



TP n°4 :

Propiedades de las rocas y clasificación de macizos rocosos

Alexandre -----


François -----

G12

Mecánica de Suelos y Rocas I Trabajo Práctico #2: "Gravimetría en Suelos"	G12	Alumnos:
	Septiembre 2011	----- François
	Página 2 / 18	----- Alexandre

Indices

1] Introduccion	3
2] Fundamentos teóricos siguientes:	3
3] Las principales propiedades físicas y mecánicas de las rocas intactas.....	4
4] Las clasificaciones de los rocas.....	7
A) La clasificación con fines geotécnicos:.....	7
B) La clasificación con fines litológicos o geológicos:.....	7
5] El Agua	7
6] Las discontinuidades.....	8
Tipos de discontinuidades:	8
Características de las discontinuidades.....	10
7] La representación estereográfica:.....	12
A) Concepto:	12
Los tipos de diagramas:	13
C) Aplicaciones:.....	14
8] Índice RQD, Clasificación RMR de Bieniawsky 1989 e índice Q de Barton 1974:	15
A) Índice RQD (Rock Quality Designation):.....	15
B) Clasificación RMR de Bieniawsky 1989:	15
C) Índice Q de Barton 1974 :.....	16
9] Ejercicio:.....	17

Mecánica de Suelos y Rocas I Trabajo Práctico #2: "Gravimetría en Suelos"		Alumnos: ----- François ----- Alexandre
	Septiembre 2011	
	Página 3 / 18	

1] Introducción

La Mecánica de Rocas se encarga del estudio teórico y práctico de las propiedades comportamiento mecánico de los materiales rocosos, y de su respuesta ante la acción de fuerzas aplicadas en su entorno físico.

La finalidad de la Mecánica de Rocas es conocer y predecir el comportamiento de los materiales rocosos ante la actuación de las fuerzas internas y externas que se ejercen sobre ellos.

Los distintos ámbitos de aplicación de la mecánica de rocas se agrupan en:

- Cuando el material rocoso constituye la estructura (excavaciones de túneles, galerías, taludes, etc.).
- Cuando la roca es el soporte de otras estructuras (cimentaciones de edificios, presas, etc.).
- Cuando las rocas son empleadas como material de construcción (escolleras, pedraplenes, rellenos, etc.).

Cuando se excava un macizo rocoso o se construyen estructuras sobre las rocas se modifican las condiciones iniciales del medio rocoso, el cual responde a estos cambios deformándose y/o rompiéndose.

El conocimiento de las tensiones y deformaciones que puede llegar a soportar el material rocoso ante unas determinadas condiciones permite evaluar su comportamiento mecánico y abordar el diseño de estructuras y obras de ingeniería. La relación entre ambos parámetros describe el comportamiento de los diferentes tipos de rocas y macizos rocosos, que dependen de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales y de las condiciones a que están sometidos en la naturaleza.

2] Fundamentos teóricos siguientes:

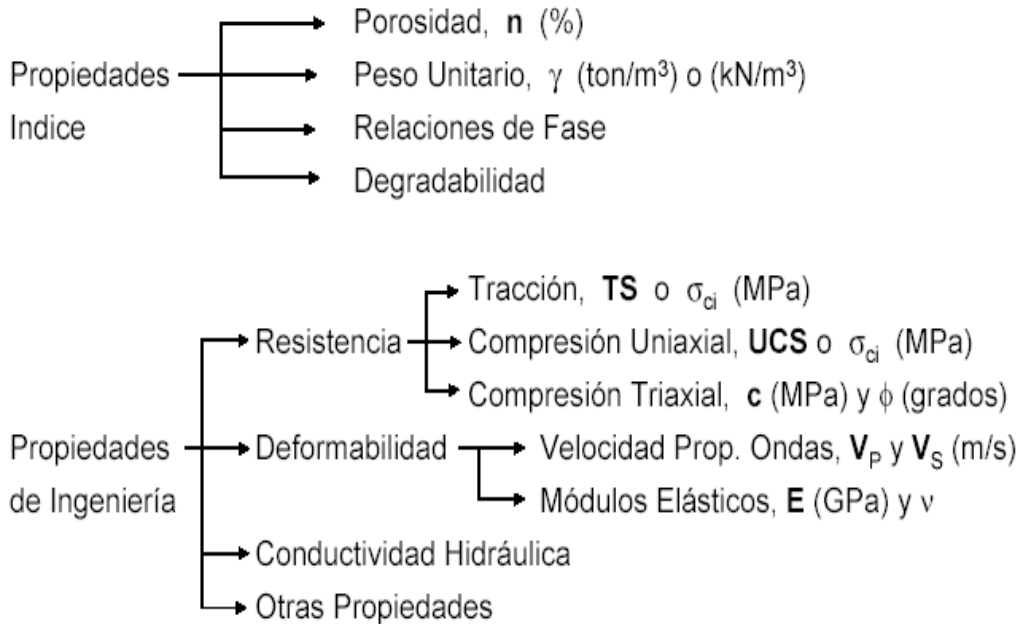
Una roca es un agregado natural de partículas de uno o más minerales, con fuerte unión cohesiva permanente, que constituyen masas geológicamente independientes de cuales podemos hacer mapas.

Un suelo es un agregado natural de partículas minerales granulares y cohesivas, separables por medios mecánicos de baja energía o por agitación en agua.

Una matriz rocosa es un material rocoso exento de discontinuidades, o bloques de roca intacta que quedan entre ellas.

Un macizo rocoso es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades de diverso tipo que afectan al medio rocoso.

3] Las principales propiedades físicas y mecánicas de las rocas intactas



Propiedades físicas:

Controlan las características resistentes y deformacionales de la matriz rocosa, y son el resultado de la génesis, condiciones y procesos geológicos y tectónicos sufridos por las rocas a lo largo de su historia.

Las principales son (con ejemplo del Granito):

1. Composición Mineralógica

Ej:

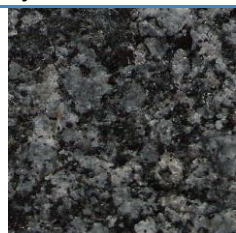


La composición mineralógica de granito se define por las asociaciones de muy diferente de cuarzo, feldespato, mica, los anfíboles, piroxena y olivino. Algunos de estos componentes puede estar ausente en algunas asociaciones mineralógicas, teniendo en cuenta varios minerales accesorios otros en proporciones mucho más reducidas.



2. Fábrica, textura

Ej:



Los granitos se originan cuando grandes masas de magma se solidifican lentamente a bastante profundidad, lo que da tiempo a la formación de cristales grandes de los diferentes minerales. Su textura resultante es fanerítica o de grano grueso.

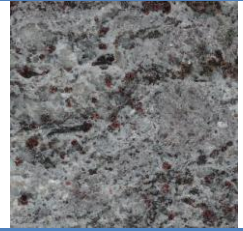


3. Porosidad

Ej:

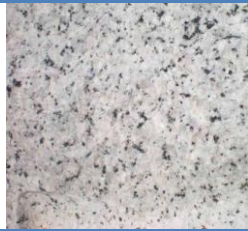


Los granitos son rocas muy compactos con una muy baja porosidad. La porosidad va aumentando con la alteración de las rocas. Siempre tienen una porosidad del orden del 1%.

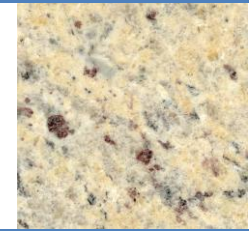


4. Peso Específico

Ej:

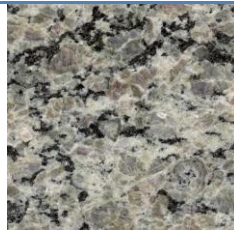


La densidad del granito varía entre 2630 y 2750 kg.cm⁻³

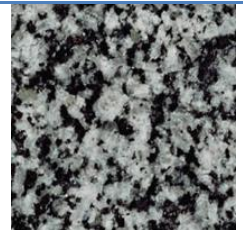


5. Contenido de humedad

Ej:

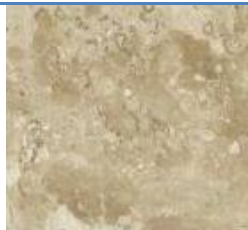


El contenido de agua o contenido de humedad es la cantidad de agua contenida en un material. Un granito intacto tiene humedad nula.

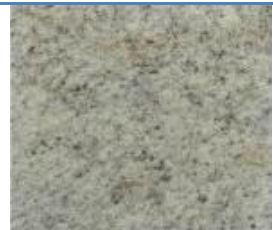


6. Permeabilidad

Ej:



La permeabilidad es la capacidad de un material para que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Un granito intacto es muy poco permeable, aunque la permeabilidad suele aumentar por la existencia de fracturas. (La permeabilidad k de un granito es de los 10^{-15} cm² o 0,0001 miliDarcys).



7. Durabilidad (Alterabilidad)

Ej:



El contenido de agua o contenido de humedad es la cantidad de agua contenida en un material. El granito es muy popular debido a su alta durabilidad.



Propiedades Mecánicas

8. Resistencia a la Compresión

Ej:



La resistencia de los granitos a la presión se sitúa entre 1.000 y 1.400 Kg por cm². Es más duro que la arenisca, la caliza y el mármol, y su extracción es, por tanto, más difícil.



9. Resistencia a la tracción

Ej:



Las rocas oponen una resistencia máxima a la compresión, y comúnmente la resistencia a la tracción no pasa del 10% al 15% de la resistencia a la compresión.

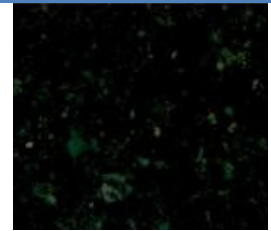


10. Velocidad de propagación de las ondas elásticas

Ej:

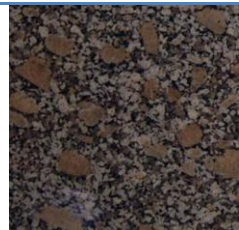


La velocidad con la que se propagan las ondas elásticas a través de los materiales rocosos es una propiedad utilizada en la caracterización de los mismos, especialmente desde el punto de vista su calidad o grado de alteración. Velocidades típicas son 1450m/s en el agua y cerca de 5000m/s en el granito.

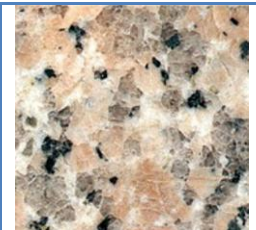


11. Deformabilidad

Ej:



La deformabilidad de la roca intacta se expresa en términos de la relación entre tensión y deformación en compresión uniáxica, gracias al modulo de Young. Sin embargo, las rocas se deforman de manera diferente según sus características geológicas. El modulo de Young del Granite es de 53000 MPA.



4] Las clasificaciones de los rocas

A) La clasificación con fines geotécnicos:

La clasificación de rocas con fines geotécnicos aporta informaciones sobre la composición mineralógica, textura y la fábrica de las rocas. Esta clasificación permite también de conocer informaciones sobre la isotropía o la anisotropía estructural de las rocas y sobre cuyas resistencias mecánicas.

En esta clasificación, el objetivo principal es de poder **clasificar las rocas por sus características y comportamientos mecánicas**.

B) La clasificación con fines litológicos o geológicos:

La clasificación de rocas con fines geológicos o litológicos aporta informaciones sobre las rocas, especialmente de su tamaño de grano, del tamaño de las partículas y de sus características físicas y químicas. Incluye también su composición, su textura, tipo de transporte así como su composición mineralógica, distribución espacial y material cementante.

En esta clasificación, el objetivo principal es de poder **clasificar las rocas por sus orígenes y sus composiciones químicas y propiedades físicas**.

5] El Agua



El agua como material geológico coexistente con las rocas influye en su comportamiento mecánico y en su respuesta ante las fuerzas aplicadas. Las zonas alteradas y meteorizadas superficiales, las discontinuidades importantes y las fallas son camino preferente para el flujo del agua.

Los efectos más importantes son:

- Juega un papel importante en la resistencia de las rocas blandas y de los materiales meteorizados.
- Reduce la resistencia de la matriz rocosa en rocas porosas.
- Rellena las discontinuidades de los macizos rocosos e influye en su resistencia. También influye significativamente en la estabilidad de la masa rocosa de una excavación.
- Produce meteorización química y física en la matriz rocosa y en los macizos rocosos
- Es un agente erosivo
- El agua puede lubricar las familias de discontinuidades y permitir que las piezas de rocas se muevan.
- En rocas intensamente fracturadas, la presencia del agua acelera el proceso de aflojamiento, especialmente en ambientes de altos esfuerzos donde el aflojamiento de la roca será muy rápido.

6] Las discontinuidades

Tipos de discontinuidades:

Los principales tipos de discontinuidades presentes en la masa rocosa son:

Planos de estratificación:

Dividen en capas o estratos a las rocas sedimentarias



Fallas

Son fracturas que han tenido desplazamiento. Estas son estructuras menores que se presentan en áreas locales de la mina o estructuras muy importantes que pueden atravesar toda la mina

Zonas de corte

Son bandas de material que pueden ser de varios metros de espesor, en donde ha ocurrido fallamiento de la roca.



Diaclasa

También denominadas juntas, son fracturas que no han tenido desplazamiento y las que más comúnmente se presentan en la masa rocosa.

Planos de exfoliación o esquistosidad

Se forman entre las capas de las rocas metamórficas dando la apariencia de hojas o láminas.



Contactos litológicos

Cuando comúnmente forman, por ejemplo, la caja techo y caja piso de una veta.

Venillas

Son rellenos de las fracturas con otros materiales



Pliegues

Son estructuras en las cuales los estratos se presentan curvados.

Diques

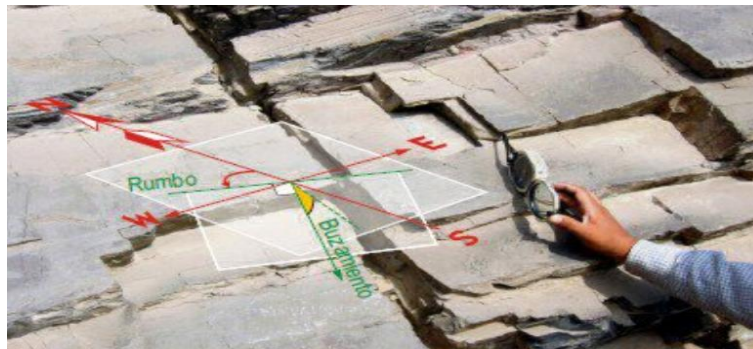
Son intrusiones de roca ígnea de forma tabular, que se presentan generalmente empinadas o verticales.



Características de las discontinuidades

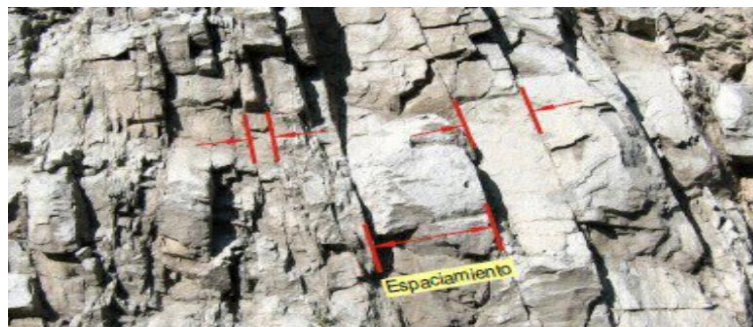
Orientación

Es la posición de la discontinuidad en el espacio y comúnmente es descrito por su rumbo y buzamiento. Cuando un grupo de discontinuidades se presentan con similar orientación o en otras palabras son aproximadamente paralelas se dice que estas forman un "sistema" o una "familia" de discontinuidades.



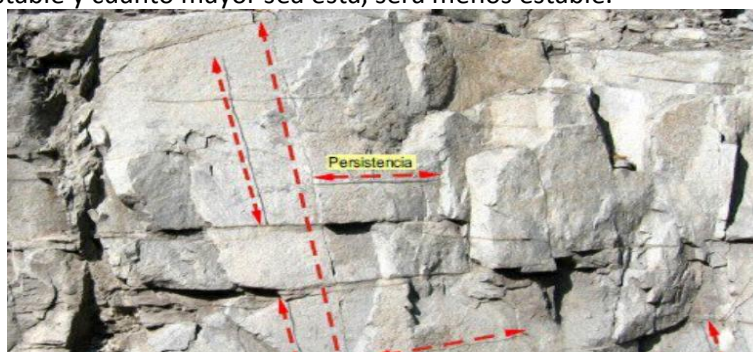
Espaciado

Es la distancia perpendicular entre discontinuidades adyacentes. Este determina el tamaño de los bloques de roca intacta. Cuanto menos espaciado tengan, los bloques serán más pequeños y cuanto más espaciado tengan, los bloques serán más grandes.



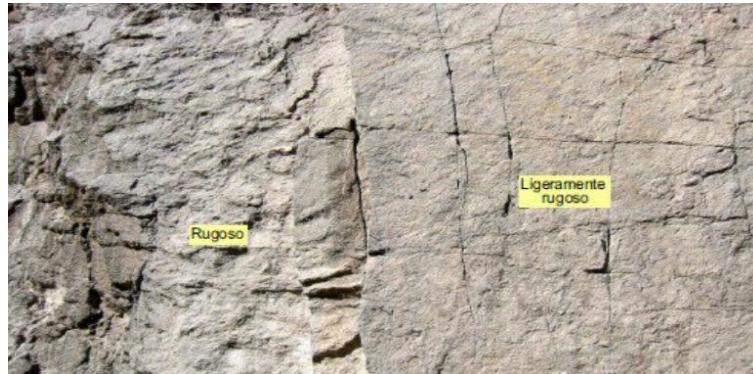
Persistencia

Es la extensión en área o tamaño de una discontinuidad. Cuanto menor sea la persistencia, la masa rocosa será más estable y cuanto mayor sea ésta, será menos estable.



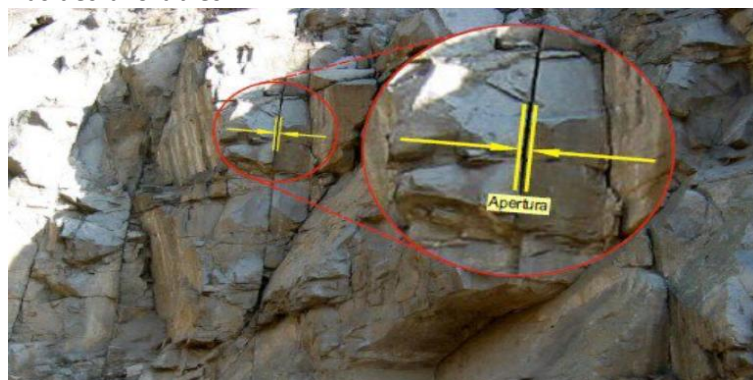
Rugosidad

Es la aspereza o irregularidad de la superficie de la discontinuidad. Cuanto menor rugosidad tenga una discontinuidad, la masa rocosa será menos competente y cuanto mayor sea ésta, la masa rocosa será más competente.



Abertura

Es la separación entre las paredes rocosas de una discontinuidad o el grado de abierto que ésta presenta. A menor apertura, las condiciones de la masa rocosa serán mejores y a mayor apertura, las condiciones serán más desfavorables.



Relleno

Son los materiales que se encuentran dentro de la discontinuidad. Cuando los materiales son suaves, la masa rocosa es menos competente y cuando éstos son más duros, ésta es más competente.



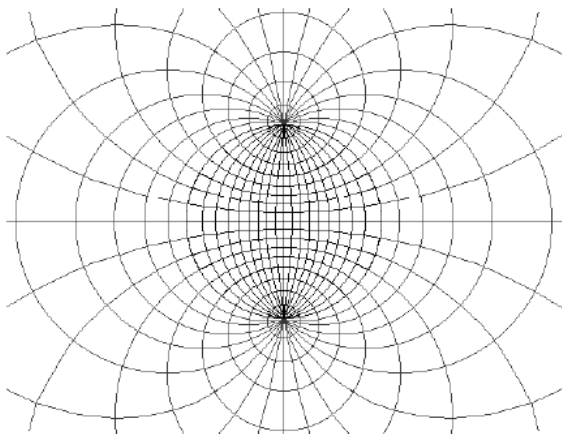
7] La representación estereográfica:

A) Concepto:

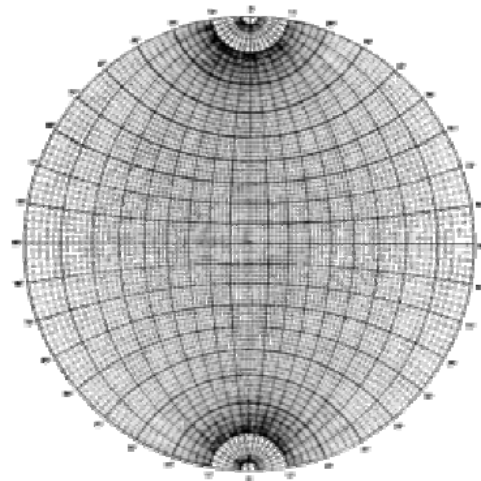
La proyección estereográfica es un sistema de representación gráfico en el cual se proyecta la superficie de una esfera sobre un plano mediante haces de rectas que pasan por un punto, o foco. El plano de proyección es tangente a la esfera, o paralelo a éste, y el foco es el punto de la esfera diametralmente opuesto al punto de tangencia del plano con la esfera.

La proyección estereográfica es conforme, es decir, conserva la verdadera magnitud de los ángulos en la proyección, de ahí que también se denomine proyección equiangular.

Para trabajar con la representación estereográfica, se uso la falsilla de Wulf que se obtiene a partir de la proyección de los meridianos y paralelos de la esfera.

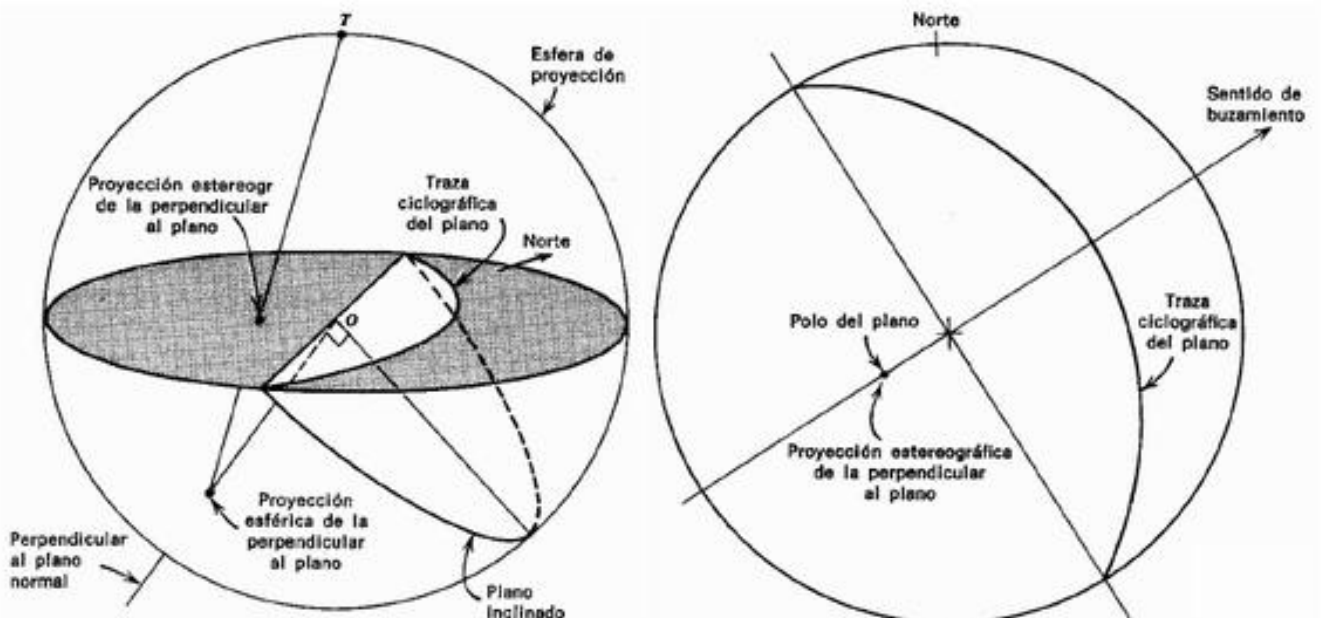


Proyección estereográfica de la esfera



Falsilla de Wulf

Un ejemplo de proyección estereográfica:



Los tipos de diagramas:

Existen diferentes tipos de diagramas:

- **Diagrama de círculos máximos o diagrama beta:**

Únicamente se utiliza para la representación de elementos planos. Se obtiene por proyección sobre el plano ecuatorial, del círculo máximo de la superficie plana considerada. Este círculo máximo representa la intersección del plano con la esfera.

- **Diagrama de polos o diagrama pi:**

Cuando las medidas a representar en el diagrama son muy numerosas, la representación mediante círculos máximos puede dificultar la lectura de los resultados en la falsilla, por lo que se suele recurrir a los diagramas de polos o diagramas pi.

En este tipo de diagramas se representan únicamente los polos de los planos o rectas, es decir la intersección de la recta con la esfera en el caso de elementos lineales o la intersección de la normal al plano con la esfera si se trata de elementos planos.

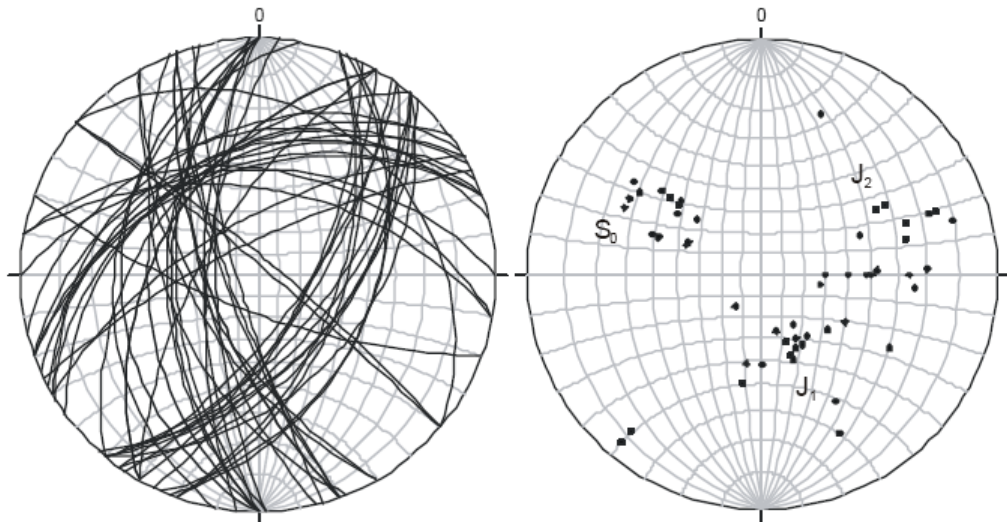


Diagrama beta

Diagrama pi

- **Diagrama de densidad de polos**

La proyección estereográfica de un determinado elemento de la naturaleza, nunca es tan exacta como la de líneas y planos teóricos, ya que presentan irregularidades puntuales, falta de ajuste con la geometría ideal, en muchos casos, y posibles errores de precisión. Esto hace que se produzcan dispersiones que, dependiendo de su magnitud, pueden o no facilitar la interpretación de un polo o un círculo máximo. De ser así y producirse una gran dispersión de datos, será preciso recurrir a un análisis estadístico de una muestra grande de datos con el fin de determinar la dirección y buzamiento predominantes.

Este análisis estadístico no se puede realizar mediante la proyección estereográfica ya que se producirá una gran concentración de puntos en la parte central del diagrama. Para realizar este análisis se recurre a la proyección equiareal, empleando la falsilla de Schmidt, que nos permite el recuento directo de los polos, calcular su valor estadístico por unidad de superficie y determinar las direcciones y buzamiento predominantes.

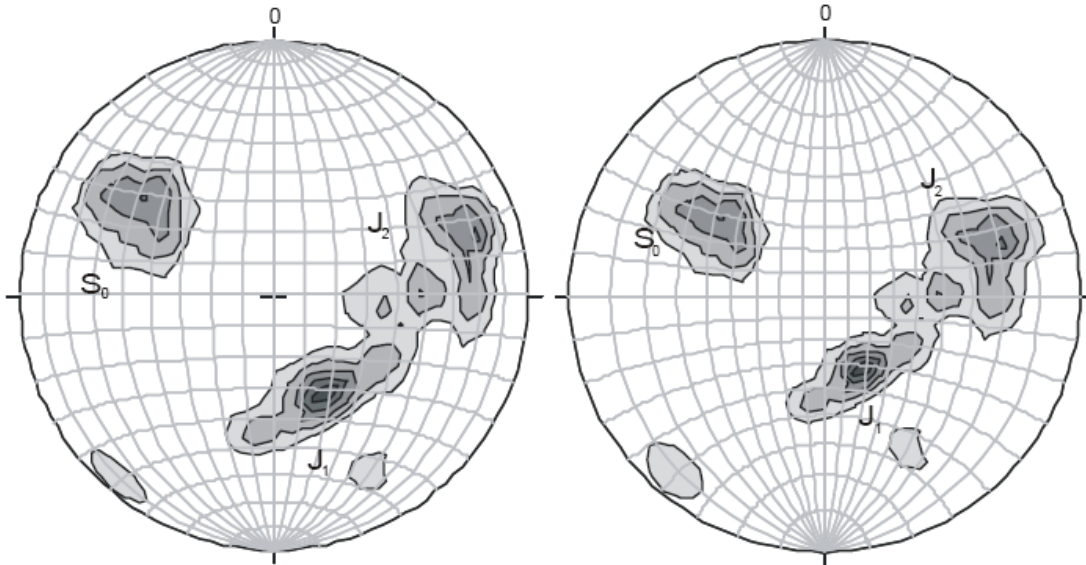


Diagrama de densidad de polo equiareal

Diagrama de densidad de polo equiangular

C) Aplicaciones:

Las proyecciones estereográficas tienen diferentes aplicaciones:

- **Determinación de familias de diaclasas:**
Para la determinación de los juegos de diaclasas o discontinuidades que afectan a un macizo rocoso suelen elaborarse diagramas pi de los planos de discontinuidad.
- **Análisis cinemática de roturas en roca:**
En el estudio de taludes excavados en macizos rocosos suele ser muy útil la determinación de las discontinuidades existentes para su posterior representación estereográfica junto con la representación del propio talud. Observando las orientaciones de los juegos de discontinuidades y del talud puede llegarse a deducir mediante un análisis sencillo cual será el tipo de rotura predominante. Además, la proyección estereográfica nos permitirá en algunos de estos casos obtener las magnitudes angulares necesarias para el cálculo del factor de seguridad del talud.
- **Aplicaciones en cristalografía:**
La principal utilidad de la proyección estereográfica en cristalografía estriba en el hecho de que si representamos gráficamente las caras de los cristales podremos determinar la simetría del cristal y por tanto la clase cristalina a la que pertenece. Además, la proyección estereográfica, al ser una proyección conforme permite la medida directa de los ángulos cristalinos, ya que se mantiene su verdadera magnitud tras la proyección.

8] Índice RQD, Clasificación RMR de Bieniawsky 1989 e índice Q de Barton 1974:

A) Índice RQD (Rock Quality Designation):

El índice RQD (Rock Quality Designation) es una estimación de la calidad del macizo rocoso a partir de perforaciones rotativas con extracción de testigos. Este índice representa el porcentaje de roca intacta de largo superior a 10 cm recuperadas por corrida.



La relación que permite de expresar el índice RQD es la siguiente:

$$RQD = \frac{\sum \text{Length of core pieces} > 10 \text{ cm length}}{\text{Total length of core run}} \times 100\%$$

Este índice es **un dato** de las otras clasificaciones que vamos a ver.

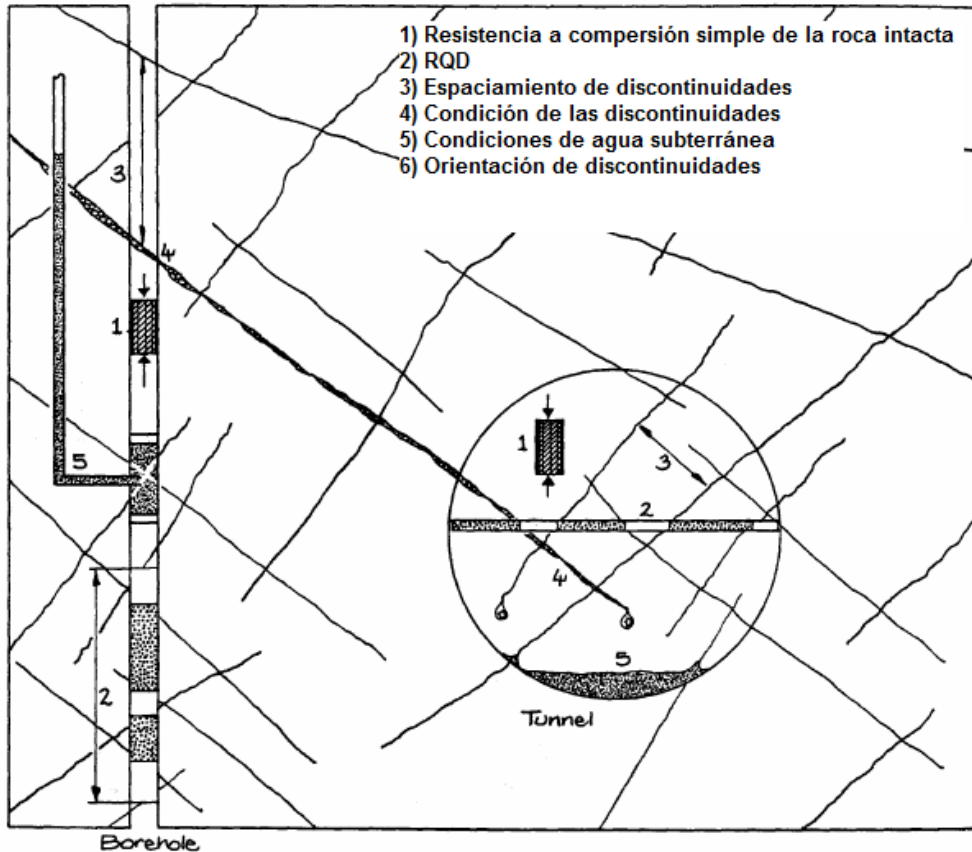
B) Clasificación RMR de Bieniawsky 1989:

La clasificación RMR (Rock Mass Rating) fue elaborada por Bieniawsky en 1976. Desde 1976 hasta 1989 se agregaron otras condiciones de rocas más débiles y distintas condiciones de túneles.

Esta clasificación utiliza seis parámetros:

- Resistencia a la compresión simple de la roca intacta
Resistencia a la compresión simple $\rightarrow \sigma_c$
Índice del ensayo de carga puntual $\rightarrow I_s \rightarrow \sigma_c = 23 * I_s$
- Índice RQD
- Espaciamiento de las discontinuades
- Condición de las discontinuades
- Condiciones de agua subterránea
- Orientación de discontinuades (**Drive against dip** or **Drive with dip**)

RMR (Rock Mass Rating System)



C) Índice Q de Barton 1974 :

A partir del análisis de más de 200 cavidades subterráneas (principalmente hidroeléctricas y túneles de carretera), Barton, Lien y Lunde del Instituto Noruego de Geotécnica (NGI), propuso un índice para determinar la calidad de una masa de roca en para la construcción de túneles. El valor de este coeficiente de Q está determinado por seis parámetros de la manera siguiente:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

- RQD (D Deere)
- J_n: índice de diaclasado (n° de familias de discontinuidades)
- J_r: índice de rugosidad de las discontinuidades
- J_a: índice de alteración de las discontinuidades
- J_w: factor de reducción por presencia de agua
- SRF: factor de reducción por tensiones.

$$\frac{RQD}{J_n}$$

- Representa crudamente el "tamaño" de los bloques presentes

$$\frac{J_r}{J_a}$$

- Representa rugosidad y características de resistencia al corte de las diaclasas (paredes y/o relleno)

$$\frac{J_w}{SRF}$$

- Representa las tensiones activas
Presión de agua y estado tensional para distintos tipos de macizos encontrados durante la excavación.

El índice Q puede variar desde 0001 hasta 1000. La Q se agrupa en nueve clases. Cada clase es una masa de roca de calidad.

9] Ejercicio:

Clasificar el siguiente macizo rocoso según RMR 1989:

Un túnel será excavado a través de un granito ligeramente meteorizado con una familia dominante de juntas con rumbo perpendicular al eje del túnel, y con buzamiento de 60 grados contra la dirección del avance de la excavación. A partir de los "logs" de perforaciones diamantinas, ensayos de laboratorio y observaciones de campo, se obtienen los siguientes datos:

- Ensayo de Carga Puntual: 8 MPa (valor representativo).
- Valores promedio del RQD: 70%.
- Separación de juntas: 300 mm.
- Discontinuidades: 1-3 m de longitud; 0.1-1.0 mm de abertura; ligeramente rugosas; sin relleno y ligeramente alteradas.
- Condiciones de excavación del túnel: se espera condición húmeda.

DATOS:

A1): Ensayo de carga puntual → 8MPa

A2): RQD → 70%

A3): Separación de juntas → 300mm

E): Discontinuidades → ligeramente rugosas, sin relleno y ligeramente alteradas, 1-3mm de longitud, 0,1-1mm de abertura

A5): Esperamos condición húmeda

F): Información sobre el túnel → buzamiento de 60 grados contra la dirección del avance de la excavación + rumbo perpendicular al excavación

Mecánica de Suelos y Rocas I
Trabajo Práctico #2:
"Gravimetría en Suelos"

G12

Septiembre 2011

Página 18 / 18

Alumnos:

----- François
----- Alexandre

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS								
Parameter		Range of values						
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	>10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range - uniaxial compressive test is preferred	
		Uniaxial comp. strength	>250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa
	Rating	15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core Quality <i>RQD</i>		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%	
	Rating		20	17	13	8	3	
3	Spacing of discontinuities		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm	
	Rating		20	15	10	8	5	
4	Condition of discontinuities (See E)		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge >5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous	
	Rating		30	25	20	10	0	
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (l/m)	None	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125	
		(Joint water press./ Major principal σ)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5	
	General conditions		Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing	
Rating		15	10	7	4	0		
B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)								
Strike and dip orientations		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable		
Ratings	Tunnels & mines	0	-2	-5	-10	-12		
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25		
	Slopes	0	-5	-25	-50			
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS								
Rating	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 21			
Class number	I	II	III	IV	V			
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock			
D. MEANING OF ROCK CLASSES								
Class number	I	II	III	IV	V			
Average stand-up time	20 yrs for 15 m span	1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span			
Cohesion of rock mass (kPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100			
Friction angle of rock mass (deg)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15			
E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY conditions								
Discontinuity length (persistence)	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m			
Rating	6	4	2	1	0			
Separation (aperture)	None	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm			
Rating	6	5	4	1	0			
Roughness	Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided			
Rating	6	5	3	1	0			
Infilling (gouge)	None	Hard filling < 5 mm	Hard filling > 5 mm	Soft filling < 5 mm	Soft filling > 5 mm			
Rating	6	4	2	2	0			
Weathering	Unweathered	Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed			
Rating	6	5	3	1	0			
F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING**								
Strike perpendicular to tunnel axis				Strike parallel to tunnel axis				
Drive with dip - Dip 45 - 90°		Drive with dip - Dip 20 - 45°		Dip 45 - 90°		Dip 20 - 45°		
Very favourable		Favourable		Very unfavourable		Fair		
Drive against dip - Dip 45-90°		Drive against dip - Dip 20-45°		Dip 0-20 - Irrespective of strike°				
Fair		Unfavourable		Fair				

* Some conditions are mutually exclusive. For example, if infilling is present, the roughness of the surface will be overshadowed by the influence of the gouge. In such cases use A.4 directly.

** Modified after Wickham et al (1972).

TOTAL: 12+13+10+7-5+22 = 64-5 = 59

Así, según la clasificación RMR 1989, este macizo rocoso es de clase III.