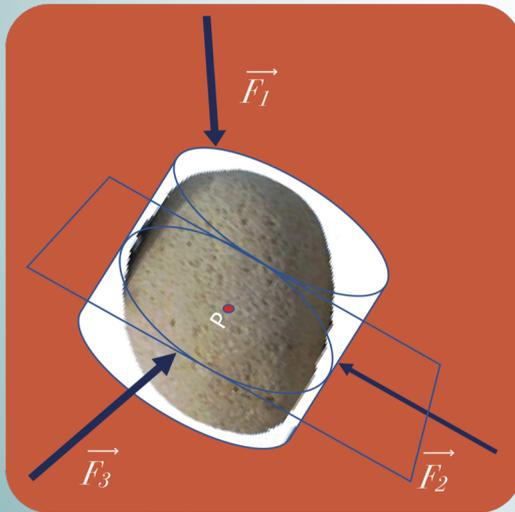


Caracterización geomecánica de suelos y rocas

Tema 6.3 El macizo rocoso y sus componentes



Alberto González Díez

Patricio Martínez Cedrún

DPTO. DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y FÍSICA DE LA
MATERIA CONDENSADA (CITIMAC)

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El macizo rocoso y sus componentes

La caracterización global del macizo rocoso debe considerar los componentes apreciables a escala de afloramiento, principalmente la matriz rocosa y las discontinuidades). Para lo cual es importante diferenciar:

- **Matriz Rocosa**
- **Número y orientación de las familias de discontinuidades**
- **Tamaño del bloque e intensidad de fracturación**
- **Grado de meteorización**

Matriz Rocosa

La descripción de rocas con fines geomecánicos, requiere seleccionar propiedades básicas y obtener parámetros objetivos de sus principales propiedades (“propiedades índice”) de gran importancia para su clasificación geomecánica.

Las “propiedades índice” pueden ser obtenidas mediante ensayos de campo o de laboratorio, sobre muestras o probetas de roca matriz (roca intacta).

A continuación se presentan a modo de listado los principales tipos de ensayos que se emplean para obtener dichas propiedades índice, que suelen estar sujetos a Normas que regulan su obtención.

“Conforme a lo establecido en el artículo 8 de la Ley 21/1992, **una norma es un documento de aplicación voluntaria que contiene especificaciones técnicas basadas en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico.** Es el fruto del consenso entre todas las partes interesadas e involucradas en la actividad objeto de la misma y deben ser aprobadas por un organismo de normalización reconocido” (tomado de https://www.une.org/normalizacion_documentos/normalizacion_une.pdf).

La matriz rocosa y sus Normas

“Los documentos normativos UNE (acrónimo de Una Norma Española) son un conjunto de normas, normas experimentales e informes (estándares) creados en los Comités Técnicos de Normalización (CTN) de la Asociación Española de Normalización (UNE, antes llamada AENOR).

UNE es una asociación privada sin ánimo de lucro, reconocida legalmente en España como organismo nacional de normalización conforme a lo establecido en el Reglamento de la Infraestructura para la Calidad y la Seguridad Industrial (Real Decreto 2200/19951) y en el Reglamento (UE) 1025/2012 sobre Normalización Europea.² . Las normas ISO creadas por **ISO** (Organización Internacional de Normalización)(CEN) representan una normalización internacional.

Existen tres tipos de documentos normativos UNE, las Normas, las Normas Experimentales y los Informes. Las normas son un pilar fundamental de la Infraestructura de la calidad.”
(tomado de https://es.wikipedia.org/wiki/Norma_UNE)

Algunas de las relevantes para este tema son:

Normas: EUROCÓDIGO 7-2; ISRM Doc N° 6 1977; BS 5930:1981; UNE-EN 932-3:1979; UNE-EN 14689-1:2005; UNE-EN 12407:2001; UNE-EN 932-3:1997; UNE 83108:1990

Caracterización de matriz rocosa I

1) Litología: identificación y descripción

Identificación: clasificación

➤ Clasificación petrológica o petrográfica

Existen distintos criterio de clasificación:

- genéticos: ígneas, sedimentarias, metamórficas...
- petrográficos: - composicionales: silíceas, carbonatadas, arcillosas...
- texturales:
 - tipos: clásticas (compactadas, cementadas), cristalinas...
 - elementos: tamaño de grano (grueso, fino...)
 - porosidad: porosas, fisuradas...

➤ Clasificación y denominación de la roca

• Geometría, estructura y relaciones de campo

➤ Geometría (forma del cuerpo rocoso); tamaño...

➤ Estructura (masiva, foliada...); estructuras sedimentarias, tectónicas...

➤ Relaciones espaciales y temporales con otras rocas.

→ **Determinación: análisis de campo, en afloramientos naturales, calicatas...**

Caracterización de matriz rocosa II

•Descripción petrográfica

- Composición: identificación de minerales esenciales y accesorios (silicatos, carbonatos...)
 - Textura: tipo de textura (clástica, cristalina...), elementos texturales (tamaño, forma...)
 - Porosidad: tipo de espacios vacíos, elementos (tamaño, forma...)
- **Determinación:** análisis en laboratorio, “de visu”, láminas delgadas...

•Parámetros litológicos esenciales:

-**Color** (atender al color de la roca matriz, sin capas de alteración):

- relación con la mineralogía: minerales con color propio o accidental (debido a impurezas).
- relación con el grado de meteorización: produce variaciones de color, cambios selectivos...

→ **Determinación:** por comparación con cartas de colores (escala Munsell de color).

-**Tamaño de grano:**

- elemento principal en la caracterización de la textura de la roca, incluye dos conceptos: tamaño medio de grano y variación de tamaño (calibrado, heterometría)

→ **Determinación:** con una regla o por comparación de cartas de tamaños

	Término (clase-grano)	Tamaño (escala-mm)	Equivalencia
Clasificación del tamaño medio de grano:	muy grueso (canto)	> 60	Grava gruesa
	grueso	60 a 2	Grava
	medio	2 a 0,06	Arena
	fino	0,06 a 0,002	Limo
	muy fino (partícula)	< 0,002	Arcilla

Caracterización de matriz rocosa III

3) Propiedades físicas

•Parámetros físicos esenciales:

-**Densidad / Porosidad** (distintos métodos de ensayo)

→ Determinación: ensayos de laboratorio.....Normas: EUROCÓDIGO 7-2; ISRM Doc N° 2 1977;
UNE-EN 12404:2001

-**Absorción de agua** (contenido en agua, índice de vacíos...)

→ Determinación: ensayos de laboratorio.....Normas: EUROCÓDIGO 7-2; ISRM Doc N° 2 1977;
UNE-EN 13755:2002

-**Hinchamiento** (presión sin cambio de volumen, deformación en muestra confinada, deformación en muestra sin confinar)

→ Determinación: ensayos de lab.Normas: EUROCÓDIGO 7-2; ISRM Doc N° 2 1977

Caracterización de matriz rocosa IV

- **Parámetros relacionados con la dureza, abrasión y durabilidad:**

- **Ensayo de Desmoronamiento (Slake-durability)**

- Determinación: ensayo de laboratorio.....Normas: ISRM Doc N° 2 1977

- **Resistencia al rebote (esclerómetro Shore)**

- Determinación: ensayo de laboratorio.....Normas: ISRM Doc N° 5 1977

- **Resistencia a la abrasión (máquina de abrasión)**

- Determinación: ensayo de laboratorio.....Normas: UNE-EN 14157:2004

- **Resistencia al desgaste: Ensayo Micro-Deval. Ensayo nórdico**

- Determinación: ensayo de lab.Normas: UNE-EN 1097-1:1997; UNE-EN 1097-9:1999

- **Resistencia a la fragmentación: Ensayo de Los Ángeles. Ensayo de impacto.**

- Determinación: ensayo de lab.Normas: ISRM Doc N° 5 1977; UNE-EN 1097-2:1999

- **Resistencia a la fragmentación: Índice de machacabilidad**

- Determinación: ensayo de laboratorio.....Normas: UNE 83112:1989

- **Parámetros relacionados con la velocidad del sonido**

- **Velocidad de propagación de ondas elásticas** (pulsos de alta frecuencia, pulsos de baja frecuencia, método de resonancia, módulos elásticos dinámicos)

- Determinación: ensayo de laboratorio.....Normas: ISRM Doc N° 4 1977; UNE-EN 14579:2005

Caracterización de matriz rocosa V

4) Propiedades mecánicas: Resistencia y deformabilidad

➤ Parámetros que permiten caracterizar y clasificar la roca matriz: la resistencia (compresión simple), y el comportamiento frente a la deformación (módulo de Young, coeficiente de Poisson).

➤ La resistencia determina la competencia de la roca matriz para mantener unidos sus componentes, y depende fundamentalmente de su composición mineral y del grado de alteración.

-Resistencia a la compresión uniaxial

→ Determinación de la resistencia a la compresión simple:

- en campo:
 - pruebas:
 - a) índices indirectos o índices de campo
 - ensayos sencillos:
 - b) martillo Schmidt,
 - c) carga puntual
- en laboratorio:
 - ensayos mecánicos:
 - d) compresión uniaxial

a) Índices de campo: estimación de la resistencia uniaxial (ISRM):

➤ Primera aproximación del valor de la resistencia: valoración cualitativa que tabulada permite establecer una estimación cuantitativa del rango de resistencia en suelos cohesivos y rocas.

→ Procedimiento: limpiar capa de alteración superficial, hacer pruebas con navaja o martillo de geólogo y clasificar la resistencia de la roca de acuerdo con la tabla:

Caracterización de matriz rocosa VI

d) Resistencia a la compresión uniaxial y deformabilidad:

-Ensayo de compresión uniaxial

→ Determinación: ensayo de laboratorio.....Normas: EUROCÓDIGO 7-2; ISRM Doc 1978; UNE 22950-1:1990; ASTM C170:1087; UNE 1926-1:1999; UNE 83111:1987

-Ensayo de deformabilidad: Módulos elásticos (Young, Poisson)

→ Determinación: ensayo de laboratorio.....Normas: EUROCÓDIGO 7-2; ISRM Doc 1978; UNE 22950-3:1990; UNE-EN 14580:2006

-Ensayo de deformabilidad: Módulo de elasticidad dinámico

→ Determinación: ensayo de laboratorio.....Normas: UNE-EN 14146:2004

e) Resistencia a la tracción

-Ensayo de tracción directa

→ Determinación: ensayo de laboratorio.....ISRM Doc N° 8 1977

-Ensayo de tracción indirecta: Ensayo brasileño

→ Determinación: ensayo de laboratorio.....Normas: EUROCÓDIGO 7-2; ISRM Doc N° 8 1977; UNE 22950-2:1990

-Resistencia la compresión triaxial

→ Determinación: ensayo de laboratorio.....Normas: EUROCÓDIGO 7-2; ISRM Doc N° 5 1977; UNE 22950-4:1990

-Resistencia al corte directo (in situ, en laboratorio, in situ por torsión)

→ Determinación: ensayo de laboratorio y de campo....Normas: EUROCÓDIGO 7-2; ISRM Doc N° 5 1977

Caracterización matriz rocosa VII

- Resistencia a partir de índices de campo (ISRM):

Clase	Descripción	Identificación de campo	≈ Resistencia a la compresión (MPa)
S ₁	Suelo muy blando	El puño penetra fácilmente varios cm.	< 0,0025
S ₂	Suelo blando	El dedo penetra fácilmente varios cm.	0,0025 – 0,05
S ₃	Suelo firme	Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo.	0,05 – 0,10
S ₄	Suelo rígido	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo.	0,10 – 0,25
S ₅	Suelo muy rígido	Con cierta presión puede marcarse con la uña.	0,25 – 0,50
S ₆	Suelo duro	Se marca con dificultad al presionar con la uña.	> 0,50
R ₀	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña.	0,25 – 1,0
R ₁	Roca muy blanda	Al golpear con la punta del martillo la roca se desmenuza. Con navaja se talla fácilmente.	1,0 – 5,0
R ₂	Roca blanda	Al golpear con la punta del martillo se producen ligeras marcas. Con la navaja se talla con dificultad.	5,0 – 25
R ₃	Roca moderadamente dura	Con un golpe fuerte del martillo puede fracturarse. Con la navaja no puede tallarse.	25 – 50
R ₄	Roca dura	Se requiere más de un golpe del martillo para fracturarla.	50 – 100
R ₅	Roca muy dura	Se requiere muchos golpes del martillo para fracturarla.	100 – 250
R ₆	Roca extremadamente dura	Al golpear con el martillo sólo saltan esquirlas.	> 250

Tomados de Ferrer y González de Vallejo 2007.

- Clasificación de la resistencia de la roca matriz (ISRM, 1981; Bieniawski, 1973):

Clase	Descripción (ISRM)	Resistencia a la compresión simple (MPa)	Resistencia (Bieniawski)	Valores del ensayo PLT (MPa)	
R ₀	Extremadamente blanda	< 1	Muy baja	No aplicable	≈ Suelos
R ₁	Muy blanda	1 – 5			Rocas blandas
R ₂	Blanda	5 – 25			
R ₃	Moderadamente dura	25 – 50	Baja	1-2	Rocas duras
R ₄	Dura	50 – 100	Media	2 – 4	
R ₅	Muy dura	100 – 250	Alta	4 – 8	
R ₆	Extremadamente dura	> 250	(>200) Muy alta	> 10	

1 MPa = 10,2 Kp/cm²

Caracterización matriz rocosa VIII

b) Ensayo con el esclerómetro Martillo Schmidt:

Ensayo sencillo de campo o laboratorio, que permite estimar la resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa y que también se aplica a las discontinuidades:

- en roca matriz: evitar bloques pequeños o con discontinuidades cercanas,
- en superficies de discontinuidad: aplicar directamente en dicha superficie.

→ Determinación: ensayo de campo y de laboratorio.....Normas: ISRM Doc Nº 5 1977, UNE-EN 12504-2:2002 (El esclerómetro es un cilindro de unos 6 cm de diámetro, con la masa y el muelle en su interior, el vástago retráctil en uno de sus extremos y una escala en su superficie lateral. El ensayo consiste en lanzar una masa mediante un muelle sobre un vástago en contacto con la roca, al golpear el vástago la roca rebota la masa y queda registrado el “número de rebote”). El “número de rebote” obtenido, junto con la densidad de la roca, se correlaciona con la resistencia a la compresión simple (gráfico de Miller).

c) Ensayo de carga puntual o ensayo PLT (*Point Load Test*):

Ensayo sencillo de campo o laboratorio, a utilizar sobre fragmentos de roca o testigos, (resultados más fiable para testigos); ensayo no indicado en rocas blandas o anisótropas.

→ Determinación: ensayo de campo y de laboratorio.....Normas: EUROCÓDIGO 7-2; UNE 22950-5:1996. El ensayo consiste en aplicar una carga puntual a un trozo de roca hasta la rotura, y obtener un índice (I_s) mediante la expresión: $I_s = P / D^2$ donde: P = carga de rotura, D = diámetro de la muestra (distancia entre puntas). El índice obtenido (I_s) está relacionado con la resistencia a la compresión simple (σ_c); dicha relación para testigos de 50 mm es: $\sigma_c = 23 I_s$, para otros diámetros existen gráficos de corrección.

Índices de campo para materiales muy blandos

Para materiales muy blandos “suelos geotécnicos” ya sea alguna roca muy blanda, suelos edáficos o depósitos superficiales. Modificado de ISRM, 1981.

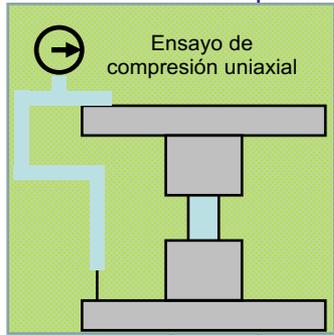
Clase	Descripción	Índices de campo	Equivalencia en MPa
S ₁	muy blanda	El puño penetra fácilmente varios cm	< 0,025
S ₂	débil	El dedo penetra fácilmente varios cm	0,025-0,05
S ₃	firme	Se necesita apretar para hincar el dedo	0,05-0,1
S ₄	rígida	Se debe hacer fuerza para hincar el dedo	0,1-0,25
S ₅	muy rígida	Se marca con una uña	0,25-0,5
S ₆	dura	Se marca con dificultad con la uña	>0,5

Índices de campo para materiales blandos y duros

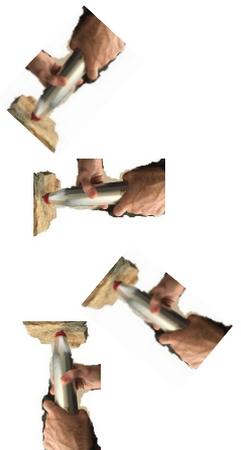
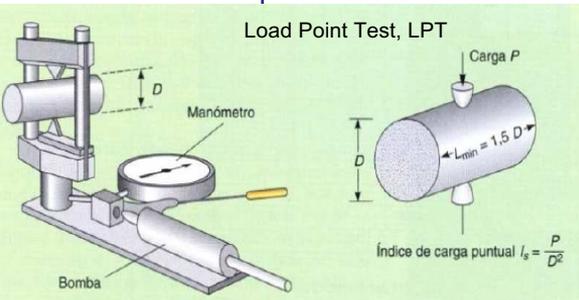
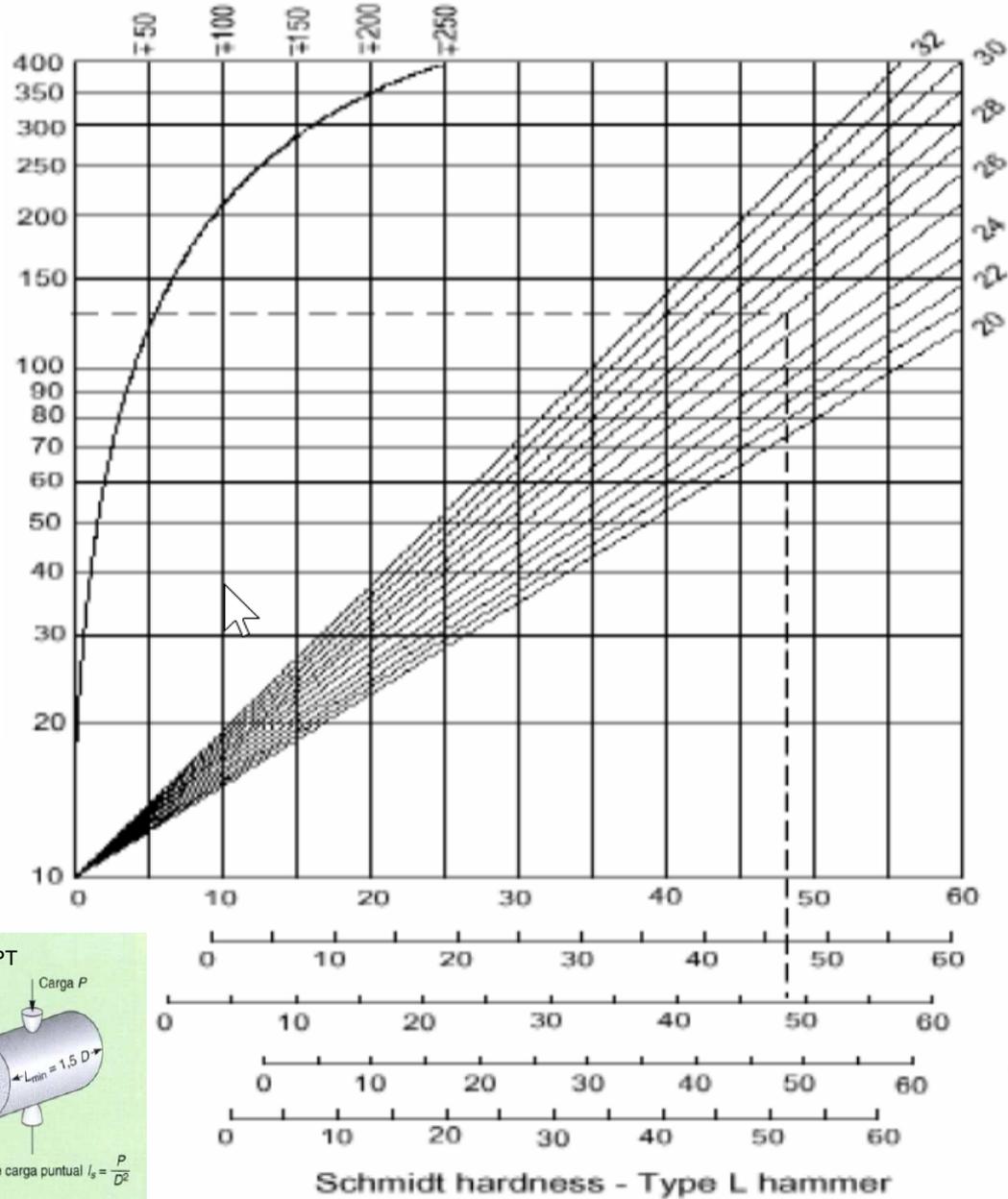
Para materiales blandos-duros, rocas o depósitos superficiales semilitificados. Modificado de ISRM, 1981.

Clase	Descripción	Índices de campo	Equivalencia en MPa
R ₀	extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña	0,025-1,0
R ₁	muy blanda	Se desmenuza con el martillo, se talla con la navaja	1-5
R ₂	blanda	Se marca con el martillo, cuesta tallar con la navaja	5-25
R ₃	moderadamente blanda	No se puede tallar con la navaja, se rompe con el martillo	25-50
R ₄	dura	Se requiere mas de un golpe para romperla con el martillo	50-100
R ₅	muy dura	Se requieren muchos golpes para romperla con el martillo	100-250
R ₆	extremadamente dura	Al golpear solo saltan esquirlas	>250

Dispersión típica de la resistencia de las rocas en MPa



Resistencia a la compresión simple MPa



Las discontinuidades

1) Identificación: Tipos de discontinuidades

➤ Condicionan el comportamiento mecánico-hidráulico del macizo. Se debe distinguir: discontinuidades sistemáticas (tratamiento estadístico) o singulares (individual).

→ [Determinación en el campo](#)

• Tipos de discontinuidades:

-**Sistemáticas planares**: diaclasas, planos de estratificación, esquistosidad, laminación, estilolitos

-**Sistemáticas lineales**: intersección de discontinuidades planares, lineaciones

-**Singulares planares**: fallas, diques, (kink bands), discordancias

-**Singulares lineales**: ejes de pliegue

✓ Diaclasas o juntas (superficies de fractura, desplazamiento inexistente o muy pequeño): **J1, J2**

...

- origen tectónico: asociadas a pliegues, fallas

- enfriamiento de rocas ígneas (son transversales y longitudinales a la línea de flujo)

- relajación por descompresión (subparalelas a la superficie topográfica)

✓ Fallas (superficies de fractura, desplazamiento relativo entre los bloques): **JF1, JF2 ...**

- falla normal (desplazamiento vertical, distensión, buzamiento elevado)

- falla inversa (desplazamiento vertical, compresión, buzamiento bajo)

- falla de desgarre (desplazamiento horizontal, buzamiento vertical)

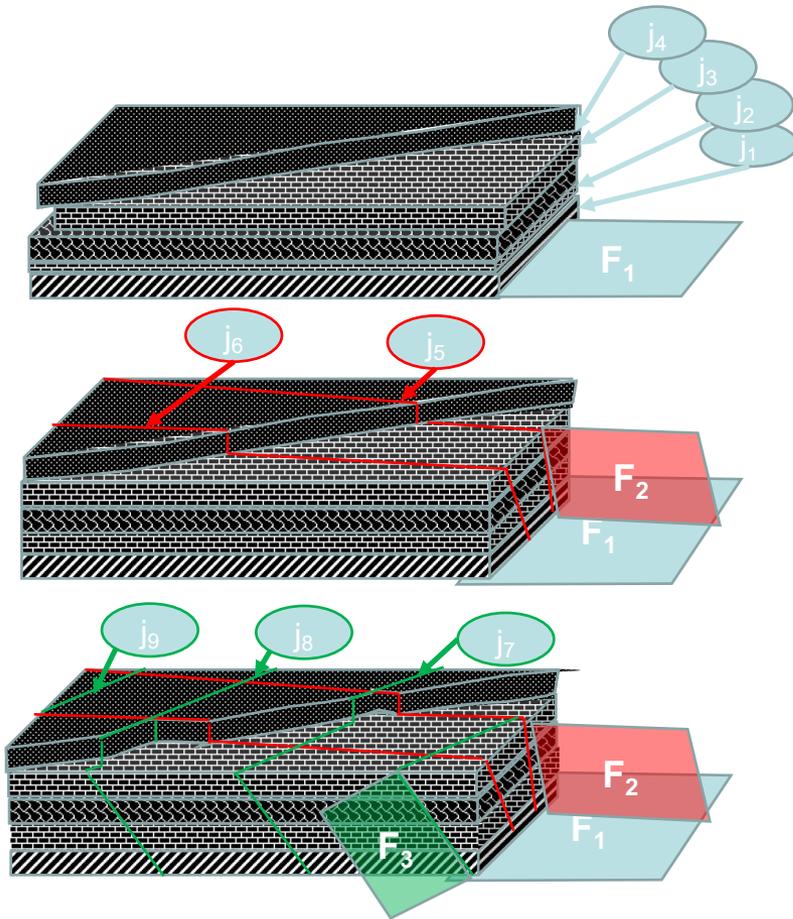
✓ Planos de estratificación (en rocas sedimentarias, limitan los estratos): **JS0 ...**

✓ Planos de esquistosidad (en rocas metamórficas deformadas): **JS1, JS2 ...**

✓ Superficies de laminación (en rocas sedimentarias, limitan las láminas)

✓ Superficies de contacto (entre litologías, en rocas sedimentarias o ígneas: diques)

Número y orientación de familias de discontinuidades



Macizo rocoso con una, dos o tres familias de discontinuidades Modificado de González de Vallejo et al., 2002.

El número y orientación de las familias de juntas o discontinuidades, F_n están determinadas por el comportamiento mecánico del macizo rocoso, ante el tensor de esfuerzos.

Lógicamente, cada familia de juntas queda caracterizada en 3D por su orientación en el espacio (dirección, δ ; buzamiento, β) y por las propiedades mecánicas de los planos. Dichas propiedades se reflejan en la morfología de las discontinuidades. Las familias de mayor a menor importancia (con mayor continuidad, espaciado, abertura, etc.), se numera con F_1 a F_n .

Cada familia de discontinuidad está formada por juntas (j_n), con una orientación definida en 3D, continuidad, espaciado, abertura, etc. El tratamiento estadístico permite distinguir las juntas pertenecientes a cada familia. La combinación de las diferentes familias de juntas y espaciado define el grado de fracturación del macizo rocoso y el tamaño de los bloques.

Número y orientación de familias de discontinuidades

Clasificación de macizos rocosos por el número de familias de discontinuidades (ISRM, 1981)	
Tipo de macizo rocoso	Número de familias
I	Masivo, discontinuidades ocasionales
II	Una familia de discontinuidades
III	Una familia de discontinuidades más otra ocasionales
IV	Dos familias de discontinuidades
V	Dos familias de discontinuidades más otras ocasionales
VI	Tres familias de discontinuidades
VII	Tres familias de discontinuidades más otras ocasionales
VIII	Cuatro o más familias de discontinuidades
IX	Brechificado

Modificado de Ferrer y González de Vallejo 2007.

Tamaño del bloque y grado de fracturación

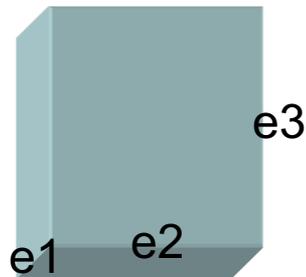
La dimensión y tamaño de los bloques están definidas por el número de familias de discontinuidades, su orientación, su espaciado y continuidad.

La descripción del tamaño del bloque se puede realizar mediante dos formas:

- El índice del tamaño del bloque l_b .
- Parámetro J_v .

Índice del tamaño del bloque, l_b . Representa las dimensiones medias de los bloques tipo medidos en el afloramiento. Se representa por el índice l_b .

$l_b = (e_1 + e_2 + e_3) / 3$ siendo e_1 , e_2 , e_3 . Los valores medios de espaciado de las tres familias.



Tamaño del bloque y grado de fracturación II

Parámetro, J_v . Representa el número total de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen equivalente (1m^3) del macizo rocoso.

Ante la dificultad de observar tridimensionalmente un afloramiento, el valor de J_v se suele estimar contando las discontinuidades de cada familia que interceptan una longitud determinada, midiendo perpendicularmente a la dirección de cada una de las familias, o en su defecto realizando la corrección necesaria con respecto a la dirección aparente de medida

$$J_v = \Sigma[(\text{n}^\circ \text{ de discontinuidades}) / \text{longitud de medida}]$$

Así por ejemplo un macizo con tres familias de discontinuidades J_1 , J_2 y J_3 en el que se ha determinado el espaciado en tres direcciones L_1 , L_2 y L_3 , la longitud a medir dependerá del espaciado de cada familia, variando normalmente entre 5 y 10 metros.

$$J_v = (\text{n}^\circ J_1 / L_1) + (\text{n}^\circ J_2 / L_2) + (\text{n}^\circ J_3 / L_3);$$

Una estimación del J_v rápida se obtiene calculando el número total de discontinuidades que interceptan la longitud L en cualquier dirección de interés (aquella que corta al mayor número de planos), correspondiendo este valor a la frecuencia de discontinuidades, λ .

$$\lambda = [\text{número de discontinuidades} / L \text{ (m)}] \text{ o } \lambda = [1 / \text{espaciado medio de discontinuidades (m)}]$$

Tamaño del bloque y grado de fracturación III

Clasificaciones

Modificado de Ferrer y González de Vallejo 2007.

Descripción del tamaño de bloque en función del número de discontinuidades, según ISRM (1981)	
Descripción	J_v , (discontinuidades/m ³)
Bloques muy grandes	<1
Bloques grandes	1-3
Bloques tamaño medio	3-10
Bloques pequeños	10-30
Bloques muy pequeños	>30

Clasificación de macizos rocosos en función del tamaño y forma de los bloques, ISRM (1981)		
Descripción	Clase	Tipo
Pocas discontinuidades con espaciado muy grande	Masivo	I
Bloques aproximadamente equidimensionales	Cúbico	II
Bloques con una dimensión considerablemente menor que las otras dos	Tabular	III
Bloques con una dimensión considerablemente mayor que las otras dos	Columnar	IV
Grandes variaciones en el tamaño y forma de los bloques	Irregular	V
Macizo rocoso muy fracturado	Triturado	VI

R. Q. D. Rock Quality Designation (Deere 1963 – 1967)

Índice de calidad de las rocas, RQD

"rock quality designation" Deere et al. (1967)

- Se basa en la recuperación modificada de un testigo (el porcentaje de la recuperación del testigo de un sondeo)
- Depende indirectamente del número de fracturas y del grado de la alteración del macizo rocoso

Se cuenta solamente fragmentos iguales o superiores a 100 mm de longitud.)

El diámetro del testigo tiene que ser igual o superior a 57.4 mm y tiene que ser perforado con un doble tubo de extracción de testigo.

Índice RQD

El **Grado de Fracturación** se expresa habitualmente por el valor del **Índice RQD** (Rock Quality Designation). En base a su valor se clasifica la calidad del macizo rocoso.

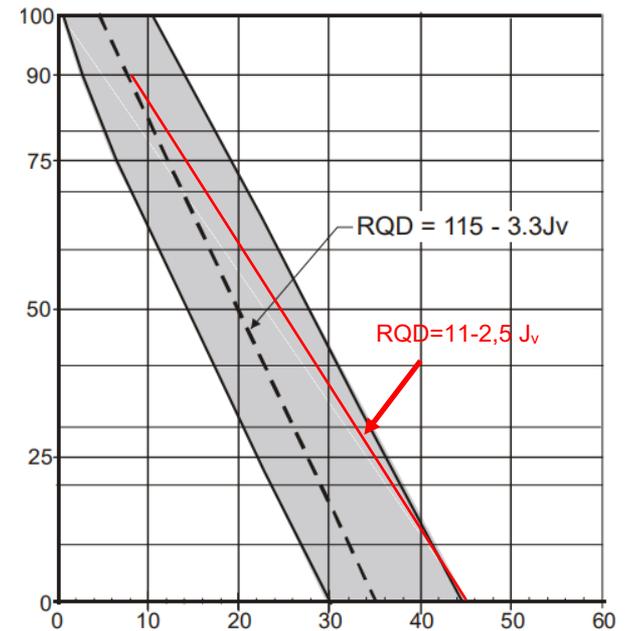
La descripción de la fracturación a partir de datos de afloramientos puede referirse al número de familias de discontinuidades y al tamaño de los bloques. El índice RQD puede estimarse en afloramientos a partir de correlaciones empíricas como la de Palmstrom (1975).

$$RQD = 115 - 3,3 * J_v \rightarrow J_v > 4,5$$

$$RQD = 100 \rightarrow J \leq 4,5$$

J_v es el número de juntas identificadas en el macizo rocoso por m^3

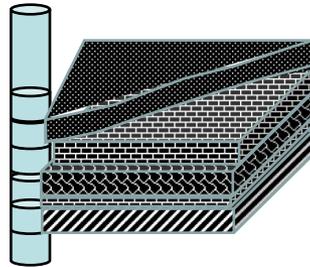
Por ejemplo, para un macizo rocoso de calidad aceptable con un RQD de 65 tiene un valor de J_v correspondiente a 15, mientras que para un macizo rocoso de calidad pobre, con RQD de 30, J_v vale 26.



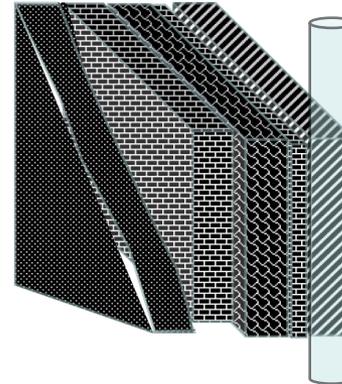
Correlación entre el RQD y el J_v .
Modificado de Palmstrom, 2005.

$$RQD = \frac{\sum(\text{Longitud fragmentos (Longitudes modificadas)} \geq 10 \text{ cm})}{\text{Longitud total medida del sondeo}}$$

RQD < 100



RQD = 100



RQD (%)	Calidad de roca
< 25	muy mala
25 - 50	mala
50 - 75	regular
75 - 90	buena
90 - 100	excelente

Longitud total
8.3-12.3 m
total 4 m



Longitud total
12.10-19.10 m
total 7 m



Longitud total
15.1-19.1 m
total 4 m



Longitud total
10-14 m
total 4 m



Longitudes modificadas

18	33	12	Ø
Ø	Ø	88	19
65	11		24
	Ø		21
	29		23

RQD=86%

40	44	Ø	32	65
35	44	40	67	43
65	Ø	60	Ø	

RQD=76%

Ø	Ø	Ø	15
10	19	11	12
12		Ø	10
Ø			Ø
14			11
Ø			Ø
			12

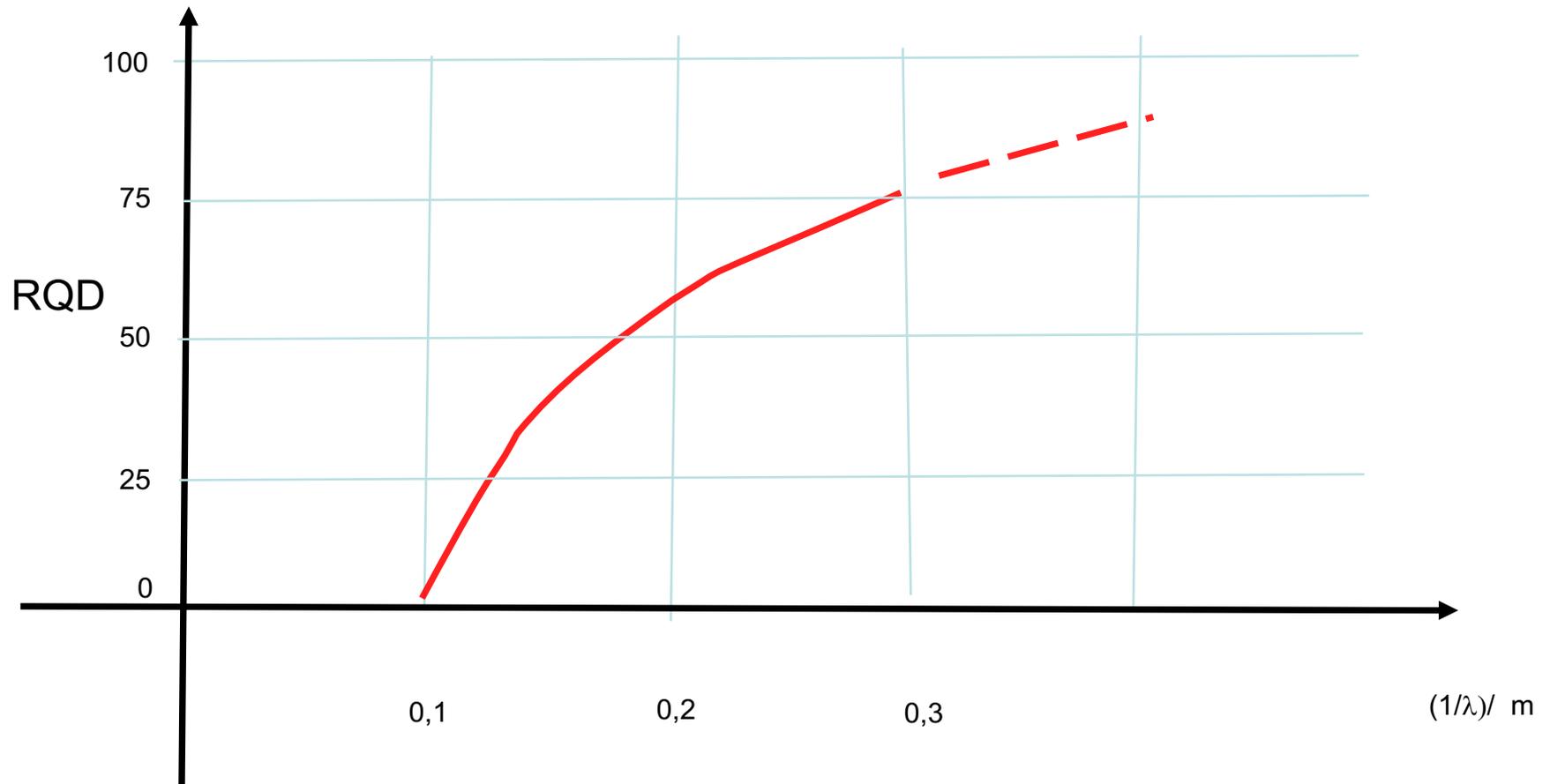
RQD=31%

Ø	Ø	Ø	Ø
			10
			Ø

RQD=2%

La estimación del Índice RQD realizada a través de la frecuencia de discontinuidades, λ $RQD \approx 100 * (0,1\lambda + 1) e^{-0,1\lambda}$ (Priest y Hudson, 1976).

donde λ es la inversa del espaciado medio de discontinuidades.



Meteorización

2) Meteorización

➤ Alteraciones que cambian las características de las rocas: modifican sus propiedades (porosidad ↑, permeabilidad ↑, deformabilidad ↑, resistencia ↓).

➤ Causas (factores):

- factores internos: mineralogía, componentes, textura y estructura, (cada tipo de roca sufre unos procesos: presenta mayor o menor intensidad).
- factores externos: clima (temperatura, humedad, lluvia, viento), determina el tipo y la intensidad,
- además influye el tiempo de exposición (relación con la profundidad).

Indicadores de grado de meteorización (ISRM, BS 5930:1981)

Término	Descripción
FRESCA	No se observan signos de meteorización en la matriz rocosa.
DECOLORADA	Se observan cambios en el color original de la roca debidos a meteorización. Indicar el grado de cambio y dicho cambio se limita a uno o varios minerales.
DESINTEGRADA*	Roca meteorizada a suelo, conservándose la fábrica original. Los granos minerales están sin alterar, pero la roca es friable.
DESCOMPUESTA*	Roca meteorizada a suelo conservándose la fábrica original. Algunos o todos los granos minerales están descompuestos.

Las clases con *Admiten los siguientes grados: ligeramente (<10%), moderadamente (<35%), altamente (<75%)
extremadamente (>75%)

Grado de meteorización

2) Meteorización

➤ Causas (procesos):

- procesos o acciones físicas (influidos por la temperatura y la humedad) ⇒ efectos: fragmentación y desintegración = disgregación (aumenta la superficie expuesta).
- procesos o acciones químicas (en presencia de agua e influidas por la temperatura) ⇒ efectos: descomposición, disolución.
- procesos biológicos ⇒ efectos: destrucción, fisuración y descomposición.

Modificado de Ferrer y González de Vallejo 2007.

Evaluación del grado de meteorización del macizo rocoso, ISRM (1981)		
Descripción	Tipo	Grado de meteorización
No aparecen signos de meteorización	Fresco	I
La decoloración indica alteración del material rocoso y de las superficies de discontinuidad. Todo el conjunto rocoso esta decolorado por meteorización.	Ligeramente meteorizado	II
Menos de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados	Moderadamente meteorizado	III
Mas de la mitad del macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. La roca fresca o decolorada aparece como una estructura continua o como núcleos aislados	Altamente meteorizado	IV
Todo el macizo rocoso aparece descompuesto y/o transformado en suelo. Se conserva la estructura original del macizo rocoso	Completamente meteorizado	V
Todo el macizo rocoso se ha transformado en suelo. Se ha destruido la estructura del macizo y la fábrica del material.	Suelo residual	VI