

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLÓGICA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN GEOLOGÍA APLICADA
(GIGA)**

**CLASIFICACIONES GEOMECÁNICA DE
DE LOS MACIZOS ROCOSOS SEGÚN:
BIENIAŃSKI.
BARTON.
HOEK Y BROWN.
ROMANA.**

GEOTECNIA APLICADA.

**Profesora Norly Belandria Dra.
Profesor Francisco Bongiorno Dr.**



CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR

Desarrollado por Bieniawski, (1989) constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros de diseño y de sostenimiento de túneles.

El parámetro que define la clasificación es el denominado índice RMR (ROCK MASS RATING), que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros:

- 1.-Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa.
- 2.-R.Q.D. Grado de fracturación del macizo rocoso.
- 3.-Espaciado de las discontinuidades.
- 4.-Condiciones de las discontinuidades, el cual consiste en considerar los siguientes parámetros:
 - Abertura de las caras de la discontinuidad.
 - Continuidad o persistencia de la discontinuidad.
 - Rugosidad.
 - Alteración de la discontinuidad.
 - Relleno de las discontinuidades.
- 5.-Presencia del Agua, en un macizo rocoso, el agua tiene gran influencia sobre su comportamiento, la descripción utilizada para este criterio son: completamente seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a presión fuerte.
- 6.-Orientación de las discontinuidades.

Para obtener el Índice RMR de Bieniawski se realiza lo siguiente:

1. Se suma los 5 variables o parámetros calculados, eso da como resultado un valor índice (RMR básico).
- 2.-El parámetro 6 que se refiere a la orientación de las discontinuidades respecto a la excavación.

El valor del RMR varía entre 0 a 100

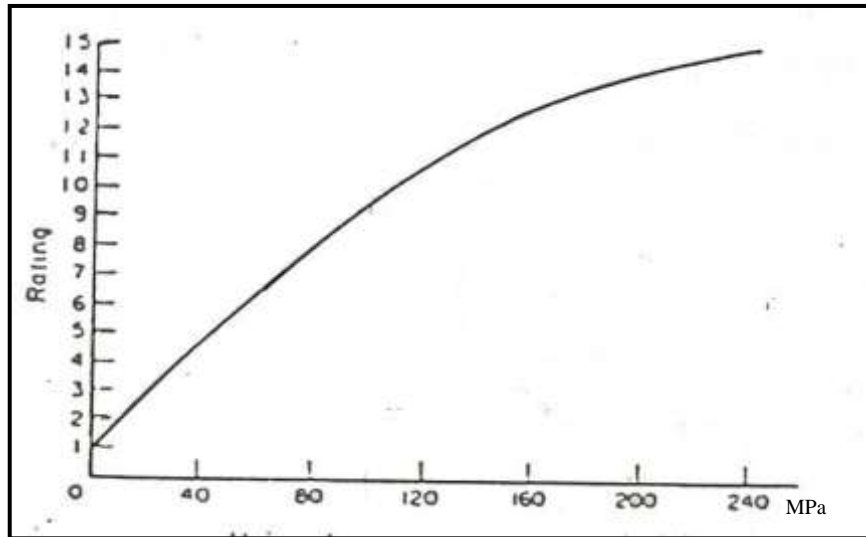
1^{ER} PARÁMETRO: RESISTENCIA DE LA ROCA

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)	ENSAYO DE CARGA PUNTUAL (MPa)	VALORACIÓN
Extremadamente dura	>250	> 10	15
Muy dura	100 - 250	4 - 10	12
Dura	50 - 100	2 - 4	7
Moderadamente dura	25 - 50	1 - 2	4
Blanda	5 - 25	< 1	2
Muy blanda	1 - 5		1
	< 1		0

Resistencia de algunas rocas sanas en (MPa)

TIPO DE ROCA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)		
	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIO
Creta	1	2	1.5
Sal	15	29	22
Carbón	13	41	31
Limonita	25	38	32
Esquisto	31	70	43
Pizarra	33	150	70
Arcillita	36	172	95
Arenisca	40	179	95
Marga	52	152	99
Mármol	60	140	112
Caliza	69	180	121
Dolomía	83	165	127
Andesita	127	138	128
Granito	153	233	188
Gneis	159	256	195
Basalto	168	359	252
Cuarcita	200	304	252
Dolerita	227	319	280
Gabro	290	326	298
Taconita	425	475	450
Sílice	587	683	635

Gráfico para calcular el parámetro de Resistencia a la Compresión Simple.



2º PARÁMETRO: CÁLCULO DEL R.Q.D.

La calidad de roca RQD se puede determinar:

1. Trozos de rocas testigos mayores de 10 cm recuperados en sondeos.
2. Número total de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen (1m^3) del macizo rocoso, definido mediante el parámetro J_v .
3. Teóricamente a partir de la densidad de las discontinuidades o frecuencia de las discontinuidades (λ) por Hudson, 1989.

Para el primer caso se utiliza la ecuación A:

$$RQD = \frac{\sum(\text{ripios} > 10 \text{ cm})}{\text{Total de la perforación}} \quad (\text{A})$$

Para el segundo caso se utiliza la ecuación B:

$$RQD = 115 - 3,3 \cdot J_v \quad (\text{B})$$

Para el tercer caso se utiliza la ecuación C:

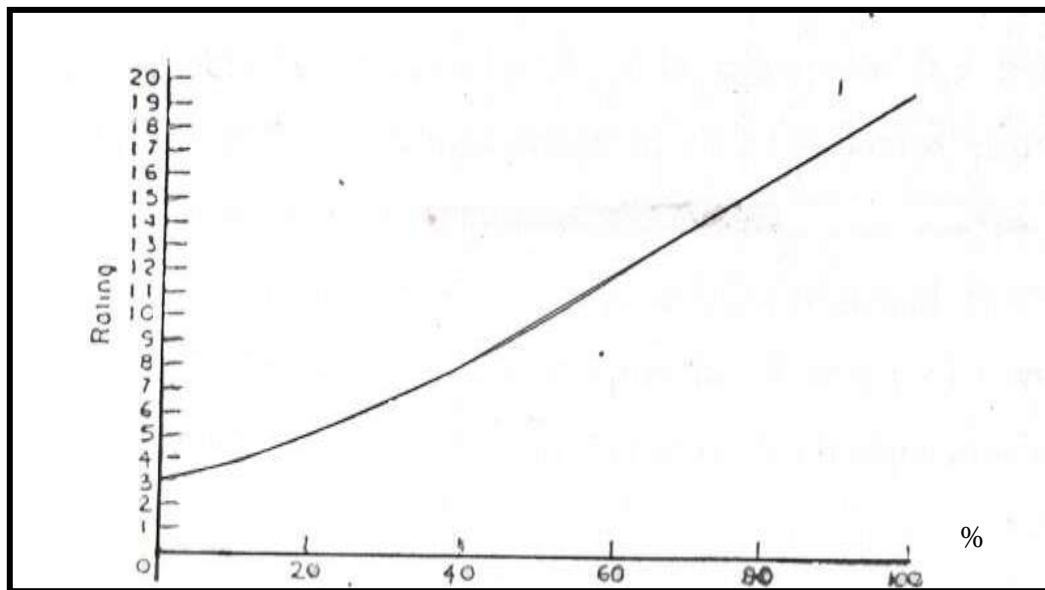
$$RQD = 100 e^{(0,1\lambda)} (0,1\lambda + 1) \quad (\text{C})$$

El valor obtenido en las formulas A, B o C son comparados con la siguiente tabla:

ÍNDICE DE CALIDAD RQD (%)	CALIDAD	VALORACIÓN
0 - 25	Muy mala	3
25 - 50	Mala	8
50 - 75	Regular	13
75 - 90	Buena	17
90 - 100	Excelente	20

Asimismo, se puede buscar la valoración para el RQD, a partir del siguiente gráfico:

Gráfico para calcular el parámetro de RQD



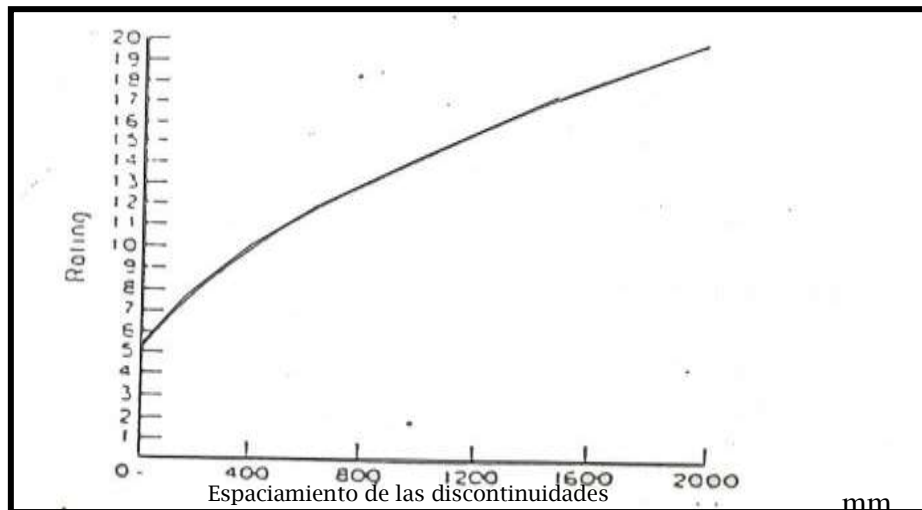
3^{er} PARÁMETRO: SEPARACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES.

La separación o el espaciamiento de las discontinuidades está clasificada según la tabla que a continuación se observa:

DESCRIPCIÓN	ESPACIADO DE LAS JUNTAS	TIPO DE MACIZO ROCOSO	VALORACIÓN
Muy separadas	> 2 m	Sólido	20
Separadas	0,6 - 2 m.	Masivo	15
Moderadamente juntas	200- 600 mm.	En bloques	10
Juntas	60 - 200 mm.	Fracturado	8
Muy juntas	< 60 mm.	Machacado	5

Para calcular el rango se utiliza el siguiente gráfico:

Gráfico para calcular el parámetro del espaciamiento de las discontinuidades.



4^{to} PARÁMETRO: CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES.

Aberturas de las discontinuidades.

GRADO	DESCRIPCIÓN	SEPARACIÓN DE LAS CARAS	VALORACIÓN
1	Abierta	> 5mm	0
2	Moderadamente abierta	1 - 5 mm	1
3	Cerrada	0,1 - 1 mm	4
4	Muy cerrada	< 0,1 mm	5
5	Ninguna	0	6

Continuidad o persistencia de las discontinuidades.

GRADO	DESCRIPCIÓN	CONTINUIDAD	VALORACIÓN
1	Muy baja	< 1 m	6
2	baja	1 - 3 m	4
3	Media	3 - 10 m	2
4	Alta	10 - 20 m	1
5	Muy alta	> 20 m	0

Rugosidad de las discontinuidades.

GRADO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
1	Muy rugosa	6
2	Rugosa	5
3	Ligeramente rugosa	3
4	Lisa	1
5	Plana (espejo de falla)	0

Relleno de las discontinuidades.

GRADO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
1	Blando > 5 mm	0
2	Blando < 5mm	2
3	Duro > 5mm.	2
4	Duro < 5 mm	4
5	Ninguno	6

Alteración de las discontinuidades.

GRADO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
1	Descompuesta	0
2	Muy alterada	1
3	Moderadamente alterada	3
4	Ligeramente alterada	5
5	No alterada	6

5º PARÁMETRO: LA PRESENCIA DEL AGUA.

Para calcular la valoración según la presencia del agua se toma como referencia la tabla que a continuación se especifica.

Tabla para obtener el parámetro de la presencia del agua

CAUDAL POR 10 M DE TÚNEL	RELACIÓN PRESIÓN AGUA - TENSIÓN PPAL MAYOR	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
Nulo	0	Seco	15
< 10 litros/min	< 0,1	Ligeramente húmedo	10
10-25 litros/min	0,1 - 0,2	Húmedo	7
25-125 litros/min	0,2 - 0,5	Goteando	4
>125 litros/min	> 0,5	Fluyendo	0

6º PARÁMETRO: ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES.

Para la valoración de este parámetro se debe clasificar la roca de acuerdo al rumbo y buzamiento con respecto a la obra civil que se va a ejecutar, esta clasificación se especifica a continuación:

Tabla de clasificación para la determinación de los buzamientos con respecto al efecto relativo con relación al eje de la obra.

Dirección Perpendicular al Eje de la obra				Dirección Paralelo al Eje de la obra		Buzamiento 0 -20° Cualquier dirección
Excav. Con buzamiento.		Excav. Contra buzamiento				
Buz 45° - 90°	Buz 20° - 45°	Buz 45°-90°	Buz 20° - 45°	Buz 45° - 90°	Buz 20°- 45°	
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	Desfavorable

Valoración para Túneles y Minas.

Calificativo	Valoración
Muy favorable	0
Favorable	-2
Medio	-5
Desfavorable	-10
Muy desfavorable	-12

Valoración para Fundaciones.

Calificativo	Valoración
Muy favorable	0
Favorable	-2
Medio	-7
Desfavorable	-15
Muy desfavorable	-25

Valoración para Taludes.

Calificativo	Valoración
Muy favorable	0
Favorable	-5
Medio	-25
Desfavorable	-50
Muy desfavorable	-60

Calidad del macizo rocoso con relación al Índice RMR

CLASE	CALIDAD	VALORACIÓN RMR	COHESIÓN	ÁNGULO DE ROZAMIENTO
I	Muy buena	100-81	>4 Kg/cm ²	> 45°
II	Buena	80-61	3 - 4 Kg/cm ²	35° - 45°
III	Media	60-41	2 - 3 Kg/cm ²	25° - 35°
IV	Mala	40-21	1 - 2 Kg/cm ²	15° - 25°
V	Muy mala	< 20	< 1 Kg/cm ²	<15°

**Guía para la excavación y soporte en túneles y obras de ingeniería
donde la condición de la roca es importante.
(Según Bieniawski)**

CLASE DE MACIZO ROCOSO	EXCAVACIÓN	PERNOS (20 mm DE DIÁMETRO) INYECTADOS.	SOPORTE CON CONCRETO ARMADO	COSTILLAS
I . Roca muy Buena, RMR: 81- 100	A sección completa. 3 m de avance.	Generalmente no se requiere.		Ninguno
II . Roca Buena, RMR: 61 - 80	A sección completa 1-1.5 m de avance. Soporte completo a 20 m del frente.	Pernos en la corona de 3 m de longitud espaciados a 2.5 m malla ocasional	50 mm en la corona donde se requiera	Ninguno
III . Roca regular, RMR: 41 - 60	Frente superior y destroza, 1.5-3 m de avance en media sección. Inicio del soporte después de cada voladura. Soporte completo a 10 m del frente.	Pernos sistemáticos, 4 m de longitud, espaciados 1.5-2 m en la corona y hastiales con malla en la corona.	50 – 100 mm en la corona y 30 mm por los lados	Ninguno
IV . Roca Pobre, RMR: 21 - 40	Frente superior y destroza, 1 – 1.5 m de avance en la media sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación 10 m del frente.	Pernos sistemáticos , 4- 5 m de longitud, espaciados 1 – 1.5 m en la corona y hastiales con malla.	100 – 150 mm en la corona y 30 mm por los lados	Costillas ligeras a medias espaciadas 1.5 m a donde se requiera.
V. Roca muy pobre RMR: < 20	Múltiples galerías 0.5-1.5 mts.de avance en la sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación. Concreto proyectado tan pronto como sea posible después de las voladuras.	Pernos sistemáticos, 5-6 m de longitud, espaciados 1 – 1.5 m en la corona y hastiales con malla. Pernos invertidos.	150- 200 mm en la corona, 150 mm en los lados y 50 mm al frente	Costillas medianas a resistentes, espaciadas a 0.75 m con planchas de acero y tablestacas si se requiere.

SISTEMA Q

Desarrollado por Barton, Lien y Lunde en 1974, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite establecer sistemas de sostenimientos para túneles y cavernas. El sistema Q esta basado en al evaluación numérica de seis parámetros que definen el índice Q. Este índice viene dado por la siguiente expresión.

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

Como se analiza, la Clasificación de Barton *et al*, se basa en 6 parámetros:

- 1.-R.Q.D : Índice de calidad de la roca.
- 2.-J_n : Índice de diaclasado que indica el grado de fracturación.
- 3.-J_r : Índice de que contempla la rugosidad, relleno y continuidad de las discontinuidades.
- 4.-J_a : Índice de alteración de las discontinuidades.
- 5.-J_w : Coeficiente reductor por la presencia de Agua.
- 6.-SRF : (Stress reduction factor) Coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional sobre el macizo rocoso.

El primer coeficiente (R.Q.D./J_n) representa el tamaño de los Bloques.

El segundo coeficiente (J_r/J_a) representa la resistencia al corte entre los bloques.

El tercer y último coeficiente (J_w/SRF) representa el estado tensional del macizo rocoso.

El rango de Variación de los parámetros es el siguiente:

- RQD: entre 0 y 100
J_n: entre 0,5 y 20
J_r: entre 0,5 y 4
J_a: entre 0,75 y 20
J_w: entre 0,05 y 1
SRF: entre 0,5 y 20

TABLAS USADAS PARA LA CLASIFICACIÓN Q.

1^{er} Parámetro: R.Q.D.

DESCRIPCIÓN DE LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO	R Q D	OBSERVACIONES.
Muy pobre	0-25	Para R.Q.D < 10 se puede tomar R.Q.D.= 10 en la ecuación de Q.
Pobre	25-50	
Medio	50-75	
Bueno	75-90	
Muy Bueno	90-100	

2^{do} Parámetro: Índice de diaclasado Jn.

DESCRIPCIÓN	Jn
Roca masiva	0.5-1
Una familia de diaclasas.	2
Una familia de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	3
Dos familias de diaclasas.	4
Dos familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales	6
Tres Familias.	9
Tres familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	12
Cuatro o más familias de Diaclasas, roca muy fracturada.	15
Roca triturada terrosa.	20
En boquillas, se utiliza 2 Jun y en Túneles 3 Jun	

3^{er} Parámetro: Índice de rugosidad Jr.

Tabla basada por la relación o el contacto entre las 2 caras de la Junta.

❖ Contacto entre las 2 caras de las diaclasas con poco desplazamiento lateral de menos de 10 cm.	Jr
▪ Juntas discontinuas.	4
▪ Juntas Rugosa o irregular ondulada.	3
▪ Suave ondulada.	2
▪ Espejo de falla, ondulada,	1.5
▪ Rugosa o irregular, plana.	1.5
▪ Suave plana.	1
▪ Espejo de Falla, plano.	0.5
❖ No existe contacto entre las 2 caras de las diaclasas cuando ambas se desplazan lateralmente.	Jr
▪ Zona de contenido de minerales arcillosos, suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las caras de las Diaclasas.	1
▪ Arenas, gravas o zona fallada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las 2 caras de las diaclasas.	1

Nota: si el espaciado de la familia de las diaclasas es mayor de 3 m hay que aumentar el J_n en una unidad.

Para diaclasas con espejos de falla provisto de lineaciones, si están orientadas favorablemente, se puede usar $J_r=0.5$

4^{to} Parámetro: Coeficiente reductor por la presencia de agua J_w .

DESCRIPCIÓN	J_w	Presión del agua Kg/cm ²
- Excavaciones secas o de influencia poco importante.	1	<1
- Fluencia o presión medias. Ocasional lavado de los rellenos de las Diaclasas.	0.66	1-2.5
- Fluencia grande o presión alta, considerable lavado de los rellenos de las Diaclasas.	0.33*	2.5-10
- Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas, decayendo con el tiempo.	0.1-0.2*	>10
- Fluencia o presión de aguas excepcionalmente altas y continuas, sin disminución.	0.05-0.1*	>10
Los valores presentados con el Signo * son solo valores estimados. Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar J_w		

5^{to} Parámetro: Índice de alteración de las discontinuidades J_a .

DESCRIPCIÓN	J_a	ϕ
Contacto entre las 2 caras de las Diaclasas		
Junta sellada, dura, sin reblandecimiento impermeable como por ejemplo cuarzo en paredes sanas.	0.75	25-30
Caras de la junta únicamente manchadas.	1	25-30
Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no blandos partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.	2	25-30
Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fricción arcillosa no reblandecible.	3	20-25
Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja		

fricción como caolinita, clorita, talco y yeso, grafito y pequeñas cantidades de arcillas expansivas. Los recubrimientos son discontinuos con espesores máximos de 1 o 2 mm.	4	8-16
Contactos entre 2 caras de la Diaclasa con < de 10 cm desplazamiento lateral.		
Partículas de Arena, roca desintegrada libre de arcilla.	4	25-30
Fuertemente sobreconsolidados rellenos de minerales arcillosos no blandos. Los recubrimientos son continuos de menos de 5 mm de esp.	6	16-24
Sobreconsolidación media a baja, blandos, rellenos de minerales arcillosos. Los recubrimientos son continuos de < de 5 mm de espesor.	8	12-16
Rellenos de arcilla expansiva, de espesor continuo de 5 mm. El valor Ja dependerá del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva.	8-12	6-12
No existe contacto entre las 2 caras de la diaclasa cuando esta cizallada.		
Zonas o bandas de roca desintegrada o manchada y arcilla.	6-8-12	6-24
Zonas blandas de arcilla limosa o arenosa con pequeña fricción de arcilla no blandas.	5	6-24
Granos arcillosos gruesos.	13-20	6-24

6^{to} Parámetro: Condiciones tensionales SRF

1.-Zona débil que interceptan la excavación y pueden causar caídas de bloques.			SRF
A. Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor.			10
B. Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50 m.).			5
C. Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente. (Profundidad de excavación > 50 m.).			2.5
D. Varias zonas de fractura en roca competente libre de arcilla, roca suelta alrededor. (Cualquier profundidad).			7.5
E. Sólo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla (Profundidad de excavación < 50 m.)			5
F. Sólo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla. (Profundidad > 50 m).			2.5
G. Diaclasas abiertas sueltas, muy fracturadas. Cualquier profundidad.			5
2.-Rocas competentes con problemas tensionales en las rocas	σ_c/σ_1	σ_t/σ_1	SRF
H. Tensiones pequeñas cerca de la superficie.		>13	2.5
I. Tensiones medias.	> 200	13-0.33	1.0
J. Tensiones altas estructura muy compacta, favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales.	200-10		
	10-5	0.66-0.33	0.5-2.0
	5-2.5		
K. Explosión de roca suave (roca Masiva).		0.33-0.16	5-10
	<2.5		
L. Explosión de roca fuerte (roca masiva.)		<0.16	10-20

σ_c y σ_t son las resistencias a la compresión y tracción respectivamente de la roca, σ_1 es el esfuerzo principal máximo que actúa en la roca.	
3.-Roca fluyente, flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones litostática.	SRF
M. Presión de Flujo suave.	5-10
N. Presión de flujo intensa.	10-20
3.-Roca expansiva, actividad expansiva química dependiendo de la presencia del agua.	S.R.F
O. Presión Expansiva suave.	5-10
P. Presión expansiva intensa.	10-15
Observaciones al SRF: Reducir los valores del SRF en un 25 a 50% si las zonas de rotura solo influyen pero no interceptan a la excavación. En los casos que la profundidad de las clave del túnel sea inferior a la altura del mismo se sugiere aumentar el SRF de 2.5 a 5. Para campos de tensiones muy anisótropos cuando $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$, reducir el σ_c y σ_t a $0.8 \sigma_c$ y $0.8 \sigma_t$.	

CLASIFICACIÓN DE BARTON DE LOS MACIZOS ROCOSOS. ÍNDICE DE CALIDAD Q.

TIPO DE ROCA	VALOR DE Q
Excepcionalmente mala.	0,001 - 0,01
Extremadamente mala.	0,01 - 0,1
Muy mala.	0,1 - 1
Mala.	1 - 4
Media.	4 - 10
Buena.	10 - 40
Muy buena.	40 - 100
Extremadamente Buena.	100 - 400
Excepcionalmente Buena.	400 - 1000

Sugerencias para el uso de las Tablas.

1.- Cuando no se disponen de sondeos, el RQD se estima a partir de afloramientos, mediante el índice volumétrico de juntas J_v .

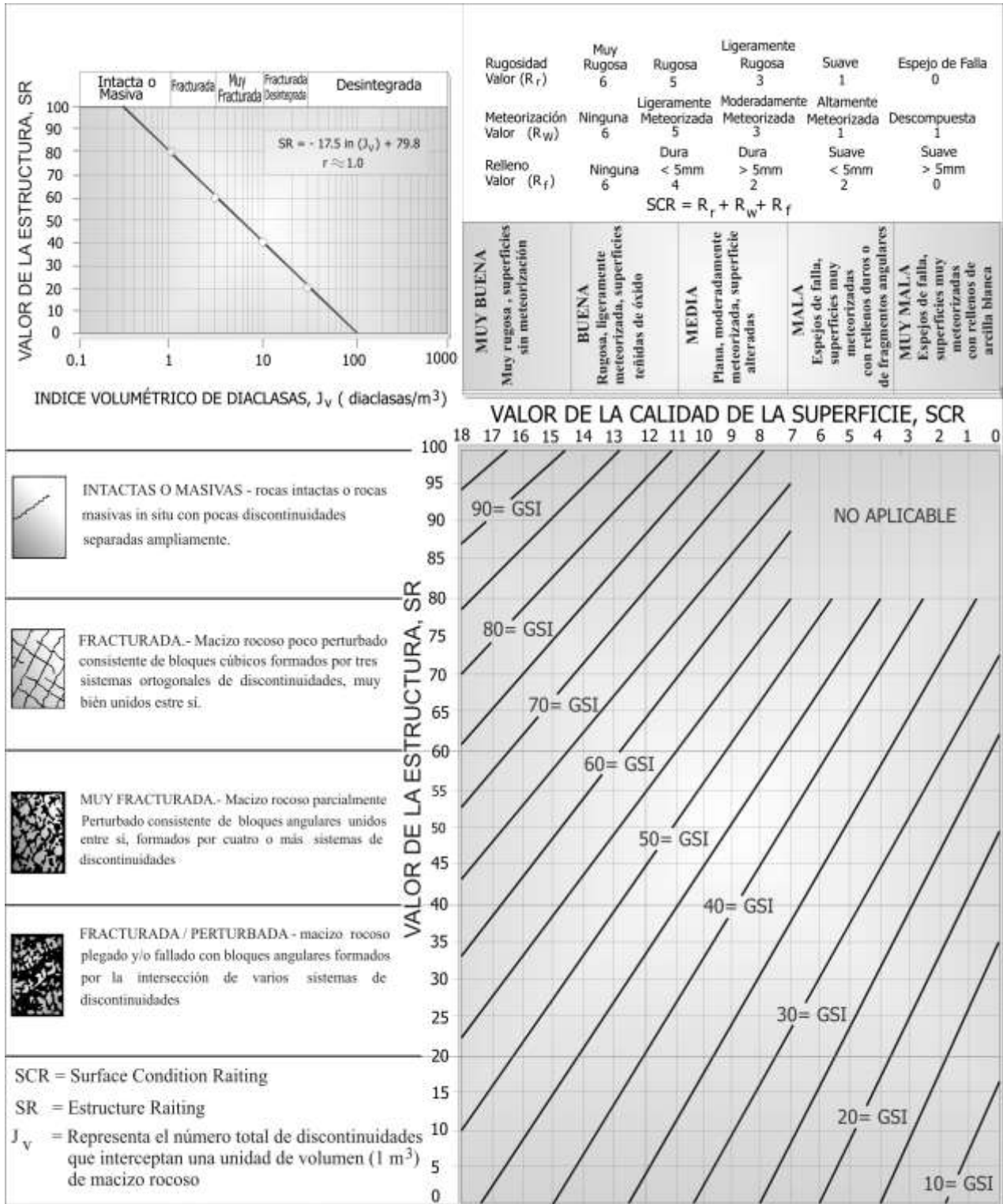
2.-En el parámetro J_n , puede estar afectado por la foliación, esquistosidad, y laminaciones. Si las discontinuidades paralelas están suficientemente desarrolladas, se contabilizan como una familia, si no se contabilizan como discontinuidades ocasionales.

3.-Se tomarán los valores de los parámetros J_r y J_a de la familia de discontinuidades rellenas de arcilla más débil de la zona, pero hay que elegir en primer lugar las discontinuidades de orientación desfavorable aunque no den el valor mínimo del cociente J_r/J_a .

6.-En las rocas anisótropas, la resistencia a la compresión simple de la roca, y la resistencia a la tracción, σ_c y σ_t , respectivamente se evalúan en la zona más desfavorable para la estabilidad de la estructura subterránea.

CLASIFICACIÓN DE HOEK Y BROWN (GSI)

Hoek et al, (1995) han propuesto un índice geológico de resistencia, GSI (geological strength index), que evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades.



ESTIMACIÓN DEL GSI SEGÚN SÓNMEZ Y ULUSAY (2002), PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL MACIZO ROCOSO EN FUNCIÓN DEL GRADO Y LAS CARACTERÍSTICAS DE FRACTURACIÓN, ESTRUCTURA GEOLÓGICA, TAMAÑO DE LOS BLOQUES Y ALTERACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE ROMANA (SMR):

El índice SMR para la clasificación de taludes se obtiene del índice RMR básico, restando un “factor de ajuste” que es función de la orientación de las discontinuidades (y producto de tres subfactores) y sumando un “factor de excavación” que depende del método utilizado.

$$\text{SMR} = \text{RMR}_{\text{básico}} + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$$

RMR se calcula de acuerdo con los coeficientes de Bieniawski, como la suma de las valoraciones correspondientes a 5 parámetros:

- Resistencia a compresión simple de la matriz rocosa,
- RQD,
- Separación de las discontinuidades,
- Condición de las discontinuidades,
- Flujo de agua en las discontinuidades.

El rango del RMR es 0 – 100.

El **factor de ajuste de las discontinuidades** es producto de tres subfactores:

- F_1 , depende del paralelismo entre el rumbo de las discontinuidades y la cara del talud. Varía entre 1,00 (cuando ambos rumbos son paralelos) y 0,15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de rotura es muy baja. Estos valores establecidos empíricamente ajustan aproximadamente a la expresión:

- $$F_1 = (1 - \sin(\alpha_j - \alpha_s))^2$$

Siendo α_j y α_s los valores de dirección de la discontinuidad (α_j) y del talud (α_s)

- F_2 , depende del buzamiento de la discontinuidad en la rotura plana. Varía entre 1,00 (para discontinuidades con buzamiento superior a 45°) y 0,15 (para discontinuidades con buzamiento inferior a 20°). Puede ajustarse aproximadamente según la relación:

- $$F_2 = \tan^2 \beta_j$$

Donde β_j es el buzamiento de la discontinuidad.

- F_3 , refleja la relación entre los buzamientos de la discontinuidad y del talud.

El factor de ajuste según el método de excavación. F_4 , ha sido establecido empíricamente como:

Los **taludes naturales**, son más estables a causa de los procesos previos de erosión sufridos por el talud, y de los mecanismos internos de protección que muchos de ellos poseen (vegetación, desecación superficial, drenaje torrencial, etc). $F_4 = +15$.

Los **precorte**, aumentan la estabilidad de los taludes en media clase. $F_4 = +10$.

Las técnicas de **voladura suave (recorte)** bien ejecutadas, también aumentan la estabilidad de los taludes. $F_4 = +8$.

Las voladuras normales aplicadas con métodos razonables no modifican la estabilidad. $F_4 = 0$.

Las **voladuras defectuosas** son muy frecuentes y pueden dañar seriamente a la estabilidad. $F_4 = -8$.

La **excavación mecánica** de los taludes por ripado solo es posible cuando el macizo rocoso esta muy fracturado o la roca blanda. Con frecuencia se combina con prevoladuras poco cuidadosas. Las caras del talud presentan dificultades de acabado. Por ello el método ni mejora ni empeora la estabilidad.

FACTOR DE AJUSTE POR LA ORIENTACIÓN DE LAS JUNTAS (F_1, F_2 Y F_3)						
CASO		MUY FAVORABLE	FAVORABLE	NORMAL	DEFAVORABLE	MUY DEFAVORABLE
P	$ \alpha_j - \alpha_s $	$> 30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$< 5^\circ$
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180 $					
P/T	F_1	0,15	0,4	0,7	0,85	1
P	$ \beta_j $	$< 20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$> 45^\circ$
	F_2	0,15	0,4	0,7	0,85	1
T	F_2	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	$> 10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	0°	$0^\circ - (-10^\circ)$	$< -10^\circ$
T	$\beta_j + \beta_s$	$< 110^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$> 120^\circ$	-----	-----
P/T	F_3	0	- 6	- 25	- 50	- 60

FACTOR DE AJUSTE POR EL MÉTODO DE EXCAVACIÓN (F_4)					
MÉTODO	TALUD NATURAL	PRECORTE	VOLADURA SUAVE	VOLADURA O EXCAVACIÓN MECÁNICA	VOLADURA DEFICIENTE
F_4	+ 15	+ 10	+ 8	0	- 8

CLASES DE ESTABILIDAD					
CASO	V	IV	III	II	I
SMR	0 - 20	21 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Buena	Muy buena
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

P : Rotura plana

α_s : Dirección del talud

β_s : Buzamiento del talud

T : Rotura por vuelco

α_j : Dirección de las juntas

β_j : Buzamiento de las juntas

TIPO DE ROTURA			MUY FAVORA- BLE	FAVORABLE	NORMAL	DESFAVORA- BLE	MUY DESFAVORA-	
Plana	A	$ \alpha_j - \alpha_s $	$>30^\circ$	30-20°	20-10°	10-5°	$<5^\circ$	
Vuelco		$ \alpha_j - \alpha_s - 180 $						
Cuña		$ \alpha_j - \alpha_s $						
F ₁			0.15	0.40	0.70	0.85	1.00	
	B	$ \beta_j $ ó $ \beta_i $	$<20^\circ$	20-30°	30-35°	35-45°	$>45^\circ$	
Plana/Cuña	F ₂		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00	
Vuelco			1.00					
Plana	C	$\beta_j - \beta_s$	$>10^\circ$	10-0°	0°	0-(-10°)	$<(-10^\circ)$	
Cuña		$\beta_i - \beta_s$						
Vuelco		$\beta_j + \beta_s$						$<110^\circ$
F ₃			0	-6	-25	-50	-60	
MÉTODO DE EXCAVACIÓN				F ₄	MÉTODO DE EXCAVACIÓN			F ₄
Talud natural				+15	Voladura normal o excavación mecánica			0
Precorte				+10	Voladura deficiente			-8
Voladura suave				+8				

Parámetros de corrección F₁, F₂, F₃ y F₄ de la clasificación SMR (modificado de Romana, 1985)

BIBLIOGRAFÍA

- Barton, N Lien, R. y Lunden, J. (1974), Engineering Classification of Rock Masses for the Desing of Tunnel Support. Rock Mechanics, Springer Verlag, vol, 6 pp 189 - 236.
- Bieniawski, Z.T. (1989). Engineering Rock Mass Clasifications. John Wiley and sons, Inc.
- Gonzalez de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., y Oteo, C. (2004) . Ingenieria Geológica. Pearson Educación. Madrid.
- ISMR (1981) Basic geotechnical description of rock masses. Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 18. Pergamon Press.
- Romana, M. (1985). *New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes*. Int. Symp. On the role of rock mechanics ISRM. Zacatecas, 49-53.
- IGME (1987). Manual de Ingeniería de Taludes. Capítulo 5: Caracterización Geotécnica de materiales, pp 117- 152.
- Mercedes, F., y Gonzalez de Vallejo, L. (2007). Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. Instituto Geologico y Minero de España. Madrid.
- Sönmez, H y Ulusay, R (2002). "A discussion on the Hoek-Brown failure criterion and suggested modifications to the criterion verified by slope stability studies", Bulletin of Earth Science Application and Research Centre of University Hacettepe, Vol 26 , pp77-99.