

GUIA DE TERRENO MACIZO ROCOSO

Generalidades

El macizo rocoso es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de discontinuidades. Mecánicamente son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos, por lo que su clasificación es fundamental en la ingeniería geológica.

Metodología de trabajo

Macizo rocoso:

Para el mapeo del macizo rocoso se utiliza una ficha de mapeo (ver Anexo), la cual en primera instancia considera las características generales del macizo, las cuales son:

- **Litología:** Se describe litológicamente la roca de manera general.
- **Resistencia:** En terreno la resistencia de una roca se determina mediante el martillo geológico. La relación entre el número de golpes que son necesarios para fracturar la roca y el rango de resistencia en la cual se ubica la roca martillada se encuentra en la tabla 1.

Grado	Descripción	Identificación de terreno	Rango aproximado de resistencia a la compresión uniaxial (Mpa)
R6	Roca extremadamente fuerte	La muestra solo puede ser astillada con el martillo geológico	>250
R5	Roca muy fuerte	La muestra requiere de muchos golpes del martillo geológico para ser fracturada	100 - 250
R4	Roca fuerte	La muestra requiere mas de un golpe del martillo geológico para ser fracturada	50 - 100
R3	Rca medianamente fuerte	No puede ser escarbada o disgregada por una cortapluma, la muestra se fractura con un solo golpe del martillo geológico	25 - 50
R2	Roca débil	Puede ser escarbada por la cortapluma con dificultad, se deforma o disgrega con un fuerte golpe de la punta del martillo	5,0 - 25
R1	Roca muy débil	Se disgrega con un golpe fuerte de la punta del martillo geológico, puede ser escarbada por la cortapluma	1,0 - 5,0
R0	Roca extremadamente débil	Marcada por la uña	0,25 - 1,0

Tabla 1: Criterios para la estimación de la resistencia en terreno.
Modificado de Waltham, 1994

- **Grado de meteorización:** La meteorización corresponde al proceso destructivo, por el cual la roca cambia, al estar expuesta a los agentes atmosféricos en o cerca de la superficie de la tierra, y comprende una desintegración física y una descomposición química de la roca. La tabla 2 muestra los distintos grados de meteorización que puede tener una roca, desde roca fresca a suelo residual.

TERMINO	DESCRIPCIÓN	GRADO
Roca Fresca	No presenta signos visibles de meteorización en la roca: tal vez una leve decoloración en las superficies de las discontinuidades mayores.	I
Levemente Meteorizada	La decoloración indica meteorización de la roca y en las superficies de las discontinuidades. La roca en su totalidad puede estar decolorada por la meteorización y puede estar externamente algo más débil, que en su condición fresca.	II
Moderadamente Meteorizada	Menos de la mitad de la roca esta descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La roca fresca o decolorada se puede presentar como colpas o testigos continuos.	III
Muy Meteorizada	Más de la mitad de la roca esta descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La roca fresca o decolorada se puede presentar como colpas o testigos discontinuos.	IV
Completamente Meteorizada	Toda la roca esta descompuesta y/o desintegrada como un suelo. La estructura original del macizo aún se mantiene en gran parte intacta.	V
Suelo Residual	Toda la roca está convertida como suelo. La estructura del macizo y la fábrica del material están destruidas. Existe un gran cambio de volumen, sin embargo el suelo no ha sido transportado significativamente.	VI

Tabla 2: Grado de Meteorización ISRM (1981).

- **Criterio generalizado Hoek & Brown:** Indica la reducción de la resistencia de un macizo rocoso con respecto a la roca intacta para diferentes condiciones geológicas. La obtención de este índice se determina en terreno por medio de la observación de dos parámetros principales: estado de fracturamiento; y calidad de las discontinuidad, (Figuras 3 y 4). El GSI se debe dar en un rango de valores.

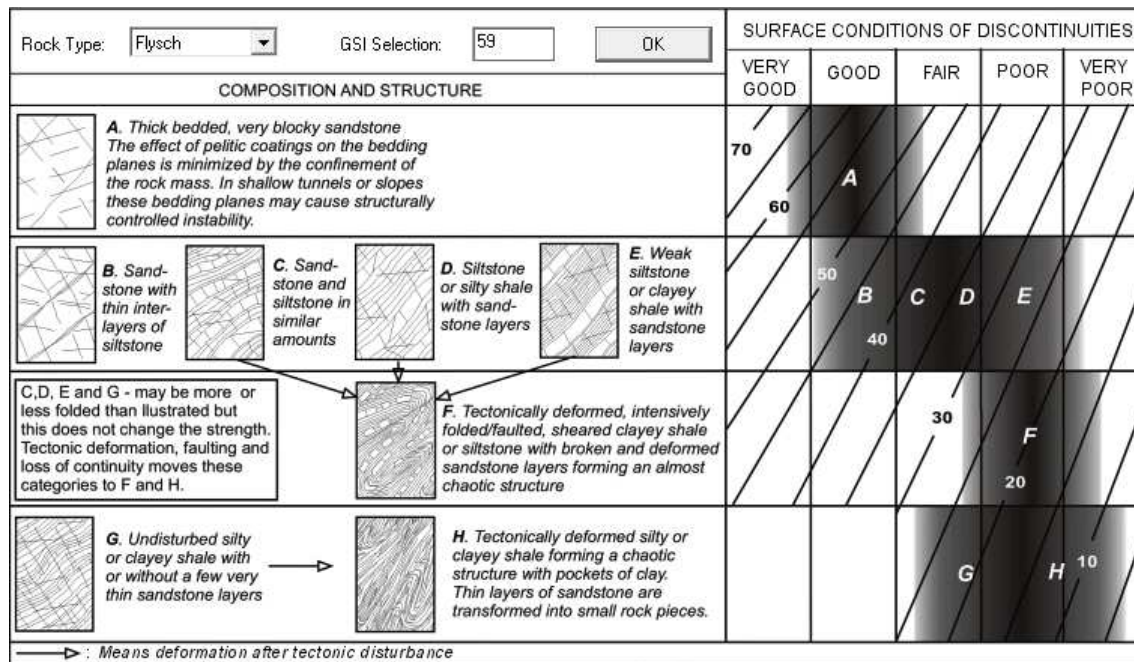


Figura 4: Determinación del GSI para macizo rocoso esquistoso - metamórfico.

- **Jv**: Indica el número de discontinuidades que existen por unidad de volumen (m^3).
- **RQD**: Este parámetro determina cuantitativamente la calidad del macizo rocoso a partir de testigos de sondaje. Cuando no hay testigos disponibles, el RQD puede ser estimado a partir del Jv con la siguiente fórmula:

$$RQD = 115 - 3.3 J_v \quad , \text{ Donde } J_v = \text{número total de discontinuidades por } m^3$$

($0 < RQD < 100$ para $35 > J_v > 4.5$).

Discontinuidades:

Después de determinar las características generales del macizo rocoso, se describen las discontinuidades mediante los siguientes parámetros:

- **Tipo de estructura**: Se indica a que tipo de estructura corresponde la discontinuidad en estudio. Puede ser una diaclasa, un plano de estratificación, una falla, una veta, etc.
- **Dip/DipDirection**: Se mide el mateo de la discontinuidades (Dip) y la dirección del mateo (DipDirection).
- **Espaciamiento**: Distancia media perpendicular entre los planos de un mismo set. Define el tamaño de bloques de matriz rocosa que forman los distintos sets.
- **Continuidad**: Indica si la diaclasa es continua o es discontinua.
- **Largo**: Corresponde a la extensión superficial de la discontinuidad.

- **Abertura:** Distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno.

- **Rugosidad:** Este parámetro permite estimar el grado de aspereza natural presente en las discontinuidades de la roca, siendo un importante parámetro para la caracterización de la condición de las discontinuidades. Esta definida en distintas escalas. La sinuosidad es el termino asociado a la escala mayor (Figura 5). El JRC corresponde a la rugosidad a escala menor (Figura 6).

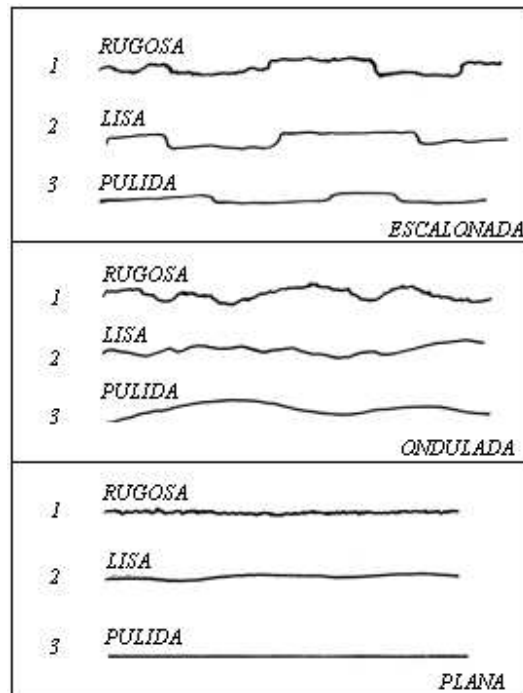


Figura 5: Perfiles de Rugosidad. La longitud de los perfiles están entre 1m y 10m.(ISMR 1981).

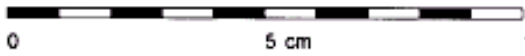
	$JRC = 0 - 2$
	$JRC = 2 - 4$
	$JRC = 4 - 6$
	$JRC = 6 - 8$
	$JRC = 8 - 10$
	$JRC = 10 - 12$
	$JRC = 12 - 14$
	$JRC = 14 - 16$
	$JRC = 16 - 18$
	$JRC = 18 - 20$
	

Figura 6: Esquema para la determinación del JRC (Barton, 1977).

Recomendaciones

- Clasifiquen el macizo rocoso mediante distintos métodos, RMR (ver anexo), Q de Barton (ver anexo), GSI, RQD, etc.
- Verifiquen si aplica el método de clasificación al macizo en estudio.
- En el informe agregue los ítems acceso y ubicación, además del marco geológico.

Anexo

FICHA DE MAPEO

DDIP/DIP LINEA		LINEA N°		LONGITUD		FECHA	
COORD.N		COORD.E		COTA:		UBICACIÓN	
LITOLOGÍA							
METEORIZACIÓN		CLASE	RESISTENCIA (MPa)		CRITERIO GENERALIZADO HOEK & BROWN		
Roca Fresca	I		R6 Ext. fuerte	>250	Estructura del macizo		
Levemente	II		R5 Muy fuerte	100-250	MA Masivo		
Moderadamente	III		R4 Fuerte	50-100	MB Fracturado en bloques		
Muy Meteorizada	IV		R3 Mod. fuerte	25-50	FB Muy fracturado		
Completamente	V		R2 Débil	5-25	FC Fracturado Cizallado		
Suelo Residual	VI		R1Muy débil	1-5	TR Triturado		
			RO Ext. débil	0,25-1	Condición de discontinuidades		
AGUA			GSI		Mb	Muy buena	
Seco			RQD		Bu	Buena	
Húmedo			Jv		Re	Regular	
Goteo suave			Jn		Ma	Mala	
Flujo constante					Mm	Muv mala	

Nombre Lugar:
REALIZADO POR:
FOTO
OBSERVACIONES

DISCONTINUIDADES

[illegible]

TIPO DE ROCA	
A	
B	
C	
D	

TIPO DE ESTRUCTURA			
D	Diaclasa	C	Cont. litológico
SD	Set de diaclasas	ES	Estratificación
FT	Falla	VT	Veta
ZC	Zona de cizalle	DX	Dique

RELLENO	
N	Sin relleno
Ca	Calcita
O	Oxidos
S	Sulfuros
A	Arcilla

GEOMETRIA	
SINUOSIDAD (S)	P Planar
	S Sinuosa
	E Escalonado
RUGOSIDAD (R)	R Rugosa
	MR Mod. Rugosa
	S Suave
CONTINUIDAD (C)	P Pulido
	C Continua
	D Discontinua

FICHA DE MAPEO

Fecha:

Ubicación:

Descripción:

- Tipo de roca:
- Meteorización:
- Resistencia:
- Agua:
- Espaciamiento discont:
- Rumbo paredes:

CRITERIO GENERALIZ. HOEK & BROWN	
Estructura del macizo	
MF	Muy fracturado
Condición de discontinuidades	
Re	Regular
Ma	Mala
GSI	

Jv	10
RQD	65

Jn	
Ja	
Jr	
Jw	

Estructuras principales:

[illegible]

Parámetro	Descripción	Puntaje
Resistencia		
RQD		
Espaciamiento		
Cond. Discont.		
Agua		
Orientación (ajuste)		
RMR (sin ajuste)		
RMR (ajustado)		

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

RQD: Rock Quality Designation

J_n: Sistemas de discontinuidadesJ_r: Rugosidad de discontinuidadesJ_a: Alteración de discontinuidadesJ_w: Factor de reducción por presencia de agua

SRF: Factor de reducción de esfuerzos in-situ

1. ROCK QUALITY DESIGNATION (RQD)

A. Very poor	0—25
B. Poor	25—50
C. Fair	50—75
D. Good	75—90
E. Excellent	90—100

Note:

- (i) Where RQD is reported or measured as ≤ 10 (including 0) a nominal value of 10 is used to evaluate Q in Eq. (1)
- (ii) RQD intervals of 5, i. e. 100, 95, 90, etc. are sufficiently accurate

2. JOINT SET NUMBER (J_n)

A. Massive, no or few joints	0.5—1.0
B. One joint set	2
C. One joint set plus random	3
D. Two joint sets	4
E. Two joint sets plus random	6
F. Three joint sets	9
G. Three joint sets plus random	12
H. Four or more joint sets, random, heavily jointed, "sugar cube", etc.	15
J. Crushed rock, earthlike	20

Note:

- (i) For intersections use $(3.0 \times J_n)$
- (ii) For portals use $(2.0 \times J_n)$

3. JOINT ROUGHNESS NUMBER (J_r)

(a) *Rock wall contact and*
 (b) *Rock wall contact before*
10 cms shear

A. Discontinuous joints	4
B. Rough or irregular, undulating	3
C. Smooth, undulating	2
D. Slickensided, undulating	1.5
E. Rough or irregular, planar	1.5
F. Smooth, planar	1.0
G. Slickensided, planar	0.5

Note:

- (i) Add 1.0 if the mean spacing of the relevant joint set is greater than 3 m
- (ii) $J_r=0.5$ can be used for planar slickensided joints having lineations, provided the lineations are favourably orientated

(c) *No rock wall contact when sheared*

H. Zone containing clay minerals thick enough to prevent rock wall contact	1.0 (nominal)
J. Sandy, gravelly or crushed zone thick enough to prevent rock wall contact	1.0 (nominal)

4.	JOINT ALTERATION NUMBER (J_a)	φ_r (approx.)	
	(a) <i>Rock wall contact</i>		
A.	Tightly healed, hard, non-softening, impermeable filling i. e. quartz or epidote	0.75	(—) Note:
B.	Unaltered joint walls, surface staining only	1.0	(25°—35°) (i) Values of $(\varphi)_r$ are intended as an approximate guide to the mineralogical properties of the alteration products, if present
C.	Slightly altered joint walls. Non-softening mineral coatings, sandy particles, clay-free disintegrated rock etc.	2.0	(25°—30°)
D.	Silty-, or sandy-clay coatings, small clay-fraction (non-softening)	3.0	(20°—25°)
E.	Softening or low friction clay mineral coatings, i. e. kaolinite, mica. Also chlorite, talc, gypsum and graphite etc., and small quantities of swelling clays. (Discontinuous coatings, 1—2 mm or less in thickness)	4.0	(8°—16°)
	(b) <i>Rock wall contact before 10 cms shear</i>		
F.	Sandy particles, clay-free disintegrated rock etc.	4.0	(25°—30°)
G.	Strongly over-consolidated, non-softening clay mineral fillings (Continuous, < 5 mm in thickness)	6.0	(16°—24°)
H.	Medium or low over-consolidation, softening, clay mineral fillings. (Continuous, < 5 mm in thickness)	8.0	(12°—16°)
J.	Swelling clay fillings, i. e. montmorillonite (Continuous, < 5 mm in thickness). Value of J_a depends on percent of swelling clay-size particles, and access to water etc.	8.0—12.0	(6°—12°)
	(c) <i>No rock wall contact when sheared</i>		
K, L, M.	Zones or bands of disintegrated or crushed rock and clay (see G, H, J for description of clay condition)	6.0, 8.0 or 8.0—12.0	(6°—24°)
N.	Zones or bands of silty- or sandy clay, small clay fraction (non-softening)	5.0	
O, P, R.	Thick, continuous zones or bands of clay (see G, H, J for description of clay condition)	10.0, 13.0 or 13.0—20.0	(6°—24°)

5.	JOINT WATER REDUCTION FACTOR	(J_w)	Approx. water pressure (kg/cm ²)	
A.	Dry excavations or minor inflow, i. e. < 5 l/min. locally	1.0	< 1	Note: (i) Factors C to F are crude estimates. Increase J_w if drainage measures are installed (ii) Special problems caused by ice formation are not considered
B.	Medium inflow or pressure occasional outwash of joint fillings	0.66	1.0—2.5	
C.	Large inflow or high pressure in competent rock with unfilled joints	0.5	2.5—10.0	
D.	Large inflow or high pressure, considerable outwash of joint fillings	0.33	2.5—10.0	
E.	Exceptionally high inflow or water pressure at blasting, decaying with time	0.2—0.1	> 10.0	
F.	Exceptionally high inflow or water pressure continuing without noticeable decay	0.1—0.05	> 10.0	
6.	STRESS REDUCTION FACTOR (SRF)			
	(a) <i>Weakness zones intersecting excavation, which may cause loosening of rock mass when tunnel is excavated</i>		Note: (i) Reduce these values of SRF by 25—50% if the relevant shear zones only influence but do not intersect the excavation	
A.	Multiple occurrences of weakness zones containing clay or chemically disintegrated rock, very loose surrounding rock (any depth)	10.0		
B.	Single weakness zones containing clay, or chemically disintegrated rock (depth of excavation ≤ 50 m)	5.0		
C.	Single weakness zones containing clay, or chemically disintegrated rock (depth of excavation > 50 m)	2.5		
D.	Multiple shear zones in competent rock (clay free), loose surrounding rock (any depth)	7.5		
E.	Single shear zones in competent rock (clay free) (depth of excavation ≤ 50 m)	5.0		
F.	Single shear zones in competent rock (clay free) (depth of excavation > 50 m)	2.5		
G.	Loose open joints, heavily jointed or "sugar cube" etc. (any depth)	5.0		
	(b) <i>Competent rock, rock stress problems</i>			
		σ_c/σ_1 σ_t/σ_1		
H.	Low stress, near surface	> 200 > 13	2.5	(ii) For strongly anisotropic stress field (if measured): when $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$, reduce σ_c and σ_t to 0.8 σ_c and 0.8 σ_t ; when $\sigma_1/\sigma_3 > 10$, reduce σ_c and σ_t to 0.6 σ_c and 0.6 σ_t where: σ_c = unconfined compression strength, σ_t = tensile strength (point load), σ_1 and σ_3 = major and minor principal stresses
J.	Medium stress	200—10 13—0.66	1.0	
K.	High stress, very tight structure (Usually favourable to stability, may be unfavourable to wall stability)	10—5 0.66—0.33	0.5—2.0	
L.	Mild rock burst (massive rock)	5—2.5 0.33—0.16	5—10	
M.	Heavy rock burst (massive rock)	< 2.5 < 0.16	10—20	
	(c) <i>Squeezing rock; plastic flow of incompetent rock under the influence of high rock pressures</i>		(iii) Few case records available where depth of crown below surface is less than span width. Suggest SRF increase from 2.5 to 5 for such cases (see H)	
N.	Mild squeezing rock pressure		5—10	
O.	Heavy squeezing rock pressure		10—20	
	(d) <i>Swelling rock; chemical swelling activity depending on presence of water</i>			
P.	Mild swelling rock pressure		5—10	
R.	Heavy swelling rock pressure		10—15	

RMR Beniaowski

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	< 1 MPa
	Rating		15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core Quality RQD		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		
Ratings			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).