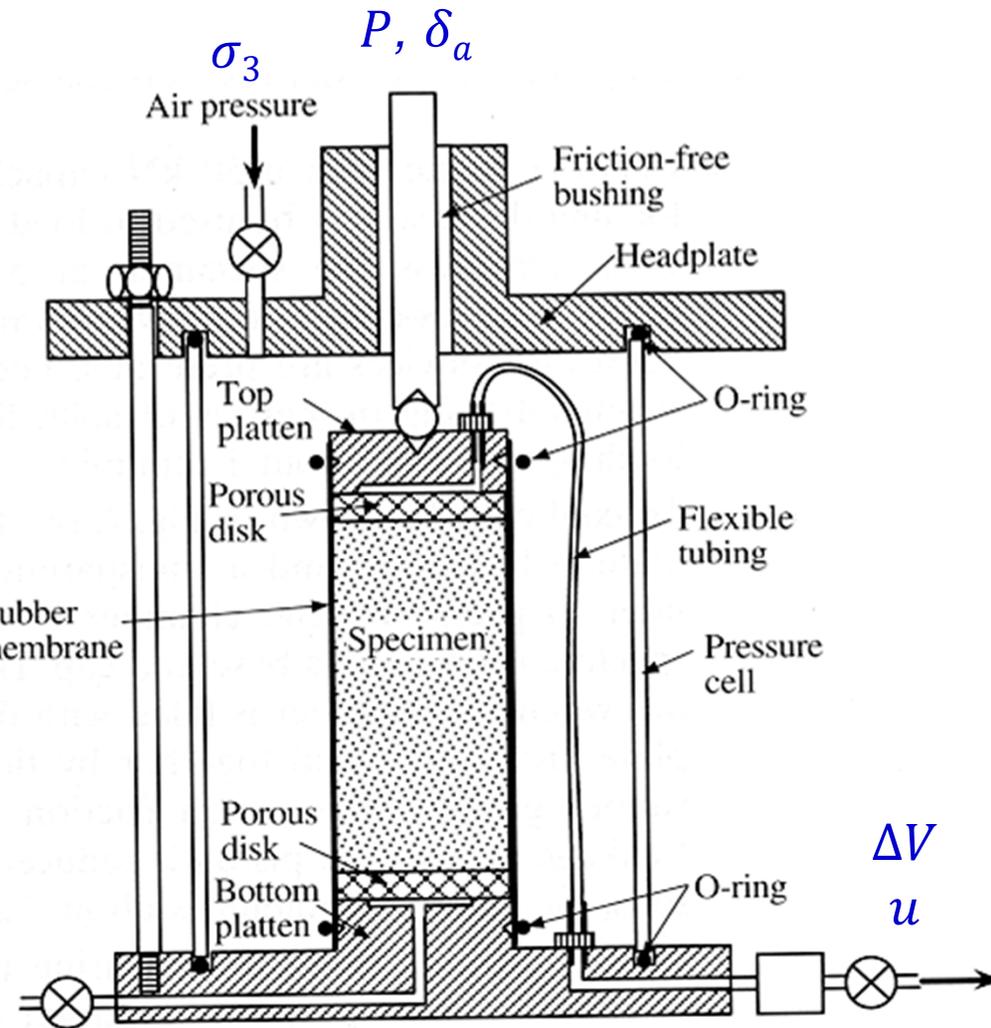


Cálculos

- $\sigma_d = P/A$
- $\epsilon_a = \delta_a / H$
- $\epsilon_v = \Delta V / V$
- Curva $\sigma_d - \epsilon_a$
- Resistencia $\sigma_{df} = \sigma_1 - \sigma_3 = q$
- Ángulo de fricción interna

$$- \sigma_1 = N_\phi \sigma_3 = \sigma_3 \frac{1 + \sin[\phi]}{1 - \sin[\phi]} \sigma_3$$

$$- q = Mp = \frac{6 \sin[\phi]}{3 - \sin[\phi]} p$$



Índice



virtualuniversity.issmge.org

- El ángulo de fricción interna crítico
- El ensayo de corte directo
- El ensayo triaxial
- Ensayo lento (*S*), rápido (*Q*) e intermedio (*R*)
- Aspectos tecnológicos

International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering

Advanced laboratory testing to characterize stiff, geologically aged clays

Part of ISSMGE's webinar series
June 1st 2015 @ 12 noon GMT

Richard Jardine
Prof. of Geomechanics
Imperial College, London

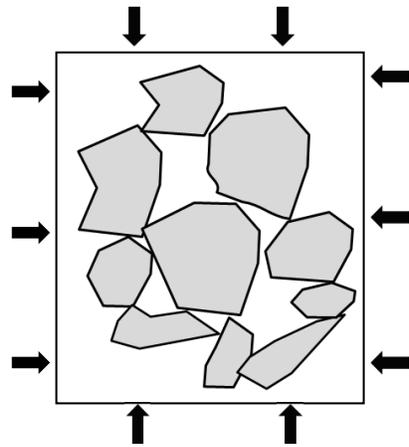
A two day Q&A session will follow the presentation on the ISSMGE website!

Para qué se emplea el ensayo triaxial

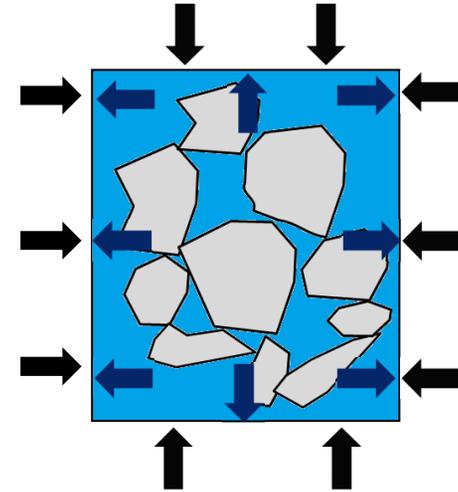


- El ensayo triaxial se emplea para predecir la resistencia del suelo
- Como el suelo está formado por partículas sólidas, agua y aire, ésta resistencia depende de la velocidad de carga
 - Muy rápido: ensayo Q (no consolidado - no drenado)
 - el agua y aire no tienen tiempo para drenar, el suelo se deforma a volumen constante
 - Muy lento: ensayo S (consolidado - drenado)
 - el agua y aire tienen tiempo para moverse, el suelo se deforma con volumen variable, el agua y aire mantienen la presión constante
 - Construcción típica : ensayo R (consolidado - no drenado)
 - Representa carga permanente lenta, carga accidental rápida

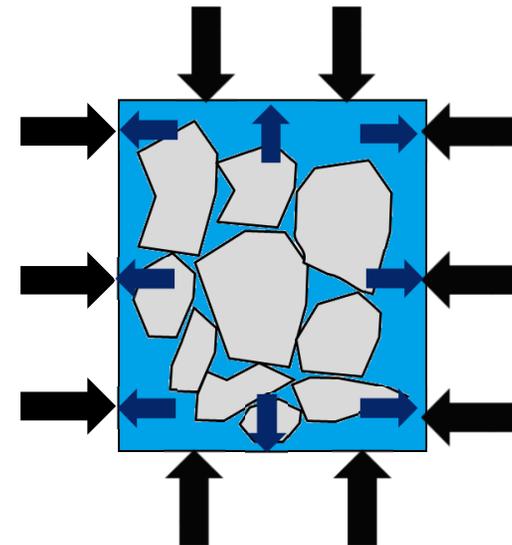
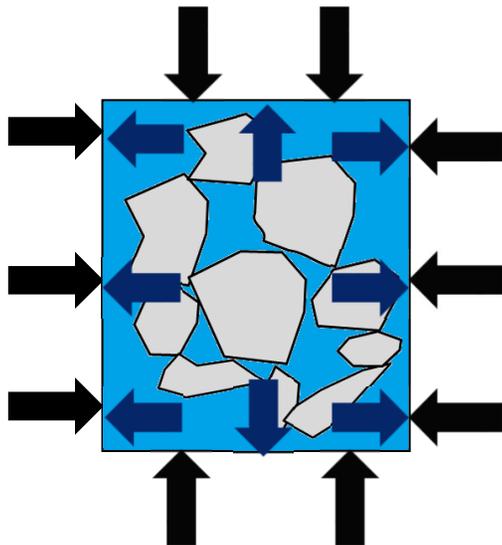
Etapas de saturación y consolidación (previo a ensayar la muestra)



Saturación



Consolidación

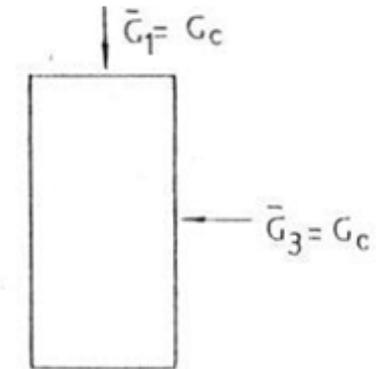
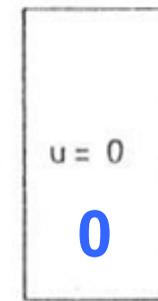
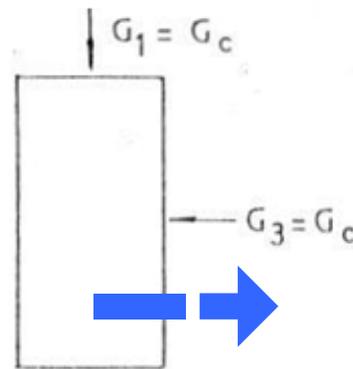


Ensayo S: lento, drenado

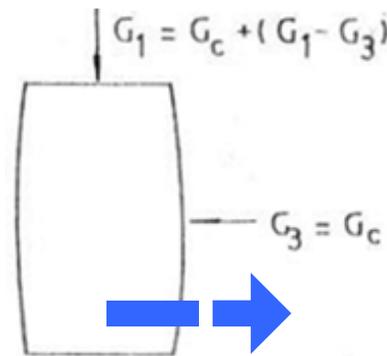


Presiones totales de Poros Efectivas

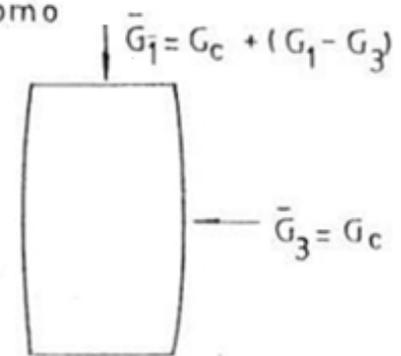
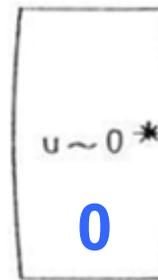
Al fin de la consolidación isotrópica



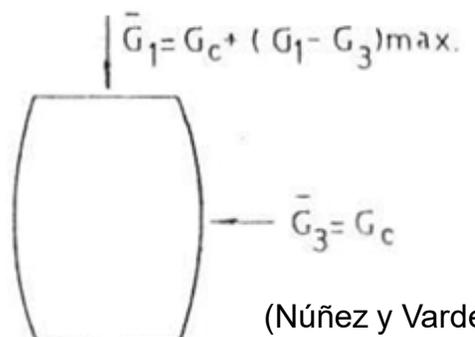
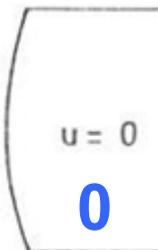
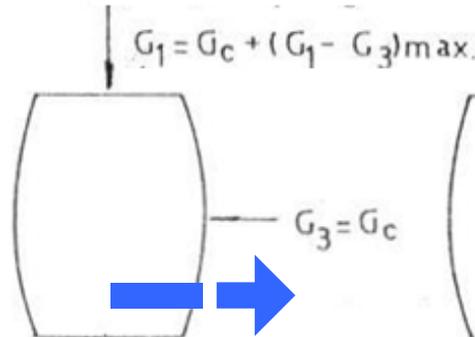
Durante el incremento de carga axial



* Tan próximo a 0 como resulte posible

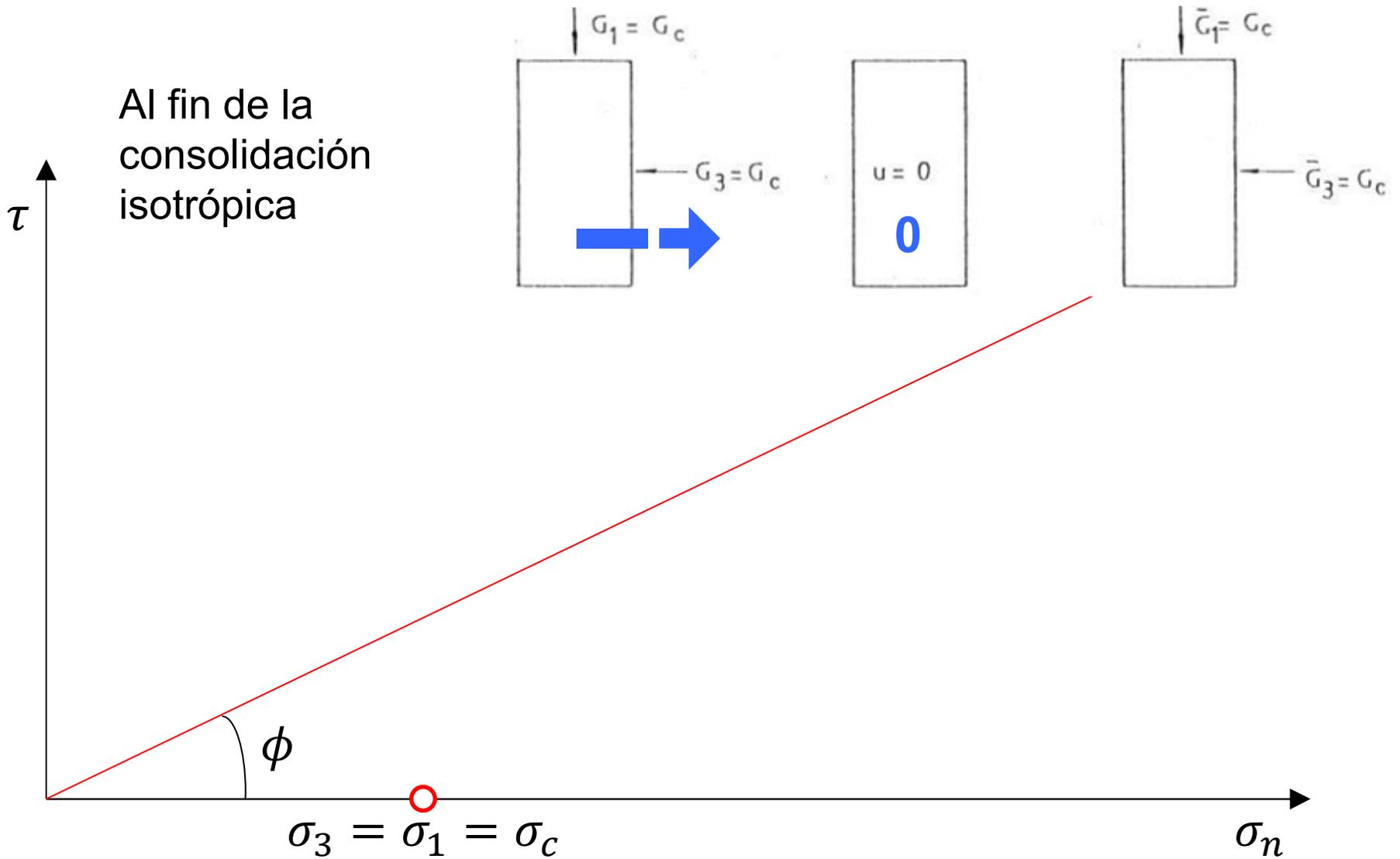


En rotura

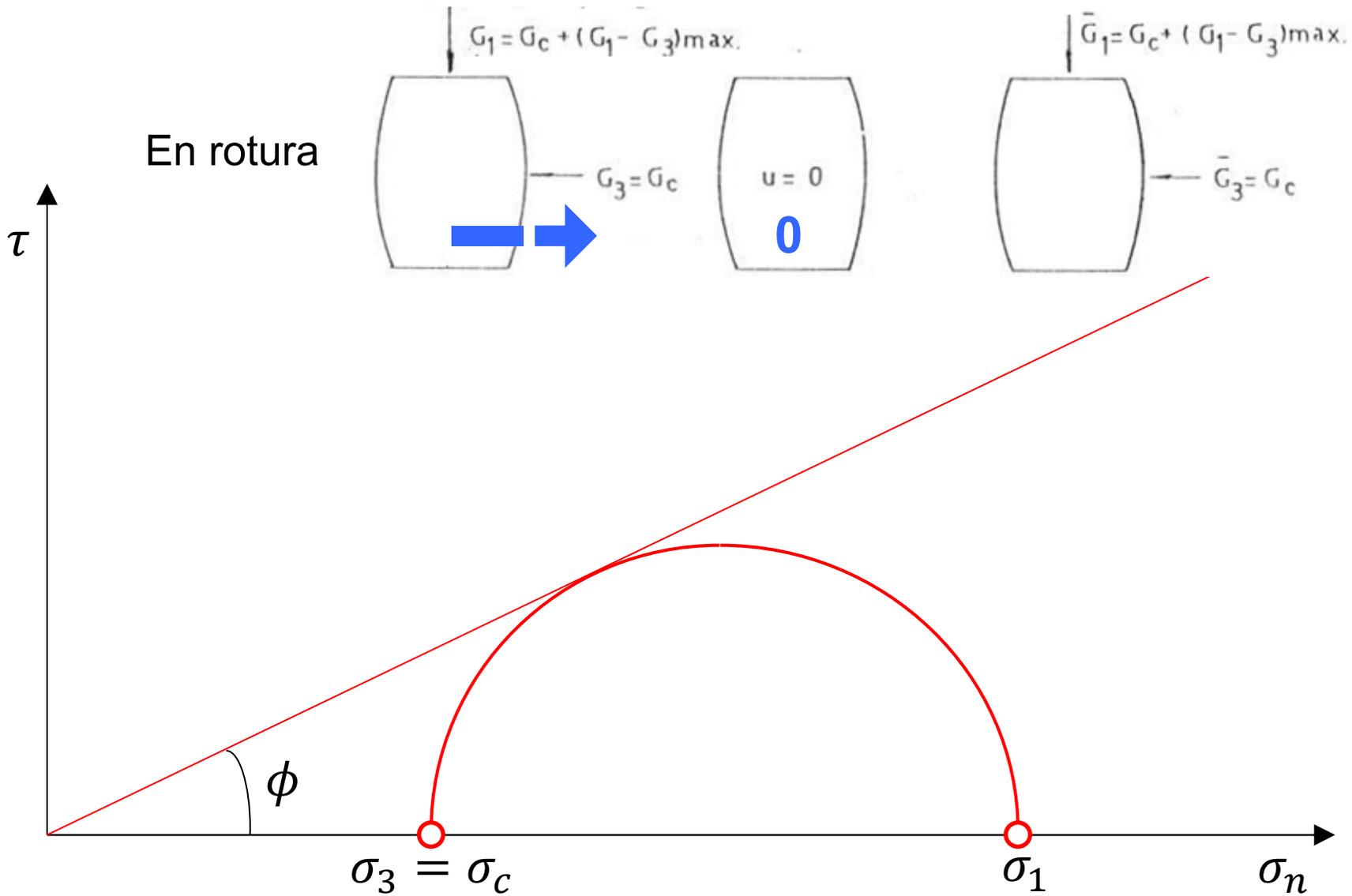


(Núñez y Vardé 1973)

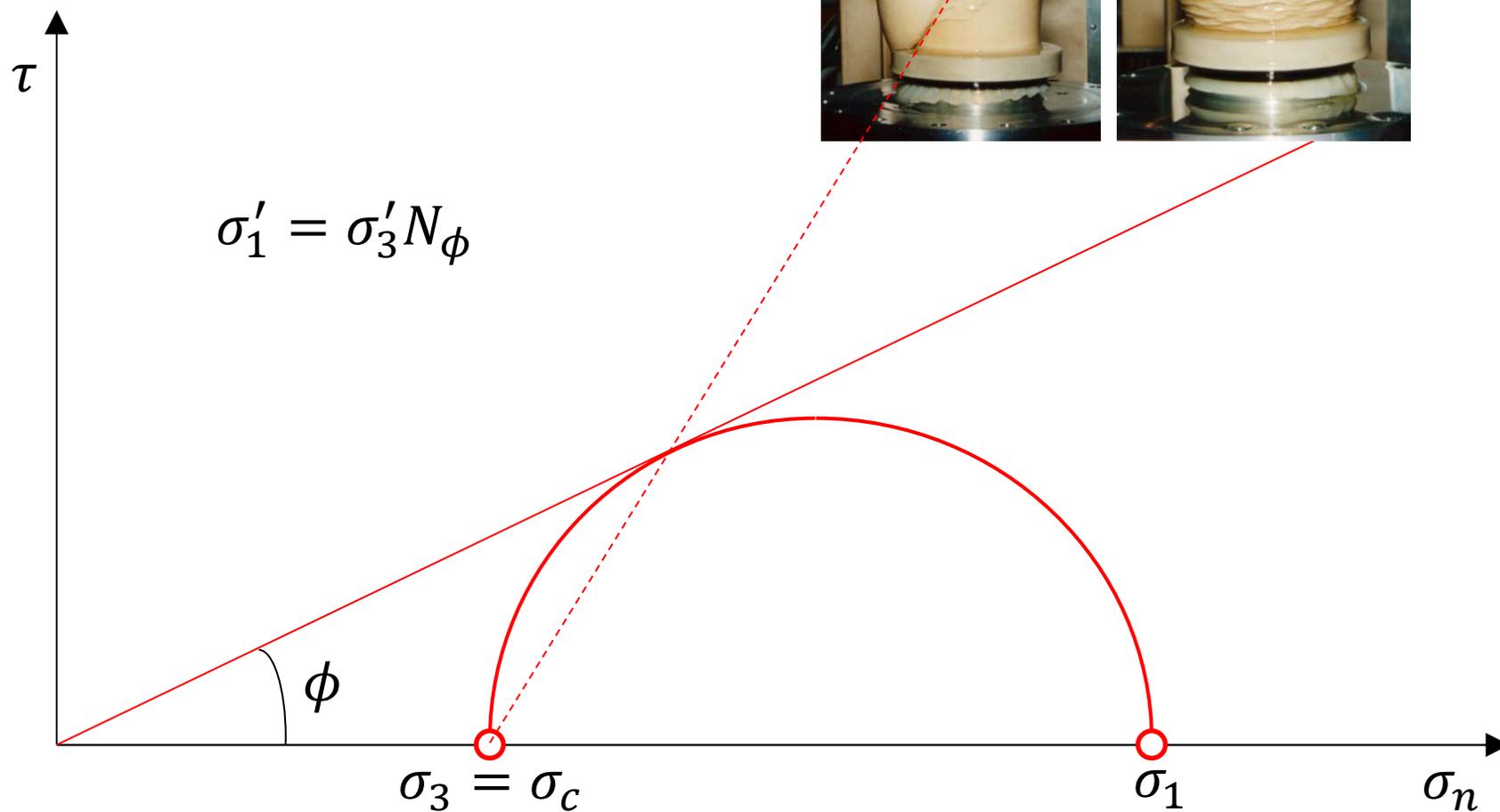
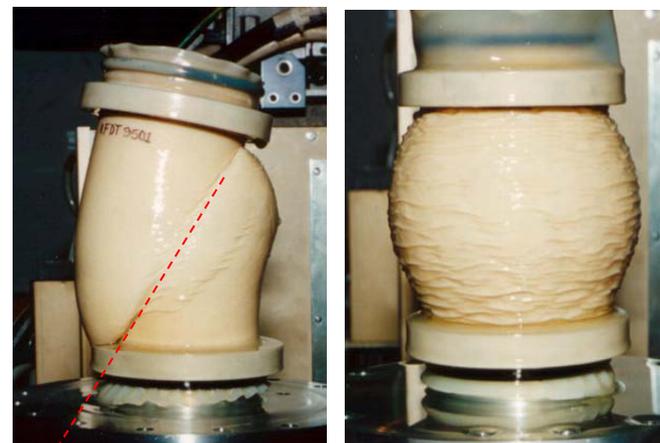
Ensayo S: lento, drenado



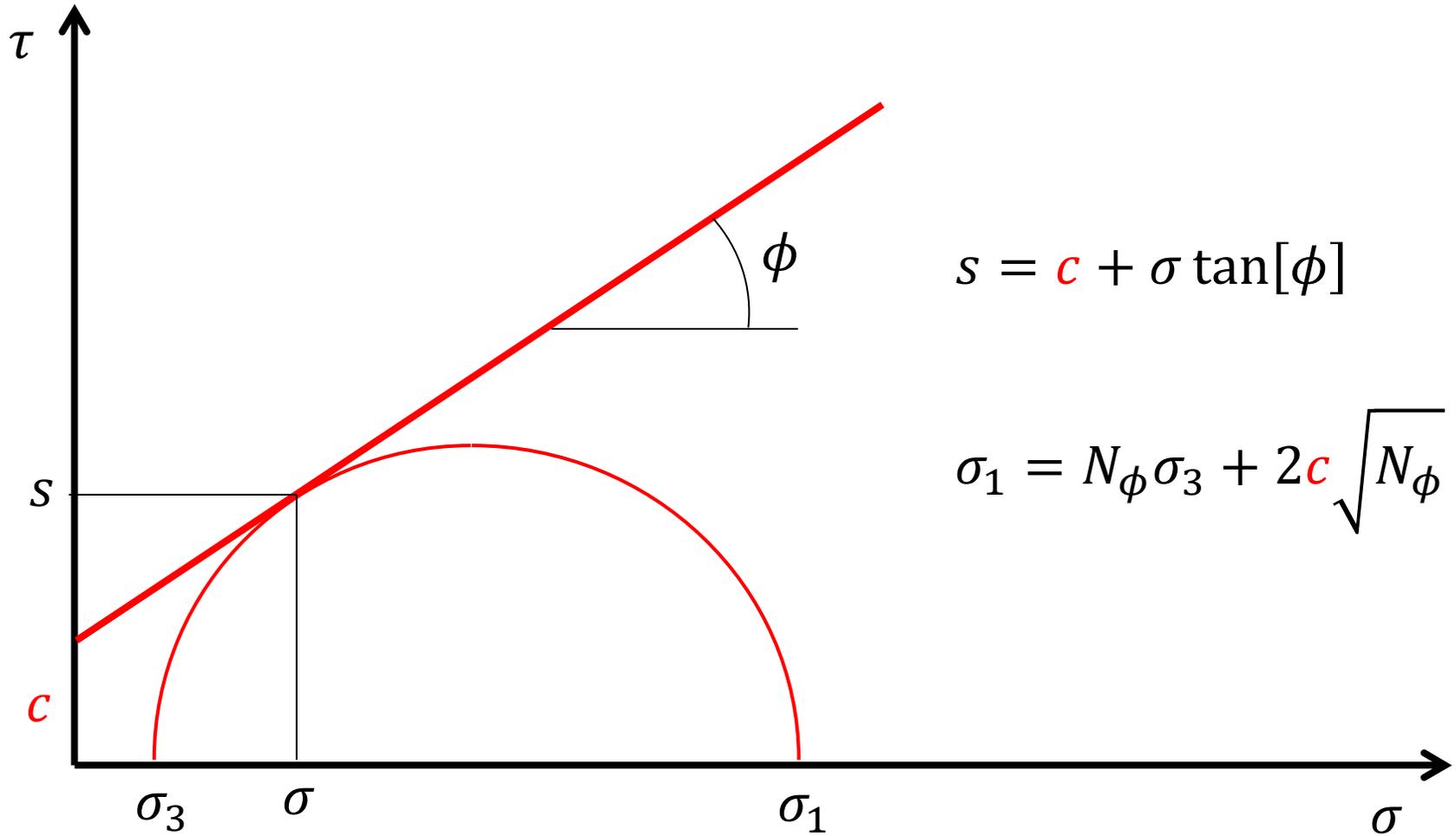
Ensayo S: lento, drenado



Ensayo S: lento, drenado



Suelo cementado



$$s = c + \sigma \tan[\phi]$$

$$\sigma_1 = N_\phi \sigma_3 + 2c \sqrt{N_\phi}$$

Ensayo Q: rápido, no drenado

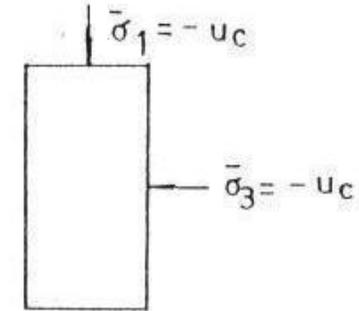
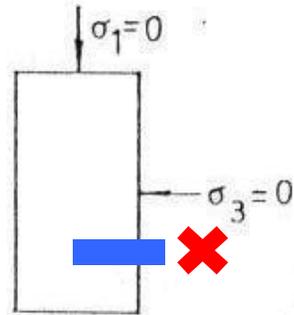


Presiones totales de Poros

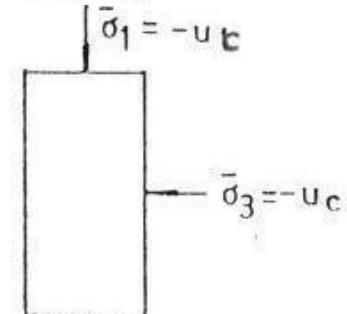
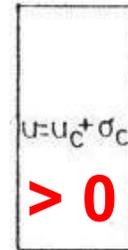
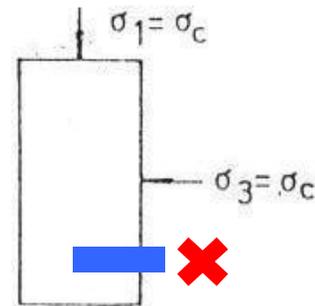
Efectivas

* u_c es menor que la presión atmosférica

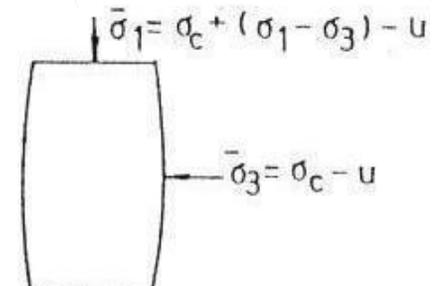
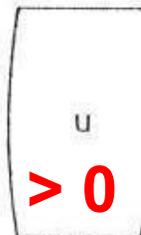
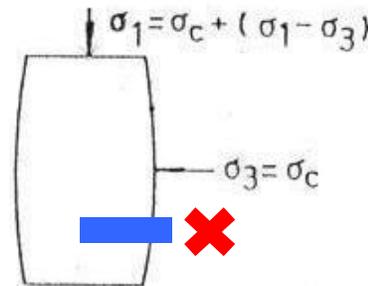
Antes de aplicar el confinamiento



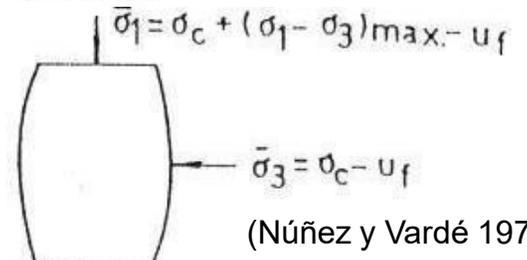
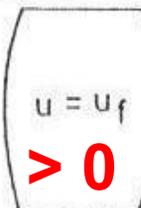
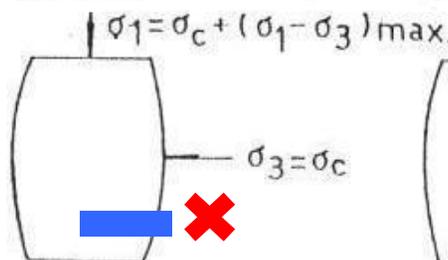
Después de aplicar el confinamiento



Durante el incremento de carga axial

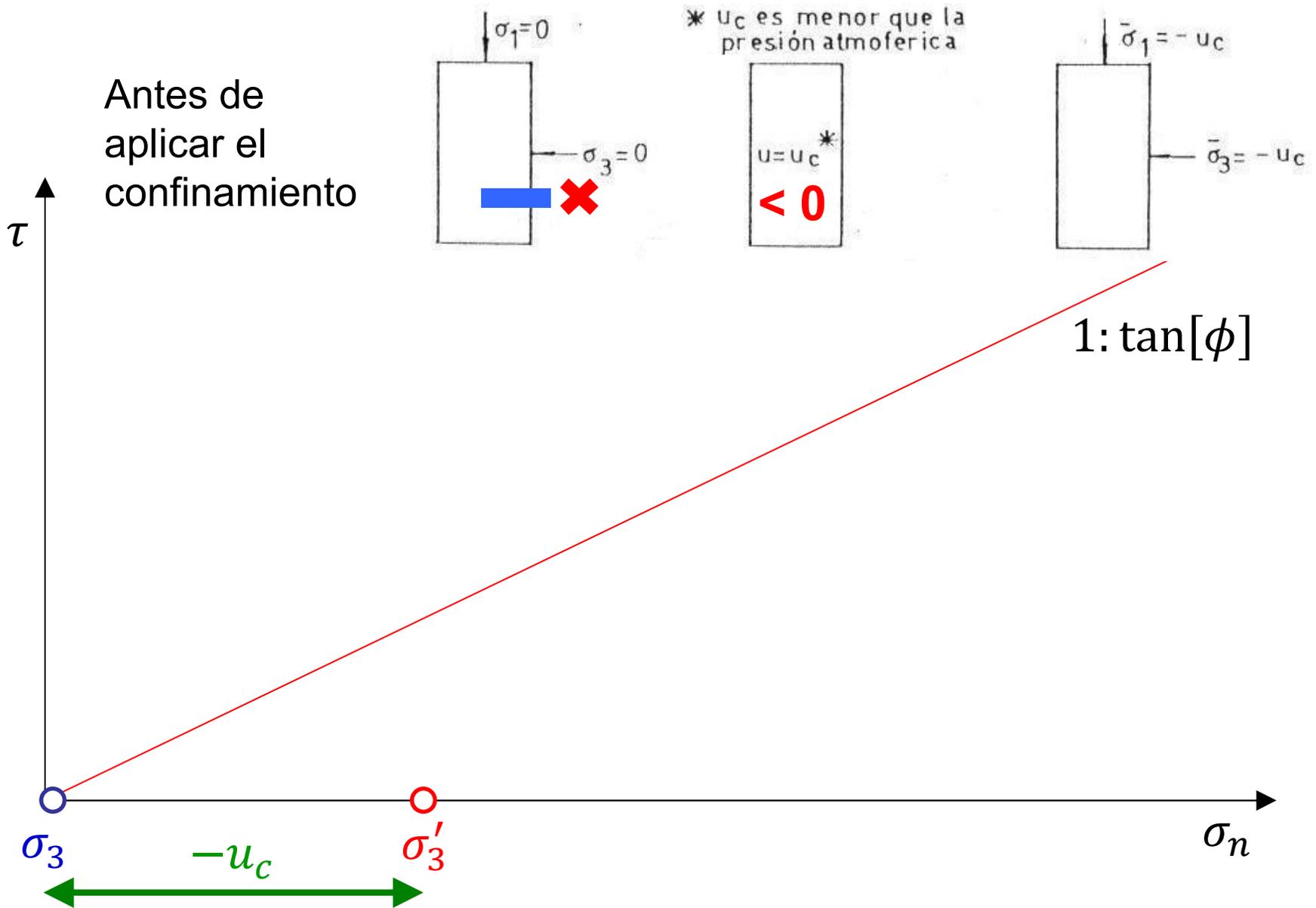


En rotura



(Núñez y Vardé 1973)

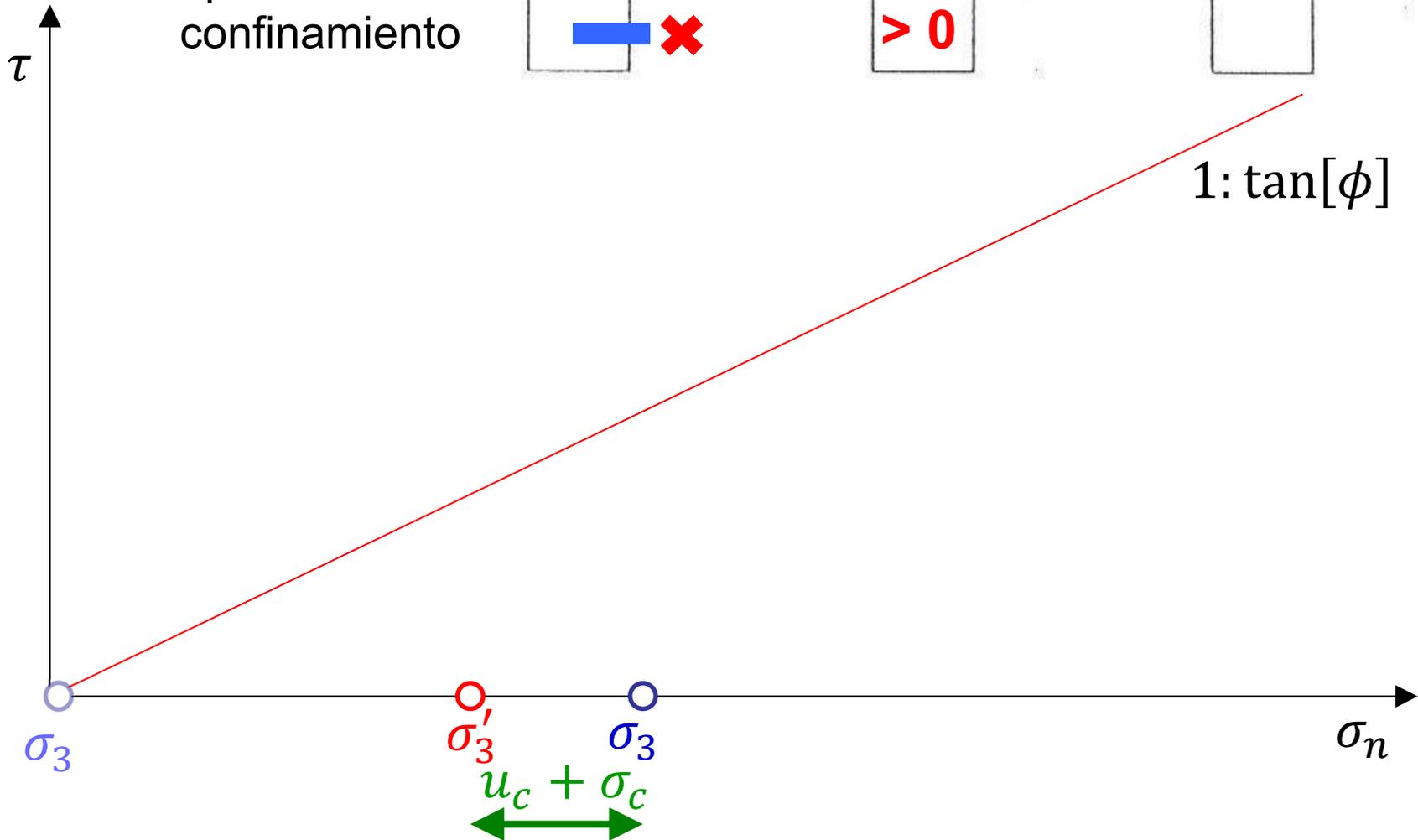
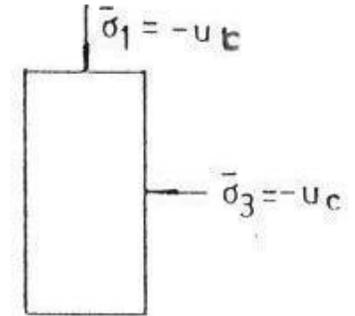
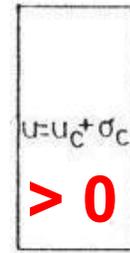
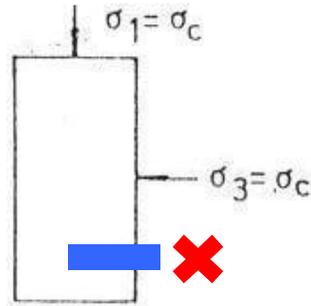
Ensayo Q: rápido, no drenado



Ensayo Q: rápido, no drenado



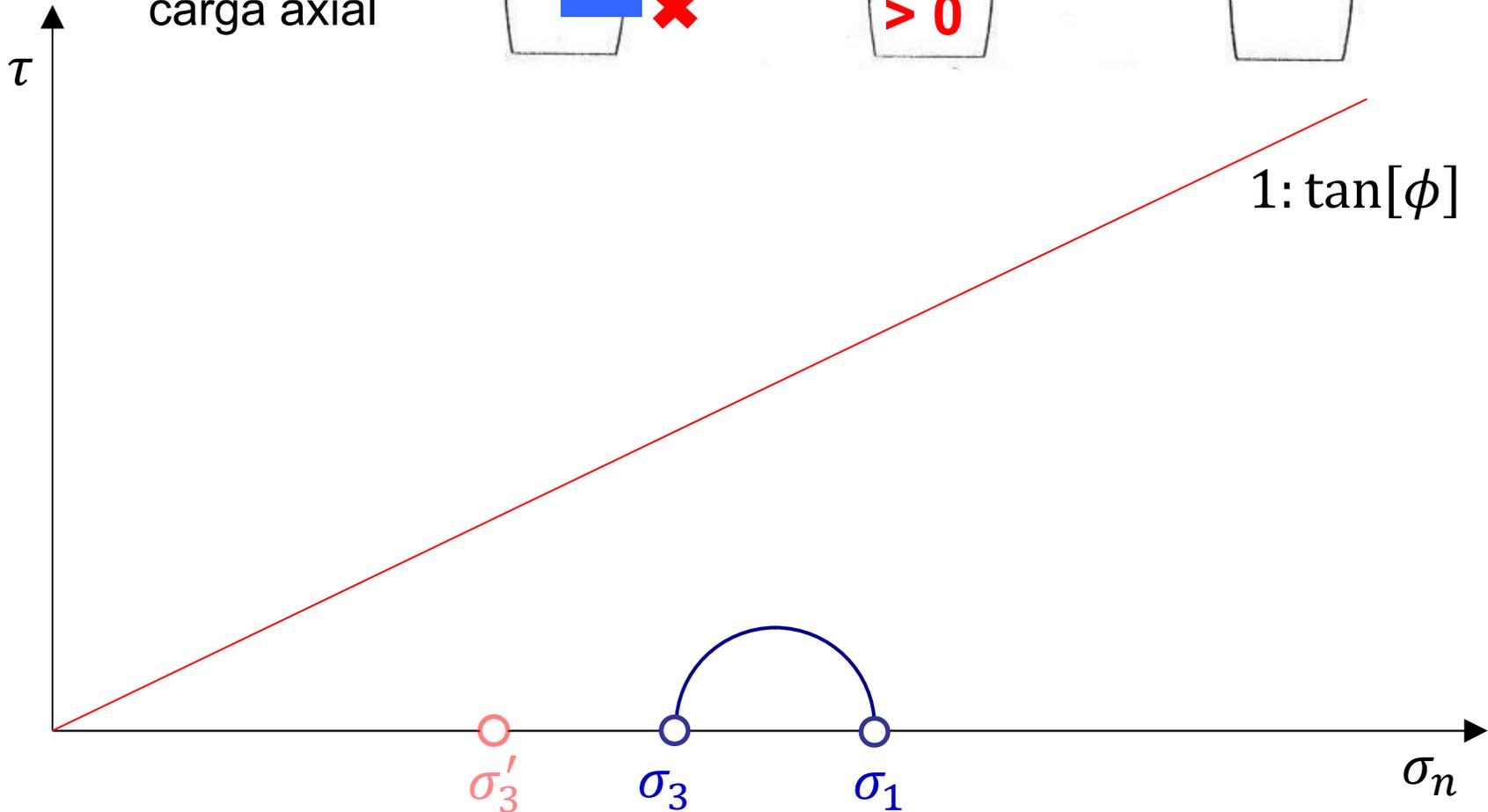
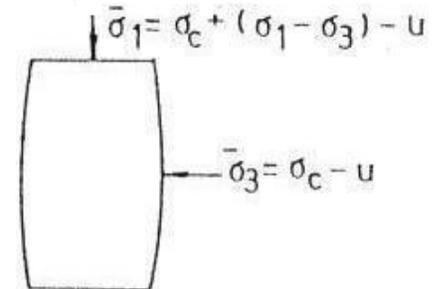
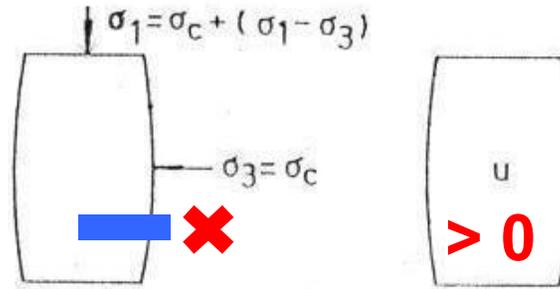
Después de aplicar el confinamiento



Ensayo Q: rápido, no drenado



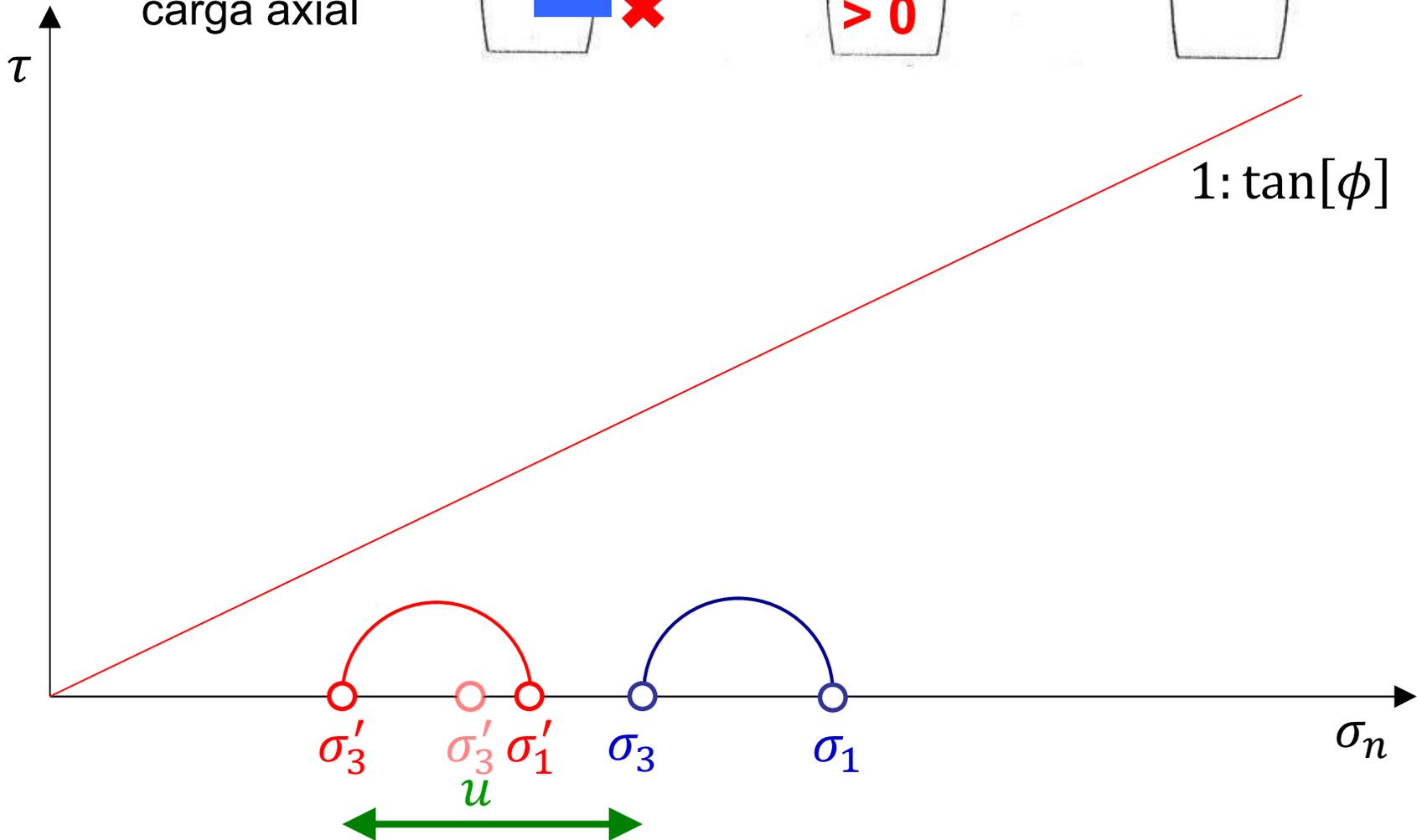
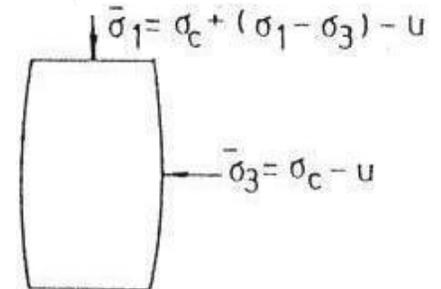
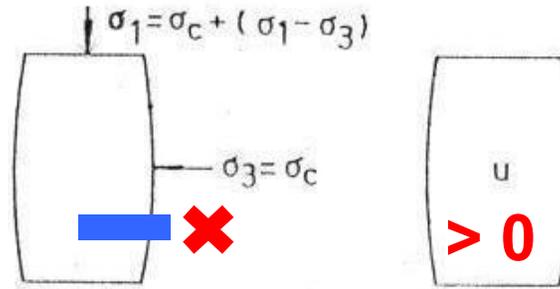
Durante el incremento de carga axial



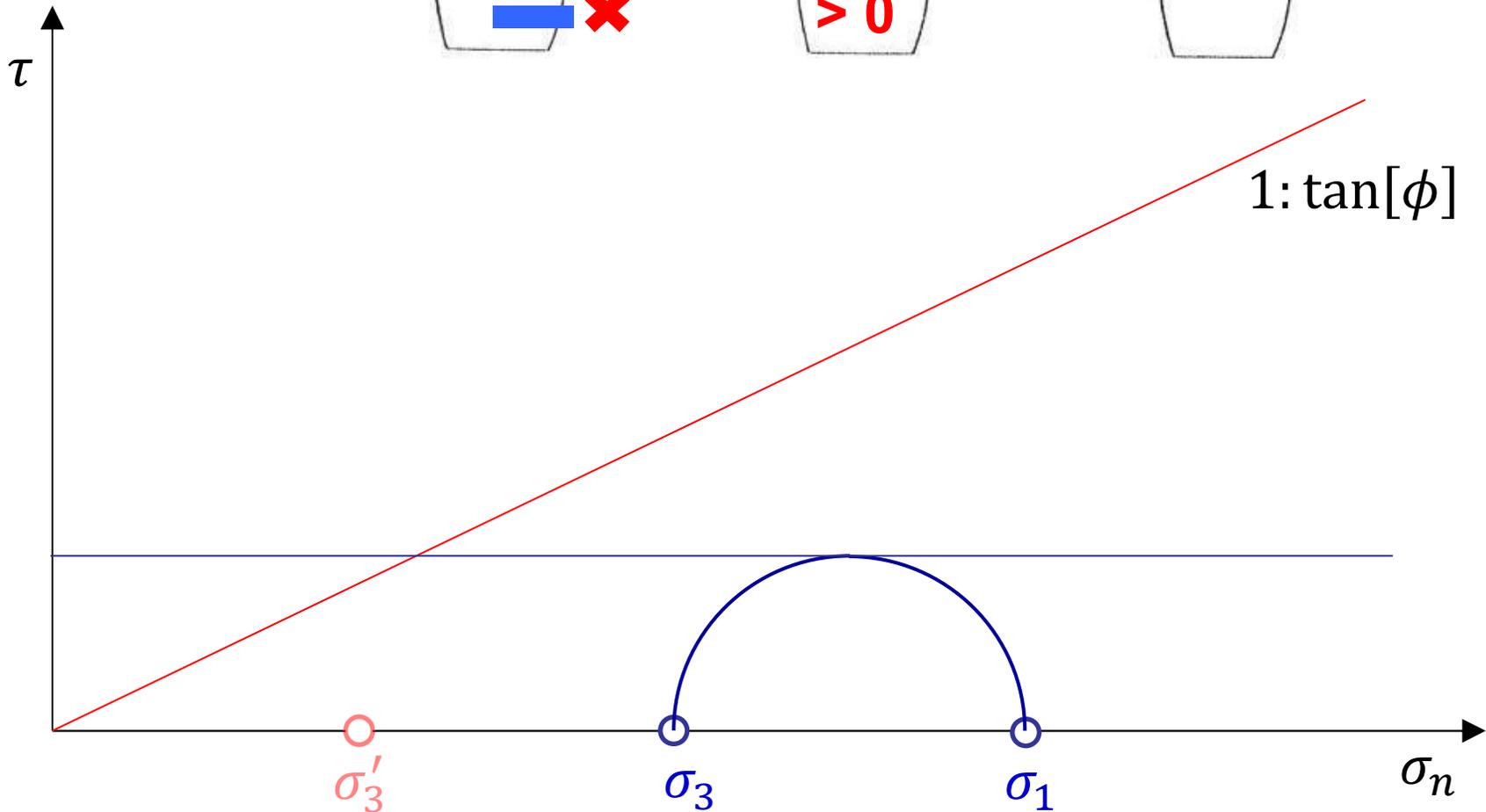
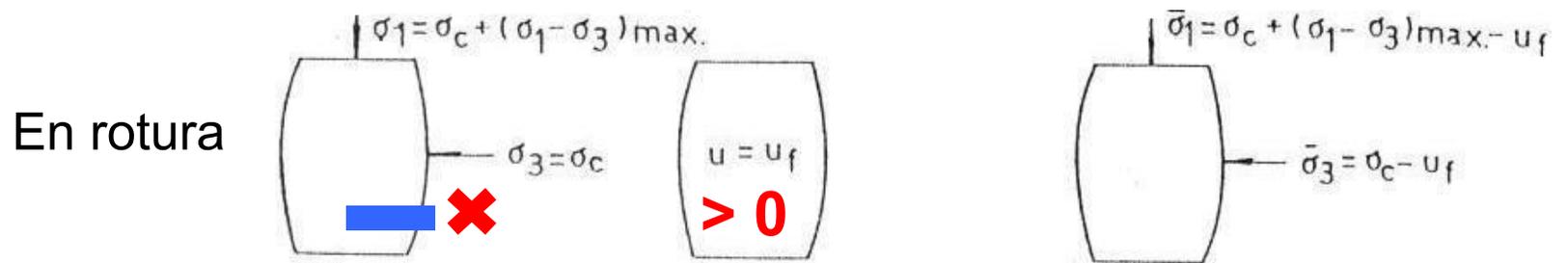
Ensayo Q: rápido, no drenado



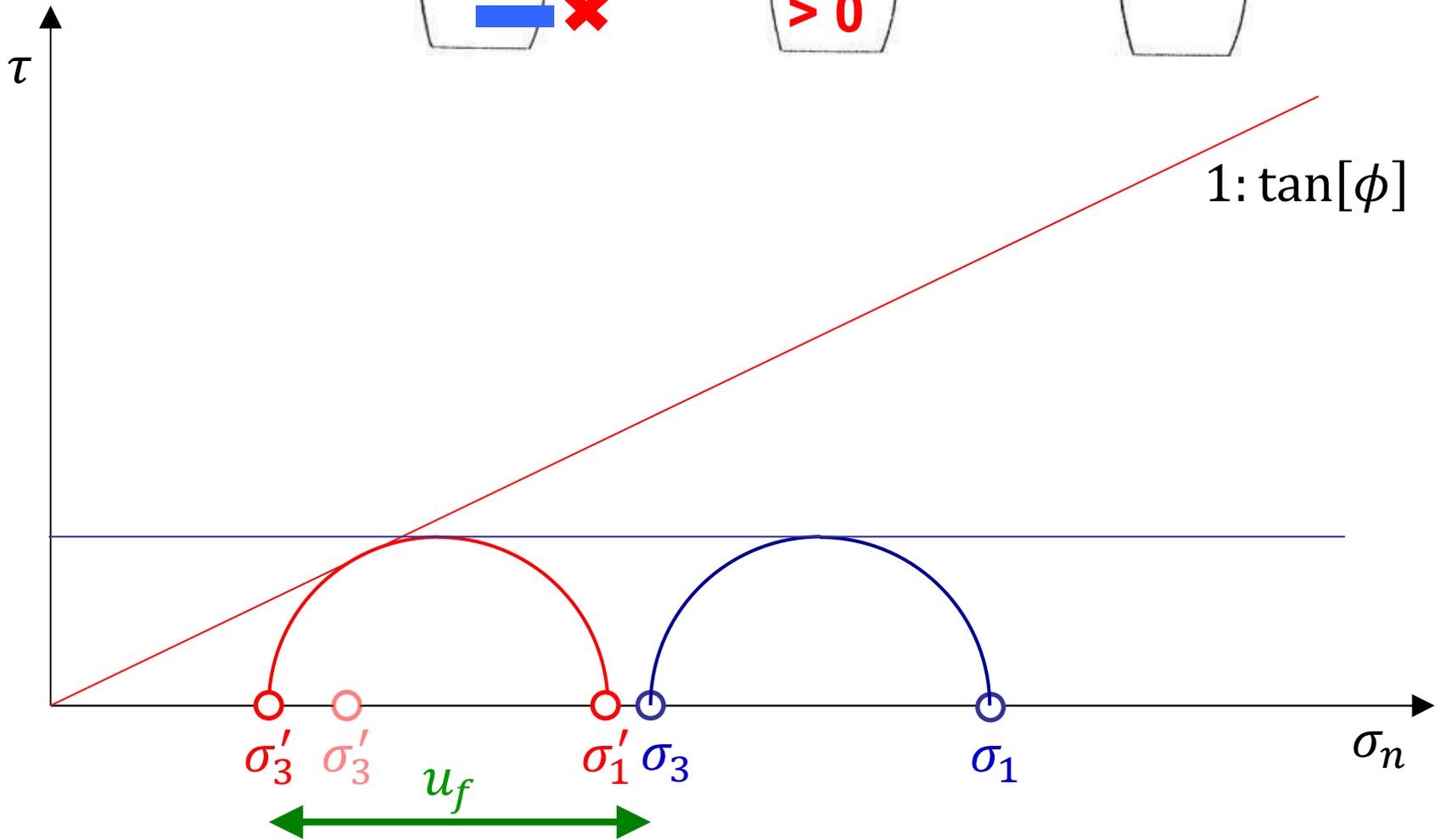
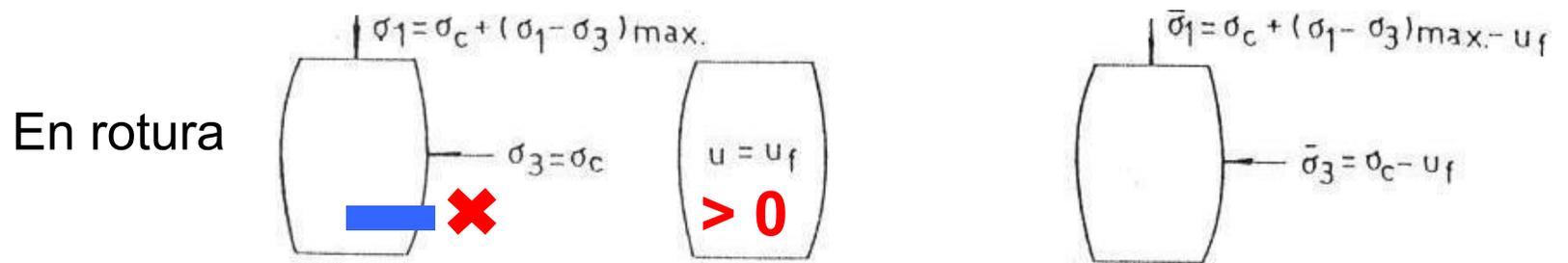
Durante el incremento de carga axial



Ensayo Q: rápido, no drenado



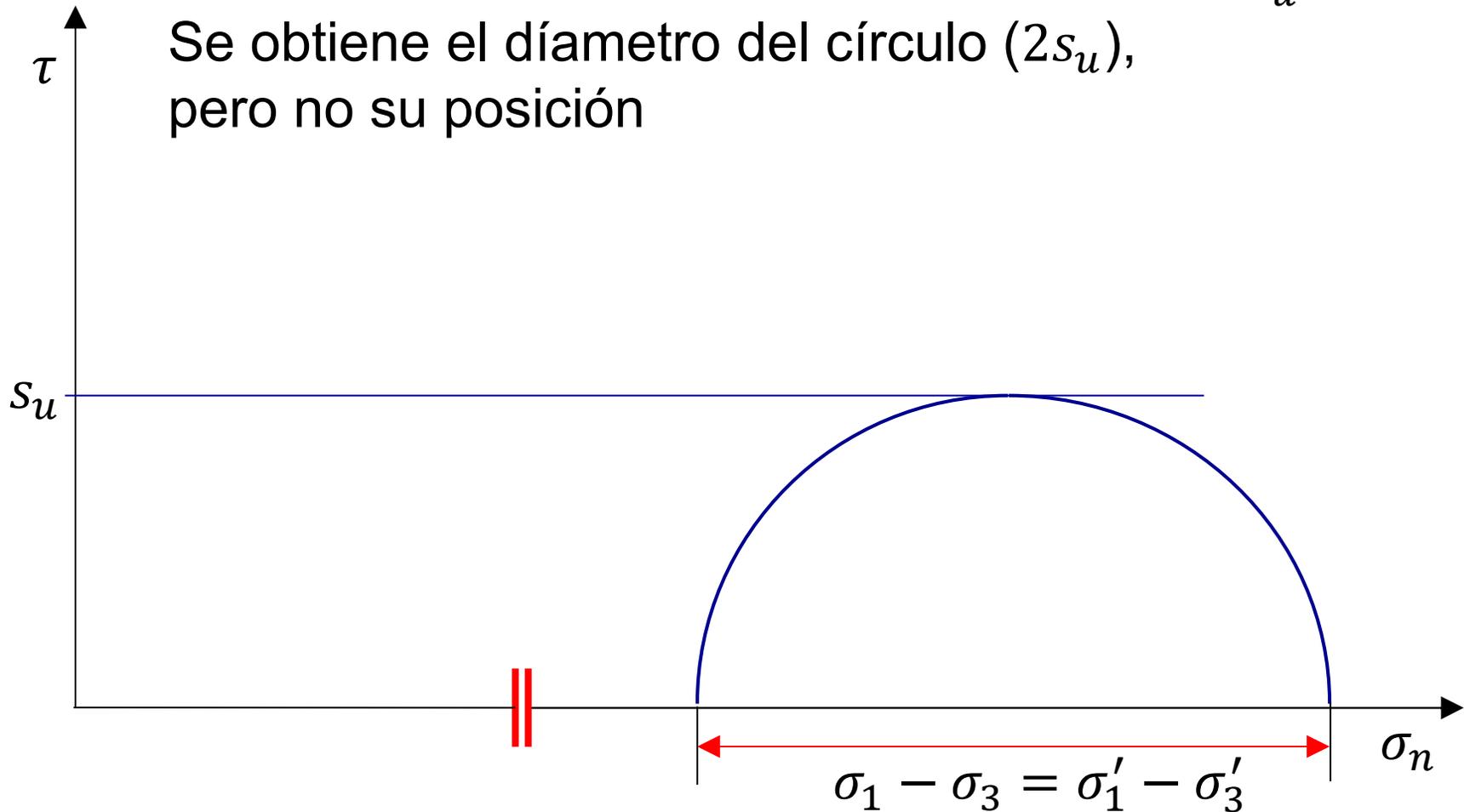
Ensayo Q: rápido, no drenado



Ensayo Q: rápido, no drenado



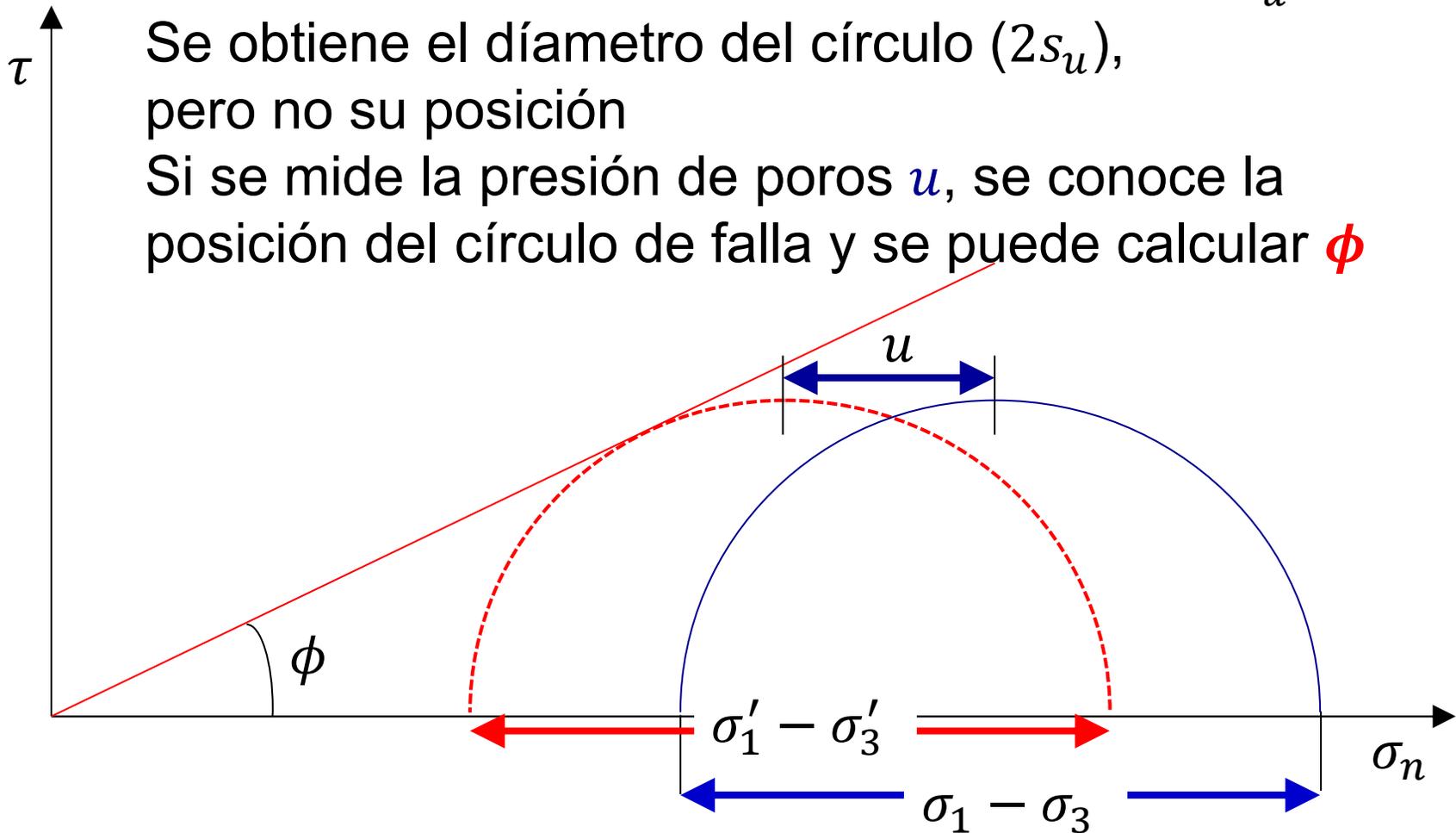
Se mide la “resistencia al corte no drenada” s_u
Se obtiene el diámetro del círculo ($2s_u$),
pero no su posición



Ensayo Q: rápido, no drenado



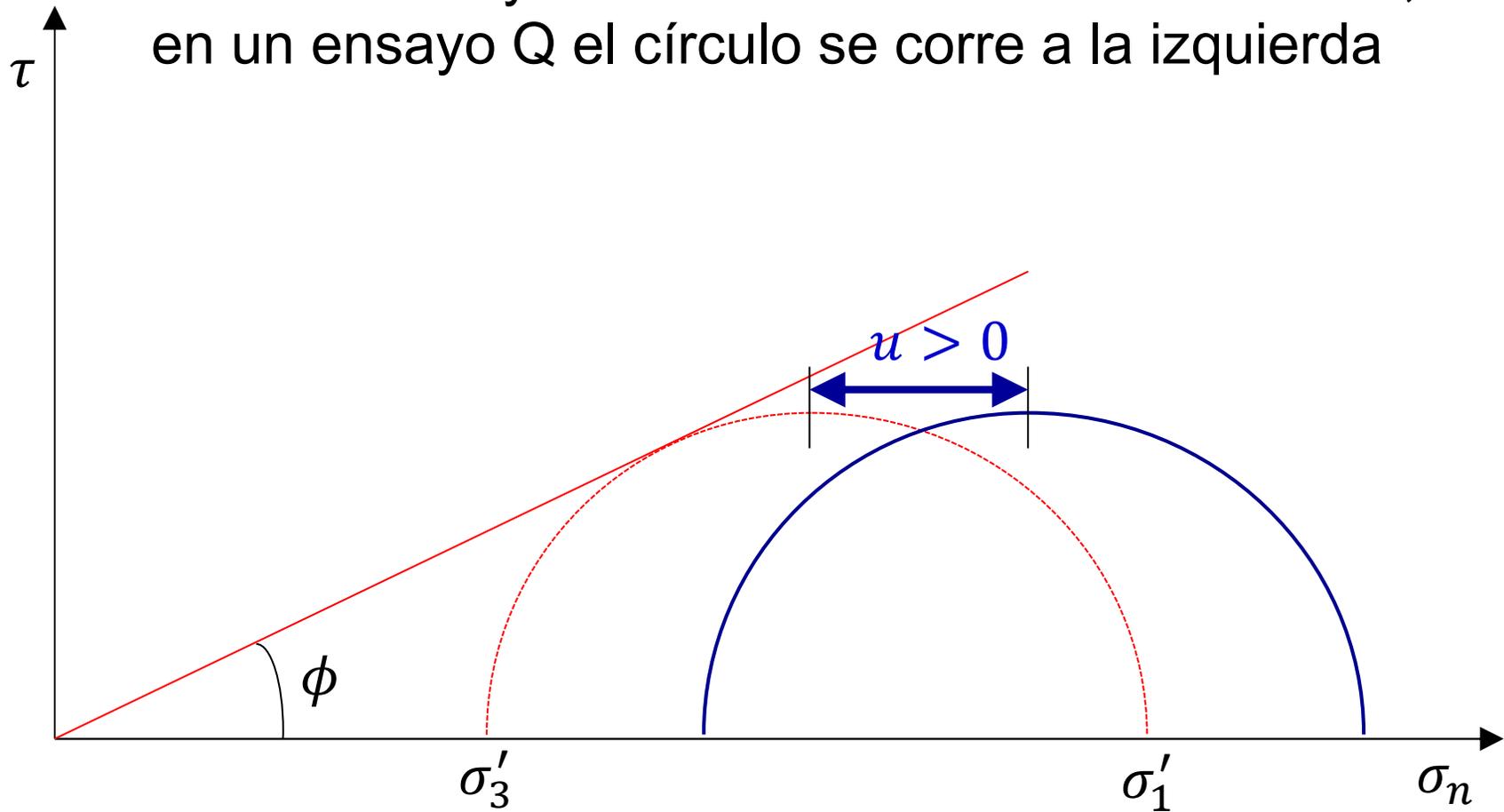
Se mide la “resistencia al corte no drenada” s_u
Se obtiene el diámetro del círculo ($2s_u$),
pero no su posición
Si se mide la presión de poros u , se conoce la
posición del círculo de falla y se puede calcular ϕ



Ensayo Q: rápido, no drenado



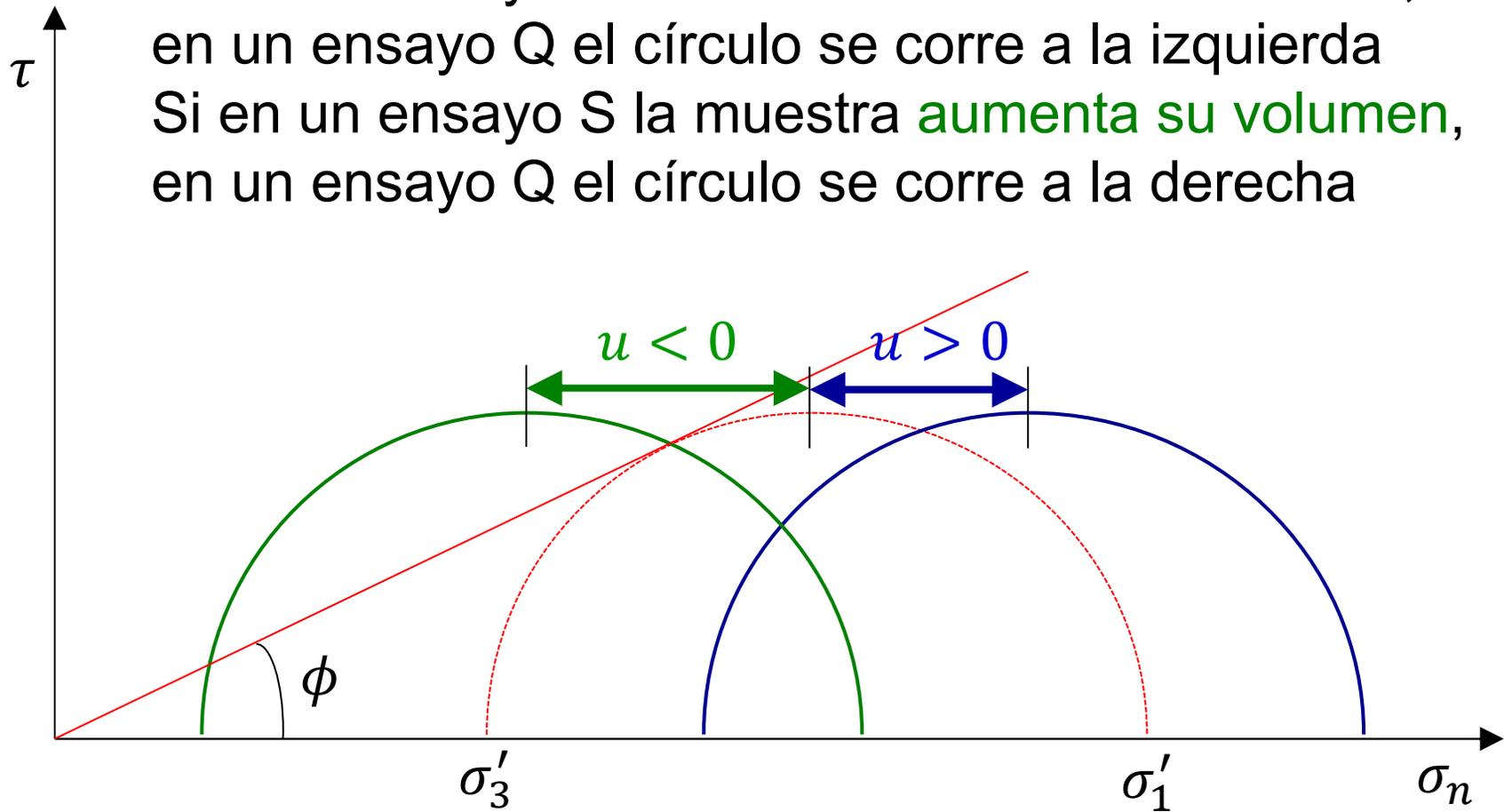
Si en un ensayo S la muestra **reduce su volumen**, en un ensayo Q el círculo se corre a la izquierda



Ensayo Q: rápido, no drenado



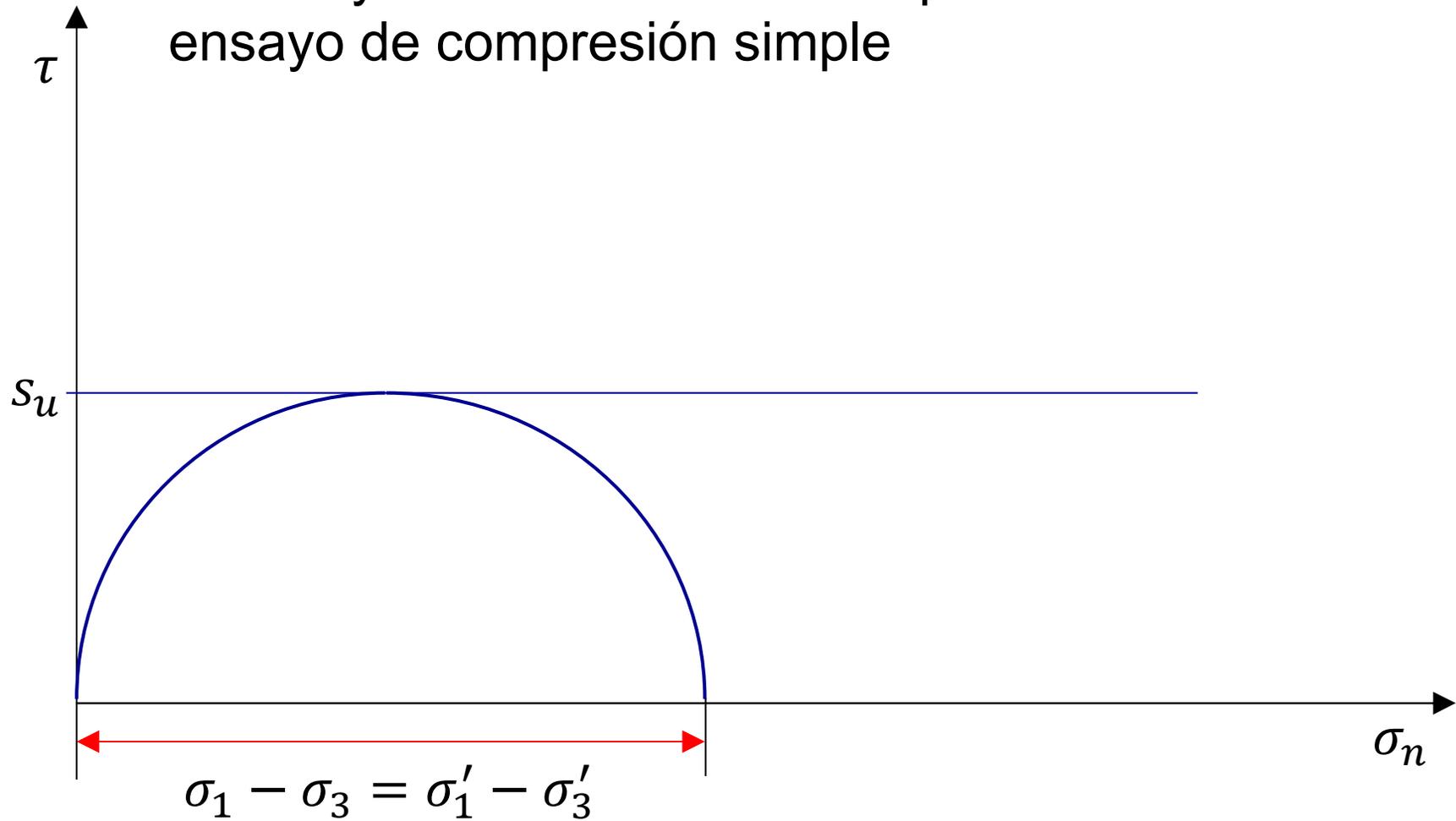
Si en un ensayo S la muestra **reduce su volumen**,
en un ensayo Q el círculo se corre a la izquierda
Si en un ensayo S la muestra **aumenta su volumen**,
en un ensayo Q el círculo se corre a la derecha



Ensayo de compresión simple



El ensayo no drenado más simple de todos es el ensayo de compresión simple



Ensayo de compresión simple

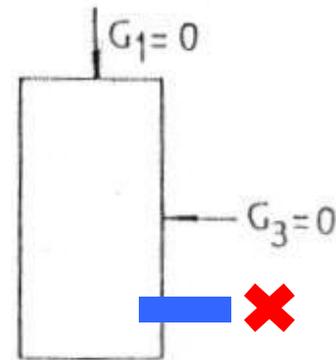


Presiones totales

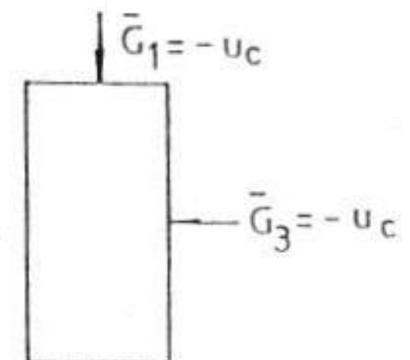
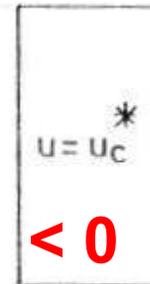
de Poros

Efectivas

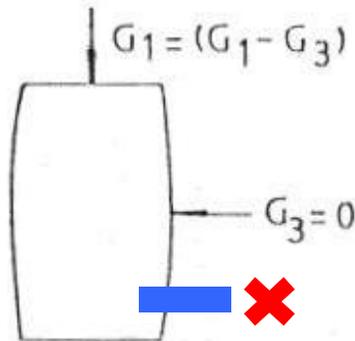
Antes del incremento de carga axial



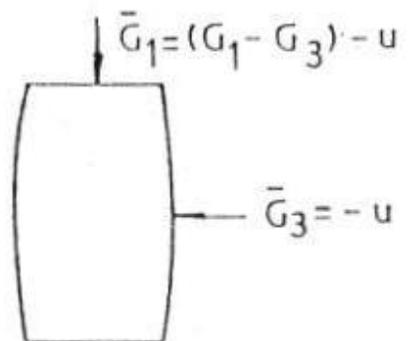
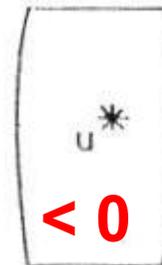
* u_c menor que la presión atmosférica



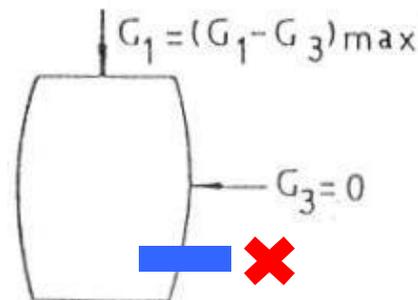
Durante el incremento de carga axial



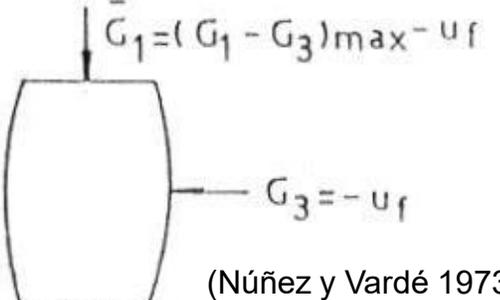
* u menor que la presión atmosférica



En rotura



* u_f menor que la presión atmosférica

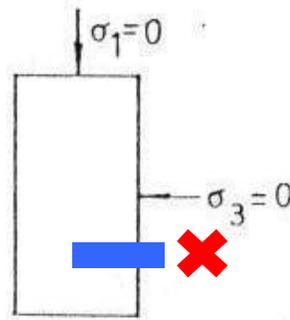


(Núñez y Vardé 1973)

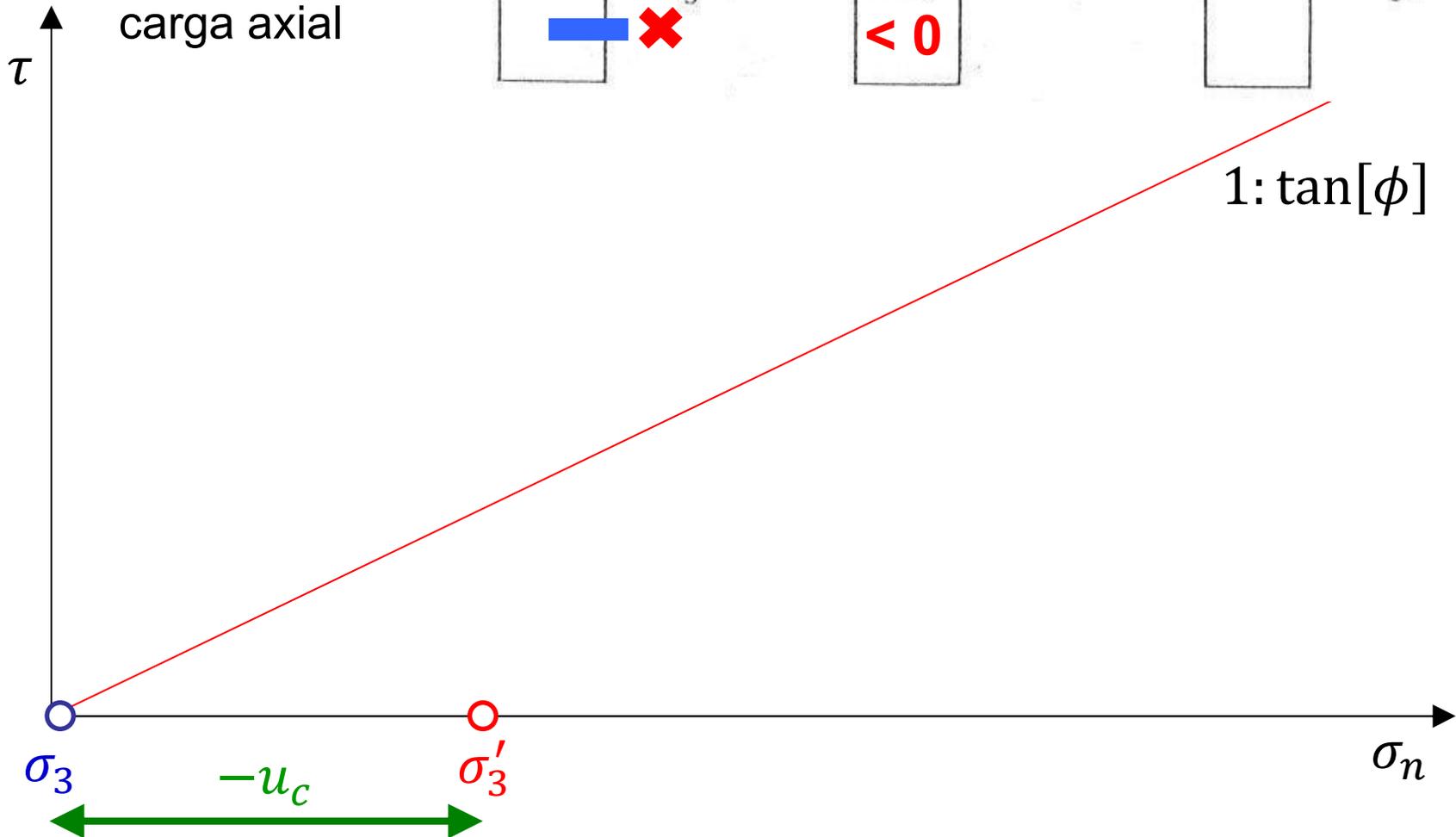
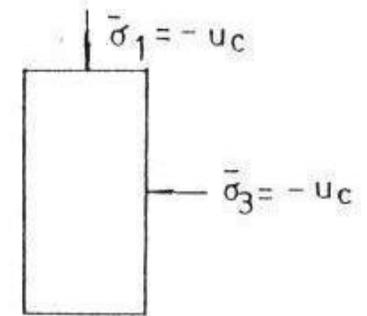
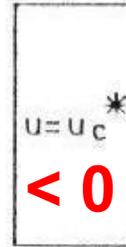
Ensayo de compresión simple



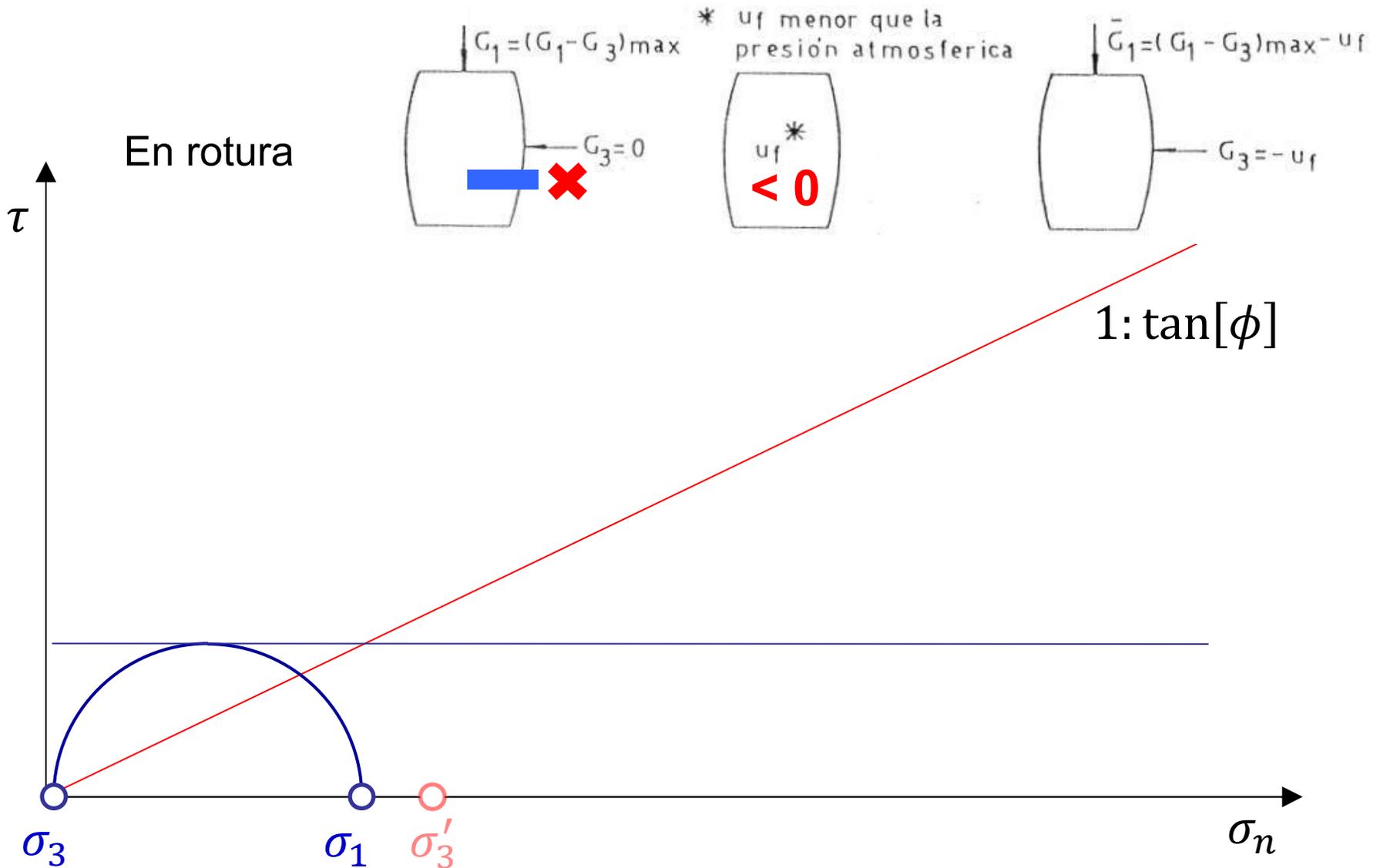
Antes del
incremento de
carga axial



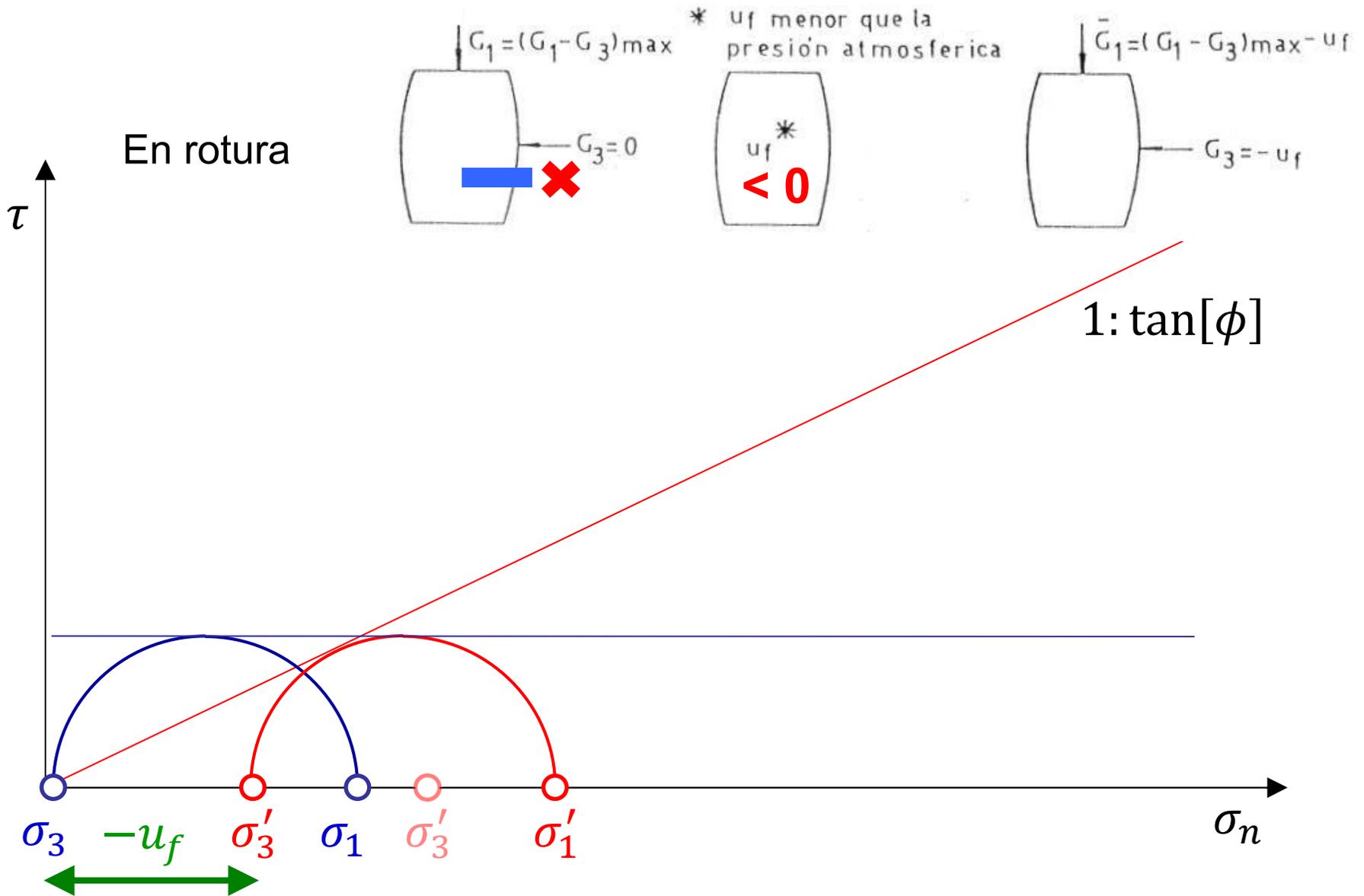
* u_c es menor que la
presión atmosférica



Ensayo de compresión simple



Ensayo de compresión simple



Ensayo Q: curvas típicas



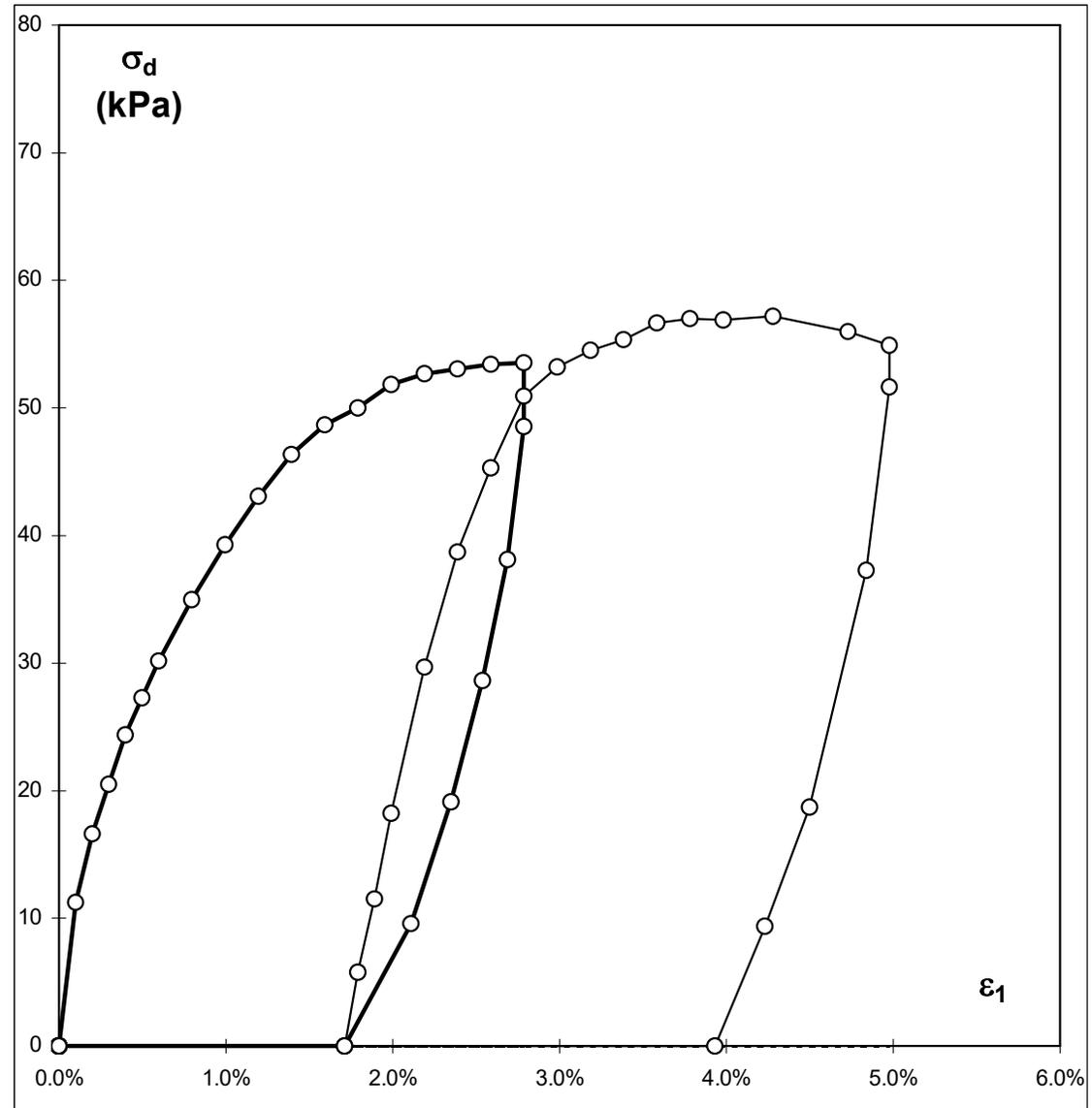
ENSAYO TRIAXIAL ESCALONADO

DATOS INICIALES

ω	53.2	%
γ	16.2	KN/m ³
γ_s	27.1	KN/m ³
γ_d	10.6	KN/m ³
$e_{inicial}$	1.56	
S_r	92	%
LL	68	%
LP	29	%
SUCS	CH	
Pasa #200	98	%
vel. def.	0.80	mm/min
cte def	0.01	mm/div
$H_{inicial}$	100.5	mm
$\Phi_{inicial}$	50.5	mm

PRESION EN CAMARA

σ_3	150	kPa
σ_3	300	kPa



Ensayo R: intermedio

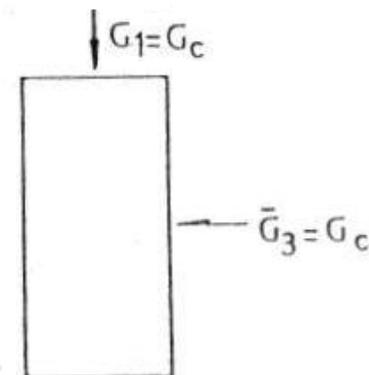
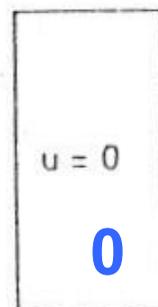
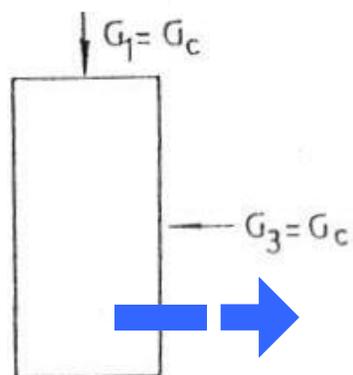


Presiones totales

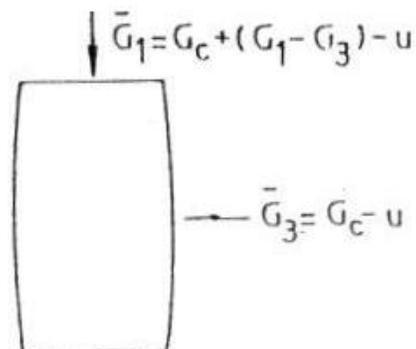
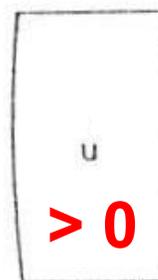
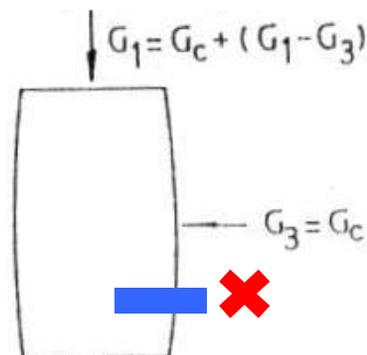
de Poros

Efectivas

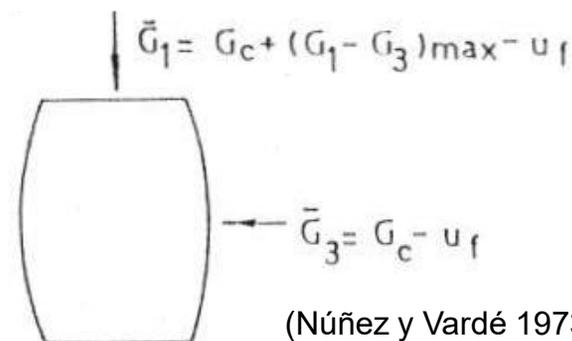
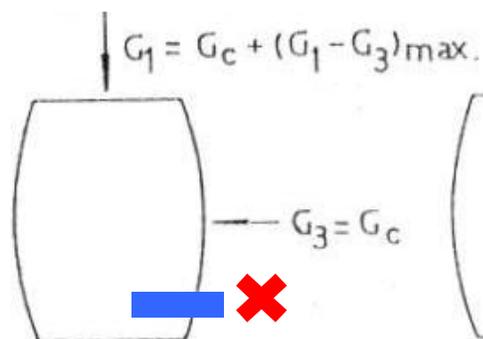
Al fin de la consolidación isotrópica



Durante el incremento de carga axial



En rotura



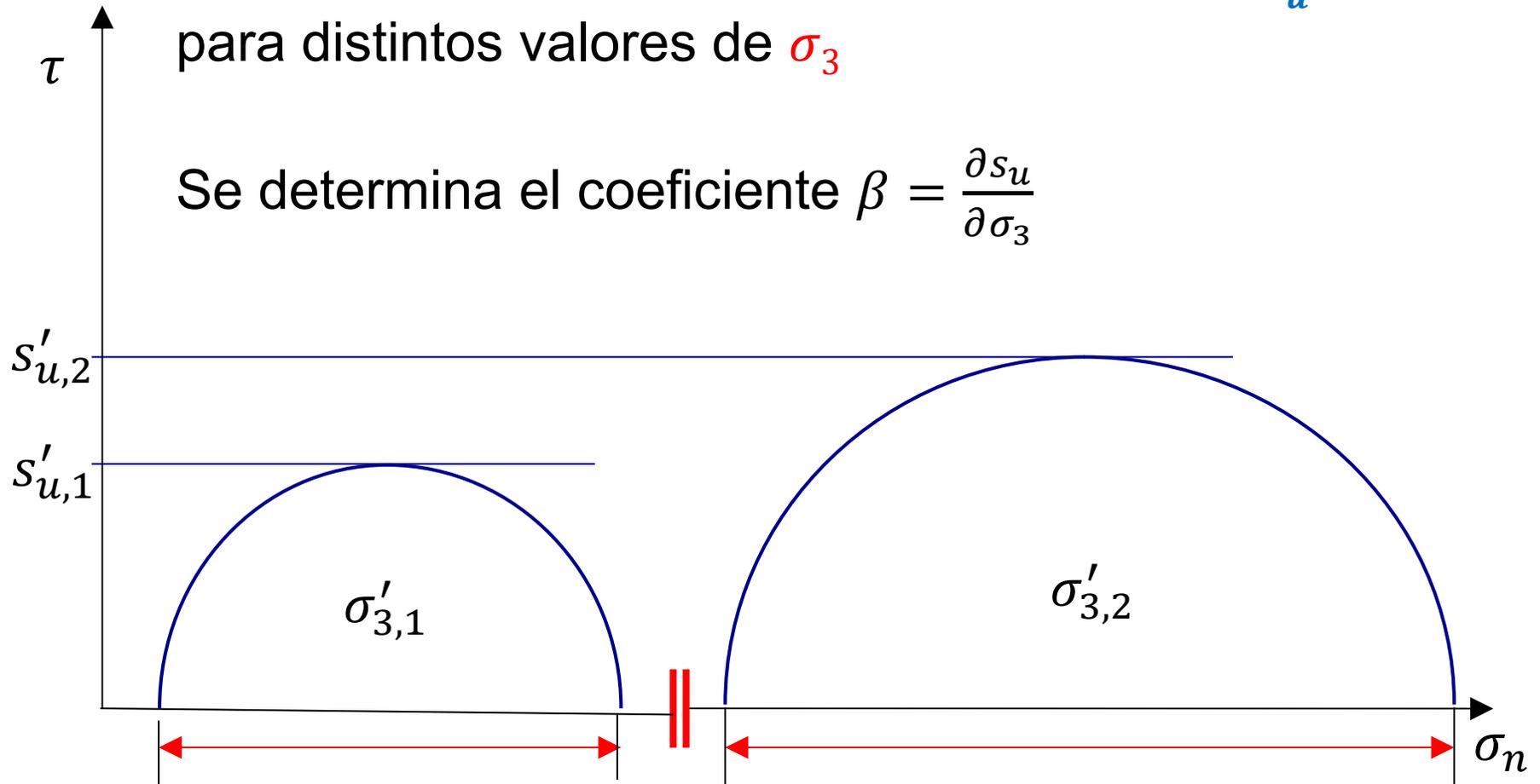
(Núñez y Vardé 1973)

Ensayo R: intermedio

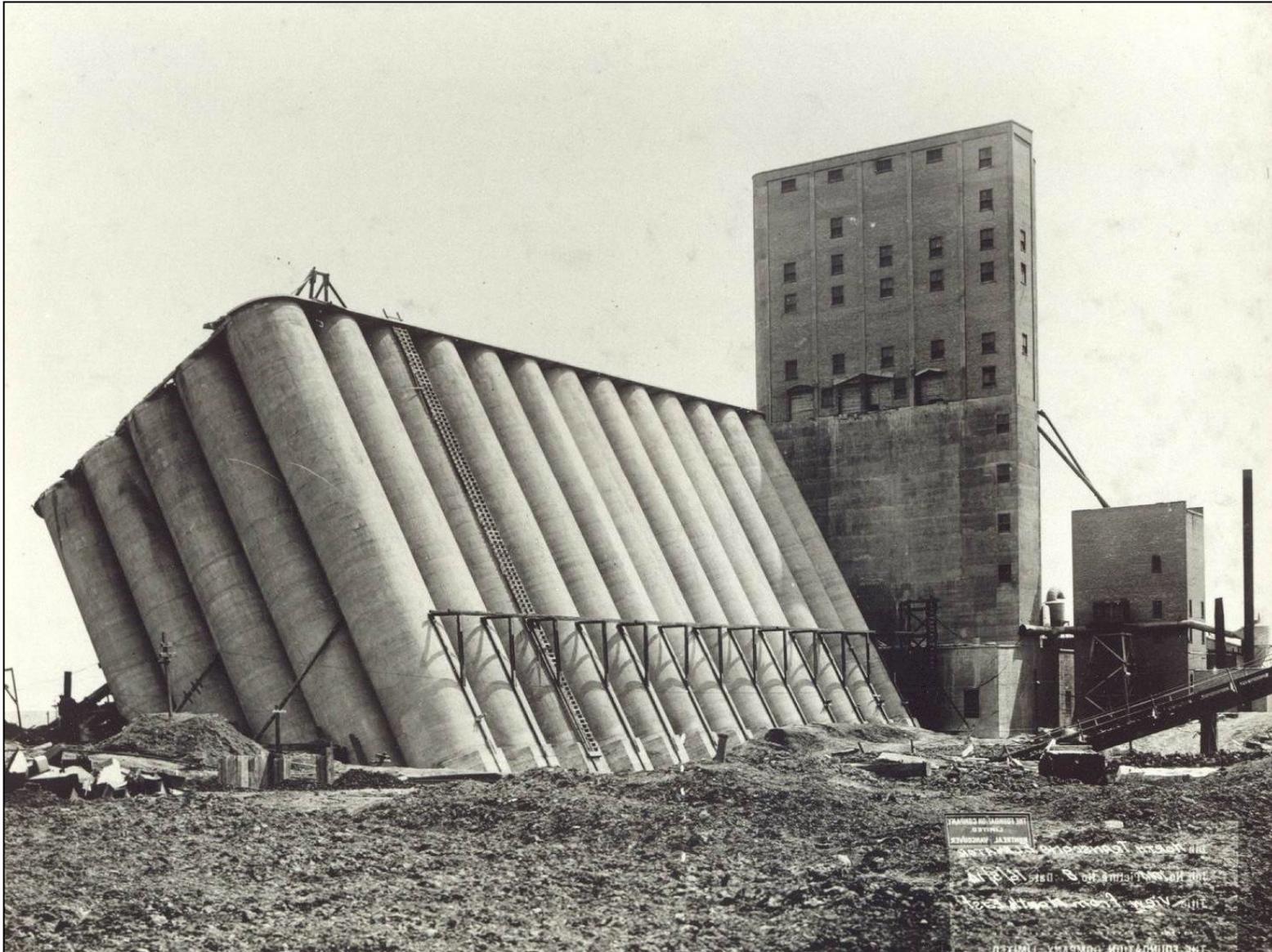


Se mide la “resistencia al corte no drenada” s_u para distintos valores de σ_3

Se determina el coeficiente $\beta = \frac{\partial s_u}{\partial \sigma_3}$



El silo Transcosna, 1913

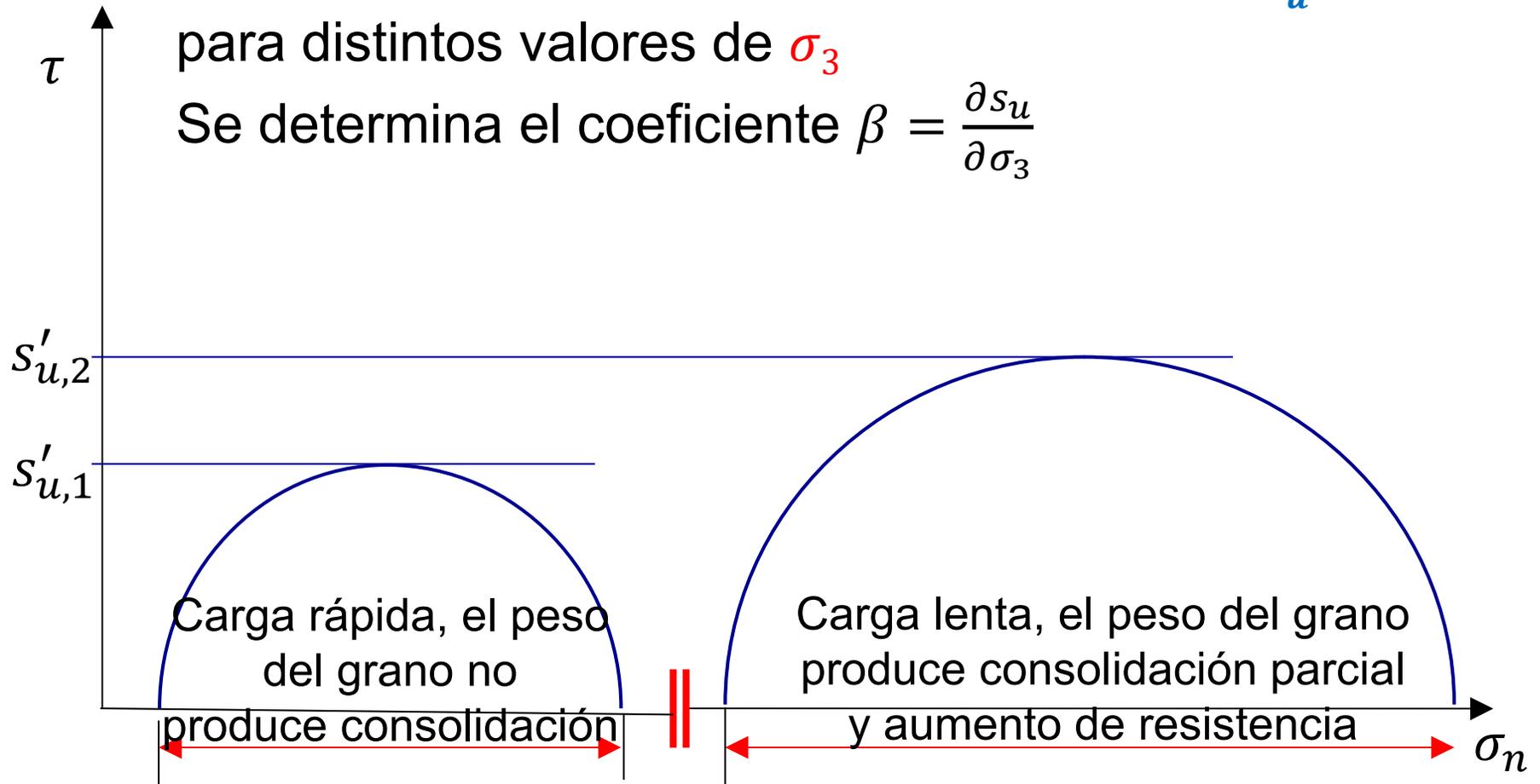


Cómo calcular el problema del silo de Transcosna



Se mide la “resistencia al corte no drenada” s_u para distintos valores de σ_3

Se determina el coeficiente $\beta = \frac{\partial s_u}{\partial \sigma_3}$





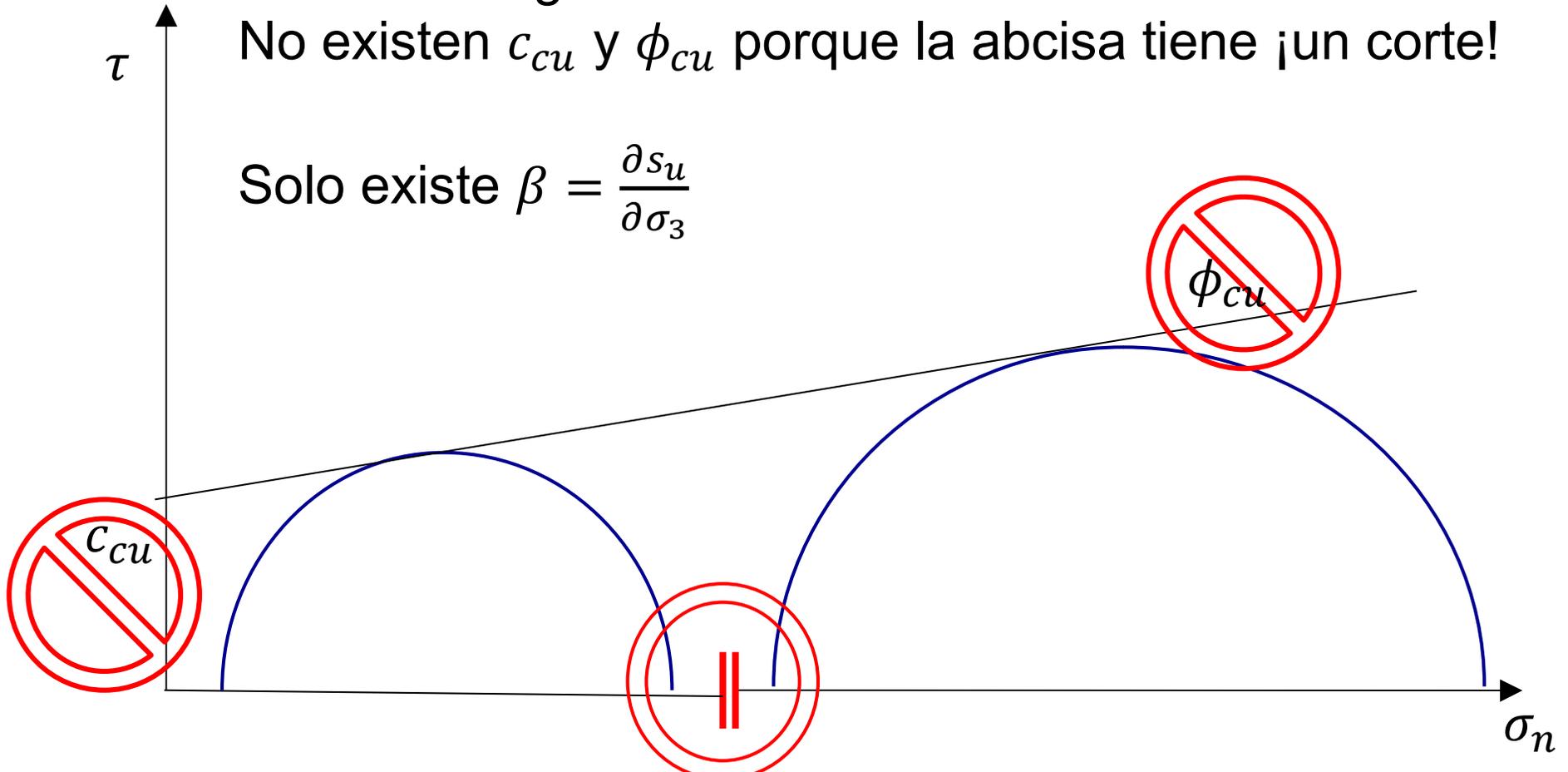
Ensayo R: intermedio

Interpretación incorrecta

Van a encontrar estas definiciones en libros, apuntes y en informes geotécnicos

No existen c_{cu} y ϕ_{cu} porque la abcisa tiene ¡un corte!

Solo existe $\beta = \frac{\partial s_u}{\partial \sigma_3}$

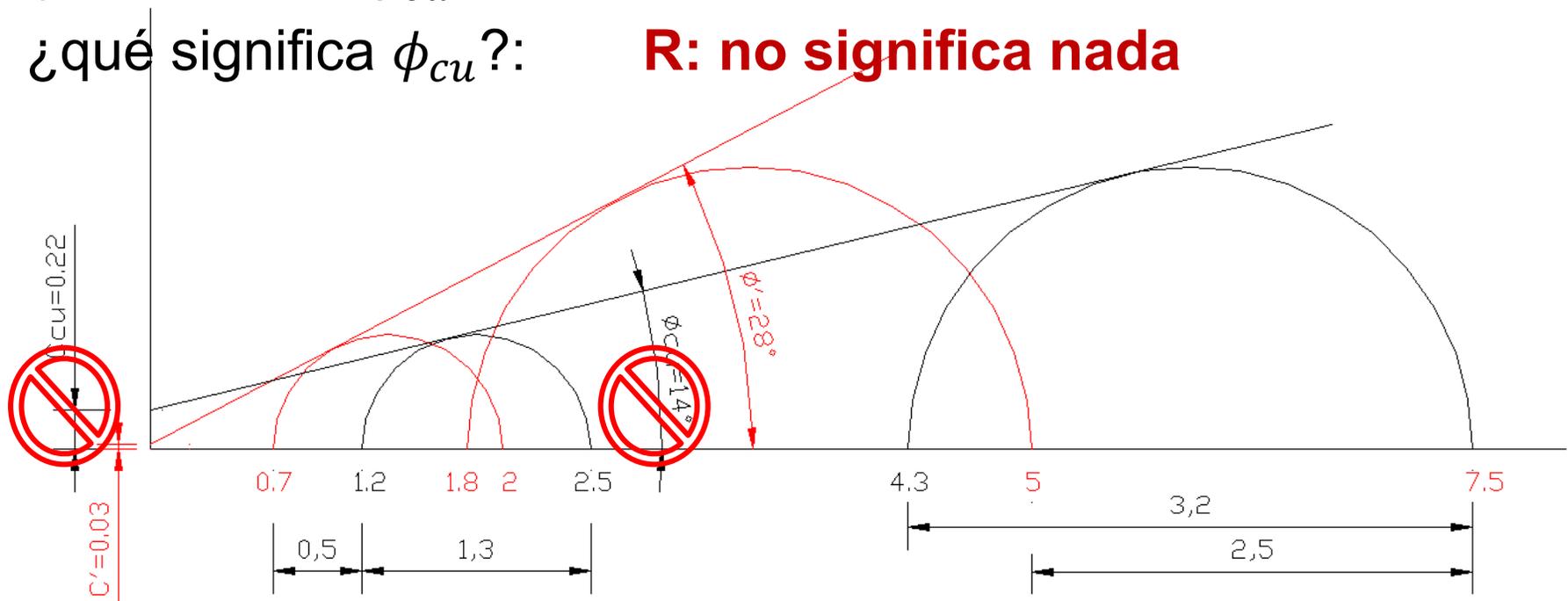




Ensayo R: intermedio

Interpretación incorrecta

- $\sigma_{3,1} = 120kPa, \sigma_d = 130kPa, u = 50kPa$
- $\sigma_{3,2} = 430kPa, \sigma_d = 320kPa, u = 250kPa$
- ¿cuánto vale ϕ' ? R: 28°
- ¿cuánto vale ϕ_{cu} ? R: 14°
- ¿qué significa ϕ_{cu} ?: **R: no significa nada**

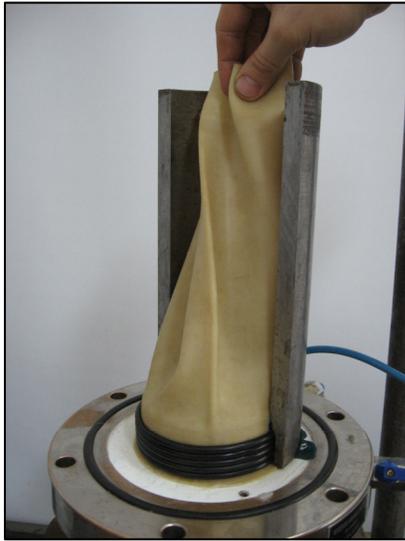


Índice

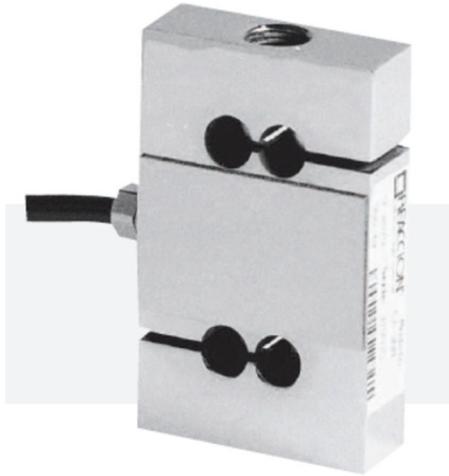


- El ángulo de fricción interna crítico
- El ensayo de corte directo
- El ensayo triaxial
- Ensayo lento (*S*), rápido (*Q*) e intermedio (*R*)
- Aspectos tecnológicos

Armado de muestras granulares



Instrumentos de medición



P : celda de carga



u : transductores



δ_a : LVDT o LDT



Montaje

Fuentes de error

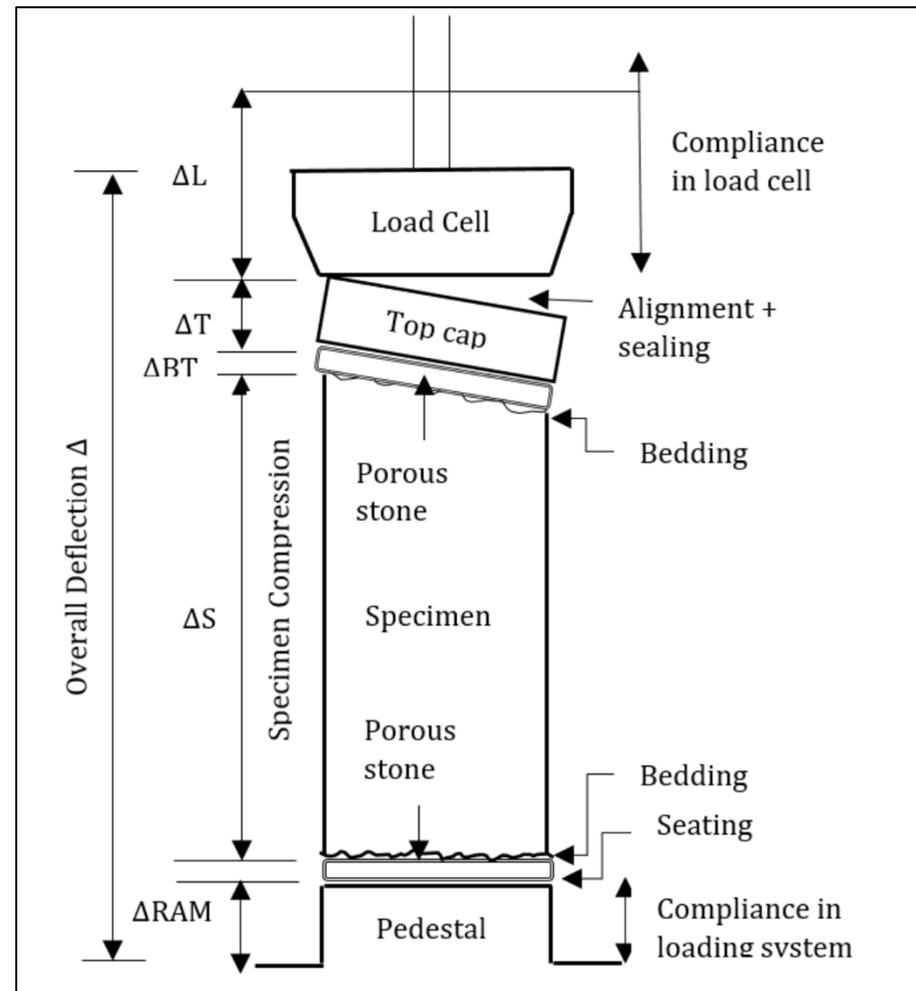


Tensión vertical

- Fricción vástago
- Alineación muestra
- Deformación muestra

Deformación

- Alineación muestra
- Contacto con piedras porosas
- Deformaciones equipo



Fuentes de error

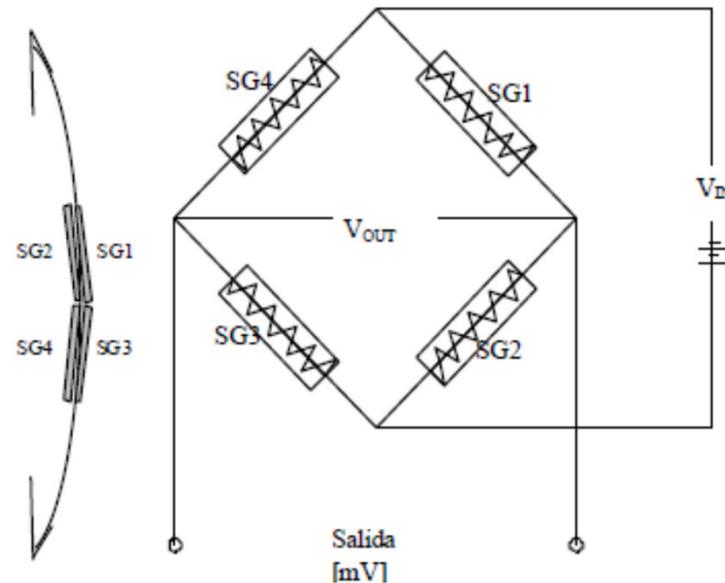
(medición externa de deformación axial)

Medición local de deformación: LDT



Registro de desplazamientos por variación de resistencias eléctricas en un Puente de Wheatstone

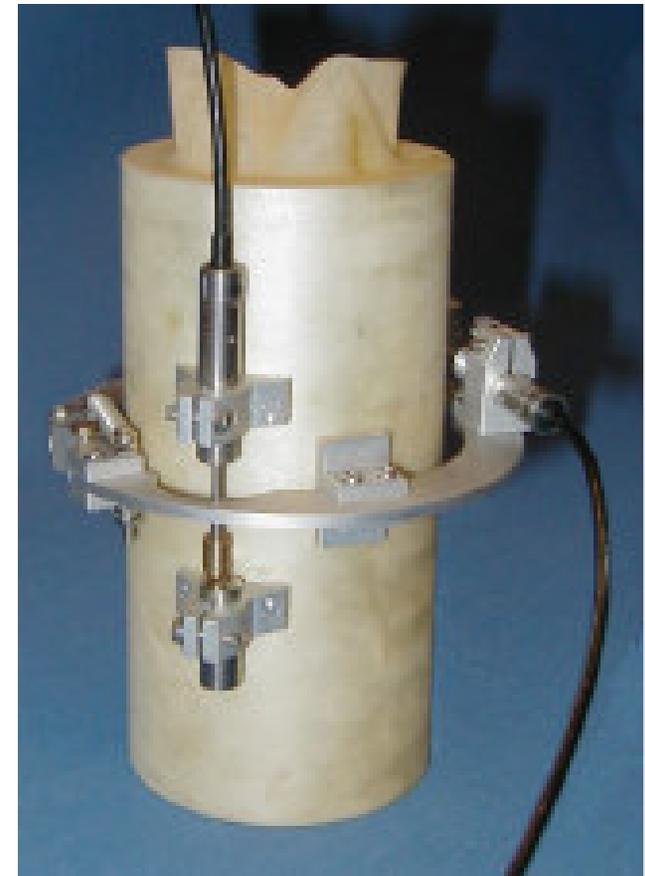
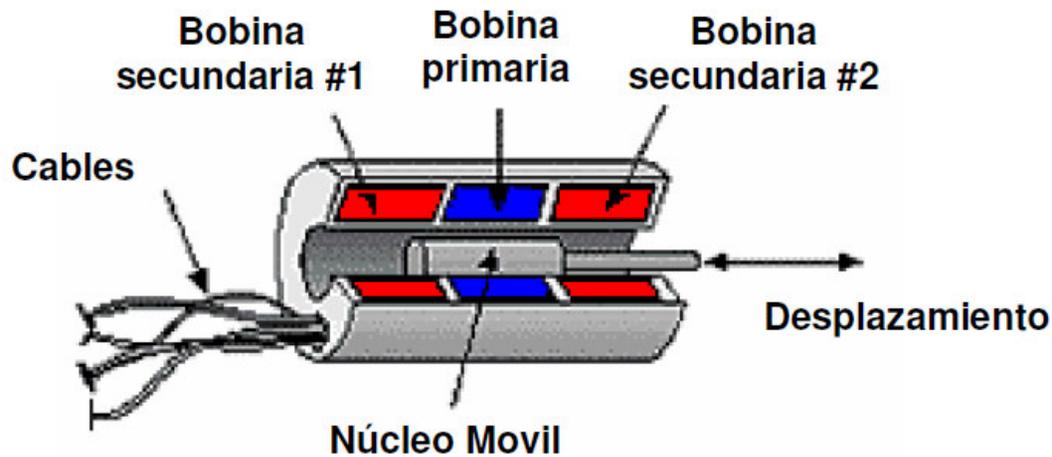
- SG1|SG3: cara traccionada (aumenta resistencia)
- SG2|SG4: cara comprimida (disminuye resistencia)



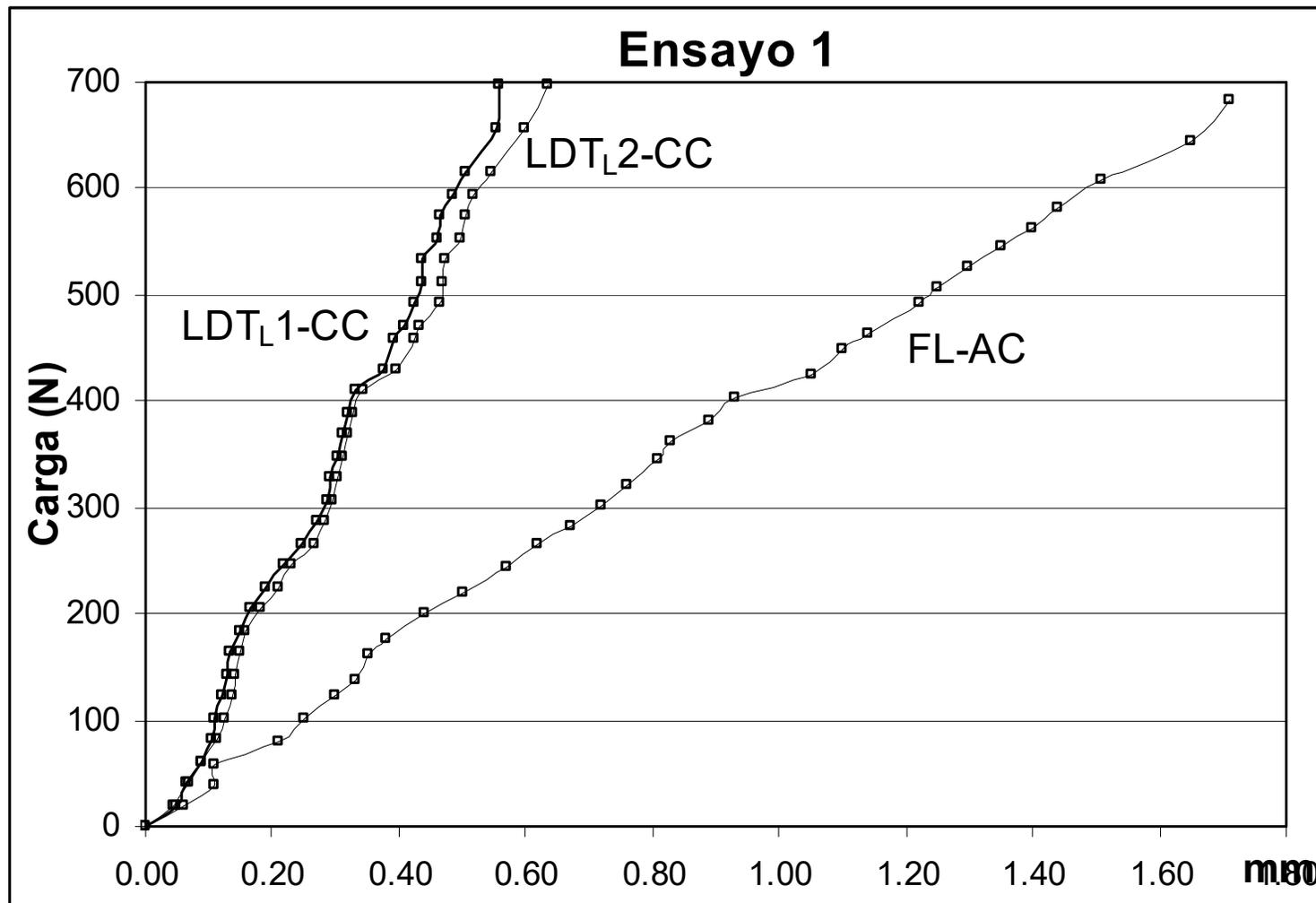
Medición local de deformación: LVDT



Registro por desplazamiento de un núcleo ferromagnético móvil dentro de un bobinado



Consecuencias de los errores en la medición de deformaciones





Bibliografía



Básica

- Powrie. Soil Mechanics. Spon Press.
- Jiménez Salas y otros. Geotecnia y Cimientos I. Ed. Rueda

Complementaria

- Bishop y Henkel. The triaxial test. Wiley.
- Mitchell. Fundamentals of soil behavior. Wiley.
- Terzaghi, Peck, Mesri, Soil Mechanics in Engineering Practice. 3^{ra} ed. Wiley