



TEMA N° 2

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LAS ROCAS

Características del medio rocoso.

Propiedades físicas de la matriz rocosa y métodos para su determinación.

Propiedades mecánicas de las rocas.

Resistencia a compresión simple, resistencia a tracción, resistencia a compresión triaxial.

Velocidad de ondas.

Clasificación de las rocas y de los macizos rocosos.

Meteorización de los materiales rocosos.

Permeabilidad y circulación de los fluidos.



Características del medio rocoso.

DEFINICIÓN: cuando se estudia el medio rocoso, se asume generalmente un comportamiento homogéneo, continuo, isótropo, elástico y lineal. (esto es irreal)

1. La gran variedad en la composición química de los agregados heterogéneos de cristales y partículas amorfas, pueden caracterizar el medio rocoso.
2. La Fábrica o Petrofábrica de las rocas es consecuencia de su génesis e historia geológica, ofrecen diferentes direcciones de anisotropía por orientación de cristales y granos, o por foliación o esquistosidad.
3. La Alteración y Meteorización por procesos químicos y físicos, modifica la composición de la roca, dando lugar a nuevos minerales con propiedades diferentes.
4. La fracturación y el origen de la misma, influyen en las características del medio rocoso.



Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

INTRODUCCIÓN: para la descripción e identificación cuantitativa de las propiedades básicas de las rocas, se usan los llamados **PROPIEDADES ÍNDICES**.

PROPIEDADES ÍNDICES. Se dividen en 2:

1.-Propiedades de identificación y clasificación:

- a.-Composición Mineralógica.
- b.-Fabrica y Textura.
- c.-Tamaño del grano.
- d.-Color.
- e.-Porosidad.
- f.-Peso específico.
- g.-Permeabilidad.
- h.-Durabilidad.
- i.-Alterabilidad.

Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

2.-Propiedades Mecánicas

- a.-Resistencia a la Compresión Simple
- b.-Resistencia a la Tracción.
- c.-Velocidad de las ondas Sónicas.
- d.-Resistencia.
- e.-Deformabilidad.

Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

POROSIDAD. Se define como la relación entre el volumen ocupado por los huecos o poros en la roca (V_v) y volumen total de la roca (V).

$$n = V_v / V \quad (\%)$$

Es la propiedad que mas interviene o afecta las características resistentes y mecánicas de las rocas.

Es inversamente proporcional a la resistencia y a la densidad; es directamente proporcional a la deformabilidad (Modulo de Elasticidad y Poisson), ya que esto aumenta las zonas de debilidad.

Decrece a medida que aumenta la profundidad y la edad de las rocas.

Valores normales de la porosidad es 15 a 30 %.

Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

POROSIDAD EFICAZ: Se define como la relación que existe entre el volumen de poros interconectados y el volumen total de la muestra. Sin embargo, esta porosidad se puede obtener con la siguiente formula:

$$n_e = (W_{sat} - W_{seco}) / (\gamma_w * V)$$

W_{sat} : peso de la muestra saturada.

W_{seco} : peso de la muestra seca.

γ_w : peso específico del agua.

V : volumen de la muestra.

Es usual encontrar rocas que sus poros no están conectados, por lo que la porosidad real será mayor que la eficaz.

INDICE DE POROS: se define como la relación entre el volumen ocupado por los huecos (V_v) y el volumen de las partículas sólidas (V_{sol}).

$$e = V_v / V_{sol}$$

Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

PESO ESPECIFICO: también es llamado peso unitario, se define por el peso de la muestra (W_m) por unidad de volumen de la muestra (V_m).

$$\gamma = W_m/V_m$$

También se puede obtener el Peso específico por la siguiente formula:

$$\gamma = \rho * g$$

Donde ρ la densidad de la roca y g es la gravedad.

No se debe confundir el peso específico con la densidad.

Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

PERMEABILIDAD: se define como la capacidad de transmitir agua en un roca. Esta se mide por el coeficiente de permeabilidad o de conductividad hidráulica (k) y se define por la siguiente formula:

$$k=K(\gamma_w / \mu)$$

γ_w : peso específico del agua.

μ : viscosidad del agua.

También es empleada la Ley de Darcy, que relaciona la cantidad de flujo (Q) con el gradiente hidráulico de presión durante el flujo por la unidad de longitud y la formula es la siguiente:

$$Q=k_*i_*A$$

Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

DURABILIDAD: se define como la resistencia que presenta la roca ante los procesos de alteración y desintegración. Esta propiedad índice también es conocida como alterabilidad, en otras palabras, esta propiedad mide la tendencia a la rotura de los componentes o de las estructuras de la roca.

La durabilidad puede estar afectada por procesos de hidratación, disolución y oxidación. Esta propiedad aumenta con la densidad y se reduce con el contenido de agua

Procedimiento: esta propiedad se evalúa mediante el ensayo de sequedad-humedad-desmoronamiento es llamado SDT (Slake Durability Test). Este ensayo consiste en someter al material fragmentado a ciclos standares de humedad-sequedad-desmoronamiento de 10 minutos de duración en el Laboratorio. Se trabaja con el material retenido en el tambor con la medida antes indicada, se seca y se pesa y se vuelve a repetir el ciclo. Generalmente se trabaja con 2 Ciclos y la nomenclatura usada en estos 2 ciclos son I_{D1} y I_{D2} , dependiendo de la durabilidad estos valores varían entre 0 a 100%



Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

La Formula para calcular la Durabilidad es:

$$I_D = \text{Peso Seco después de uno o dos ciclos} / \text{Peso Inicial de la muestra}$$

Clasificación de la durabilidad en base
al índice I_{D2}

Durabilidad	% peso retenido después de 2 ciclos
Muy alta	> 98
Alta	95-98
Media-alta	85-95
Media	60-85
Baja	30-60
Muy baja	< 30

Clasificación de la durabilidad en base
al índice I_{D1}

Durabilidad	% peso retenido después de 1 ciclo (1)	% peso retenido después de 2 ciclos (2)
Extremadamente alta	—	> 95
Muy alta	> 99	90-95
Alta	98-99	75-90
Media-alta	95-98	—
Media	85-95	50-75
Baja	60-85	25-50
Muy baja	< 60	< 25

(1) Gumbel, 1971 (en Goodman, 1989)

(2) Franklin and Chandra, 1972 (en Johnson and De Graft, 1988).

Para El caso de las Arcillas se
recomienda usar esta tabal de
valores

Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

PROPIEDADES MECÁNICAS.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE: es llamada también *resistencia uniaxial* y se define como el esfuerzo máximo que soporta la roca sometida a compresión uniaxial, la cual se determina a través de una probeta cilíndrica sin confinar en el laboratorio



Propiedades Físicas de la matriz Rocosa



Propiedades Físicas de la matriz Rocosa



Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

PROPIEDADES MECÁNICAS.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE: La probeta rocosa y/o mineral a ser ensayada debe tener la siguiente relación:

$$L/D = 2$$

Donde:

L = Longitud de la probeta (cms).

D = Diámetro de la probeta (cms).

FACTOR DE CORRECCIÓN DE PROTODYAKONOV:

Cuando la relación de $L/D \neq 2$, se puede aplicar el factor de Corrección de Protodyakonov, cuya relación matemática es la siguiente:

Donde:

do = Resistencia Compresiva uniaxial con $L/D = 2$.

dc = Resistencia Compresiva uniaxial con $L/D \neq 2$.

L = Longitud de la Probeta.

D = Diámetro de la Probeta.

Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

FACTOR DE CORRECCIÓN DE PROTODYAKONOV:

Cuando la relación de esbeltez es $L/D \neq 2$, se puede aplicar el factor de Corrección de Protodyakonov, cuya relación matemática es la siguiente:

$$\sigma_c = \frac{8\sigma_o}{7 + (2D/L)}$$

σ_o = Resistencia Compresiva uniaxial con $L/D = 2$.

σ_c = Resistencia Compresiva uniaxial con $L/D \neq 2$.

L = Longitud de la Probeta.

D = Diámetro de la Probeta.

Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

FACTOR DE CORRECCION DE OVERT DUVALL: Cuando la relación de esbeltez es $L/D \neq 2$, se puede aplicar el factor de corrección dado por Overt Duvall – 1981 (Rock Mechanic's and the desing of Structures in Rock):

$$\sigma_c = \frac{\sigma_o}{0.778 + (0.222D/L)}$$

σ_o = Resistencia Compresiva uniaxial con $L/D = 2$.

σ_c = Resistencia Compresiva uniaxial con $L/D \neq 2$.

L = Longitud de la Probeta.

D = Diámetro de la Probeta.

Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

PROPIEDADES MECÁNICAS.

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA – METODO BRASILERO:

El ensayo consiste en someter a una probeta cilíndrica (disco de roca y/o mineral) a una carga lineal compresiva actuando a lo largo de su diámetro. El resultado de este esfuerzo compresivo es una tensión horizontal y un esfuerzo compresivo variable. La probeta rocosa y/o mineral se suele romper en la mayoría de los casos separándose en dos mitades según el eje de carga diametral



Propiedades Físicas de la matriz Rocosa



Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

PROPIEDADES MECÁNICAS.

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA – METODO BRASILERO: La probeta rocosa y/o mineral a ser ensayada debe tener la siguiente relación: $L/D = 0.5$

Donde:

L = Longitud de la probeta (cms).

D = Diámetro de la probeta (cms).

$$\sigma_t = 2P/\pi DL$$

Donde:

σ_t = Resistencia a la tracción indirecta de la roca y/o mineral en (Kg/cm^2).

P = Carga última de rotura de la probeta (Kg).

D = Diámetro de la probeta (cm).

L = Longitud de la probeta (cm).

π = Constante.



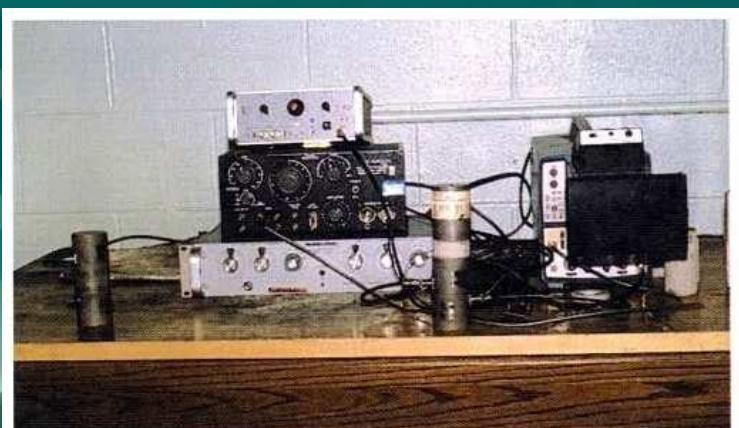
Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

PROPIEDADES MECÁNICAS.

VELOCIDAD DE LAS ONDAS SONICAS: este ensayo permite medir la velocidad de las ondas elásticas longitudinales y transversales (V_p y V_s) al atravesar una probeta de roca seca o saturada. La velocidad de la onda esta relacionada con las características mecánicas del material, su resistencia y su Deformabilidad y a partir de ellas se calculan los módulos de deformación elásticos dinámicos: E_d y γ_d El ensayo consiste en transmitir ondas longitudinales mediante compresión ultrasonica y medir el tiempo que tardan dichas ondas en atravesar la probeta.

La velocidad de la onda de corte V_s es aproximadamente 2/3 de la velocidad de las ondas longitudinales V_p .

La finalidad de realizar este ensayo es la de calcular los módulos elásticos dinámicos del macizo rocoso E_d y γ_d



Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

PROPIEDADES MECÁNICAS.

VELOCIDAD DE LAS ONDAS SONICAS:

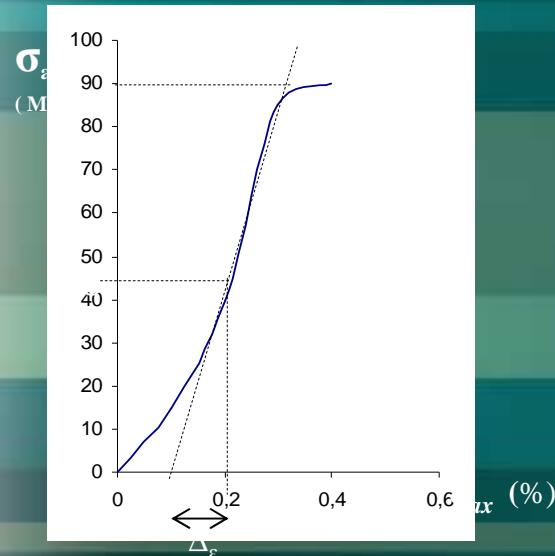
$$E_d = \rho V_p^2 \frac{(1 - 2v_d)(1 + v_d)}{(1 - v_d)} \quad E_d = 2\rho V_s^2(1 + v_d)$$

$$v_d = \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{2[(V_p/V_s)^2 - 1]}$$

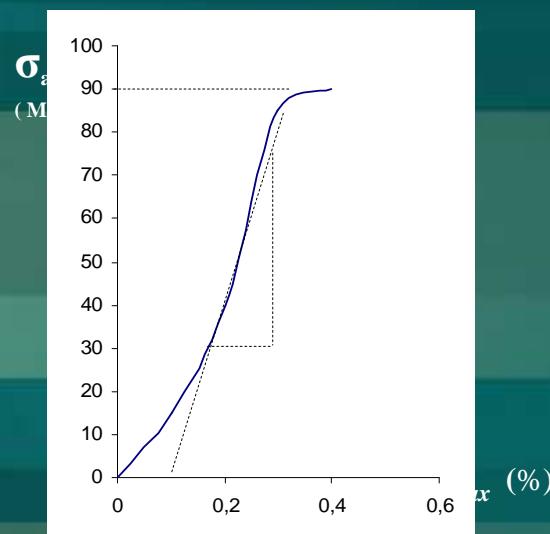
Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

PROPIEDADES MECÁNICAS.

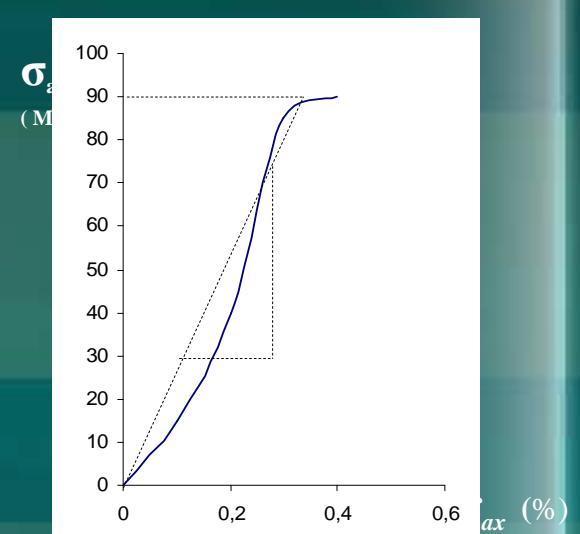
DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE YOUNG Y POISSON.



$$E = \sigma / \Delta \varepsilon$$



$$E = \Delta \sigma / \Delta \varepsilon$$



$$E = \Delta \sigma / \Delta \varepsilon$$

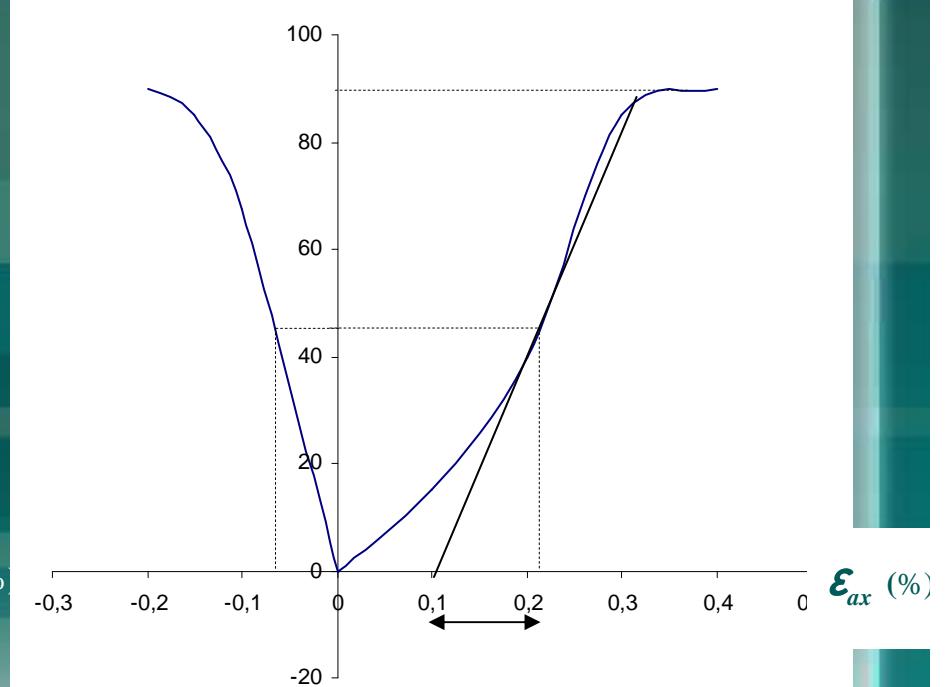
Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

PROPIEDADES MECÁNICAS.

DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE YOUNG Y POISSON.

$$E = \sigma / \Delta \varepsilon = 45 \text{ MPa} / (0.205 - 0.1) = 0.428 \times 10^3 \text{ MPa}$$

$$V = \varepsilon_t / \Delta \varepsilon_t = 0.05 / (0.205 - 0.1) = 0.476$$



Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS CON FINES GEOTÉCNICOS

Clasificación geológica general de las rocas

Clasificación de las rocas por su origen		
Rocas sedimentarias	Detriticas: Químicas: Orgánicas:	cuarcita, arenisca, lutita, limolita, conglomerado. evaporitas, caliza dolomítica. caliza, carbón, rocas coralíferas.
Rocas ígneas	Plutónicas: Volcánicas:	granito, gabro, diorita. basalto, andesita, riolita.
Rocas metamórficas	Masivas: Foliadas o con esquistosidad:	cuarcita, mármol. pizarra, filita, esquisto, gneiss.

1.-Aportan información sobre la composición mineralógica, textura y la fabrica de las rocas.

2.-Aportan información sobre la isotropía y la anisotropía estructural de la roca.



Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS CON FINES GEOTÉCNICOS

La Primera clasificación se refiere a la resistencia a la compresión simple. Esta basada en términos cualitativos a partir de valores que se obtienen del ensayo.

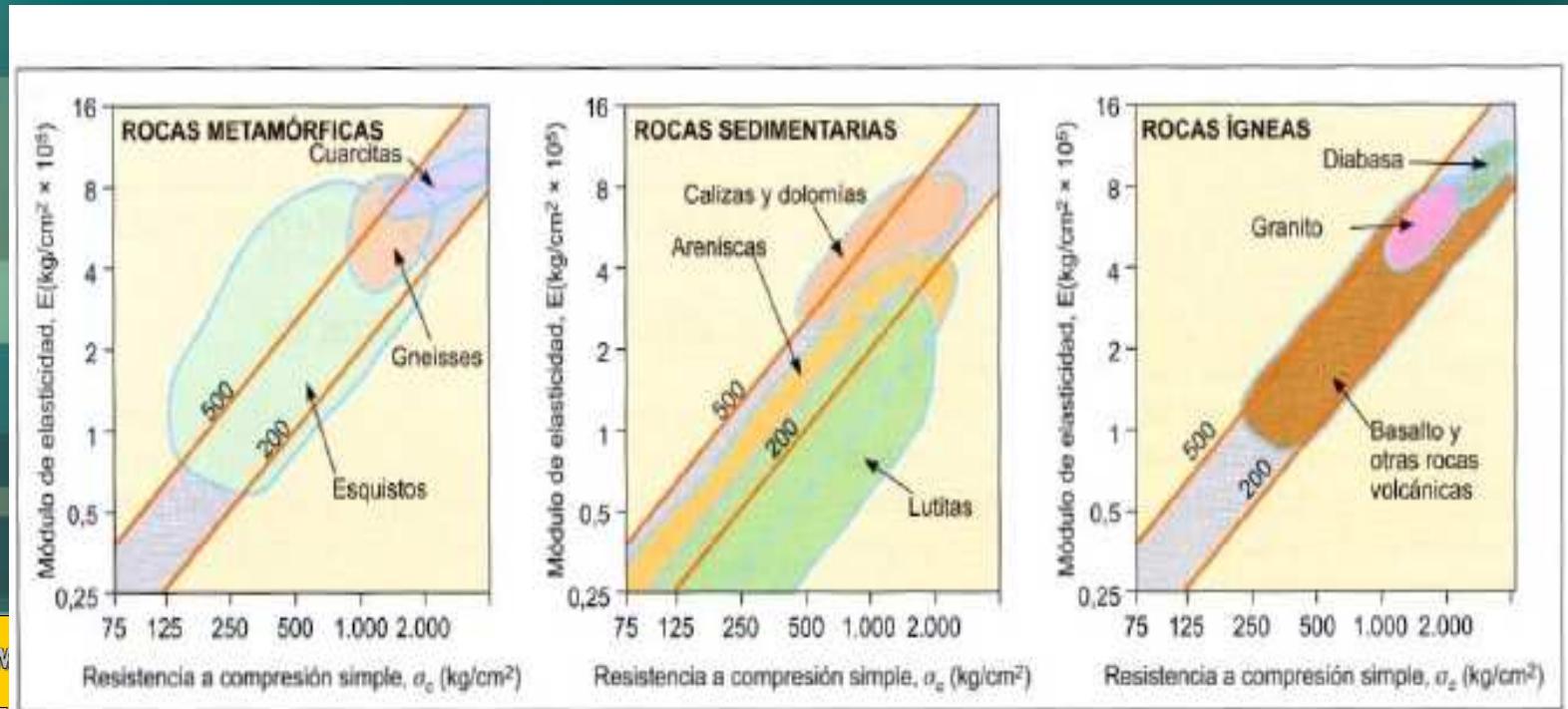
Clasificación de las rocas a partir de su resistencia a compresión simple

Resistencia a la compresión simple (MPa)	ISRM (1981)	Geological Society of London (1970)	Bierniawski (1973)	Ejemplos
< 1			Suelos	
1-5	Muy blanda	Blanda > 1,25	Muy baja	Sal, lutita, limolita, marga, toba, carbón.
5-12,5	Blanda	Moderadamente blanda		
12,5-25		Moderadamente dura		
25-50	Moderadamente dura	Dura	Baja	Esquisto, pizarra.
50-100	Dura	Dura	Media	Rocas metamórficas esquistosas, mármol, granito, gneiss, arenisca, caliza porosa.
100-200	Muy dura	Muy dura	Alta	Rocas ígneas y metamórficas duras, arenisca muy cementada, caliza, dolomía.
> 200		Extremadamente dura	Muy alta	Cuarcita, gabro, basalto.
> 250	Extremadamente dura			

Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS CON FINES GEOTÉCNICOS

Otra clasificación usada en rocas es el módulo relativo que consiste en la relación entre módulo de elasticidad y la resistencia la compresión simple (E/σ_c)





Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS CON FINES GEOTÉCNICOS.

Otra clasificación relacionada a la clasificación de las rocas, es el grado de meteorización o de alteración de la roca o matriz rocosa. Es importante estudiar la meteorización debido a que aumenta la porosidad, la permeabilidad y la deformabilidad del material rocoso y a su vez disminuye la resistencia.

Descripción del grado de meteorización

Término	Descripción
Fresca	No se observan signos de meteorización en la matriz rocosa.
Decolorada	Se observan cambios en el color original de la matriz rocosa. Es conveniente indicar el grado de cambio. Si se observa que el cambio de color se restringe a uno o algunos minerales se debe mencionar.
Desintegrada	La roca se ha alterado al estado de un suelo, manteniéndose la fábrica original. La roca es friable, pero los granos minerales no están descompuestos.
Descompuesta	La roca se ha alterado al estado de un suelo, alguno o todos los minerales están descompuestos.

Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

CLASIFICACIÓN DE LOS MACIZOS ROCOSOS.

La clasificación de los macizos rocosos esta basado en los siguientes factores que determinan su comportamiento mecánico:

- 1.-*Propiedades de la matriz rocosa.*
- 2.-*Frecuencia y tipos de discontinuidades, que definen el grado e fracturamiento, el tamaño y formas de los bloques del macizo, sus propiedades hidrológicas.*
- 3.-*Grado de meteorización o alteración.*
- 4.-*Estados de las tensiones en situ.*
- 5 *presencia del agua.*

Las clasificaciones mas importantes son:

- 1.-*RMR de Bieniawski.*

- 2.-*La q de Barton.*

- 3.-*Romana.*

- 4.-*RQD.*



Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

CLASIFICACIÓN DE LOS MACIZOS ROCOSOS.

Otras clasificaciones empleadas son

1.-**INDICE DE VELOCIDAD RELATIVA**: este índice relaciona las velocidades de las ondas longitudinales medida *en situ* en el macizo rocoso con la velocidad medida en probetas de matriz rocosa en el laboratorio (V_{situ}/V_{lab})

Índice de velocidad relativa y calidad del macizo rocoso

Índice de velocidad relativa (V_r/V_L)	Calidad del macizo rocoso
< 0,2	Muy mala
0,2-0,4	Mala
0,4-0,6	Media
0,6-0,8	Buena
> 0,8	Muy buena

Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

METEORIZACIÓN DE LOS MATERIALES ROCOSOS. La meteorización de las rocas están controlados por condiciones climáticas y sus variables de temperatura, humedad, precipitaciones, regímenes de vientos, entre otros. Estas variables, determinan el tipo y la intensidad de las transformaciones físicas y químicas que afectan los materiales.

Las acciones de origen físico producen facturación mecánica de las rocas. Entre estas tenemos:

1.-*Gelifracción.*

2.-*Insolación: En climas áridos y la diferencia de temperatura en períodos cortos de tiempo, producen tensiones en las rocas por dilatación y contracción de las rocas.*

3.-*Formación de sales.*

4.-*Hidratación. Caso de las arcillas.*

5.-*Capilaridad. Especialmente en inrales laminados, micas y yesos.*



Propiedades Físicas de la matriz Rocosa

METEORIZACIÓN DE LOS MATERIALES ROCOSOS.

Las acciones de origen químico producen facturación mecánica de las rocas.
Entre estas tenemos:

- 1.-Disolución.
- 2.-Hidratación.
- 3.-Hidrolisis.
- 4.-Oxidación y reducción.