

# Propiedades mecánicas del macizo rocoso

## Fórmulas

Criterio generalizado de Hoek-Brown

$$\begin{aligned} m_b &= m_i \exp\left(\frac{\text{GSI} - 100}{28 - 14D}\right) \\ s &= \exp\left(\frac{\text{GSI} - 100}{9 - 3D}\right) \\ a &= \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[ \exp\left(-\frac{\text{GSI}}{15}\right) - \exp\left(-\frac{20}{3}\right) \right] \\ \sigma_1 &= \sigma_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \end{aligned}$$

Resistencia a la compresión uniaxial y tracción uniaxial

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \sigma_{ci} s^a \\ \sigma_t &= -\frac{s \sigma_{ci}}{m_b} \end{aligned}$$

Resistencia a la compresión, cohesión y ángulo de fricción en el intervalo  $\sigma_t < \sigma_3 < \sigma_{3max}$

$$\begin{aligned} \sigma_{cm} &= \sigma_{ci} \frac{[m_b + 4s - a(m_b - 8s)] \left(\frac{m_b}{4} + s\right)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)} \\ \sigma_{3max} &= \frac{\sigma_{ci}}{4} && \text{En general} \\ \frac{\sigma_{3max}}{\sigma_{cm}} &= 0.47 \left( \frac{\sigma_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.94} && \text{Para túneles} \\ \frac{\sigma_{3max}}{\sigma_{cm}} &= 0.72 \left( \frac{\sigma_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.91} && \text{Para taludes} \\ \sigma_{3n} &= \frac{\sigma_{3max}}{\sigma_{ci}} \\ c &= \sigma_{ci} \frac{[(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma_{3n}](s + m_b \sigma_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \frac{6a m_b (s + m_b \sigma_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)}}} \\ \phi &= \arcsin \left[ \frac{6a m_b (s + m_b \sigma_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6a m_b (s + m_b \sigma_{3n})^{a-1}} \right] \end{aligned}$$

Esfuerzos normales y de corte en función de  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$  según Balmer(1952)

$$\frac{d\sigma_1}{d\sigma_3} = 1 + a m_b \left( m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^{a-1}$$

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \left( \frac{\frac{d\sigma_1}{d\sigma_3} - 1}{\frac{d\sigma_1}{d\sigma_3} + 1} \right)$$
$$\tau = (\sigma_1 - \sigma_3) \left( \frac{\sqrt{\frac{d\sigma_1}{d\sigma_3}}}{\frac{d\sigma_1}{d\sigma_3} + 1} \right)$$

Criterio de Mohr-Coulomb

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$
$$c = \frac{\sigma_{cm}(1 - \sin \phi)}{2 \cos \phi}$$
$$\phi = \arcsin \left( \frac{k - 1}{k + 1} \right)$$

Criterio de Mohr-Coulomb en función de  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$

$$\sigma_1 = \sigma_{cm} + k \sigma_3$$
$$\sigma_{cm} = \frac{2 \cos \phi}{1 - \sin \phi}$$
$$k = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

Modulo de elasticidad del macizo rocoso en MPa según Hoek y Diederichs (2006)

$$E_{rm} = E_i \left[ 0.02 + \frac{1 - \frac{D}{2}}{1 + \exp \left( \frac{60 + 15D - GSI}{11} \right)} \right]$$
$$E_{rm} = 10^5 \left[ \frac{1 - \frac{D}{2}}{1 + \exp \left( \frac{75 + 25D - GSI}{11} \right)} \right]$$

Modulo de elasticidad del macizo rocoso en GPa según Hoek, Carranza-Torres y Corkum (2002)

$$E_{rm} = \begin{cases} \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} 10^{\frac{GSI-10}{40}} & \sigma_{ci} \leq 100 \text{ MPa} \\ \left(1 - \frac{D}{2}\right) 10^{\frac{GSI-10}{40}} & \sigma_{ci} > 100 \text{ MPa} \end{cases}$$

## Ejercicios

1. Determinar los parámetros mecánicos necesarios para el análisis de las fundaciones de dos torres de alta tensión en un macizo rocoso estratificado de areniscas, las fundaciones se excavaran mediante voladura controlada; según la consultora el índice geológico de resistencia es 60 y la resistencia a compresión de la matriz rocosa es 135 MPa.
2. Determinar los parámetros mecánicos necesarios para el análisis de un túnel excavado en un macizo rocoso de lutitas con dos familias de discontinuidades, el túnel tendrá una profundidad de 230 m y para la excavación se usará TBM; según la consultora el índice geológico de resistencia es 50, la resistencia a compresión de la matriz rocosa es 95 MPa, el módulo de elasticidad de la matriz rocosa es 25 GPa y el peso unitario es 25 kN/m<sup>3</sup>.
3. Determinar los parámetros mecánicos necesarios para el análisis de un talud excavado en un macizo rocoso de limolitas con tres familias de discontinuidades, el talud tendrá una altura de 12 m, se excavara con explosivos y maquinaria; según el residente de obra el RMR es 75, los núcleos extraídos eran de 50 mm y la resistencia a carga puntual es 9 MPa.