



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS

MECÁNICA DE ROCAS

TEMA XII

CRITERIOS AVANZADOS DE ROTURA

Francisco J. Castanedo Navarro

Ingeniero de Caminos

UCM

• **ROCAS BLANDAS**

Según ISMR : **Rocas** $\left\{ \begin{array}{l} q_c \geq 2 \text{ MPa} \\ 0 \\ c \geq 0.3 \text{ MPa} \end{array} \right.$

Rocas blandas $\rightarrow 2 \text{ MPa} < q_u < 20 \text{ MPa}$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{Rocas muy blandas} - 2 \text{ MPa} < q_c < 6 \text{ MPa} \\ \text{Rocas moderadamente blandas} \\ 6 \text{ MPa} < q_c < 20 \text{ MPa} \end{array} \right.$

Para rocas blandas $E = 500 - 5000 \text{ MPa}$

Rocas muy blandas $\left\{ \begin{array}{l} \text{-Pueden modificarse sus propiedades con el tiempo (creep)} \\ \text{-Sus propiedades se modifican con su contenido en humedad} \\ \text{-Pueden presentar fluencia o expansividad} \end{array} \right.$

• **TIPOS DE ROCAS BLANDAS**

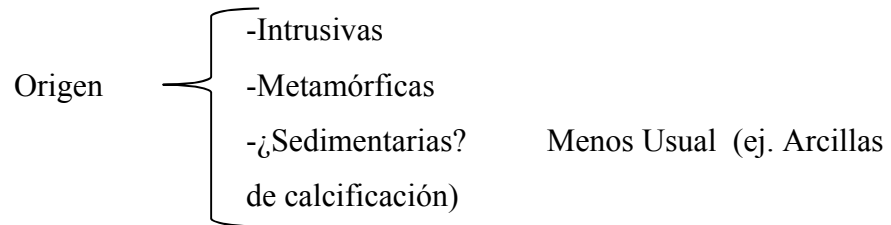
Si se clasifican por su origen:

a) *Pobre cementación de partículas* $\left\{ \begin{array}{l} \text{Arcillosas} \\ \text{Arenosas} \end{array} \right.$

Origen $\left\{ \begin{array}{l} \text{Sedimentario} \\ \text{Metamórfico} \\ \text{Volcánico} \end{array} \right.$

b) *Alteración de sus componentes*

Alteración química de minerales → suelo residual



c) *Tectonización*

Microfracturación → aureola junto a zona fallada

d) *Presencia de cavidades*

• **CARACTERIZACIÓN DE ROCAS BLANDAS**

- Toma de muestras sin perturbación:

Medianamente difícil → Rocas Arcillosas

Difícil

→ rocas Arenosas (perdida cementación)

Muy difícil → rocas conglomeraticas

Pizarrosas o esquistosas

- Anisotropía

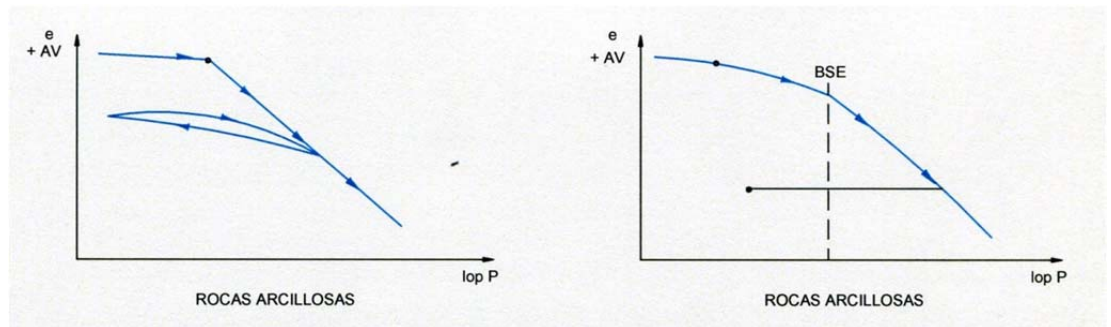
Disposición orientada de partículas o de elemento cementante

- Estructura residual

- Comportamiento diferente en compresión o extensión

Modelos de comportamiento → Similares a suelos

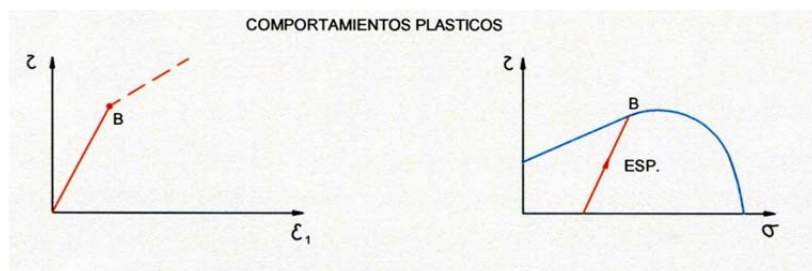
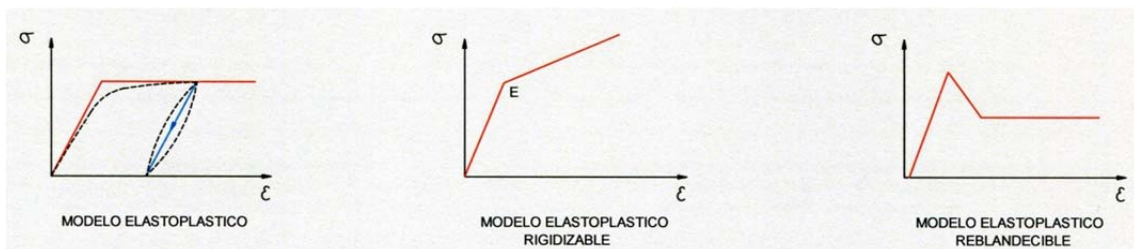
- a) No se modifican los parámetros por la fracturación.
- b) Criterio de rotura de **Mohr – Coulomb** frente al de **Hoek y Brown**.
- c) Consideración de deformaciones no elásticas por **consolidación** o por **rotura a compresión de cementación**.

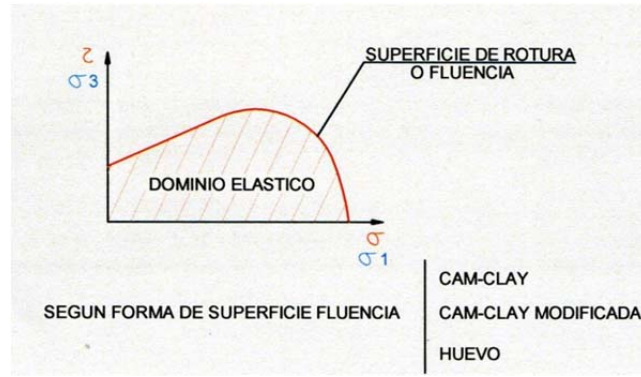


BSE(Bond Strength Envelope):

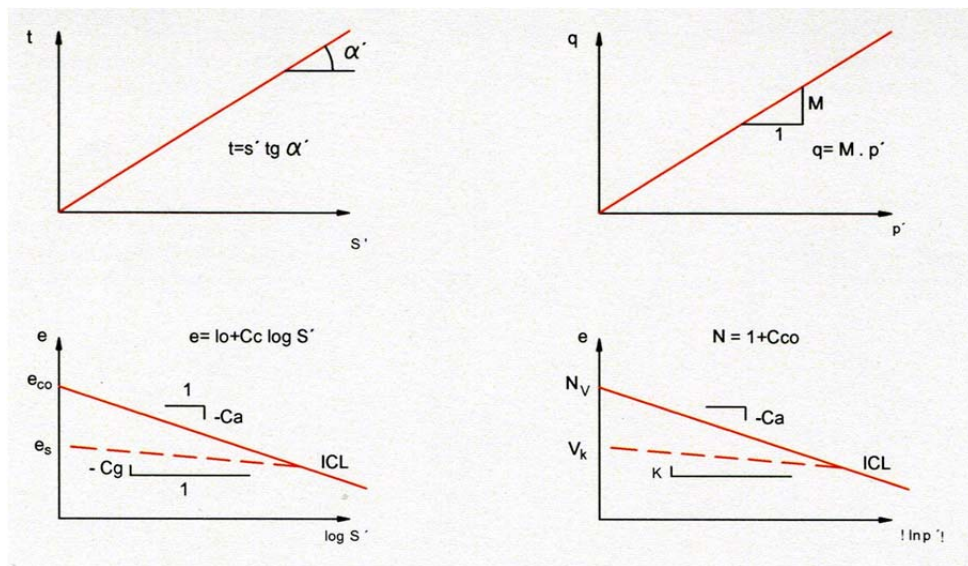
- Rotura generalizada de enlaces de cemento entre partículas.
- Comienzo rotura de enlaces y deformaciones no reversibles.

• **MODELO DE ROTURA**





• DIAGRAMAS $s'-t-e$ Y $p'-q-e$



Del edómetro:

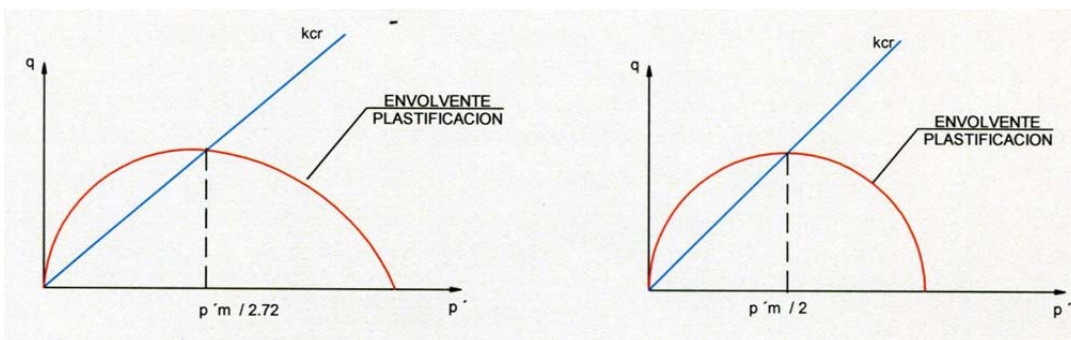
$$\sigma_1 = p \quad \sigma_2 = \sigma_3 = k_0 \times p$$

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

Nombre	s'-t-e	p'-q-e	Relación entre parámetros
Variables	S'	p'	$p' = \frac{1}{3} (35^R - t)$
Variables	t	q	$q = 2t$
Variables	e	V	$V = 1 + e$
Envolvente rotura	Tg ϕ'	M	$M = \frac{6 \sin \phi'^2}{3 - \sin \phi'^2}$
C _{LS}	e _{CS}	$\bar{\Gamma}$	$\bar{\Gamma} = e_{CS} + 1$
C _{LS}	C _C	λ	$\lambda = \frac{C_c}{2,3}$
I _{CL}	e _c	N	$N = e_c + 1$
Línea de descarga	e _c	V _k	$V_k = e_s + 1$
Línea de descarga	C _S	K	$K = \frac{C_s}{2,3}$

Nombre	Diagrama S'=t=e	Diagrama p'=q=e
Envolvente rotura	$t = s' Tg \alpha'$	$q = M \times p'$
CSL	$e = e_{CS} + C_c \log s'$	$V = \bar{\Gamma} + \lambda \ln p'$
ICL	$e = e_c + C_c \log s'$	$V = N + \lambda \ln p'$
Línea descarga	$e = e_c + C_s \log s'$	$V = V_k + K \ln p'$
Línea ESP	$k = \sigma'_3 / \sigma_1$	$\eta = q / p'$

• ENVOLVENTE (LOCUS) PLASTIFICACIÓN



Modelo Cam-Clay

Modelo Cam-Clay Modificado

$$q = Mp' \ln \left(\frac{p'm}{p'} \right)$$

$$M^2 p'^2 - M^2 p'_m x p' + q^2 = 0 \text{ (Elipse)}$$

$$q = Mp' \sqrt{\frac{p'm}{p'} - 1}$$

$P'm$: Presión de preconsolidación isotrópica coincidente con el punto de intersección de la envolvente de plastificación y el eje hidrostático.

- **DEFORMACIONES**

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

$$W' = \sigma_1 x \epsilon_1 + \sigma_2 x \epsilon_2 + \sigma_3 x \epsilon_3$$

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

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

Luego la energía consumida es:

$$W = qx \epsilon_S + p'x \epsilon_V$$

Siendo:

$$\text{Deformada de cortante} \quad \epsilon_S = \frac{2}{3} (\epsilon_1 - \epsilon_3)$$

$$\text{Deformación volumétrica} \quad \epsilon_V = (\epsilon_1 + 2\epsilon_3)$$

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:

$$d \varepsilon_v^e = \frac{K}{1+e} \frac{dp'}{P}$$

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

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

G= Modulo de deformación transversal o de cortante

Estas leyes son comunes en CAM-CLAY y CAM-CLAY Modificada

b) Fase plástica

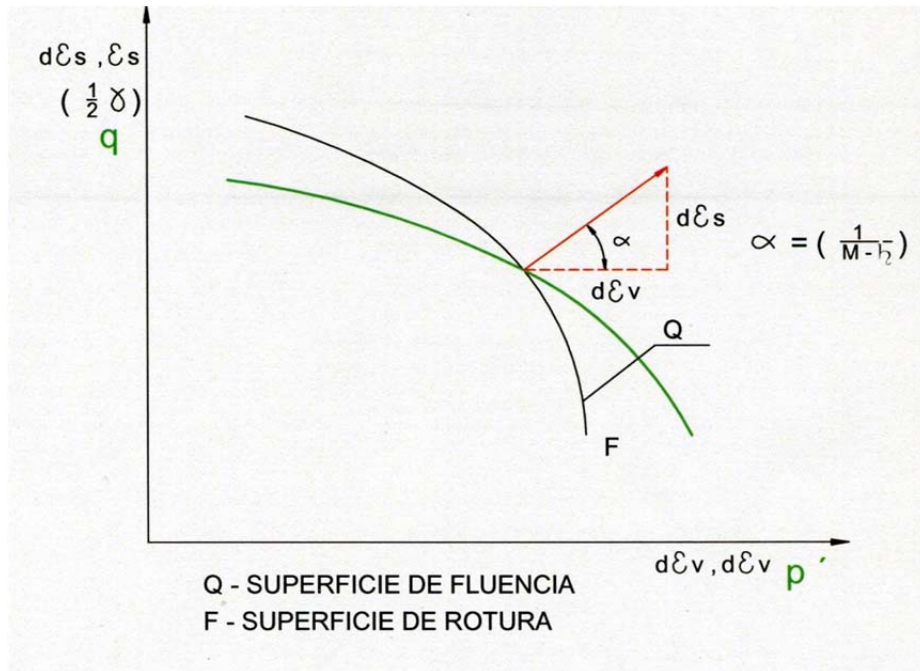
Se considera rigidización → plastificación → disminución índice de poros → Mayor rigidez del suelo.

- En el modelo Cam.Clay

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

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

$$\frac{d \varepsilon_s^p}{d \varepsilon_v^p} = \frac{1}{M - \eta}$$



Indica la dirección de la plastificación en el gráfico $\varepsilon_{vii_s}, \varepsilon_v$

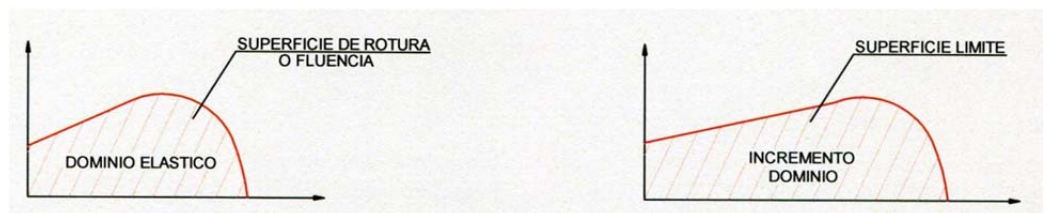
- En el modelo Cam-Clay Modificado

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

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

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

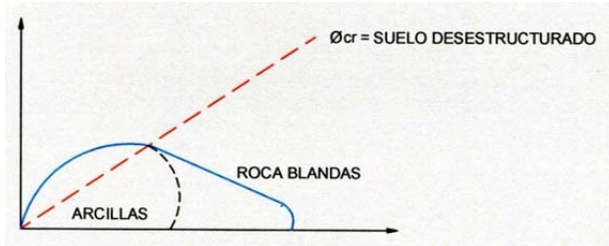
- Definir la ley de rigidización que relaciona el incremento del dominio elástico después de la plastificación.



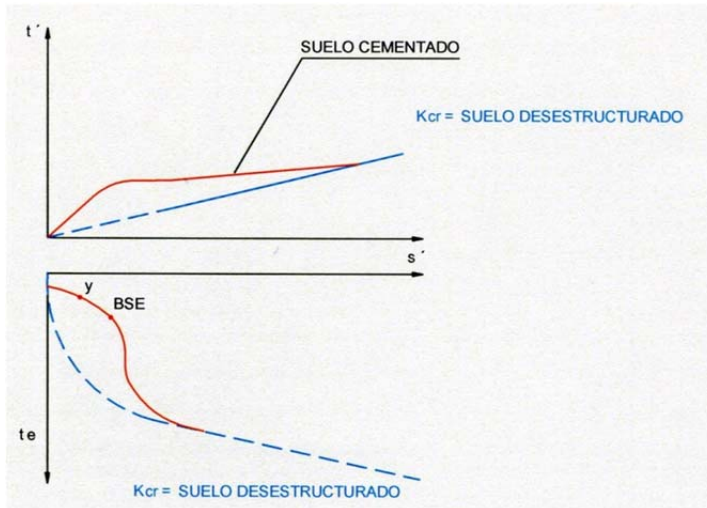
- Definir la dirección del incremento de deformaciones en la plastificación (ley de fluencia).

• DEFORMACIONES

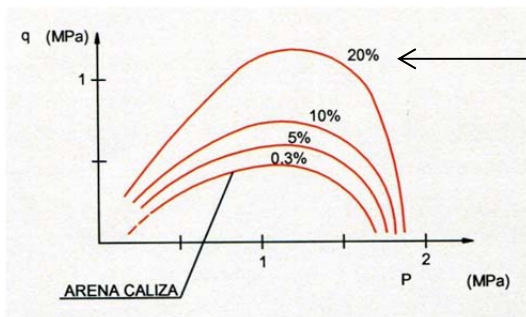
- Gens y Nova



En suelos artificialmente cementados

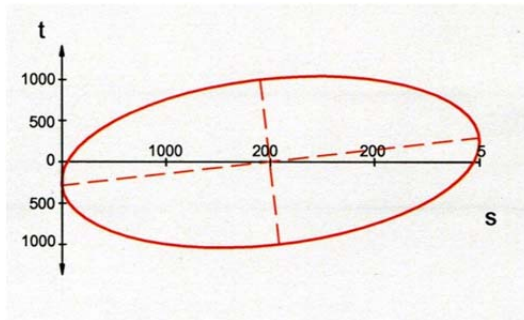


- Huang y Airey



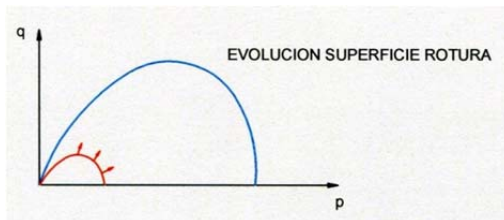
Porcentaje de cemento

- Kawadas & A. Anagnostopoulos

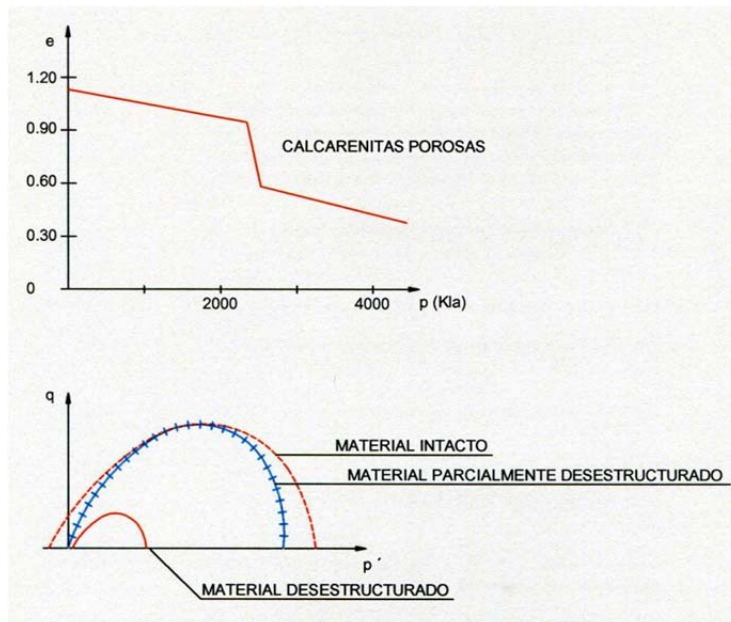


- Loggia y Nova

Modelo para rocas blandas rigidizables



- Fontana, Loggia y Nova



Tema 12. Criterios avanzados de rotura

- Kasama, Cichiai, Yanifuku

