

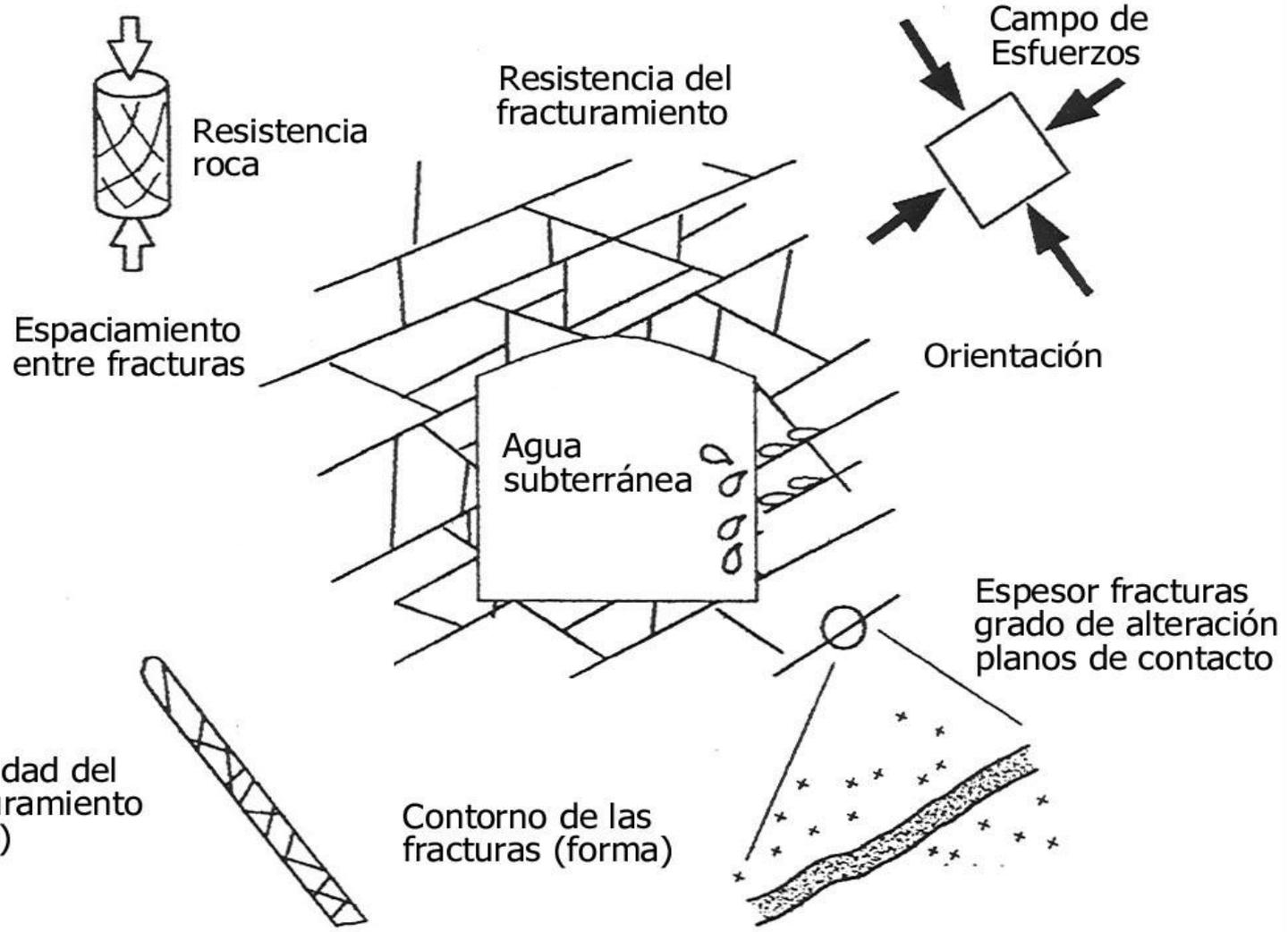
# **MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS**

Tomada y adaptada de la presentación  
“CLASIFICACION DE MACIZOS DE ROCA” del Dr. Jaime  
Suárez Diaz

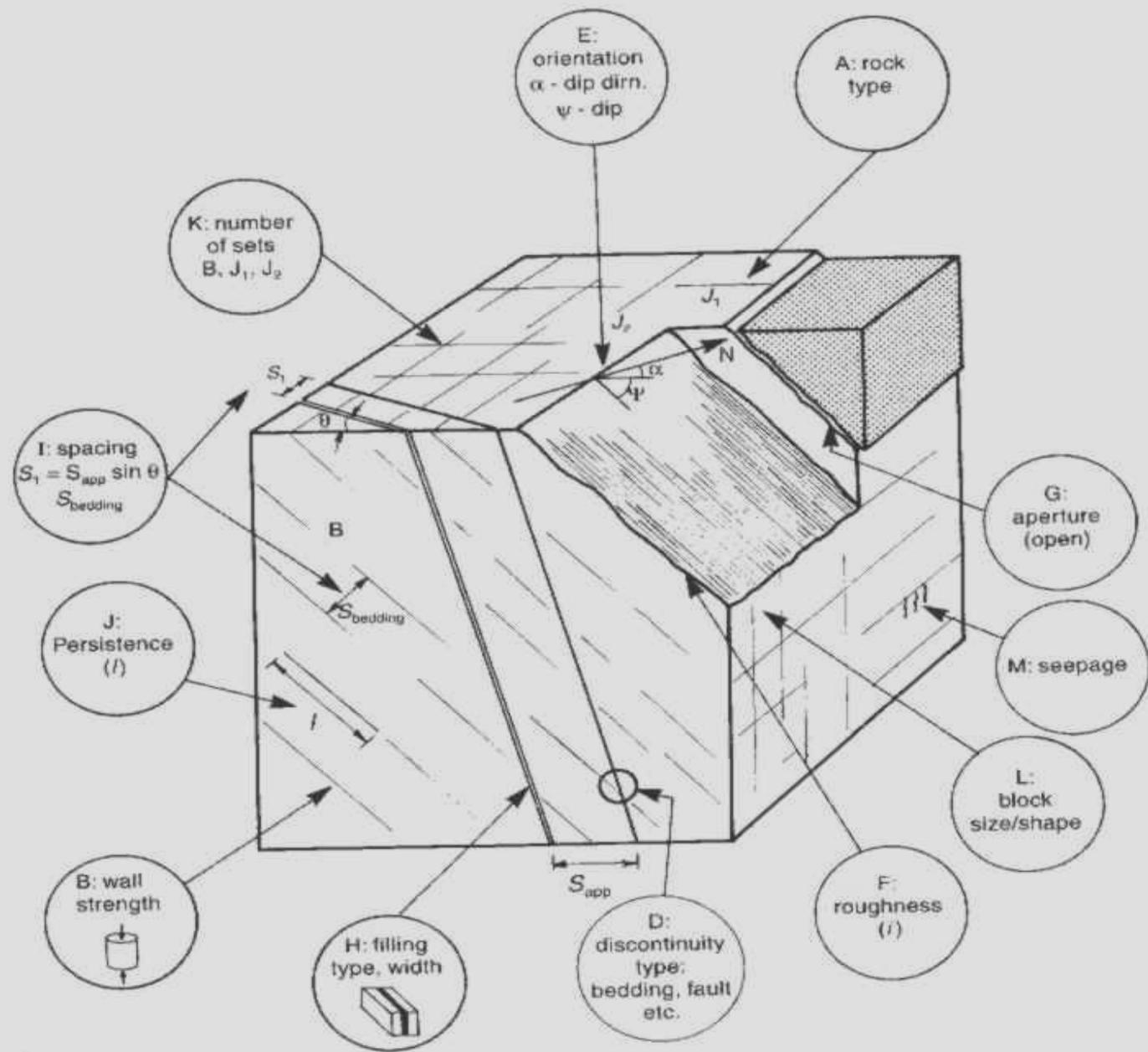
# OBJETIVOS

- Calificar de manera cuantitativa la calidad geotécnica de un macizo rocoso.
- Permitir la distinción entre un macizo y otro de manera rápida y fácil
- Tener un parámetro para efectos de diseño.
- Se basan en apreciaciones empíricas.
- Son subjetivos, a mayor experiencia mejor es la clasificación.
- Se basan en sistema de *ratings*, en que se asigna un puntaje a diversas características y se calcula un puntaje final.

- Algunos sistemas de clasificación:
- Terzaghi.
- RQD de Deer.
- RMR de Beniaowski.
- Método Q de Barton, Lien y Lunde.
- GSI de Hoek y Brown.



ELEMENTOS DE UNA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA





Traversa

**MEDICIÓN ESTRUCTURA GEOLÓGICA**

**SITIO : VÍA BUCARAMANGA - LEBRIJA**

**COORDENADAS N 1.09.6439 E 1.277.612**

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (medida en Campo) = 12 y 44 Mpa (primer y segundo sector respectivamente)**

No.	TIPO	BUZAMIENTO	DIR BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO (m)	PERSISTENCIA (m)		ABERTURA (m)	RELLENO	ASPEREZA	JRC	AGUA	OBSERVACIONES
52	D <sub>1</sub>	60	164	0,36	3,10	xx	0,02	A	MR	9	NO	SEGUNDO SECTOR
53	D <sub>2</sub>	75	63	0,46	0,23	xx	0,02	A	MR	9	NO	
54	E	51	123	0,25	0,50	xx	0,02	C	MR	11	NO	
55	D <sub>1</sub>	59	173	0,31	0,22	xx	0,01	A	MR	8	NO	
56	D <sub>2</sub>	75	56	0,40	0,28	xx	0,04	C	MR	11	NO	
57	E	51	123	0,25	0,53	xx	0,00	C	MR	12	NO	
58	D <sub>1</sub>	67	170	0,31	3,20	xx	0,02	A	MR	11	NO	
59	D <sub>2</sub>	80	65	0,17	0,28	xd	0,01	A	MR	9	NO	
60	E	51	123	0,25	0,31	xd	0,00	C	MR	12	NO	
61	D <sub>1</sub>	86	168	0,20	1,70	dd	0,02	A	MR	10	NO	
62	D <sub>2</sub>	73	72	0,23	0,13	xx	0,01	A	MR	8	NO	
63	E	51	123	0,25	0,52	xd	0,00	C	MR	9	NO	
64	D <sub>1</sub>	61	168	0,28	8,00	xx	0,04	A	MR	9	NO	
65	D <sub>2</sub>	80	74	0,60	0,80	xd	0,04	A	MR	9	NO	
66	E	31	154	0,20	0,60	xx	0,01	C	MR	8	NO	

**ASPEREZA**

L: Lisa

R: Rugosa

MR: Muy rugosa

**TIPO**

E: Estratificación

D: diaclasa

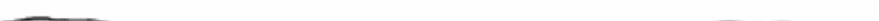
T: talud

**RELLENO**

C: cerrada

A: con arcilla

# DETERMINACION JRC

	<i>JRC = 0 - 2</i>
	<i>JRC = 2 - 4</i>
	<i>JRC = 4 - 6</i>
	<i>JRC = 6 - 8</i>
	<i>JRC = 8 - 10</i>
	<i>JRC = 10 - 12</i>
	<i>JRC = 12 - 14</i>
	<i>JRC = 14 - 16</i>
	<i>JRC = 16 - 18</i>
	<i>JRC = 18 - 20</i>
 0 5 cm 10	

# CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS DE TERZAGHI (1946)

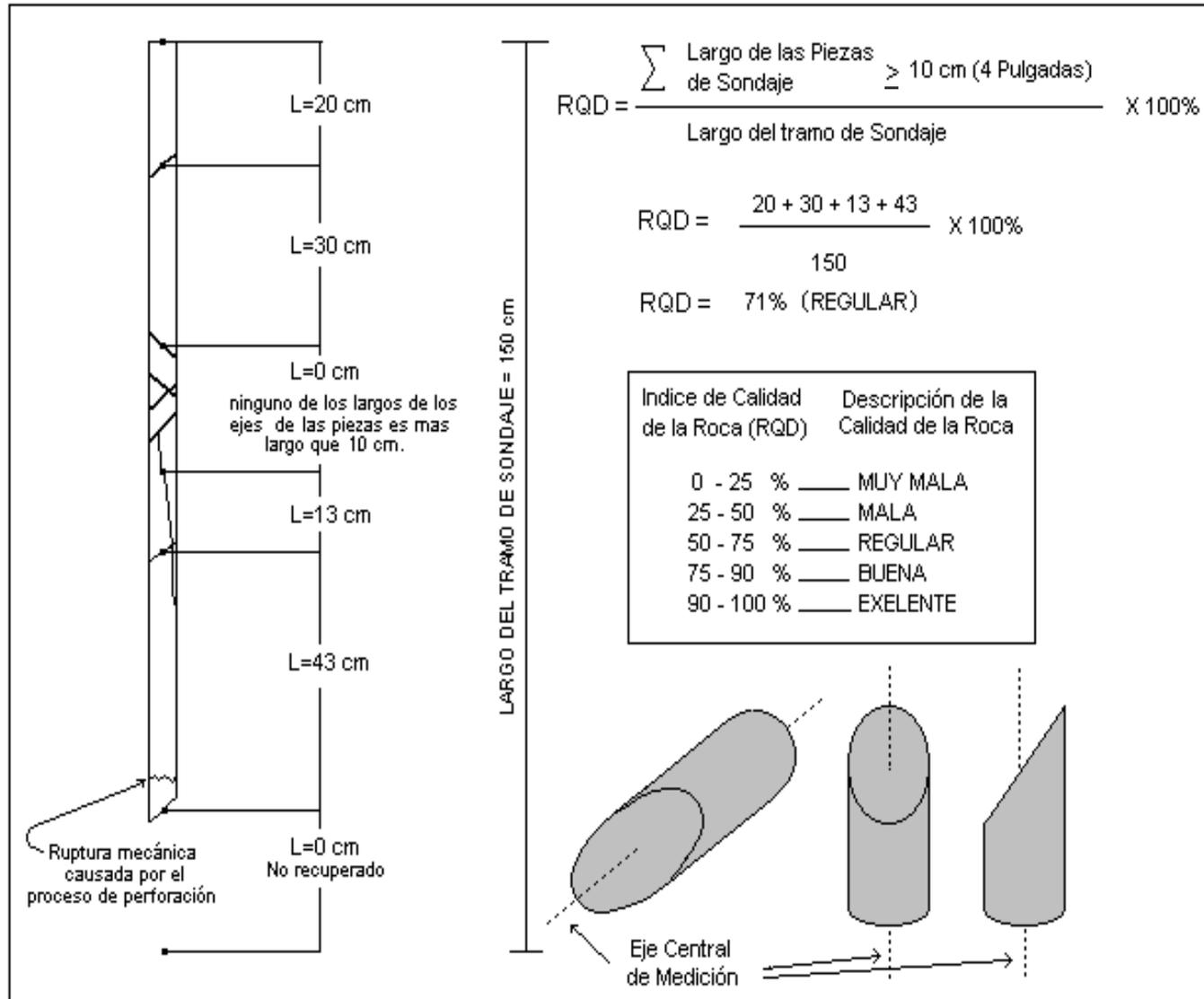
- Realiza una descripción del macizo rocoso por categorías:
  - **ROCA INTACTA:** Sin diaclasas, rotura por roca intacta, “descascaramiento” luego de las voladuras.
  - **ESTRATIFICADA.** Estrato con baja resistencia en los límites.
  - **MODERADAMENTE FISURADA.** Los “bloques” entre diaclasas intertrabados. No requiere sostenimiento lateral.
  - **FRAGMENTADA Y FISURADA.** Bloques mal intertrabados. Sostenimiento en paredes.
  - **TRITURADA.** Fragmentos pequeños, tamaño de arena.
  - **DESCOMPUESTA.** Porcentaje alto de partículas arcillosas.
  - **ROCA CON HINCHAMIENTO.** Minerales arcillosos (montmorillonita) con capacidad de hinchamiento.

**RQD**

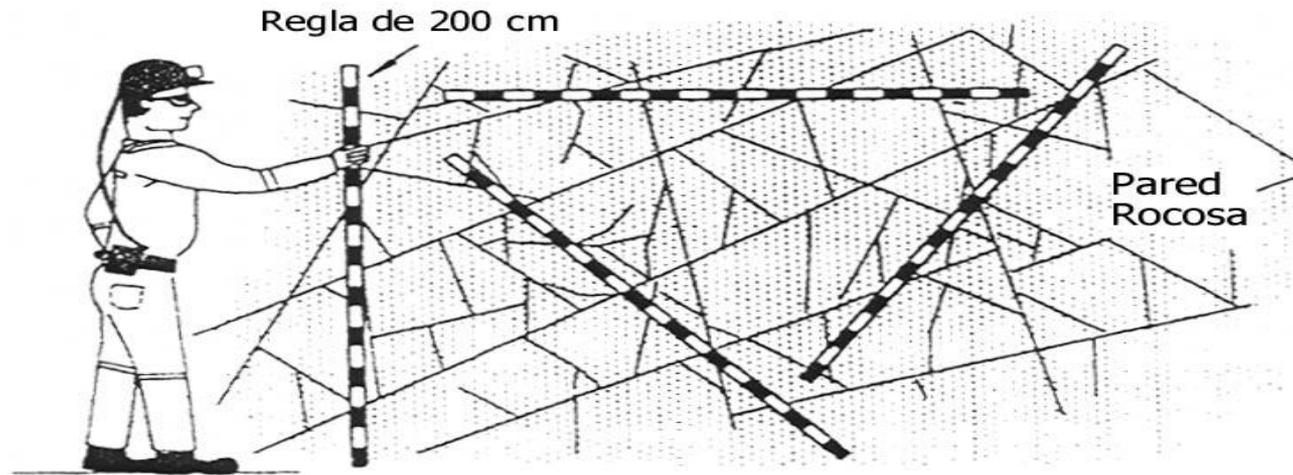
**Índice de calidad de la roca  
(Deere 1967)**

se define como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud (en su eje), sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo.

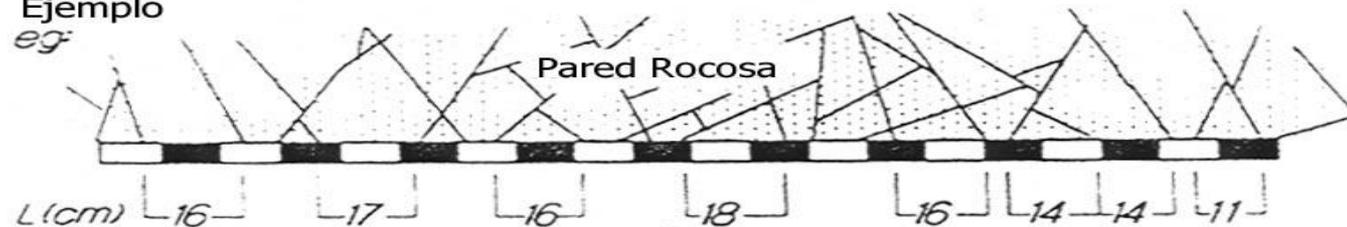
# Procedimiento para la medición y el cálculo del RQD



Se coloca una regla de 2.0 m de longitud en varias direcciones. Es importante no considerar las fracturas frescas creadas con las voladuras o por las concentraciones de esfuerzos.



Ejemplo  
eg:



$$RQD_w = \frac{16 + 17 + 16 + 18 + 16 + 14 + 14 + 11}{200 \text{ (ie: Longitud de la regla)}} \times 100 = 61\%$$

<b>Descripción Calidad Roca</b>	<b>RQD (%)</b>
Muy buena	90-100
Buena	75-90
Regular	50-75
Mala	25-50
Muy mala	0-25

**RMR**  
**(Rock Mass Rating),**  
**(Bieniawski, 1973)**  
**modificada sucesivamente**  
**en 1976, 1979, 1984 Y**  
**1989**

Permite hacer una clasificación de las rocas 'in situ' y estimar el tiempo de mantenimiento y longitud de un vano.

Se utiliza usualmente en taludes y en la construcción de túneles.

El RMR se obtiene estimando los siguientes parámetros:

		<b>Factor</b>	<b>Rango</b>
1	Resistencia a compresión simple de material rocoso intacto	A1	0-15
2	Índice recuperación modificada de testigo o RQD	A2	3-20
3	Espaciamiento entre discontinuidades o fracturas	A3	5-20
4	Estado físico de las discontinuidades	A4	0-30
5	Efectos agua subterránea	A5	0-15
6	Orientación de las discontinuidades	B	(-12)-0

**Un valor numérico es asignado a cada factor, de acuerdo a los rangos dados.**

**La suma de los valores encontrados para los seis factores indicará el tipo o clase de macizo rocoso.**

$$\mathbf{RMR = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + B}$$

# Clasificación de Macizos Rocosos según Bieniawski, :

<b>Clase Macizo Rocosos</b>	<b>Descripción</b>	<b>RMR</b>
I	Macizo rocoso de excelente calidad	81-100
II	Macizo rocoso de buena calidad	61-80
III	Macizo rocoso de calidad regular	41-60
IV	Macizo rocoso de mala calidad	21-40
V	Macizo rocoso de muy mala calidad	0-20

*Nota: Bieniawski (1989) sugiere que trabajos de voladuras de pobre calidad reducen el RMR en un 20%*

## Determinación del RMR (Bieniawski 1989)

Indice del ensayo de carga puntual (MPa)	Resistencia a Compresión Simple RCS (MPa)	Puntaje
>10	> 250	15
4-10 Mpa	100 - 250	12
2 - 4 Mpa	50 - 100	7
1 - 2 Mpa	25 - 50	4
--	5 - 25	2
--	1 - 5	1
--	< 1	0

**Tabla 1:  
Resistencia  
comp. simple R.  
intacta**

**Tabla 2: RQD**

R.Q.D. %	Puntaje
90 - 100	20
75 - 90	17
50 - 75	13
25 - 50	8
< 25	3

# RMR (Bieniawski 1989)

**Tabla 4:  
Condiciones de  
discontinuidades**

**Tabla 3:  
Espaciamiento  
discontinuidades**

Espaciamiento [m]	Puntaje
>2	20
0,6 – 2,0	15
0,2 – 0,6	10
0,06 – 0,2	8
< 0,06	5

Descripción	Puntaje
Superficies muy rugosas, de poca extensión, paredes de roca resistente	30
Superficies poco rugosas, apertura menor a 1 mm, paredes de roca resistente	25
Idem anterior, pero con paredes de roca blanda,.	20
Superficies suaves ó relleno de falla de 1 a 5 mm de espesor ó apertura de 1 a 5 mm, las discontinuidades se extienden por varios metros.	10
Discontinuidades abiertas, con relleno de falla de más de 5 mm de espesor ó apertura de más de 5 mm, las discontinuidades se extienden por varios metros	0

**Tabla 4 bis:  
(Para  
considerar en  
la Tabla 4)**

Long. discontinuidad (persistencia)	< 1m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
Abertura [mm]	Nada	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Levemente rug.	lisa	"pulida"
Tipo de relleno	Nada	Resistente >5mm	Resistente <5mm	Blando >5mm	Blando <5mm
Intemperización (alteración)	Inalterada	Levemente alt.	Moderada alt.	Muy alterada	descompuesta

# RMR (Bieniawski 1989)

**Tabla 5:  
Agua  
subterránea**

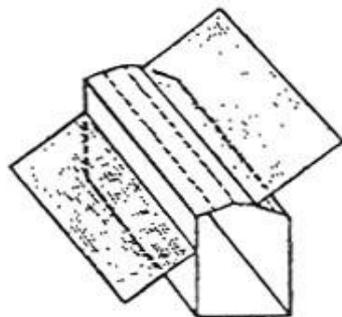
Filtración por cada 10 m de longitud del túnel (L/min)	Presión del agua en la discontinuidad dividido la tensión Principal Mayor	Descripción de las condiciones generales	Puntaje
Nada	0	Completamente seco	15
< 10	0,0 – 0,1	Apenas húmedo	12
10 - 25	0,1 – 0,2	Húmedo	7
25 – 125	0,2 – 0,5	Goteo	4
> 125	> 0,5	Flujo continuo	0

Evaluación de la influencia de la orientación para la obra	Puntaje para túneles	Puntaje para fundaciones
Muy favorable	0	0
Favorable	-2	-2
Medio	-5	-7
Desfavorable	-10	-15
Muy desfavorable	-12	-25

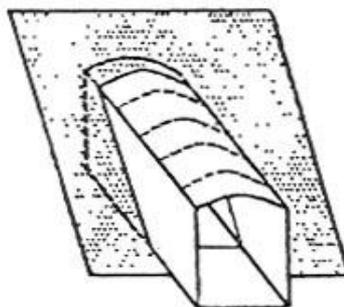
**Tabla 6:  
Corrección por  
orientación de  
discontinuidades**

# RUMBO DEL FRACTURAMIENTO CON RELACIÓN A LOS EJES DE LA OBRA

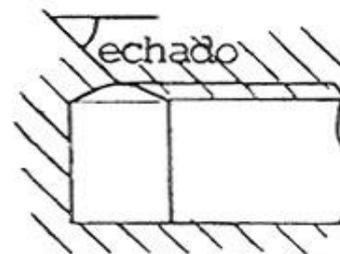
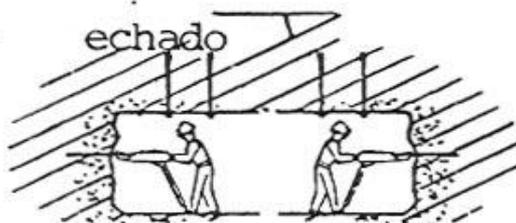
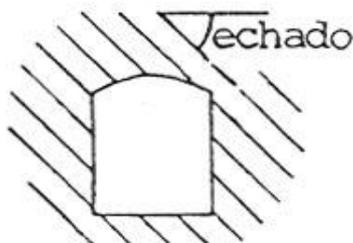
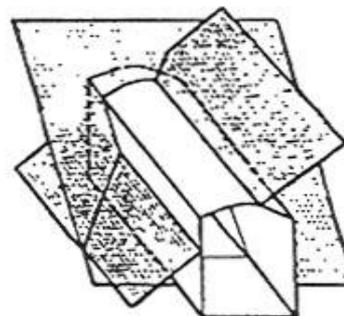
PARALELO



PERPENDICULAR



CUALQUIER RUMBO



Echado  
(grados)

Avance a rumbo  
del echado

Avance contra el  
el echado

45 - 90

Muy favorable

Muy favorable

Regular

n/a

20 - 45

Regular

Favorable

Desfavorable

n/a

0 - 20

Regular

Regular

Regular

Regular

45 - 90	Muy favorable	Muy favorable	Regular	n/a
20 - 45	Regular	Favorable	Desfavorable	n/a
0 - 20	Regular	Regular	Regular	Regular

# RMR (Bieniawski 1989)

## Categorías de la clasificación

R.M.R.	Descripción del macizo rocoso	Clase
Suma de los puntajes obtenidos de las tablas anteriores		
81 - 100	Muy bueno	I
61 - 80	Bueno	II
41 - 60	Medio	III
21 - 40	Malo	IV
0 - 20	Muy malo	V

## Características resistentes del macizo rocoso

Clase ( R.M.R.)	c [ Kpa]	$\phi$ °	t sin soporte
I ( 81 - 100)	> 400	> 45	20 años, luz de 15m
II (61 - 80)	300 - 400	35 - 45	1 año, luz de 10m
III (41 - 60)	200 - 300	25 - 35	1 semana, luz 5 m
IV (21 - 40)	100 - 200	15 - 25	10 hs., luz 2.50 m
V (0 - 20)	< 100	< 15	30 min, luz 1m

**SISTEMA Q**  
**(Barton, Lien y Lunde,**  
**1974)**

## Rock Tunnelling Quality Index – SISTEMA “Q” (NGI)

- Desarrollado por el NGI (Instituto Geotécnico Noruego) , basado en casos históricos en Escandinavia. Barton y otros 1974.
- Valores numéricos entre 0.001 y 1000

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

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

## Sistema de clasificación 'Q'

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

- Representa crudamente el “tamaño” de los bloques presentes

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

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

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

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

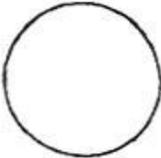
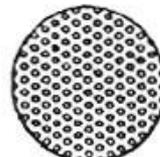
- OBSV.: no se incluye orientación de discontinuidades

## Parámetros individuales usados en el sistema Q

Indice de Diaclasado	Jn	Valor
Roca Masiva		0,5 - 1
Una familia de diaclasas		2
Idem con otras diaclasas ocasionales		3
Dos familias de diaclasas		4
Idem con otras diaclasas ocasionales		6
Tres familias de diaclasas		9
Idem con otras diaclasas ocasionales		12
Cuatro o mas familias, roca muy fracturada		15
Roca triturada		20

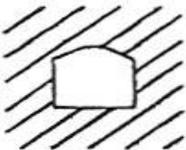
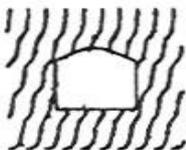
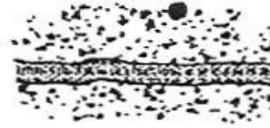
Indice de Rugosidad	Jr	Valor
Diaclasas rellenas		1
<i>Diaclasas limpias:</i>		
<i>Discontinuas</i>		4
Onduladas rugosas		3
Onduladas lisas		2
Planas rugosas		1,5
Planas lisas		1
<i>Lisos o espejos de falla</i>		
Ondulados		1.5
Planos		0.5

**Jn, número de juegos de fracturas.** El factor Jn se obtiene a partir de los levantamientos estructurales de campo, vaciados en plantas y con el manejo de proyecciones estereográficas.

# de jgos. de fracturas		Valor del Jn		# de jgos. de fracturas	
Roca intacta, no fractura- miento		0.5	1		Sólo algunas fracturas al azar
1 Jgo.		2	3		1 Jgo. + fracturas al azar
2 Jgos.		4	6		2 Jgos. + fracturas al azar
3 Jgos.		9	12		3 Jgos. + fracturas al azar
> 4 Jgos. Intensamente fracturada		15	20		Apariencia de suelo. Roca molida

(Probable número de juegos de fracturas y los valores de Jn)

**Jr, índice de rugosidad de los planos de contacto en las fracturas.** El factor Jr, relaciona para las fracturas la textura superficial de los planos de contacto a pequeña y gran escala.

		Escola Mayor:	Planas	Onduladas	Discontinuas
A escala menor:		$J_r$ (Jgo. crítico)			
Slickensided		0.5	1.5	2.0	
Suave		1.0	2.0	3.0	
Aspero		1.5	3.0	4.0	
Relleno, material de arrastre No contacto		1.0	1.0	1.5	

(Índice de rugosidad de los planos de contacto)

## Parámetros individuales usados en el sistema Q

Indice de Alteracion	Ja	Valor
<i>Diaclasas de paredes sanas</i>		0,75 - 1
<i>Ligera alteracion</i>		2
<i>Alteraciones arcillosas</i>		4
<i>Con detritos arenosos</i>		4
<i>Con detritos arcillosos preconsolidados</i>		6
<i>Idem poco consolidados</i>		8
<i>Idem expansivos</i>		8 - 12
<i>Milonitos (productos de trituración) de roca y arcilla</i>		6 - 12
<i>Milonitos de arcilla limosa</i>		5
<i>Milonitos arcillosos gruesos</i>		10 - 20

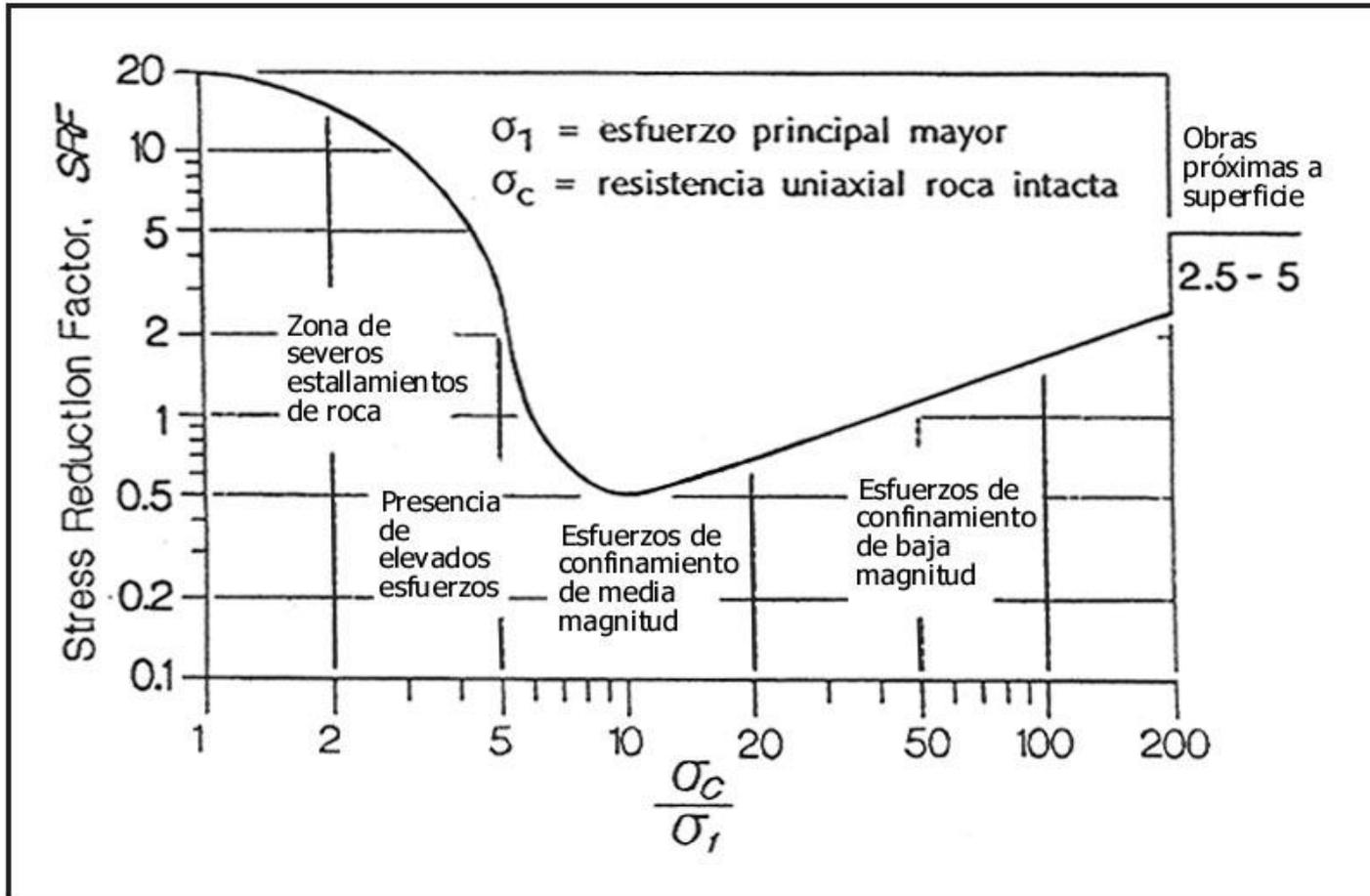
Coeficiente reductor por la presencia de agua	Jw	Presión de	Valor
		agua [Kg/cm <sup>2</sup> ]	
Excavaciones secas a con < 5 l/min localmente		<1	1
Afluencia media con lavado de algunas diaclasas		1 - 2,5	0,66
Afluencia importante por diaclasas limpias		2,5 - 10	0,5
Idem con lavado de diaclasas		2,5 - 10	0,33
Afluencia excepcional inicial, decreciente con el tiempo		> 10	0,2 - 0,1
Idem mantenida		> 10	0,1 - 0,05

# Parámetros individuales usados en el sistema Q

Parámetro SRF	Valor
<i>Zonas débiles</i>	
Multitud de zonas débiles	10
Zonas debiles aisladas, con arcilla o roca descompuesta (cobertura $\leq 50$ m)	5
Idem con cobertura $> 50$ m.	2,5
Abundantes zonas debiles en roca competente	7,5
Zonas debiles aisladas en roca competente (cobertura $\leq 50$ m)	5
Idem con cobertura $> 50$ m	2,5
Terreno en bloques muy fracturado	5
<i>Roca competente</i>	
Pequeña cobertura ( $\sigma_c / \sigma_1 > 200$ )	2,5
Cobertura media ( $200 > \sigma_c / \sigma_1 > 10$ )	1
Gran cobertura ( $10 > \sigma_c / \sigma_1 > 5$ )	0,5 - 2,0
<i>Terreno fluyente</i>	
Con bajas presiones	5 - 10
Con altas presiones	10 - 20
<i>Terreno expansivo</i>	
Con presion de hinchamiento moderada	5 - 10
Con presion de hinchamiento alta	10 - 15

## SRF, factor reductor por tipo de esfuerzos actuantes

De acuerdo a la gráfica de la figura, se pueden presentar cinco condiciones de esfuerzo.  $\sigma_c$ , es la resistencia a compresión uniaxial de roca intacta.  $\sigma_1$ , es el esfuerzo principal mayor.



## 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

# **CLASIFICACION GSI (Hoek y Brown, 1980)**

El GSI es un sistema para la estimación de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso a partir de observaciones geológicas de campo.

Las observaciones se basan en la apariencia del macizo a nivel de estructura y a nivel de condición de la superficie. A nivel de estructura se tiene en cuenta el nivel de alteración que sufren las rocas, la unión que existe entre ellas, que viene dada por las formas y aristas que presentan, así como de su cohesión. Para las condiciones de la superficie, se tiene en cuenta si ésta está alterada, si ha sufrido erosión o que tipo de textura presenta, y el tipo de recubrimiento existente.



## CRITERIO DE HOEK-BROWN GENERALIZADO

Éste se expresa como:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

donde  $m_b$  es un valor reducido de la constante del material  $m_i$  y está dado por:

$$m_b = m_i \exp \left( \frac{\text{GSI} - 100}{28 - 14D} \right)$$

$s$  y  $a$  son constantes del macizo rocoso dadas por las siguientes relaciones:

$$s = \exp \left( \frac{\text{GSI} - 100}{9 - 3D} \right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{-\text{GSI}/15} - e^{-20/3} \right)$$

$D$  es un factor que depende sobre todo del grado de alteración al que ha sido sometido el macizo rocoso por los efectos de las voladuras o por la relajación de esfuerzos.

## Guías para estimar el factor de alteración $D$ .

Apariencia del macizo rocoso	Descripción del macizo rocoso	Valor $D$ sugerido
	<p>Excelente calidad de voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, con resultados de alteración mínima del macizo rocoso confinado circundante al túnel</p>	<p><math>D = 0</math></p>
	<p>Excavación mecánica o manual en macizos rocosos de mala calidad (sin voladuras) con una alteración mínima en el macizo rocoso circundante.</p> <p>Cuando aparezcan problemas de deformación en el piso durante el avance, la alteración puede ser severa a menos que se coloque una contrabóveda temporal, tal como se muestra en la fotografía.</p>	<p><math>D = 0</math></p> <p><math>D = 0.5</math> No invert</p>
	<p>Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3 m en el macizo rocoso circundante.</p>	<p><math>D = 0.8</math></p>
	<p>Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil dan lugar a pequeños daños al macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo la liberación de tensiones resulta en alguna alteración.</p>	<p><math>D = 0.7</math> Good blasting</p> <p><math>D = 1.0</math> Poor blasting</p>
	<p>Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento.</p> <p>En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor.</p>	<p><math>D = 1.0</math> Production blasting</p> <p><math>D = 0.7</math> Mechanical excavation</p>

GENERALISED HOEK-BROWN CRITERION

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c \left( m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_c} + s \right)^a$$

$\sigma_1'$  = major principal effective stress at failure

$\sigma_3'$  = minor principal effective stress at failure

$\sigma_c$  = uniaxial compressive strength of *intact* pieces of rock

$m_b$ ,  $s$  and  $a$  are constants which depend on the composition, structure and surface conditions of the rock mass

SURFACE CONDITION

VERY GOOD  
Very rough, unweathered surfaces

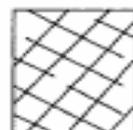
GOOD  
Rough, slightly weathered, iron stained surfaces

FAIR  
Smooth, moderately weathered or altered surfaces

POOR  
Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings containing angular rock fragments

VERY POOR  
Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings

STRUCTURE



BLOCKY -very well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three orthogonal discontinuity sets

$m_b / m_s$   
 $s$   
 $a$   
 $E_r$   
 $v$   
GSI

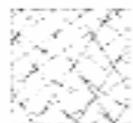
0.60  
0.190  
0.5  
75,000  
0.2  
85

0.40  
0.062  
0.5  
40,000  
0.2  
75

0.26  
0.015  
0.5  
20,000  
0.25  
62

0.16  
0.003  
0.5  
9,000  
0.25  
48

0.08  
0.0004  
0.5  
3,000  
0.25  
34



VERY BLOCKY-interlocked, partially disturbed rock mass with multifaceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets

$m_b / m_s$   
 $s$   
 $a$   
 $E_r$   
 $v$   
GSI

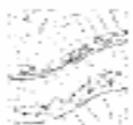
0.40  
0.062  
0.5  
40,000  
0.2  
75

0.29  
0.021  
0.5  
24,000  
0.25  
65

0.16  
0.003  
0.5  
9,000  
0.25  
48

0.11  
0.001  
0.5  
5,000  
0.25  
38

0.07  
0  
0.53  
2,500  
0.3  
25



BLOCKY/SEAMY-folded and faulted with many intersecting discontinuities forming angular blocks

$m_b / m_s$   
 $s$   
 $a$   
 $E_r$   
 $v$   
GSI

0.24  
0.012  
0.5  
18,000  
0.25  
60

0.17  
0.004  
0.5  
10,000  
0.25  
50

0.12  
0.001  
0.5  
6,000  
0.25  
40

0.08  
0  
0.5  
3,000  
0.3  
30

0.06  
0  
0.55  
2,000  
0.3  
20



CRUSHED-poorly interlocked, heavily broken rock mass with a mixture of angular and rounded blocks

$m_b / m_s$   
 $s$   
 $a$   
 $E_r$   
 $v$   
GSI

0.17  
0.004  
0.5  
10,000  
0.25  
50

0.12  
0.001  
0.5  
6,000  
0.25  
40

0.08  
0  
0.5  
3,000  
0.3  
30

0.06  
0  
0.55  
2,000  
0.3  
20

0.04  
0  
0.60  
1,000  
0.3  
10

## Constantes s & a

■ Para  $GSI > 25$ ,

$$s = e^{(GSI-100)/9}$$

$$a = 0.5$$

□ Para  $GSI < 25$ ,

$$s = 0$$

$$a = 0.65 - \frac{GSI}{200}$$

## Constante $m_b$

$$m_b = m_i e^{(GSI-100)/28}$$

$$m_i = fn \text{ (tipo de roca)}$$

Tipo de roca	Clase	Textura			
		C	M	F	VF
Sedimentaria	Clástica	Conglomerado	Arenisca	Limolita	Lodolita
$m_i$		22	19	9	4

Tipo de roca	Clase	Texture		
		C	M	F
Metamórfica	No Foliada	Mármol	Chert	Quarcita
$m_i$		9	19	24

Tipo de roca	Clase	Textura			
		C	M	F	VF
Metamórfica	Foliada*	Neiss	Esquisto	Folita	Pizarra
$m_i$		33	10	10	9

Valores aproximados de la constante de material de rigidez en la roca intacta  $m_i$  (Luego de Hoek)

Type of rock	Representative rocks	$m_i$ [-]
Limestone rocks with well developed crystalline cleavage	Dolomite, calcite, marble	$\approx 7$
Consolidated clayey rocks	Mudstone, siltstone, silty shale, slate	$\approx 10$
Sandy rocks with solid crystals and poorly developed crystalline cleavage	Sandstone, quartzite	$\approx 15$
Fine grained igneous crystalline rocks	Andesite, dolerite, diabase, rhyolite	$\approx 17$
Coarse grained and metamorphic rocks	Amphibolite, gabbro, gneiss, granite, diorite	$\approx 25$

# Mohr - Coulomb Vs Hoek y Brown

