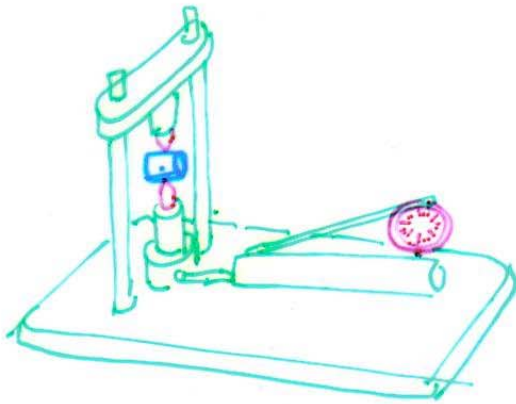


ENSAYOS ROCAS (MATERIA)

ENSAYO FRANKLIN O DE CARGA PUNTUAL



- Ensayo de resistencia
- obtiene el valor del Índice de carga puntual I_s

En testigo cilíndrica $I_s = \frac{P}{D^2}$

P: Carga aplicada (KN)

D: Diámetro del testigo (mm)

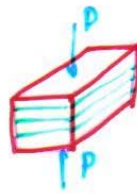
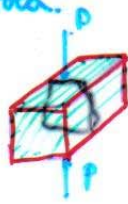
- Correlacionable con la resistencia a compresión simple

• Debe cumplir superficie rotura transversal al testigo



• VENTAJAS

- Puede realizarse en campo
- Fácil realización y barato
- Puede realizarse con bloques tallados o sin tallar.
- Con bloques tallados puede realizarse la rotura en cualquier orientación de la roca.



• OBTENCIÓN DE I_s

• Probeta cilíndrica $I_s = \frac{P}{D^2}$

• Para cualquier forma de probeto o bloque $\frac{P}{A^{0.75}} = cte.$

A = Sección de la rotura en mm^2

• Se define el Índice de Resistencia

- Testigo cilíndrico de 25 mm. de diámetro $\rightarrow A = 500 \text{ mm}^2$

Índice de resistencia: $T_{500} = \frac{P}{500 \text{ mm}^2}$

Para otra dimensión o forma de probeta

$$T_{500} = 221,5 \cdot \frac{P}{A^{0,75}} \quad \text{con} \quad \begin{cases} T_{500} \text{ en } \text{KN/mm}^2 \\ P \text{ en KN} \\ A \text{ en mm}^2 \end{cases}$$

• Relación con la resistencia a compresión

- Con testigo cilíndrico y $D = 54 \text{ mm}$.

$\sigma_c = 24 \times I_s$ (Beniawski)

σ_c en MPa

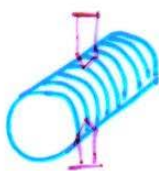
- Según Brook (1980)

$\sigma_c = 12,5 \times T_{500}$

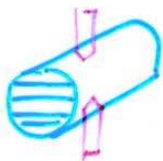
σ_c en kPa

• Terreno anisotropo

Cuando hay una dirección preferente



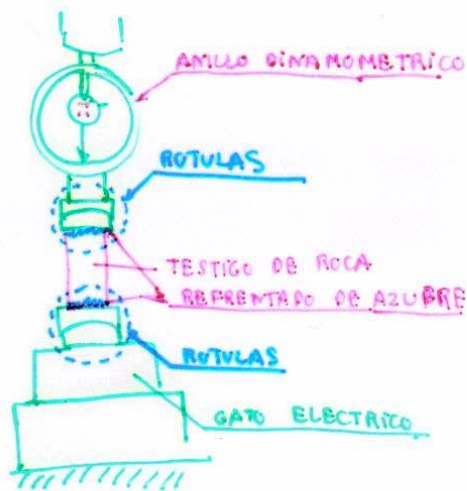
$I_{s||}$ Rotura según los planos de debilidad



$I_{s\perp}$ Rotura según superficie \perp en planos de debilidad.

Permite obtener 2 valores de resistencia a compresión de la roca intacta para estudiar terreno anisotropo

EN SAYO DE COMPRESION EN PRENSA



• DETERMINA LA RESISTENCIA A ROTURA BAJO CARGA UNIAXIAL POSITIVA

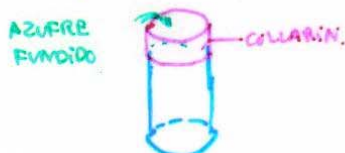
- ANILLO DINAMOMETRICO... MIDE LA CARGA A TRAVÉS DE LA DEFORMACION DEL ANILLO.
- PUEDE SUSTITUIRSE POR CAPTADOR ELECTRONICO
- DEBE TARARSE PERIODICAMENTE
- ROTULAS... PIEZAS DOBLES CON LA MISMA CONCAVIDAD - CONVEXIDAD



- SE LUBRICAN CON ACEITE MINERAL.
- CENTRAN LA CARGA APLICADA.

- REPLENIDO CON AZUFRE

PERMITE QUE LOS EXTREMOS DEL TESTIGO SEAN PLANOS PERFECTAMENTE PARALELOS

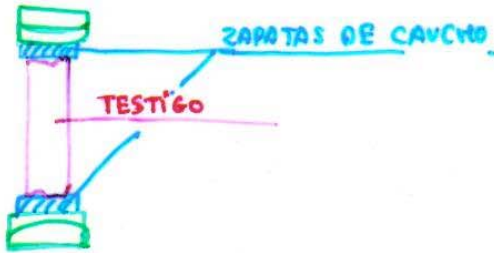


SI LOS PLANOS EXTREMOS NO SON PARALELOS HAY ROTURA LOCAL CON VALORES DE CARGA MUY INFERIORES



ROTURA POR ESQUEVA POR MAL REPRESENTADO DEL TESTIGO.

¡ SI NO SE PUEDE DEL REPRESENTADOR DE AZUFRE, UTILIZAR TESTIGOS LARGOS ($L/D > 2$) Y ZAPATAS DE CAUCHO



• PUEDEN MEDIRSE DEFORMACIONES MEDIANTE :

• LONGITUDINALES

- GALGA EXTENSOMETRICA VERTICAL



3 O 3 GALGAS Y VALOR MEDIO

- TRASDUCTOR DE DESPLAZAMIENTOS

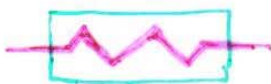
(MONTADO EN EL PLATO MOVIL DE LA PRENSA)



TRASDUCTOR DE DESPLAZAMIENTOS

GALGA EXTENSOMETRICA

• TIRA CON RESISTENCIA CUYA RESISTIVIDAD VARIA CON LA DEFORMACION



MAJOR RESISTENCIA

• MIDIENDO LA RESISTENCIA SE PUEDE DETERMINAR LA DEFORMACION.

• TRANSVERSALES

- GALGAS EXTENSOMÉTRICAS HORIZONTALES

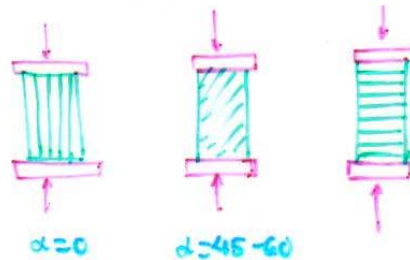
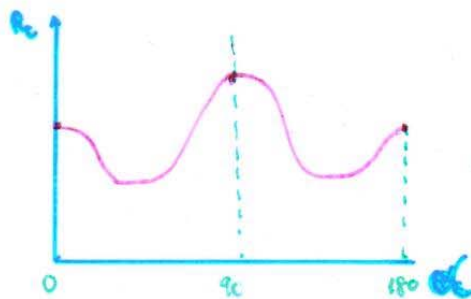


2 O 3 GALGAS Y VALOR MEDIO

DEBEN SITUARSE EN EL CENTRO DEL TESTIGO.

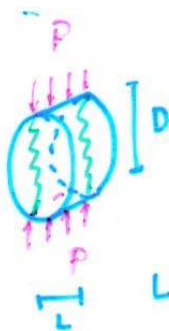
• TERRENO ANISOTRÓPO.

LA RESISTENCIA VARIA CON LA POSICIÓN DEL EJE DEL TESTIGO RESPECTO A LA DIRECCIÓN PRINCIPAL DE LOS PLANOS DE DEBILIDAD.



• ENSAYO BRASILEÑO O DE TRACCIÓN INDIRECTA

• ROTURA EN PRENSA DE TESTIGO CON SU EJE // A PLATOS



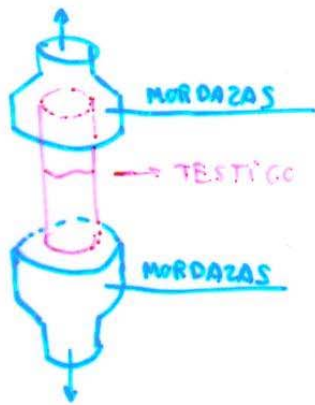
Si P es la carga total de rotura medida en la prensa.

$$\sigma_T = \frac{2P}{\pi \times D \times H}$$

• CARACTERÍSTICAS.

- Debe realizarse con testigos cilíndricos.
- Deben evitarse testigos con oquedades, cristalizaciones, etc
- Hace de realizar y de interpretar.

ENSAYO DE TRACCIÓN POR EXTENSIÓN

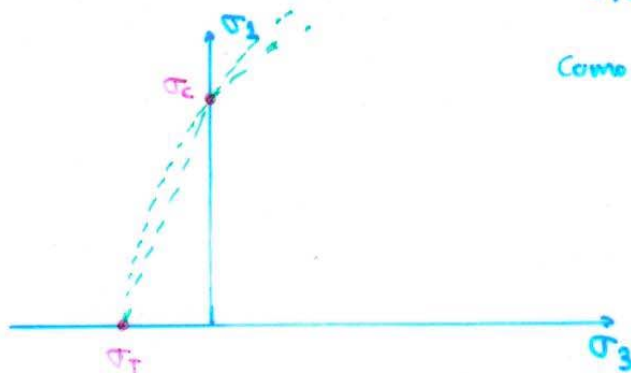


¡ENSAYO NO USUAL!

LA RESISTENCIA A TRACCIÓN OBTENIDA
NO COINCIDE CON LA DEL ENSAYO
BRASILEÑO.

APLICACIÓN DEL CRITERIO DE ROTURA DE HOEK A PARTIR DE

LOS ENSAYOS ANTERIORES



$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m_i \cdot \sigma_c \cdot \sigma_3 + \sigma_c^2}$$

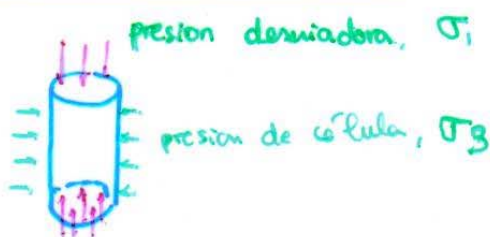
$$\text{Como } \sigma_T = \frac{1}{2} \sigma_c (m_i - \sqrt{m_i^2 + 4})$$

↓
Puede obtenerse m_i .

SIN EMBARGO ES USUAL:

- TOMAR " m_i " DE LAS TABLAS DE HOEK.
- OBTENER UN AJUSTE CON σ_c Y σ_T DE LA CURVA

ENSAYO TRIAXIAL EN ROCA



Permite obtener para rotura pares de valores σ_1, σ_3 .

Conociendo $\left\{ \begin{array}{l} \sigma_c \text{ - Ensayo de compresi3n en prensa o carga puntual} \\ \sigma_T \text{ - Ensayo tracci3n} \\ (\sigma_1, \sigma_3) \text{ - Ensayo triaxial.} \end{array} \right.$



AJUSTE DE LA LEY DE MOHR Y BROWN.

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m_i \cdot \sigma_c \cdot \sigma_3 + \sigma_c^2}$$

PRINCIPAL PROBLEMA: LA DEFORMABILIDAD DEL APARATO
PUEDE DAR ERRORES DE MEDIDA TANTO EN CARGAS PERO
SOBRE TODO EN DEFORMACIONES

• ROCAS BLANDAS

SEGUN ISMR ROCAS $\left\{ \begin{array}{l} q_c \geq 2 \text{ MPa} \\ \sigma \\ c \geq 0,3 \text{ MPa} \end{array} \right.$

ROCAS BLANDAS $\left\{ \begin{array}{l} 2 \text{ MPa} \leq q_c \leq 20 \text{ MPa} \end{array} \right.$

ROCAS MUY BLANDAS $2 \text{ MPa} \leq q_c \leq 6 \text{ MPa}$

ROCAS MODERADAMENTE BLANDAS $6 \text{ MPa} \leq q_c \leq 20 \text{ MPa}$

PARA ROCAS BLANDAS $E = 500 - 5000 \text{ MPa}$

ROCAS MUY BLANDAS $\left\{ \begin{array}{l} \cdot \text{ PUEBEN MODIFICARSE SUS PROPIEDADES CON EL TIEMPO (CREEP)} \\ \cdot \text{ SUS PROPIEDADES SE MODIFICAN CON SU CONTENIDO EN HUMEDAD} \\ \cdot \text{ PUEBEN PRESENTAR FLUENCIA O EXPANSIVIDAD} \end{array} \right.$

• TIPOS DE ROCAS BLANDAS

SI SE CLASIFICAN POR SU ORIGEN

a) POBRE CEMENTACION DE PARTICULAS $\left\{ \begin{array}{l} \text{ARCILLOSAS} \\ \text{ARENOSAS} \end{array} \right.$

ORIGEN $\left\{ \begin{array}{l} \text{SEDIMENTARIO} \\ \text{METAMORFICO} \\ \text{VOLCANICO} \end{array} \right.$

b) ALTERACION DE SUS COMPONENTES

ALTERACION QUIMICA DE MINERALES \rightarrow SUELO RESIDUAL

ORIGEN $\left\{ \begin{array}{l} \text{INTRUSIVAS} \\ \text{METAMORFICAS} \\ \text{¿ SEDIMENTARIO? } \end{array} \right.$ MENOS USUAL (EJ. ARCILLAS DE CALCIFICACION)

c) TECTONIZACIÓN

MICROFRACTURACION → AVREOLA JUNTA A ZONA FALLADA

d) PRESENCIA DE CAVIDADES

• PROBLEMAS CARACTERIZACIÓN DE ROCAS BLANDAS

• TOMA DE MUESTRAS SIN PERTURBACION.

MEDIANAMENTE DIFÍCIL → ROCAS ARCILLOSAS

DIFÍCIL → ROCAS ARENOSAS (PERDIDA CEMENTACION)

MUY DIFÍCIL ROCAS CONGLOMERATIVAS

PIZARROSAS O
ESQUISTOSAS

• ANISOTROPÍA. - DISPOSICIÓN ORIENTADA DE PARTICULAS O DE ELEMENTO CEMENTANTE

• ESTRUCTURA RESIDUAL.

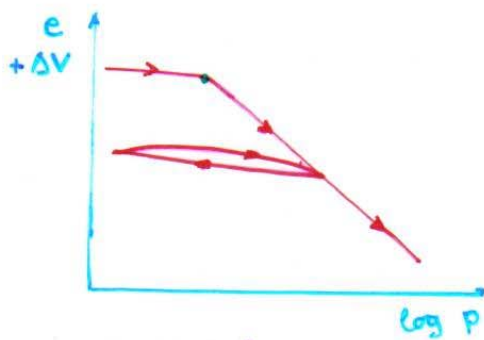
• COMPORTAMIENTO DIFERENTE EN COMPRESION O EXTENSION
MODELOS DE COMPORTAMIENTO → SIMILARES A SUELOS

a) NO SE MODIFICAN LOS PARÁMETROS
POR LA FRACTURACION

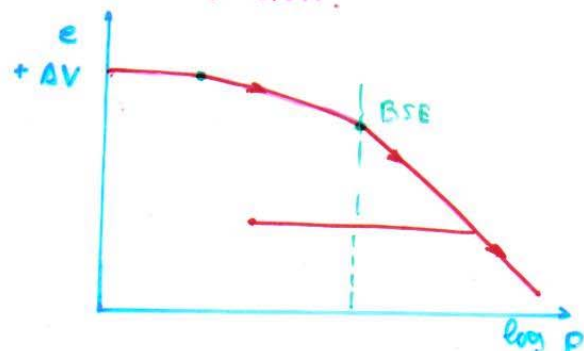
b) CRITERIO DE ROTURA DE MOHR-COULOMB FRENTE AL DE HOBK Y BROWN

c) CONSIDERACION DE DEFORMACIONES NO ELASTICAS POR CONSOLIDACION

o POR ROTURA A COMPRESION DE CEMENTACION.



ROCAS ARCILLOSAS



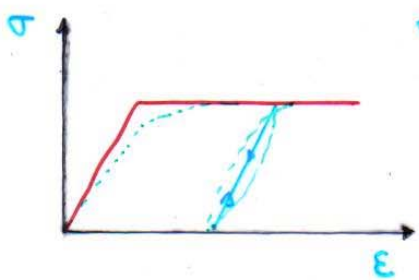
ROCAS ARENOSAS

BSE. (BOND STRENGTH ENVELOPE). ROTURA GENERALIZADA DE ENLACES DE CEMENTACION ENTRE PARTICULAS

• COMIENZO ROTURA DE ENLACES Y DEFORMACIONES NO REVERSIBLES

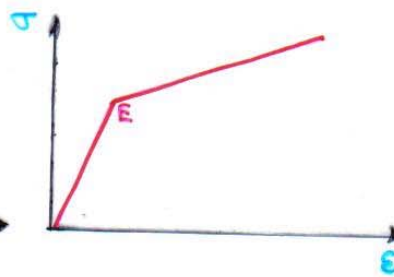
d)

MODELO DE ROTURA CON RIGIDIZACION

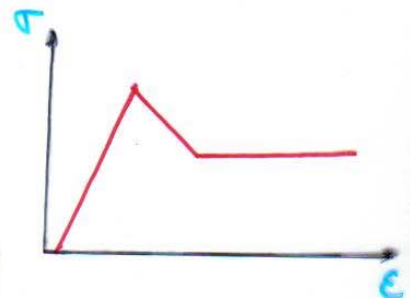


MODELO ELASTOPLASTICO

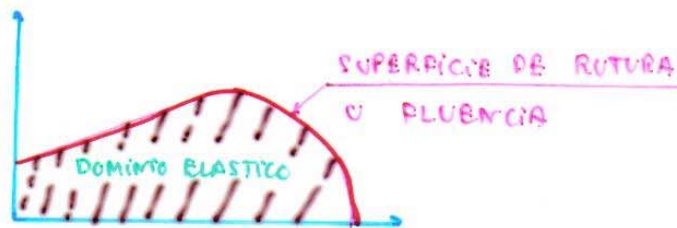
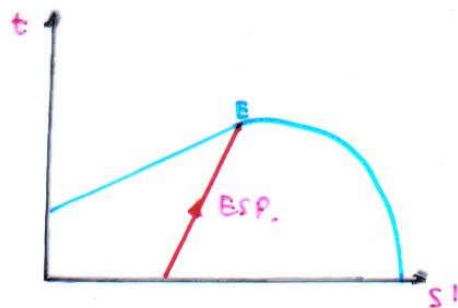
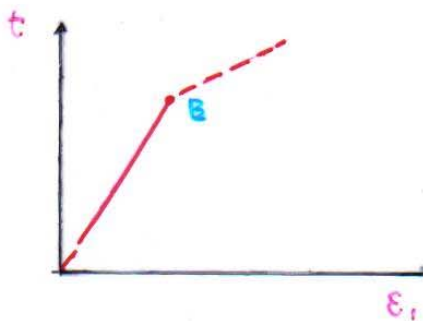
COMPORTA MIEMBROS PLASTICOS



MODELO ELASTOPLASTICO RIGIDIZABLE



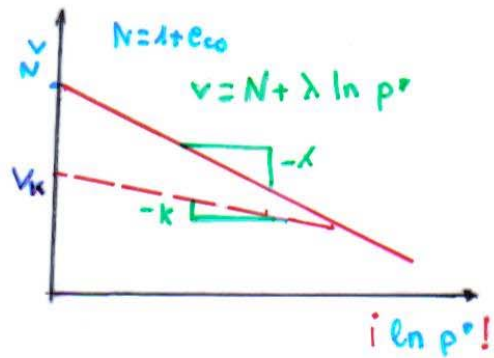
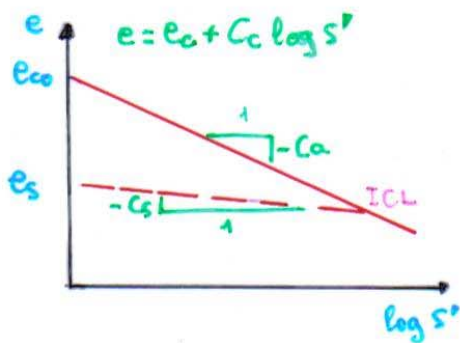
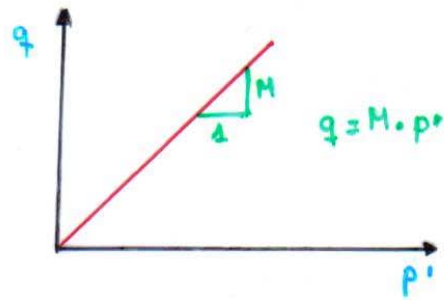
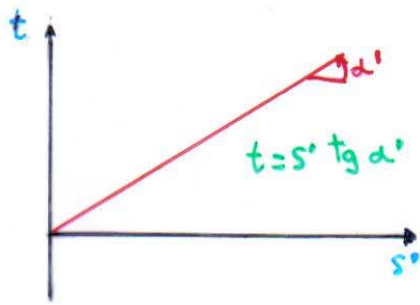
MODELO ELASTOPLASTICO REBLANDECIBLE



SEGUN FORMA DE SUPERFICIE FLUENCIA

- { CAM-CLAY
- { CAM-CLAY MODIFICADA
- { NUEVO

• DIAGRAMAS $s':t:e$ y $p':q:e$



• Del edómetro. $\sigma_1 = p$ $\sigma_2 = \sigma_3 = k_0 p$.

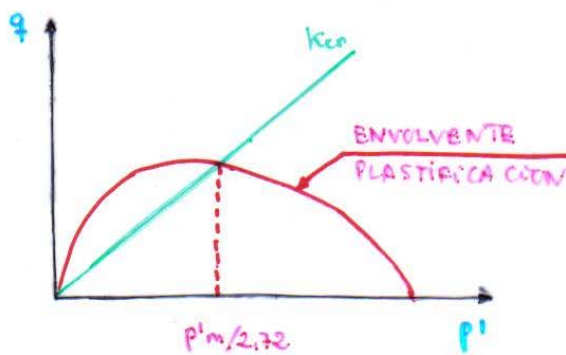
$$s' = \frac{1}{3} p (1 + k_0)$$

$$p' = \frac{1}{3} p (1 + 2k_0)$$

NOMBRE	$s':t:e$	$p':q:e$	RELACIÓN ENTRE PARAMETROS
VARIABLES	s'	p'	$p' = \frac{1}{3} (3s' - t)$
VARIABLES	t	q	$q = 2t$
VARIABLES	e	v	$v = 1 + e$
ENVOLVENTE ROTURA	$tg \alpha'$	M	$M = \frac{6 \sin \phi'}{3 - \sin \phi'}$
CSL	e_{cs}	Γ	$\Gamma = e_{cs} + 1$
CSL	C_c	λ	$\lambda = C_c / 2,3$
ICL	e_c	N	$N = e_c + 1$
Línea de descarga	e_s	V_k	$V_k = e_s + 1$
Línea de descarga	C_s	K	$K = C_s / 2,3$

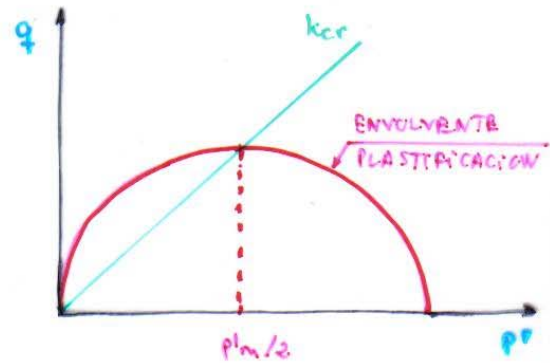
NOMBRE	DIAGRAMA $s^o : t : e$	DIAGRAMA $p^o : q : e$
ENVOLVENTE ACTIVA	$t = s^o \cdot f_{\phi} \cdot \alpha^1$	$q = M \cdot p^o$
CSL	$e = E_{cs} + C_c \log s^o$	$v = \Gamma + \lambda \ln p^o$
ICL	$e = E_c + C_c \log s^o$	$v = N + \lambda \ln p^o$
Línea descarga	$e = E_s + C_s \log s^o$	$v = V_k + \lambda \ln p^o$
Línea ESP	$w = \sigma^o_{12} / \sigma^o_{12}$	$\eta = q / p^o$

• ENVOLVENTE (LOLUS) PLASTIFICACION



MODELO CAM-CLAY

$$q = M p^o \ln (p^o / p^o_m)$$



MODELO CAM-CLAY MODIFICADO

$$M^2 p^{o2} - M^2 p^o_m \cdot p^o + q^2 = 0 \quad (\text{EUIPSE})$$

$$q = M p^o \sqrt{\frac{p^o_m}{p^o} - 1}$$

p^o_m : presión de preconsolidación isotrópica coincidente con el punto de intersección de la envolvente de plasticación y el eje hidrostático

• DEFORMACIONES

La energía consumida en la deformación de un elemento de suelo es:

$$W = \sigma^o_1 \cdot \epsilon_1 + \sigma^o_2 \cdot \epsilon_2 + \sigma^o_3 \cdot \epsilon_3$$

En el dominio elástico la energía es almacenada, mientras que en el dominio plástico parte se disipa en forma de calor

$$W = W_{\text{almacenada}} + W_{\text{dissipada}}$$

Luego la energía consumida es:

$$W = q \cdot \epsilon_s + p^o \cdot \epsilon_v \quad \text{siendo:}$$

Deformación de cortante $\epsilon_s = \frac{2}{3} (\epsilon_1 - \epsilon_3)$

Deformación volumétrica $\epsilon_v = (\epsilon_1 + 2\epsilon_3)$

Las deformaciones = Deformaciones elásticas + Deformaciones plásticas

$$\epsilon_s = \epsilon_s^e + \epsilon_s^p$$

$$\epsilon_v = \epsilon_v^e + \epsilon_v^p$$

Y diferenciando, para incrementos de deformaciones

$$d\epsilon_s = d\epsilon_s^e + d\epsilon_s^p$$

$$d\epsilon_v = d\epsilon_v^e + d\epsilon_v^p$$

a) Fase elástica

A partir de la línea de descarga-recarga se considera que las deformaciones son recuperables y por tanto:

$$d\epsilon_v^e = \frac{\kappa}{1+e} \frac{dp^i}{p}$$

La deformación elástica por cortante se obtiene de la ley de Hooke

$$d\epsilon_s^e = \frac{dq}{3G}$$

G: Módulo de deformación transversal o de cortante

ESTAS LEYES SON COMUNES EN CAM-CLAY Y CAM-CLAY MODIFICADA

b) Fase plástica

Se considera rigidización \rightarrow plastificación \rightarrow disminución índice de poros
 \rightarrow Mayor rigidez del suelo.

• En el modelo Cam-Clay

$$d\epsilon_v^p = \frac{d\epsilon^p}{1+e} = \frac{\lambda - \kappa}{1+e} \left[\frac{dp^i}{p^r} + \frac{dR}{M} \right]$$

El valor del incremento de la deformación a constante se obtiene a partir de la ley de fluencia (flow rule)

$$\frac{d\varepsilon_s^p}{d\varepsilon_v^p} = \frac{1}{M - \eta} \quad \text{Indica la dirección de la plasticación en el gráfico } \varepsilon_s, \varepsilon_v$$

• En el modelo Cam-Clay modificado

$$d\varepsilon_v^p = \frac{de^p}{1+e} = \frac{\lambda - k}{1+e} \left[\frac{dp'}{p} + \frac{e\eta}{M^2 + \eta^2} d\eta \right]$$

$$\frac{d\varepsilon_s^p}{d\varepsilon_v^p} = \frac{e\eta}{M^2 + \eta^2}$$

En ambos casos, por tanto, el procedimiento seguido es:

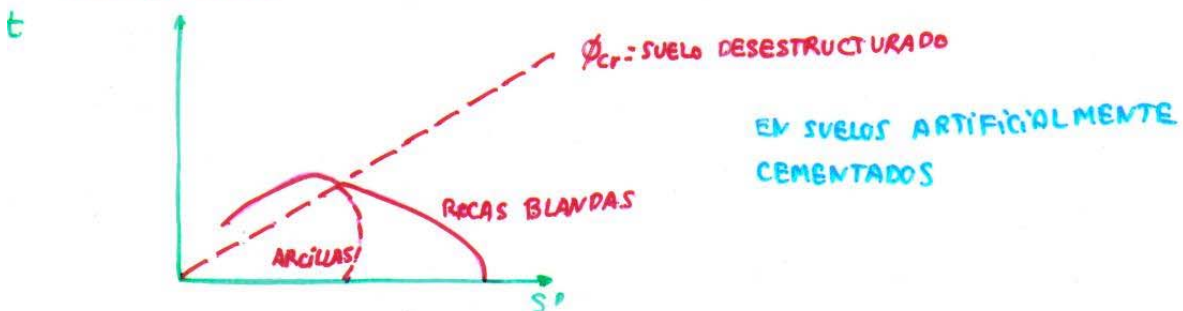
- Definir la ley de rigidización que relaciona el incremento del dominio elástico después de plasticación

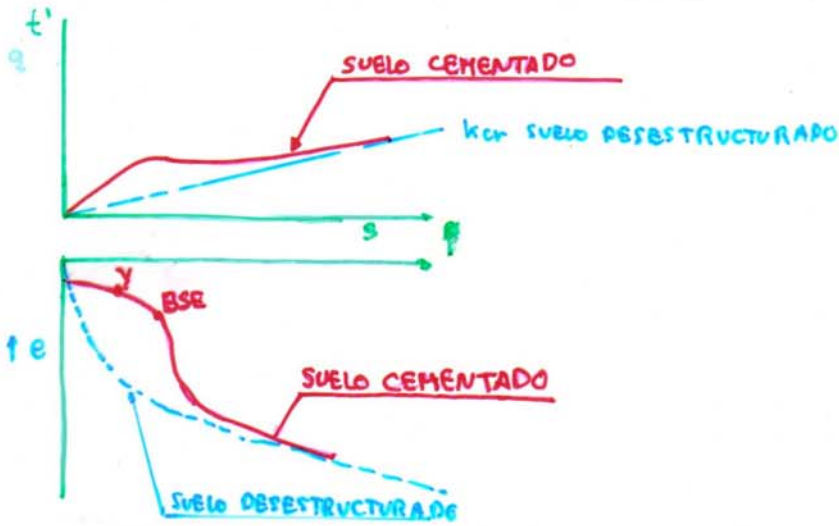


- Definir la dirección del incremento de deformaciones en la plasticación. (ley de fluencia)

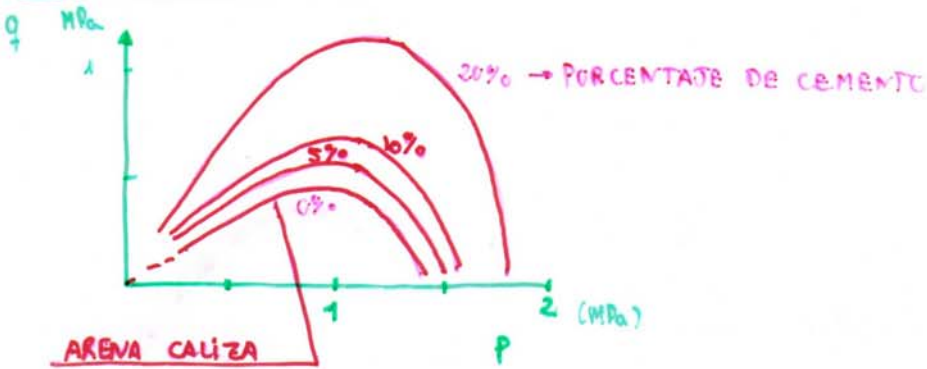
• FORMAS DE SUPERFICIE LÍMITE

• Gens y Nova

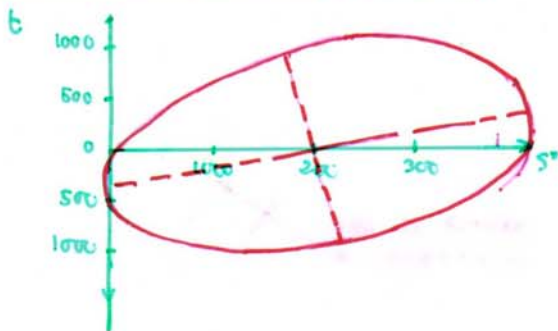




• Huang y Airey.

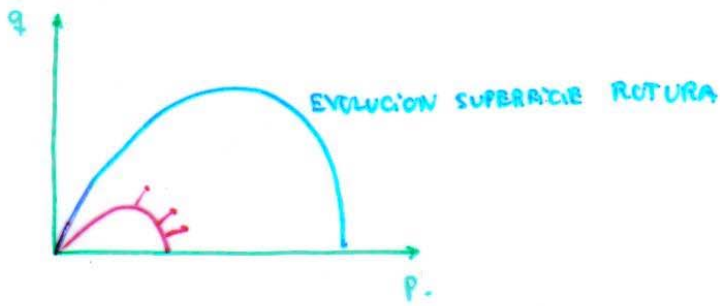


• Kavadas & A. Anagnostopoulos

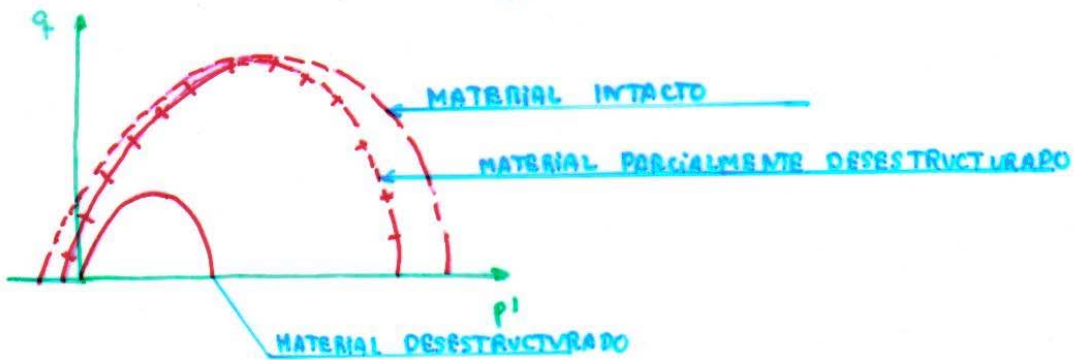
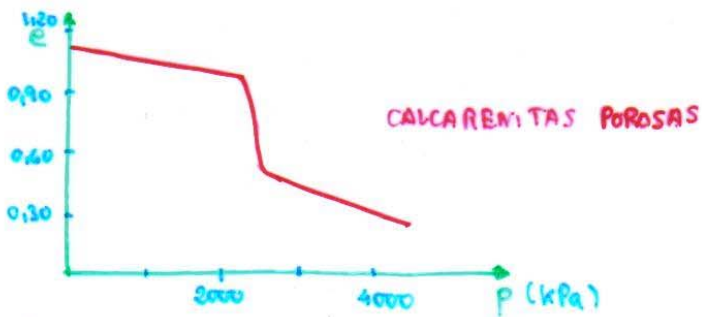


• Lagaria y Nova.

Modelo para rocas blandas rigidizables



• Fontana, Lagioia y Nova



• Kasama, Ochiai, Yanfuku

