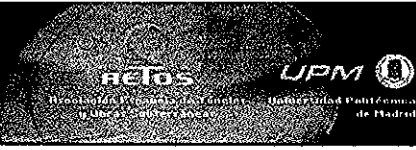




2007

Master Universitario
en Túneles y Obras
Subterráneas



Área A:
**Introducción y
materias previas**

Madrid, 28 de febrero de 2006

MECÁNICA DE ROCAS

Tema:

La clasificación geomecánica Q



José Bernardo Serón Gáñez
Departamento de Ingeniería del Terreno
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Universidad Politécnica de Valencia



MASTER UNIVERSITARIO EN TÚNELES Y OBRAS SUBTERRÁNEAS
Mecánica de Rocas

■ Clasificaciones Geomecánicas
■ Q de Barton

ÍNDICE

Índice

1. Génesis.
2. Definición.
3. Valoración de parámetros.
4. Significado de los cocientes.
5. Clases de roca según Q.
6. Diferencias generales Q – RMR
7. Correlaciones Q – RMR
8. Recomendaciones de sostenimiento

1 – Génesis

Q ? inicial de "quality"

También conocida como: **Clasificación de Barton**
Clasificación NGI



Desarrollada inicialmente como una secuela del RQD

Tesis doctoral de Selmer-Olson (datos de 200 excavaciones subterráneas en Escandinavia, para correlacionar sostenimientos utilizados con el RQD de la roca)

El objetivo no se alcanzó → El RQD no era adecuado por si solo

Era necesario añadir otros parámetros que reflejasen:

- la frecuencia y estado de las juntas,
- el estado tensional del macizo
- y la presencia de agua con más o menos presión.

*¡Ojo! No hay más! a comp. simple
el RMR no tiene en cuenta el estado tensional.*

2 – Definición

El valor del índice de calidad, Q, de la masa rocosa es:

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

Donde:

RQD = valor del RQD, en % y como mínimo 10

J_n = parámetro que depende del número de familias

J_r = parámetro que depende de la rugosidad de las juntas

J_a = depende del grado de meteorización de las juntas

J_w = de la presencia de agua y de su presión

SRF = parámetro complejo que depende del estado tensional

3 – Valoración de parámetros

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

RQD

Valores del parámetro RQD para el cálculo de Q (Barton et al, 1976)

RQD (Rock Quality Designation)		RQD (%)
A	Muy malo	0 – 25
B	Mal	25 – 50
C	Medio	50 – 75
D	Bueno	75 – 90
E	Excelente	90 – 100

Basta determinar el RQD con intervalos de 5 en 5 (p.e.: 100, 95, 90, 85, ...)
El valor mínimo a utilizar es 10.

J_n

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

Valores del parámetro J_n para el cálculo de Q (Barton et al, 1976)

Número de familias de juntas		J_n
A	Masiva, sin juntas o con unas pocas	0,5 – 1,0
B	Una familia	2
C	Una familia más juntas ocasionales	3
D	Dos familias	4
E	Dos familias más juntas ocasionales	6
F	Tres familias	9
G	Tres familias más juntas ocasionales	12
H	Cuatro o más familias, fuertemente diaclasado, muy fracturado	15
J	Roca machacada, suelo	20

En intersecciones usese $3xJ_n$ En bocas usese $2xJ_n$



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

Valores del parámetro J_r para el cálculo de Q (Barton et al, 1976)

Parámetro de rugosidad de juntas		J_r	
Contacto entre ambos bordes			
Contacto entre ambos bordes con un desplazamiento menor de 10 cm			
Rugosidad a escala intermedia		Rugosidad a pequeña escala	
A	Juntas discontinuas	4	
B	Onduladas	Rugosas o irregulares	3
C		Suaves	2
D		Con esbía de fricción	1,5
E	Planas	Rugosas o irregulares	1,5
F		Suaves	1,0
G		Con esbía de fricción	0,5
Sin contacto entre los bordes con un desplazamiento de corte			
H	Refrío arcilloso con suficiente espesor para impedir el contacto		1,0
J	Refrío arenoso, de grava, o de roca fracturada con suficiente espesor para impedir el contacto		1,0

Anadir 1 cuando el espesamiento medio de la herida de juntas sea mayor de 2m.
 Puede utilizarse el valor $J_r = 0,5$ para juntas pasas con esbías de corte con las siguientes condiciones:
 1. Forme sea den resistencia mínima al corte.
 2. Se aplica a la familia de juntas o a la discontinuidad menos favorable desde el punto de vista de la orientación
 3. de la resistencia al corte (ver nota final en tabla 3)

Añadir 1 cuando el espesor medio de la familia de juntas sea mayor de 2m.
Puede utilizarse el valor $J_r = 0,5$ para juntas planas con esbías de fricción con las inversiones prioritarias de forma que den relación mínima al corte.
 J_r se aplica a la familia de juntas o a la discontinuidad menos favorable desde el punto de vista de la orientación o de la resistencia al corte (ver nota final en tabla 3.6)



Valores del parámetro J_a para el cálculo de Q (Barton et al, 1976)

Parámetro de alteración de juntas		J_a (°) aprox.	J_s
Contacto entre ambos bordes (sin refrío, sólo alteraciones o adherencias superficiales)			
A	Fuerzadas sólidas, refrío duro, intermedias, no relacionables (como cemento o arcilla)		0,75
B	Bordes no alterados, sólo alteración superficial	25-35	1,0
C	Bordes algo meteorizados. Adherencias no relacionables, partículas arenosas, roca no arcillosa fracturada	25-30	2,0
D	Adherencias arenosas o finas, con poco contenido de arcilla (no relacionables)	20-25	3,0
E	Adherencias relacionables, o arcillas con baja fricción (p.e. cenizas o mica). También clorita, talco, yeso, grafito, etc. y pequeñas cantidades de arcillas espesas	8-16	4,0
Contacto entre bordes con deformaciones de corte inferiores a 10 cm (sin refrío de poco espesor)			
F	Partículas arenosas, roca no arcillosa fracturada	25-30	4,0
G	Refrío de arcilla fuertemente preconsolidada, no relacionable (continuo pero con espesor < 5 mm)	16-24	6,0
H	Refrío con arcilla con preconsolidación media a baja, relacionable (continuo pero con espesor < 5 mm)	12-16	8,0
J	Refrío de arcilla separable (p.e. montmorillonita) (continuo pero con espesor < 5 mm). El valor de J_a depende del porcentaje de arcilla expansiva y de la accesibilidad del agua.	8-12	8,0-12,0
Sin contacto entre los bordes con deformaciones de corte (refrío de gran espesor)			
K	Bandas o zonas de roca destruyéndose o fracturadas y arcilla (mase G, H, J para descripciones del tipo de arcilla)	16-24	8,0
L		12-16	8,0
M		8-12	8,0-12,0
N	Bandas o zonas de refrío arenoso o limoso con bajo contenido de arcilla (no relacionable)	-	5,0
O	Bandas o zonas de arcilla de gran espesor (mase G, H, J para las descripciones del tipo de arcilla)	16-24	10,0
P		12-16	13,0
Q		8-12	13,0-20,0

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

■ Clasificaciones Geomecánicas
■ Q de Barton

3 - Valoración de parámetros (v)



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

Valores del parámetro J_w para el cálculo de Q (Barton et al, 1976)

Factor de reducción por agua en las juntas		U	J_w
A	Excavaciones secas o con flujo < 5 l/min en puntos aislados	< 0,1	1,0
B	Flujo (o presión) medios con lavado ocasional de los rellenos de las juntas	0,1 - 0,25	0,66
C	Flujo (o presión) importantes en roca compacta con juntas sin rellenos	0,25 - 1,0	0,5
D	Flujo (o presión) importantes con considerable lavado de los rellenos en juntas	0,25 - 1,0	0,33
E	Flujo (o presión) excepcionales al excavar, que decae con el tiempo	> 1,0	0,2 - 0,1
F	Flujo (o presión) excepcionales, sin reducirse apreciablemente con el tiempo	> 1,0	0,1 - 0,05

(u es la presión intersticial del agua a la cota del túnel -expresada en MPa)
Los factores C a F son estimaciones groseras, simplificadas.
 J_w puede aumentarse si se instalan medidas de drenaje.
No se han considerado los problemas especiales a causa de la congelación del agua con formación de hielo.

■ Clasificaciones Geomecánicas
■ Q de Barton

3 - Valoración de parámetros (vi)



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

Factor de reducción por tensiones (SRF) para el cálculo de Q
(Grimstad y Barton 1993)

Factor de reducción por tensiones		σ_1 / σ_3	σ_2 / σ_3	SRF
Hay zonas débiles que atraviesan la excavación y pueden causar la descompresión de la masa rocosa al excavar el túnel				
A	Múltiples ocurrencias de zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada por meteorización; roca muy floja en el entorno (a cualquier profundidad)			10
B	Ocurrencias aisladas de zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada por meteorización (profundidad < 60 m)			5
C	Ocurrencias aisladas de zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada por meteorización (profundidad > 60 m)			2,5
D	Múltiples zonas de cizalla en roca competente, no arcillosa; roca floja en el entorno (a cualquier profundidad)			7,5
E	Ocurrencias aisladas de zonas de cizalla en roca competente, no arcillosa (profundidad < 60 m)			5
F	Ocurrencias aisladas de zonas de cizalla en roca competente, no arcillosa (profundidad > 60 m)			2,5
G	Juntas abiertas, roca muy fracturada o descompresida (cualquier profundidad)			5

Los valores del SRF pueden reducirse en un 25-50% si las zonas fracturadas o de cizalla afectan pero no atraviesan la excavación

■ Clasificaciones Geomecánicas
■ Q de Barton

3 – Valoración de parámetros (vii)

SRF (2)

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

Roca competente. Problemas de tensiones tectónicas

H	Tensiones bajas, en superficie, juntas abiertas	> 200	< 0,01	2,5
J	Tensiones medias en condiciones favorables	200 – 10	0,01 – 0,3	1
K	Tensiones altas, estructura muy compacta (favorable para la estabilidad del frente, puede ser favorable para la estabilidad de las paredes)	10 – 5	0,3 – 0,4	0,5 – 2
L	Rotura de lasa superficiales después de 1 hora en roca masiva ("slabbing")	5 – 3	0,5 – 0,65	5 – 50
M	Rotura de lasa superficiales ("slabbing") y golpes de roca después de unos minutos en roca masiva ("rock burst")	3 – 2	0,65 – 1	50 – 200
N	Fuertes golpes de roca ("rock burst") y deformaciones dinámicas inmediatas en roca masiva	< 2	> 1	200 – 400

Si se han medido las tensiones tectónicas y son muy anisotrópicas debe reducirse σ_3 a $0,75\sigma_3$ (si $5 < \sigma_1 / \sigma_3 < 10$) y a $0,50\sigma_3$ (si $\sigma_1 / \sigma_3 > 10$).
Si la profundidad de la clave es menor que el ancho de la excavación puede aumentarse SRF de 2 a 5 aunque hay pocos casos registrados.

■ Clasificaciones Geomecánicas
■ Q de Barton

3 – Valoración de parámetros (viii)

SRF (3)

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

Roca extruida ("squeezing rock"): flujo plástico de roca no competente bajo la influencia de grandes tensiones de roca.

O	Presión media	1,5	5 – 10
P	Presión alta	> 5	10 – 20

Estos casos pueden ocurrir si $H > 350Q^{1/3}$ (Singh et al, 1992). La resistencia a compresión de la masa rocosa puede estimarse en $q = 0,7 \gamma Q^{1/3}$ (Mpa) donde γ es el peso específico de la masa rocosa en kN/m^3 (Singh, 1993).

Roca expansiva dependiendo de la presión del agua

R	Presión de hinchamiento media	5 – 10
S	Presión de hinchamiento alta	10 – 12

NOTACIÓN:

σ_1 = Resistencia a compresión simple
 σ_1 y σ_3 = Tensiones principales mayor y menor
 σ_3 = Tensión tangencial máxima, calculada elásticamente

J_1 y J_2 se aplican a la familia de juntas, o a la discontinuidad que sea menos favorable desde el punto de vista de la orientación o de la resistencia al corte $t = \sigma_3 \tan(J_1 / J_2)$

MASTER UNIVERSITARIO EN TÚNELES Y OBRAS SUBTERRÁNEAS Mecánica de Rocas	J. Barton	■ Clasificaciones Geomecánicas	4 – Significado de los cocientes
		■ Q de Barton	
		4 – Significado de los cocientes	
		$\frac{RQD}{J_n}$ $\frac{J_r}{J_a}$ $\frac{J_w}{SRF}$	→ Representa aproximadamente la dimensión del <u>bloque tipo</u> (con valores extremos de 0,5 y 200). → Presenta una cierta correlación con el valor del <u>coeficiente de fricción de las juntas</u>. → Recibe el nombre de "<u>tensión activa</u>" (pero su interpretación es muy compleja)

J. Barton

■ Clasificaciones Geomecánicas

■ Q de Barton

5 – Clases de roca según Q

5 – Clases de roca según Q

El producto de los tres cocientes produce una variación exponencial de Q

Se debe de **calcular para cada familia de juntas y elegir el menor**.

Y se establecen 9 clases de roca:

Q	Clase de roca	Equivalente aproximado con el sistema RMR (*)
400 - 1.000	Excepcionalmente buena	98 - 100
100 - 400	Extremadamente buena	85 - 90
40 - 100	Muy buena	77 - 85
10 - 40	Buena	65 - 77
4 - 10	Normal	56 - 65
1 - 4	Malas	44 - 56
0.1 - 1	Muy mala	23 - 44
0.01 - 0.1	Extremadamente mala	2 - 23
0.001 - 0.01	Excepcionalmente mala	0 - 2

(*) $RMR = 44 + 9 \cdot \ln(Q)$

Mecánica de Rocas

MASTER UNIVERSITARIO EN TÚNELES Y OBRAS SUBTERRÁNEAS

Q

- Define medidas que se aplican en obra sin más comprobación ni cálculo.
- Base del Método Noruego de Túneles
- Desarrollada en Noruega (condiciones geológicas distintas a las de España).
- Se utiliza mucho menos en España.

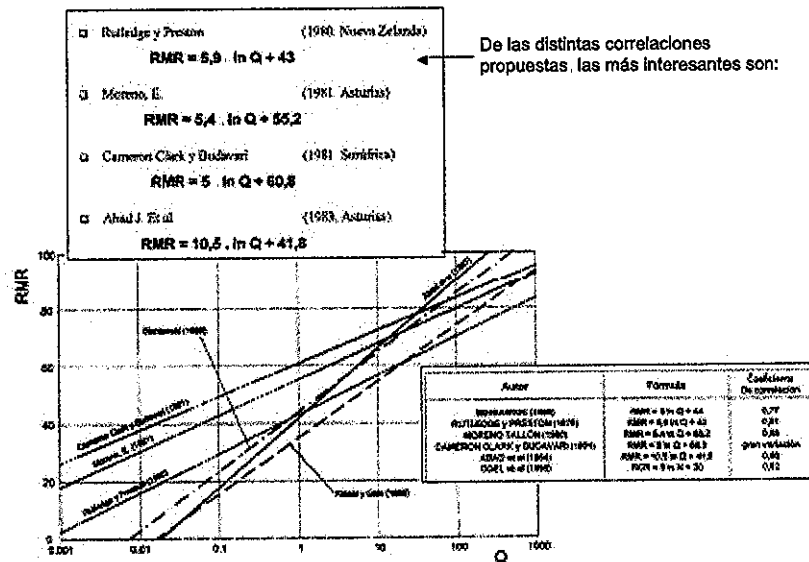
RMR

- La más utilizada en España.
- Las recomendaciones originales de Bieniawski no se corresponden bien con la situación actual.
- Suelen matizarse en cada caso concreto.
- Es un índice más “generalista”.

Correlación más usual entre los valores de RMR y Q.
(Recomendada por Bieniawski, 1989, con datos de Jotham, 1982)

■ Clasificaciones Geomecánicas
■ Q de Barton

7 - Correlaciones Q - RMR (II)



■ Clasificaciones Geomecánicas
■ Q de Barton

7 - Correlaciones Q - RMR (III)

Clases RMR y equivalencias con el sistema Q

RMR	Clases RMR	Equivalencia aproximada con el sistema Q
100 - 81	I MUY BUENA	800 - 65
80 - 61	II BUENA	55 - 7
60 - 41	III MEDIA	5 - 0.7
40 - 21	IV MALA	0.5 - 0.05
20 - 0	V MUY MALA	0.05 - 0.005

Clases Q y equivalencias con el sistema RMR

Q	Clases Q	Equivalencia aproximada con el sistema RMR
400 - 1,000	Excepcionalmente buena	80 - 100
100 - 400	Extremadamente buena	65 - 50
40 - 100	Muy buena	75 - 35
10 - 40	Buena	65 - 37
4 - 10	Normal	55 - 65
2 - 4	Mala	44 - 54
0.7 - 1	Muy mala	32 - 44
0.21 - 0.7	Extremadamente mala	2 - 23
0.021 - 0.21	Excepcionalmente mala	0 - 2

Equivalencias de los sistemas RMR y Q (González de Velasco, 1998)

RMR	Clases RMR	Clases Q	Q
90 - 10	MUY BUENA	EXCEPCIONAL O EXTREMADAMENTE BUENA	> 210
70 - 19	BUENA	MUY BUENA A BUENA	200 - 22
50 - 19	MEDIA	BUENA A MUY MALA	78 - 6.5
30 - 18	MALE	EXTREMADAMENTE MALA	0.3 - 1.003
10 - 15	MUY MALA	EXCEPCIONALMENTE MALA	< 0.03

La no coincidencia de clases, condujo a Kaiser y Gale (1985) a establecer una nueva correlación:

$$RMR = 8.5 \ln Q + 3.5$$

que la propuso para ser utilizada como método de control de la consistencia y calidad de los parámetros obtenidos en campo y no como correlación entre la calidad de la roca en ambos sistemas.

Obtuvieron su correlación a partir de estudios probabilísticos, argumentando que todas las anteriores correlaciones dependen de la cantidad de datos utilizados, de su variación y de la localización del dato medio.

Correlaciones entre índices derivados

Goel et al (1995) propusieron una fórmula de correlación entre dos índices que, aunque no son exactamente el RMR y el Q, se pueden derivar de ellos:

$RCR = RMR_B$ – un parámetro relacionado con C_o

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

Goel et al consideran que el RCR y N son índices “equivalentes” y por tanto pueden usarse a efectos de correlación..

Utilizando 63 ejemplos, propusieron:

$$RCR = 8.0 \ln N + 30$$

con un coeficiente de correlación de 0,92 (superior al resto de las fórmulas)

La experiencia española (Romana, 2000)

En nuestra experiencia española los valores de RMR resultan ligeramente superiores a los deducidos del valor de Q con la correlación de Bieniawski; así ocurre con la fórmula presentada por Abad et al (1983) —expuesta en el apartado anterior— obtenida a partir del reconocimiento geotécnico de 187 galerías transversales en masas de carbón españolas.

Puede utilizarse el gráfico de la figura 1 como control de calidad de las estimaciones de RMR y Q en un proyecto concreto. Si las operaciones de clasificar según RMR y Q han sido hechas con métodos homogéneos, los puntos correspondientes deben estar alineados en una recta paralela (y en nuestra experiencia figuran por arriba) de la dibujada por Bieniawski.

Que los valores del RMR de la correlación de Bieniawski sean ligeramente inferiores a los obtenidos directamente puede ser debido a que la clasificación de Barton se suele realizar con criterios más conservadores.

MASTER UNIVERSITARIO EN TÚNELES Y OBRAS SUBTERRÁNEAS
 Mecánica de Rocas

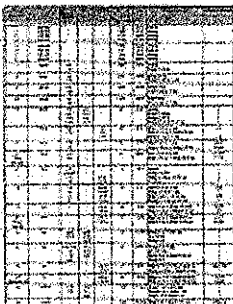
Clasificaciones Geomecánicas
 Q de Barton

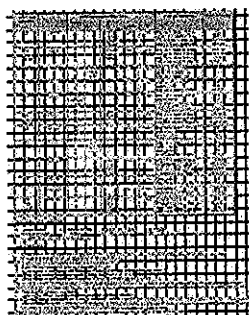
8 – Recomendaciones de sostenimiento (i)

8 – Recomendaciones de sostenimiento

RECOMENDACIONES EN VERSIONES ANTERIORES

Inicialmente Barton, Lien y Lunde recomendaron 38 categorías diferentes, dependiendo de Q y de L/ESR





Se añadieron numerosas notas para su aplicación

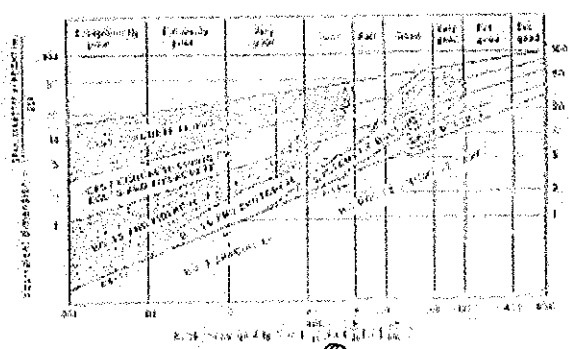
En la práctica las 38 categorías resultaron demasiado complejas

MASTER UNIVERSITARIO EN TÚNELES Y OBRAS SUBTERRÁNEAS
 Mecánica de Rocas

Clasificaciones Geomecánicas
 Q de Barton

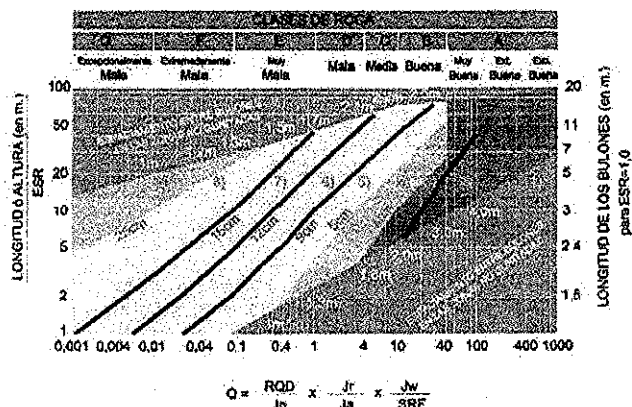
8 – Recomendaciones de sostenimiento (ii)

Grimstad et al (1986) presentaron una versión más simplificada en la que se añadía el uso de hormigón proyectado con fibras metálicas ("fibercrete"), mediante un gráfico de mayor simplicidad:



pero ya no se recomienda su uso. En la actualidad

Grimstad y Barton (1993) propusieron un cambio bastante drástico:



se presentan un total de 9 categorías de sostenimiento

CATEGORIA	BULONES	SEPARACIÓN (m) EN ZONA		GUNITA		OTROS
		CON GUNITA	SIN GUNITA	ESPESOR (cm)	FIBRAS	
1	No	No	No	No	No	No
2	Ocasionales	-	2.0 - 4.0	No	No	No
3	Ocasionales	-	1.8 - 2.0	No	No	No
4	Ocasionales	-	1.5 - 1.6	4 - 5	No	No
5	Ocasionales	> 2.5	"	5 - 9	Si	No
6	Ocasionales	2.1 - 2.5	"	9 - 12	Si	No
7	Ocasionales	1.7 - 2.1	-	12 - 15	Si	No
8	Ocasionales	1.5 - 1.7	-	> 15	Si	Cosillas armadas de gunita
9	Ocasionales	< 1.5	-	"	"	Hormigón encofrado

- ROMANA, M. (2000).** Clasificaciones Geomecánicas. III Curso sobre Tecnología de Métodos Modernos de Sostenimiento de Túneles y Taludes. Serón y Montañal eds. Valencia.
- SERÓN, J.B. (2005).** La clasificación geomecánica RMR. Curso de Mecánica de Rocas Práctica módulo 3. 1ª edición STMR. Madrid. noviembre de 2005.

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

where

RQD is the Rock Quality Designation

J_n is the joint set number

J_r is the joint roughness number

J_a is the joint alteration number

J_w is the joint water reduction factor

SRF is the stress reduction factor

DESCRIPTION	VALUE	NOTES
1. ROCK QUALITY DESIGNATION	<i>RQD</i>	
A. Very poor	0 - 25	1. Where <i>RQD</i> is reported or measured as ≤ 10 (including 0), a nominal value of 10 is used to evaluate <i>Q</i> .
B. Poor	25 - 50	
C. Fair	50 - 75	
D. Good	75 - 90	2. <i>RQD</i> intervals of 5, i.e. 100, 95, 90 etc. are sufficiently accurate.
E. Excellent	90 - 100	
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	1. For intersections use $(3.0 \times J_n)$
G. Three joint sets plus random	12	
H. Four or more joint sets, random, heavily jointed, 'sugar cube', etc.	15	2. For portals use $(2.0 \times J_n)$
J. Crushed rock, earthlike	20	

3. JOINT ROUGHNESS NUMBER		J_r	
<i>a. Rock wall contact</i>			
<i>b. Rock wall contact before 10 cm shear</i>			
A. Discontinuous joints		4	
B. Rough and irregular, undulating		3	
C. Smooth undulating		2	
D. Slickensided undulating		1.5	1. Add 1.0 if the mean spacing of the relevant joint set is greater than 3 m.
E. Rough or irregular, planar		1.5	
F. Smooth, planar		1.0	
G. Slickensided, planar		0.5	2. $J_r = 0.5$ can be used for planar, slickensided joints having lineations, provided that the lineations are oriented for minimum strength.
<i>c. No rock wall contact when sheared</i>			
H. Zones containing clay minerals thick enough to prevent rock wall contact		1.0 (nominal)	
J. Sandy, gravely or crushed zone thick enough to prevent rock wall contact		1.0 (nominal)	
4. JOINT ALTERATION NUMBER		J_a	ϕ_r degrees (approx.)
<i>a. Rock wall contact</i>			
A. Tightly healed, hard, non-softening, impermeable filling		0.75	1. Values of ϕ_r , the residual friction angle, are intended as an approximate guide to the mineralogical properties of the alteration products, if present.
B. Unaltered joint walls, surface staining only		1.0	
C. Slightly altered joint walls, non-softening mineral coatings, sandy particles, clay-free disintegrated rock, etc.		2.0	
D. Silty-, or sandy-clay coatings, small clay-fraction (non-softening)		3.0	
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)		4.0	

DESCRIPTION	VALUE	NOTES
4. JOINT ALTERATION NUMBER	J_a	ϕ degrees (approx.)
<i>b. Rock wall contact before 10 cm shear</i>		
F. Sandy particles, clay-free, disintegrating rock etc.	4.0	25 - 30
G. Strongly over-consolidated, non-softening clay mineral fillings (continuous < 5 mm thick)	6.0	16 - 24
H. Medium or low over-consolidation, softening clay mineral fillings (continuous < 5 mm thick)	8.0	12 - 16
J. Swelling clay fillings, i.e. montmorillonite, (continuous < 5 mm thick). Values of J_a depend on percent of swelling clay-size particles, and access to water.	8.0 - 12.0	6 - 12
<i>c. No rock wall contact when sheared</i>		
K. Zones or bands of disintegrated or crushed	6.0	
L. rock and clay (see G, H and J for clay	8.0	
M. conditions)	8.0 - 12.0	6 - 24
N. Zones or bands of silty- or sandy-clay, small clay fraction, non-softening	5.0	
O. Thick continuous zones or bands of clay	10.0 - 13.0	
P. & R. (see G.H and J for clay conditions)	6.0 - 24.0	
5. JOINT WATER REDUCTION	J_w	approx. water pressure (kgf/cm ²)
A. Dry excavation or minor inflow i.e. < 5 l/m locally	1.0	< 1.0
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	0.33	2.5 - 10.0
E. Exceptionally high inflow or pressure at blasting, decaying with time	0.2 - 0.1	> 10
F. Exceptionally high inflow or pressure	0.1 - 0.05	> 10

1. Factors C to F are crude estimates; increase J_w if drainage installed.

2. Special problems caused by ice formation are not considered.

6. STRESS REDUCTION FACTOR

SRF

a. Weakness zones intersecting excavation, which may cause loosening of rock mass when tunnel is excavated

- | | |
|---|-------------|
| 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 (excavation depth < 50 m) | 5.0 |
| C. Single weakness zones containing clay, or chemically disintegrated rock (excavation depth > 50 m) | 2.5 |
| D. Multiple shear zones in competent rock (clay free), loose surrounding rock (any depth) | 7.5 |
| E. Single shear zone in competent rock (clay free). (depth of excavation < 50 m) | 5.0 |
| F. Single shear zone in competent rock (clay free). (depth of excavation > 50 m) | 2.5 |
| G. Loose open joints, heavily jointed or 'sugar cube', (any depth) | 5.0 |

1. Reduce these values of *SRF* by 25 - 50% but only if the relevant shear zones influence do not intersect the excavation

Figure 1: ROCK MASS CLASSIFICATION

**ROCK QUALITY
AS EXPRESSED
BY THE Q-SYSTEM.**

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

RQD = degree of jointing
 J_n = number of joint sets

J_r = joint roughness
 J_a = joint alteration
 or filling

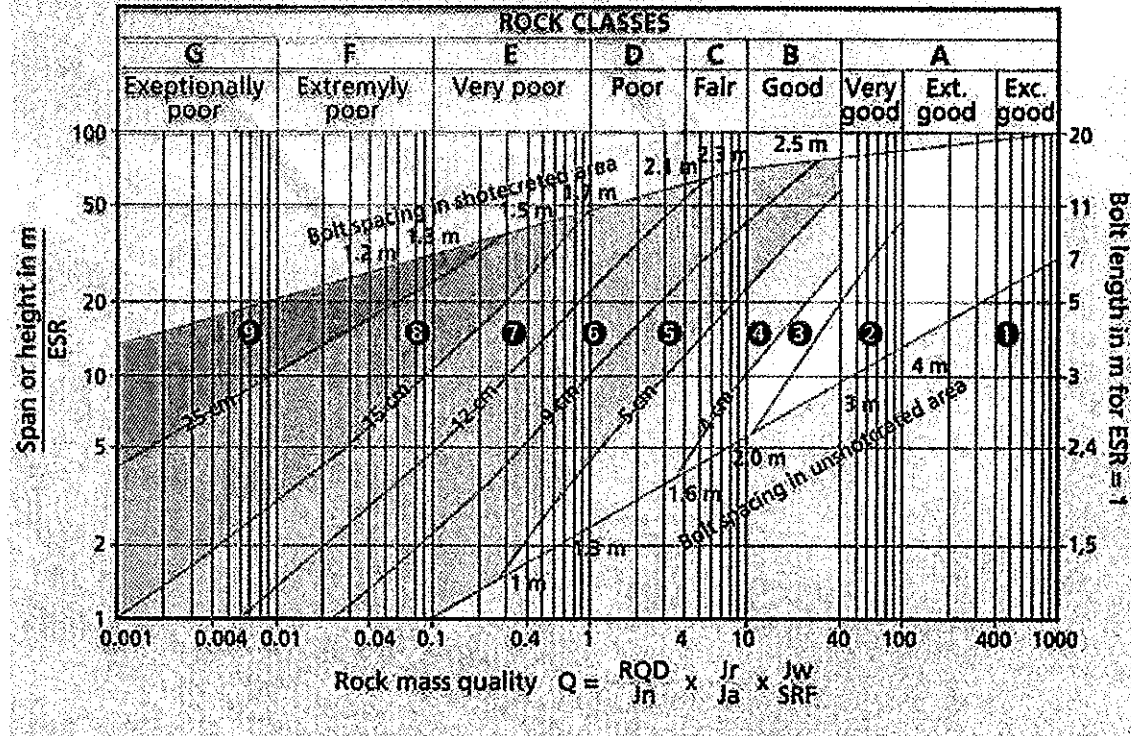
J_w = joint water leakage
 or pressure

SRF = Rock stress conditions

$\frac{RQD}{J_n}$ is a measure of
 block size

$\frac{J_r}{J_a}$ is a measure of inter-
 block friction angle

$\frac{J_w}{SRF}$ is a measure of active
 stresses



The diagram above shows the various classes of rock mass qualities, each requiring different types of rock support. The thickness of the shotcrete applied depends on the "quality" of the rock. Poorer rock mass quality requires thicker layers of shotcrete in addition to rock bolts.

REINFORCEMENT CATEGORIES:

- ① Unsupported
- ② Spot bolting, sb
- ③ Systematic bolting, B
- ④ Systematic bolting (and unreinforced shotcrete, 4–10 cm), B(+S)
- ⑤ Fiber reinforced shotcrete and bolting, 5–9 cm, Sfr+B
- ⑥ Fiber reinforced shotcrete and bolting, 9–12 cm, Sfr+B
- ⑦ Fiber reinforced shotcrete and bolting, 12–15 cm, Sfr+B
- ⑧ Fiber reinforced shotcrete, > 15 cm, reinforced ribs of shotcrete and bolting, Sfr, RRS+B
- ⑨ Cast concrete lining, CCA

CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS

Parameter		Range of values				
Rock strength	Point-load strength index	>10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this test see test in part 1
	Uniaxial comp. strength	>250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa
Rating		15	12	7	4	2
Rock Quality RQD		90% - 100%	70% - 90%	50% - 70%	25% - 50%	< 25%
Rating		20	17	13	8	4
Spacing of discontinuities		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	50 - 200 mm	< 50 mm
Rating		20	15	10	8	4
Nature 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	Discontinuous surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Left gouge thick or Separation Continuous
Rating		30	25	20	10	4
Inflow per 10 m tunnel length (litre)		None	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125
Excess water pressure (Major principal stress)		0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
Tunnel conditions		Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flooding
Rating		15	10	7	4	1

ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)

Dip orientations	Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable
Tunnels & mines	0	-3	-5	-10	-15
Foundations	0	-2	-7	-15	-20
Slopes	0	-5	-10	-20	-30

ROCK CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS

Rating	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
Class	I	II	III	IV	V
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock

VALUES OF ROCK CLASSES

Parameter	I	II	III	IV	V
End-use 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
Rock mass (MPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Rock mass (GPa)	> 45	55 - 45	35 - 25	15 - 20	< 10

VALUES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY CONDITIONS

Discontinuity length (perpendicular)	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
Aperture	None	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
Surface roughness	Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Glossy
Weathering	None	Hard filling < 5 mm	Hard filling < 5 mm	Soft filling < 5 mm	Soft filling
Weathering grade	Unweathered	Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed

VALUES OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING*

Strike perpendicular to tunnel axis		Strike parallel to tunnel axis	
Strike dip - Dip 45 - 90°	Strike with dip - Dip 20 - 45°	Dip 45 - 90°	Dip 20 - 45°
Very favourable	Favourable	Very favourable	Fair
Strike dip - Dip 45 - 90°	Strike against dip - Dip 20 - 45°	Dip 0 - 20° - irrespective of strike*	
Fair	Unfavourable	Fair	

*Values are mutually exclusive. For example, if drilling is present, the roughness of the surface will be overshadowed by the drilling. In such cases use A & directly.
*after Wickham et al (1972).