



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES.
FACULTAD DE INGENIERÍA.
ESCUELA DE ING. GEOLÓGICA.
CATEDRA: **GEOTECNIA.**

**ÍNDICE DE CALIDAD DE LA ROCA RQD.
CLASIFICACIONES DE LOS MACIZOS
ROCOSOS SEGÚN:
BARTON.
BIENIAWSKI.
HOEK Y BROWN**

Prof. Francisco Bongiorno

CLASIFICACIÓN DE LOS MACIZOS ROCOSOS.

CLASIFICACIÓN DE DEERE (RQD)

La calidad de roca R.Q.D se puede determinar a partir de trozos de rocas testigos mayores de 10cm recuperados en sondeos o a partir de juntas J_v que indican el número de juntas por m^3 observadas en un afloramiento. Para el primer caso se utiliza la primera formula:

$$R.Q.D = [\Sigma (\text{Ripios} > 10\text{cm}) / (\text{total de la perforación})] \times 100 \quad (A)$$

Para el segundo caso se utiliza la siguiente formula:

$$R.Q.D = 115 - 3.3 \times J_v \quad (B)$$

El valor obtenido en las formulas A y B son comparados con la siguiente tabla:

<i>Índice de Calidad R.Q.D. (%)</i>	<i>Calidad</i>
0 - 25	Muy mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Regular
75 - 90	Buena
90 - 100	Excelente.

CLASIFICACIÓN DE BARTON, LIEN Y LUNDE. (ÍNDICE Q)

Estos autores consideran esta clasificación tomando en cuenta el R.Q.D relacionándola con diversos parámetros, que serán considerados a continuación y que están relacionados con la siguiente formula.

$$Q = \frac{R.O.D}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

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 : Número de familias de diaclasas.

- 3.-Jr : Rugosidad de las superficies de las discontinuidades.
- 4.-Ja : Alteración de las diaclasas.
- 5.-Jw : Coeficiente reductor. Presencia del Agua.
- 6.-SRF : Factor reductor del esfuerzo.

El primer coeficiente R.Q.D./Jn representa en la formula el tamaño de los Bloques.

El segundo coeficiente Jr/Ja representa en la formula la resistencia al corte de los bloques.

El tercer y último coeficiente Jw/SRF representa en la formula el estado tensional del macizo rocoso.

TABLAS USADAS PARA LA CLASIFICACIÓN DE BARTON.

1^{er} Parámetro, calculo del R.Q.D.

<i>Descripción de la calidad del macizo rocoso</i>	<i>R . Q . D . %</i>	<i>Observaciones.</i>
Muy mala	0-25	Para R.Q.D < 10 se puede tomar R.Q.D.= 10 en la ecuación de Q.
Mala	25-50	
Mediana	50-75	
Buena	75-90	
Excelente	90-100	

2^{do} Parámetro, calculo de la Familia de diaclasas Jn.

<i>Descripción</i>	<i>Jn</i>
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 Rugosidad de las Diaclasas Jr.

Esta tabla esta 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.	Jn
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Juntas discontinuas. ▪ Juntas Rugosa o irregular ondulada. ▪ Suave ondulada. ▪ Espejo de falla, ondulada, ▪ Rugosa o irregular, plana. ▪ Suave plana. ▪ Espejo de Falla, plano. 	<p style="text-align: center;">4 3 2 1.5 1.5 1 0.5</p>
❖ No existe contacto entre las 2 caras de las diaclasas cuando ambas se desplazan lateralmente.	Jn
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zona de contenido de minerales arcillosos, suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las caras de las Diaclasas. ▪ Arenas, gravas o zona fallada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las 2 caras de las diaclasas. 	<p style="text-align: center;">1 1</p>
<p>Nota: si el espaciado de la familia de las diaclasas es mayor de 3 m hay que aumentar el Jn en una unidad.</p> <p>Para diaclasas con espejos de falla provisto de lineaciones, si están orientadas favorablemente, se puede usar Jr=0.5</p>	

4^o Parámetro Aguas en las Diaclasas Jw.

	Jw	Presión del agua Kg/cm²
- 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-.01*	>10
<p>Los valores presentados con el Signo * son solo valores estimados. Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar Jw</p>		

5º Parámetro Meteorización de las Diaclasas.

Descripción	Ja	Ø°
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 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

6º Parámetro tensiones en las excavaciones S.R.F.

1.-Zona débil que interceptan la excavación y pueden causar caídas de bloques.			S.R.F
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	S.R.F
H. Tensiones pequeñas cerca de la superficie.	> 200	>13	2.5
I. Tensiones medias.	200-10	13-0.33	1.0
J. Tensiones altas estructura muy compacta, favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales.	10-5	0.66-0.33	0.5-2.0
K. Explosión de roca suave (roca Masiva).	5-2.5	0.33-0.16	5-10
L. Explosión de roca fuerte (roca masiva.)	<2.5	<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.			S.R.F
M. Presión de Flujo suave.			5-10
N. Presión de flujo intensa.			10-20

Continuación de la tabla del parámetro 6.....

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.	$10^{-3} - 10^{-2}$
Extremadamente mala.	$10^{-2} - 10^{-1}$
Muy mala.	$10^{-1} - 1$
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 Jv.

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

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

4.-El valor del SRF se obtendrá en el apartado 1 de la tabla de clasificación de este parámetro, si el macizo rocoso tiene arcilla en las diaclasas.

5.-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 BIENIAWSKI SISTEMA RMR

Este sistema de clasificación se ha desarrollado en base a otras clasificaciones existentes, la mayor limitación de esta clasificación está en su aplicación en rocas expansivas y fluyentes.

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 roca intacta, es decir de la parte de la roca que no presenta discontinuidades estructurales.

2.-R.Q.D. este parámetro se considera de gran interés, para seleccionar el revestimiento de los túneles.

3.-Espaciado de las diaclasas o discontinuidades, que es la distancia medida entre los planos de discontinuidad de cada familia.

4.-Naturaleza de las Diaclasas el cual consiste en considerar los siguientes parámetros:

- Apertura de las caras de la Discontinuidad.
- Continuidad de las Diaclasas o discontinuidad según su rumbo y buzamiento.
- Rugosidad.
- Dureza de las caras de la Discontinuidad.
- Relleno de las Juntas.

5.-Presencia del Agua, en un macizo rocoso diaclasado, 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.

2.-El parámetro 6 que se refiere a la orientación de las discontinuidades, esta clasificación considera que este parámetro es desfavorable, por lo tanto, cuando se obtiene este valor índice de la orientación de las discontinuidades, este se les sustrae al valor índice obtenido cuando se suma los 5 primeros parámetros, al realizar dicha operación se obtiene el ÍNDICE RMR y se busca ese valor en la tabla que mas adelante en la guía se describe.

1^{ER} PARÁMETRO CLASIFICACIÓN POR RESISTENCIAS DE ROCAS SANAS

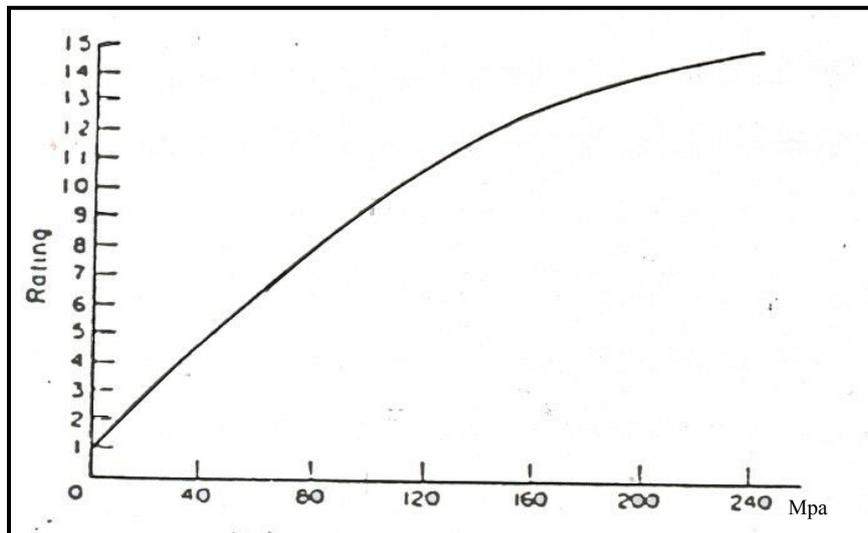
DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (Mpa)	ÍNDICE DE RESISTENCIA DE CARGA PUNTUAL (Mpa)
Muy alta	>200	>8
Alta	100 - 200	4 - 8
Media	50 - 100	2 - 4
Baja	25 - 50	1 - 2
Muy baja	10 - 25 3 - 10 1 - 3	< 1

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

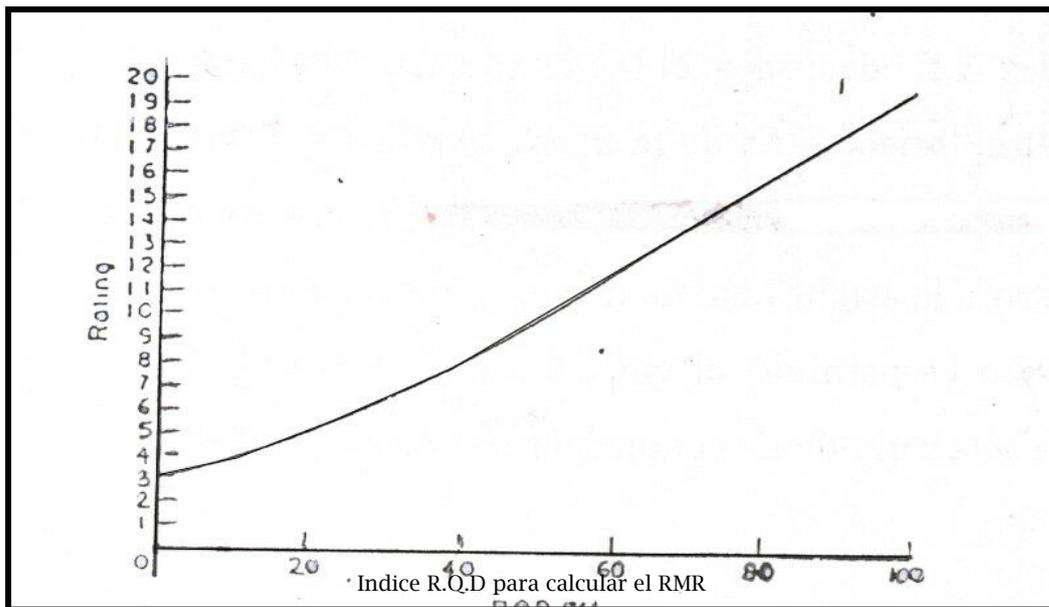
Grafico para calcular el índice RMR por la Resistencia a la Compresión Simple.



2^{DO} PARÁMETRO PARA CALCULAR EL RMR. CALCULO DE R.Q.D.

El R.Q.D. se calcula como se indica al inicio de esta guía, cuando se tiene el valor, se debe buscar el índice para el calculo del RMR, y para ello se utiliza el siguiente grafico:

Grafico para calcular el índice RMR, para el parámetro R.Q.D



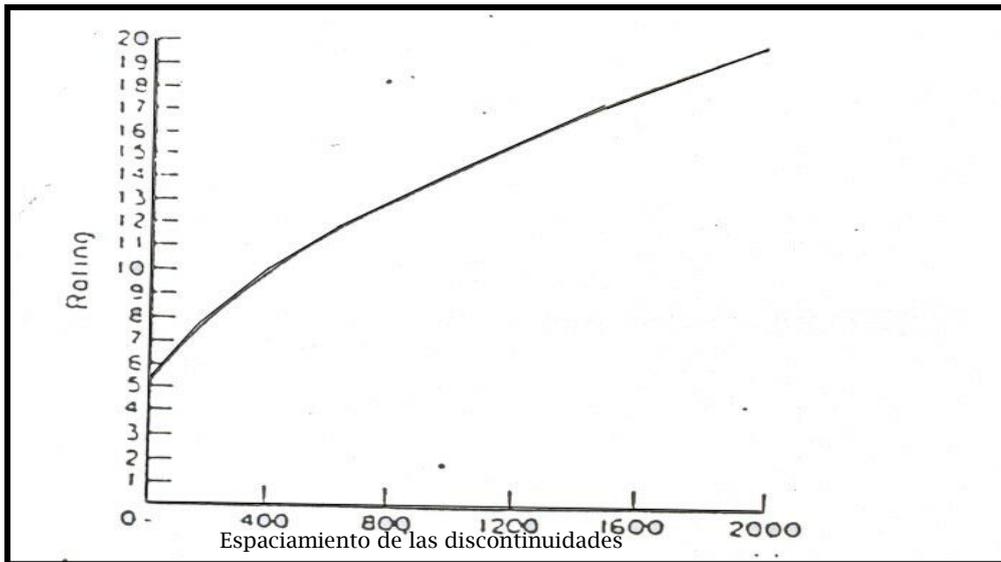
3^{er} PARÁMETRO PARA CALCULAR EL RMR. ESPACIAMIENTO DE LAS DISCONTINUIDADES.

El espaciamiento de las discontinuidades esta clasificada según la tabla que a continuación se expresa:

Descripción	Espaciado de las Juntas	Tipo de macizo rocoso.
Muy ancho	> 3 mts.	Sólido
Ancho	1 - 3 mts.	Masivo
Moderadamente cerrado	0.3 - 1 mts.	En bloques
Cerrado	50 - 300 mm.	Fracturado
Muy cerrado	< 50 mm.	Machacado

Para calcular el rango se utiliza el siguiente grafico:

Grafico Para calcular el índice RMR, a partir del parámetro del espaciamiento de las discontinuidades.



4º PARÁMETRO PARA CALCULAR EL RMR. NATURALEZA DE LAS JUNTAS.

Tabla N° 1 muestra la clasificación según las aberturas de las discontinuidades

Grado	Descripción	Separación de las caras	Rango RMR
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	No tiene	0	6

Tabla N° 2 muestra la clasificación según la continuidad de las discontinuidades

Grado	Descripción	Continuidad	Rango RMR
1	Muy pequeña	< 1 mts	6
2	Pequeña	1 - 3 mts.	4
3	Media	3 - 10 mts.	2
4	Alta	10 - 20 mts.	1
5	Muy alta	> 20 mts.	0

Tabla N° 3 muestra la clasificación según la Rugosidad de las discontinuidades

Grado	Descripción	Rango RMR
1	Muy rugosa	6
2	Rugosa	5
3	Ligeramente rugosa	2
4	Suave	1
5	Espejo de falla	0

Tabla N° 4 muestra la clasificación según el relleno de las discontinuidades

Grado	Descripción	Rango RMR
1	Relleno blando > 5 mm	0
2	Relleno blando < 5mm	2
3	Relleno duro > 5mm.	2
4	Relleno duro < 5 mm	4
5	ninguno	6

Tabla N° 5 muestra la clasificación según la meteorización de las discontinuidades

Grado	Descripción	Rango RMR
1	Descompuesta	0
2	Muy meteorizada	1
3	Moderadamente meteorizada	3
4	Ligeramente meteorizada	5
5	No meteorizada	6

Para calcular el RMR según la naturaleza de las Discontinuidades se toma el promedio de la suma de los RMR obtenidos en las 5 tablas descritas anteriormente.

5º PARÁMETRO PARA CALCULAR EL RMR. SEGÚN LA PRESENCIA DEL AGUA.

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

Tabla para obtener el rango RMR según el parámetro de la presencia del agua

Grado	Descripción	Rango RMR
1	Completamente seco	15
2	Semi humedo	10
3	humedo	7
4	Mojado	4
5	Fujo de agua	0

6º PARÁMETRO PARA CALCULAR EL RMR. SEGÚN LA ORIENTACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES (Rumbo y Buzamiento).

Para calcular este Rango RMR 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.

Rumbo Perpendicular al Eje de la obra				Rumbo Paralelo al Eje de la obra		Buzamiento 0 -20° Independiente del Rumbo.
Dirección según buzamiento		Dirección contra buzamiento		Buzam	Buzam	
Buzam	Buzam	Buzam	Buzam			
45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°	45° - 90°	20° - 45°	
Muy favorable	favorable	regular	desfavorable	Muy desfavorable	Regular	desfavorable

Cuando se tiene la calificación del rumbo y buzamiento de la roca con respecto al eje de la obra, se procede a calcular con ese calificativo, el Rango RMR, dependiendo del tipo de obra civil a ejecutar.

Tabla N° 1 Rango RMR para obras de tipo Túneles y Minas.

Calificativo	Rango RMR
Muy favorable	0
Favorable	-2
Regular	-5
Desfavorable	-10
Muy desfavorable	-12

Tabla N° 2 Rango RMR para obras de tipo Fundaciones.

Calificativo	Rango RMR
Muy favorable	0
Favorable	-2
Regular	-7
Desfavorable	-15
Muy desfavorable	-25

Tabla N° 3 Rango RMR para obras de tipo Taludes.

Calificativo	Rango RMR
Muy favorable	0
Favorable	-5
Regular	-25
Desfavorable	-50
Muy desfavorable	-60

Este parámetro 6 se le debe restar a la suma de los otros 5 parámetros descritos anteriormente y el resultado es el ÍNDICE RMR general del macizo rocoso.

Al obtener ese índice de RMR, se busca en la tabla que a continuación se especifica.

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°

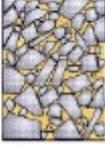
Tabla de RMR System. Guía para la excavación y soporte en túneles y obras de ingeniería donde la condición de la roca es importante.(Según Bieniawski)

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 mts. de avance.	Generalmente no se requiere.		Ninguno
II . Roca Buena, RMR: 61 - 80	A sección completa 1-1.5 mts de avance. Soporte completo a 20 mts del frente.	Pernos en la corona de 3 mts. de longitud espaciados a 2.5 mts. malla ocasional	50 mm en la corona donde se requiera	Ninguno
III. Roca regular, RMR: 41 - 60	Frente superior y destroza, 1.5-3 mts de avance en media sección. Inicio del soporte después de cada voladura. Soporte completo a 10 mts del frente.	Pernos sistemáticos, 4 mts de longitud, espaciados 1.5-2 mts 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 mts de avance en la media sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación 10 mts del frente.	Pernos sistematicos , 4- 5 mts de longitud, espaciados 1 – 1.5 mts 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 mts 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 mts de longitud, espaciados 1 – 1.5 mts 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 mts con planchas de acero y tablestacas si se requiere.

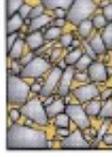
CLASIFICACIÓN DE HOEK Y BROWN (GSI)

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.

Caracterización de macizos rocosos en base a su grado de fracturación y estado de las juntas.

CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO PARA ESTIMAR SU RESISTENCIA						
<p>Basándose en el aspecto de la roca elegir la categoría que mejor describa las condiciones del macizo previo a la excavación. Tener en cuenta que las voladuras pueden crear una impresión falsa sobre la calidad del macizo rocoso, en cuyo caso será necesario realizar algún tipo de ajuste por daños debidos a voladuras; la observación de testigos de sondeos y de frentes de roca en zonas afectadas y no afectadas por voladuras puede ser de ayuda. Para la definición del grado de fracturación (<i>blockiness</i>) debe considerarse la relación entre el tamaño del bloque y la dimensión del frente de excavación.</p>		CONDICIÓN DEL FRENTE				
ESTRUCTURA		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con patinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos
	<p>BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.</p>	BR/MB	BR/B	BR/M	BR/P	BR/MP
	<p>BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.</p>	BI/MB	BI/B	BI/M	BI/P	BI/MP
	<p>BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.</p>	BC/MB	BC/B	BC/M	BC/P	BC/MP
	<p>FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.</p>	FI/MB	FI/B	FI/M	FI/P	FI/MP

Estimación del GSI, en base a descripciones geológicas.

<p>ÍNDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA GSI (<i>geological strength index</i>)</p> <p>A partir de la clasificación obtenida en la Figura 3.94 seleccionar el cuadro correspondiente en este ábaco y obtener el valor medio del índice GSI.</p>		CONDICIÓN DEL FRENTE				
ESTRUCTURA		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con pátinas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos
 <p>BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.</p>	80	70				
 <p>BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.</p>		60	50			
 <p>BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.</p>			40	30		
 <p>FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.</p>				20	10	

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:

$$F_1 = (1 - \text{sen}(\alpha_j - \alpha_s))^2$$

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 está 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.

Factores de ajuste por la orientación de las juntas (F_1 , F_2 y F_3)						
Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
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^\circ $					
P/T	F_1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
P	$ \beta_j $	$< 20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$> 45^\circ$
	F_2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
T	F_2	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	$> 10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	0°	$0 - (-10^\circ)$	$< -10^\circ$
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						
Clase	V	IV	III	II	I	
SMR	0 - 20	21 - 40	41 - 40	61 - 80	81 - 100	
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena	
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable	
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			