

Mohr-Coulomb con ángulo de fricción interna variable con la presión

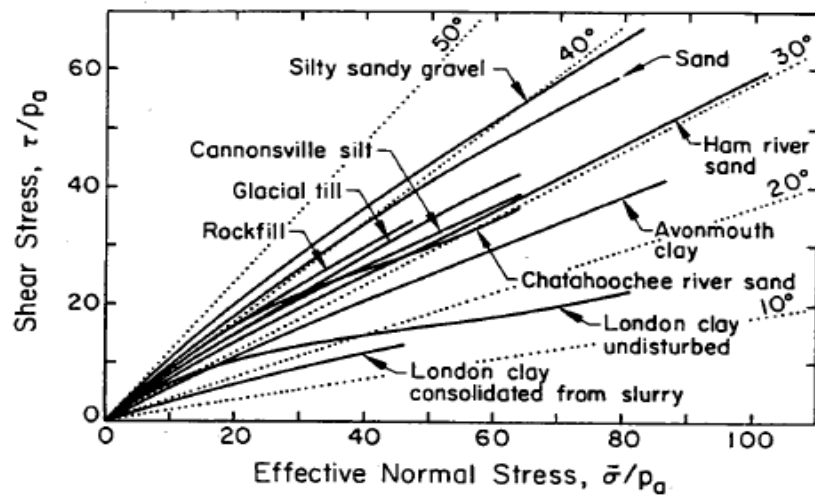
Dr. Alejo O. Sfriso

Universidad de Buenos Aires
SRK Consulting (Argentina)
AOSA

materias.fi.uba.ar/6408
latam.srk.com
www.aosa.com.ar

asfriso@fi.uba.ar
asfriso@srk.com.ar
asfriso@aosa.com.ar

La curva de resistencia intrínseca de los geomateriales



(Bishop 1966)

El criterio de Mohr-Coulomb adaptado a CRI realistas (**planteo**)



Los suelos y rocas tienen CRI curvas en el diagrama $\tau - \sigma$

En geotecnia se emplea Mohr-Coulomb (una recta)

- Razones históricas (Coulomb 1776)
- Interpretación de ensayos (primera mitad s. XX)
- **Soluciones analíticas** para problemas prácticos
 - Empujes: Rankine, Coulomb, Terzaghi
 - Fundaciones: Terzaghi, Meyerhof, Brinch-Hansen
 - Taludes: Bishop, Spencer, Morgenstern-Price
- (Tentadoramente) fácil de calibrar (con c y ϕ tangentes)

Con la geomecánica computacional no necesitamos soluciones analíticas (ni estamos en el siglo XX)

3

El criterio de Mohr-Coulomb adaptado a CRI realistas (**solución**)



Solución: emplear $\phi[p]$ (respetando el vértice c_p)

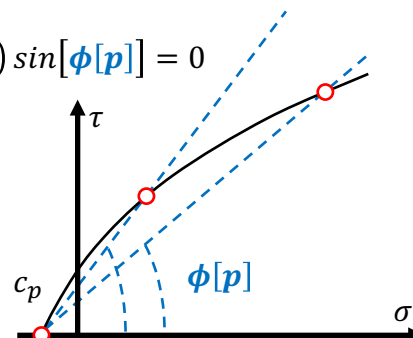
$$f_s = \sigma_3 - \sigma_1 + (\sigma_1 + \sigma_3) \sin[\phi[p]] - 2c \cos[\phi[p]] = 0$$

reescrito como

$$f_s = \sigma_3 - \sigma_1 + (\sigma_1 + \sigma_3 - 2c_p) \sin[\phi[p]] = 0$$


c_p se calibra para reproducir σ_c

$$c_p = \frac{\sigma_c}{2} \left(\frac{1}{\sin[\phi[\sigma_c/3]]} - 1 \right)$$



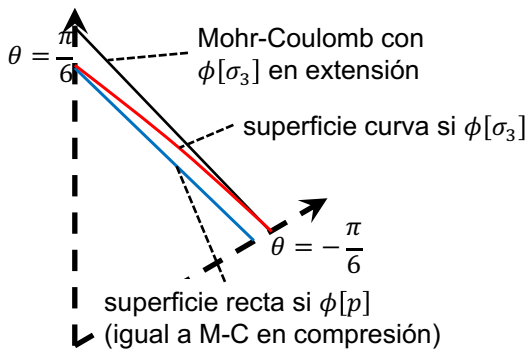
4

Mohr-Coulomb con ángulo de fricción interna variable

srk 

¿Porqué Mohr-Coulomb con $\phi[p]$?

- Reproduce comportamiento en $\tau - \sigma$
- Respeta definiciones históricas (c y ϕ)
- Produce superficies de curvatura simple



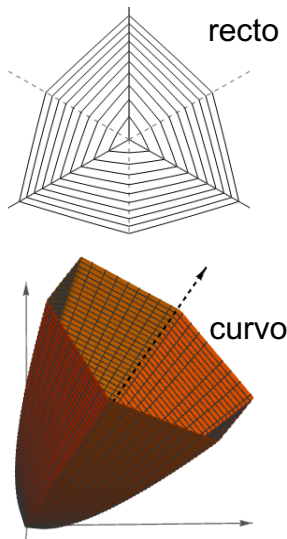
$\theta = \frac{\pi}{6}$

Mohr-Coulomb con $\phi[\sigma_3]$ en extensión

superficie curva si $\phi[\sigma_3]$

superficie recta si $\phi[p]$
(igual a M-C en compresión)

$\theta = -\frac{\pi}{6}$




recto

curvo

5

Mohr-Coulomb con ángulo de fricción interna variable

srk 

¿Porqué no usar parámetros tangentes?

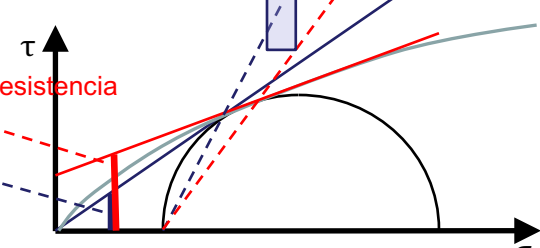
El empleo de parámetros tangentes puede conducir a resultados erróneos en cálculos analíticos

Dirección de falla no realista: cinemática errónea

Dirección de falla realista: cinemática confiable

Cohesión alta: sobre-estima resistencia de "círculos" poco profundos

Cohesión conservativa pero razonable



τ

σ

6

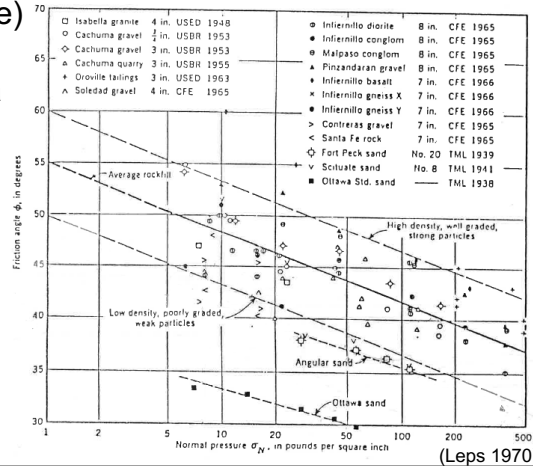
Leps (1970): enrocados



- Basado en resultados de ensayos triaxiales
- Tiene (cualitativamente) en cuenta el efecto de la densidad relativa
- Es función de σ_n
- Extrapola presiones bajas

$$\phi = \phi_0 - \Delta\phi \cdot \log_{10}[\sigma_n]$$

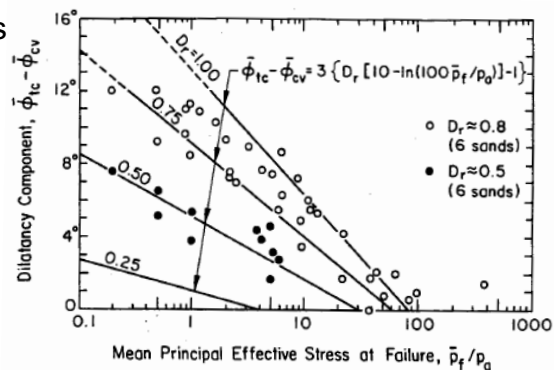
$$\sigma_n = \frac{3 \cdot \cos^2[\phi]}{3 - \sin[\phi]} p$$



Bolton (1986): arenas



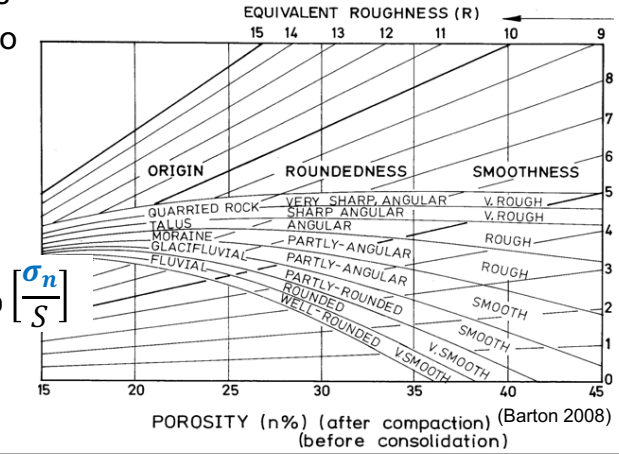
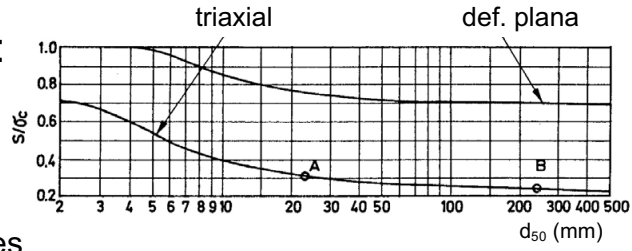
- Basado en resultados de ensayos triaxiales
- Separa fricción mineral (ϕ_c) de dilatancia (ψ)
- Es función de p



$$\phi - \phi_c = 3^\circ D_r \left(Q - \ln \left[\frac{100 p}{p_{atm}} \right] \right) - 3^\circ$$

Barton (2008): enrocados

- Basado en ensayos triaxiales
- Considera tamaño de partículas, porosidad y resistencia de los granos



$$\phi - \phi_b = -R \cdot \log_{10} \left[\frac{\sigma_n}{S} \right]$$

$$\sigma_n = \frac{3 \cdot \cos^2[\phi]}{3 - \sin[\phi]} p$$