

Diseño y Ejecución de Obras Subterráneas

Tema 3. Clasificaciones geomecánicas



Rubén Pérez Álvarez

Departamento de Transportes y Tecnología
de Proyectos y Procesos

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

TEMA 3: CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS

- 3.1. Introducción.**
- 3.2. Objeto de las clasificaciones geomecánicas.**
- 3.3. Clasificación de Bieniawski.**
- 3.4. Clasificación de Barton.**
- 3.5. Correlaciones entre clasificaciones geomecánicas.**



<https://flic.kr/p/5X4a49>.
<https://www.flickr.com/photos/imageme/>.
<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/2.0/>.

Metodologías existentes de cálculo de los sostenimientos

MÉTODOS ANALÍTICOS Basados en la teoría de la Elasticidad, que supone un comportamiento elástico del túnel hasta alcanzar una presión crítica, a partir de la que el comportamiento es plástico. Corresponden a esta categoría el «método de las líneas características» o la «formulación elástica».

MÉTODOS EMPÍRICOS A emplear en los primeros compases de un proyecto, o como complemento a otros métodos. Se basan en las clasificaciones geomecánicas (R.M.R. de Bieniawski, Q de Barton).

MÉTODOS NUMÉRICOS Basados en la discretización del macizo rocoso (continuo) en elementos sobre los que se aplicará la ley de la Elasticidad. Ejemplos: métodos de elementos finitos, diferencias finitas, de los elementos de contorno...

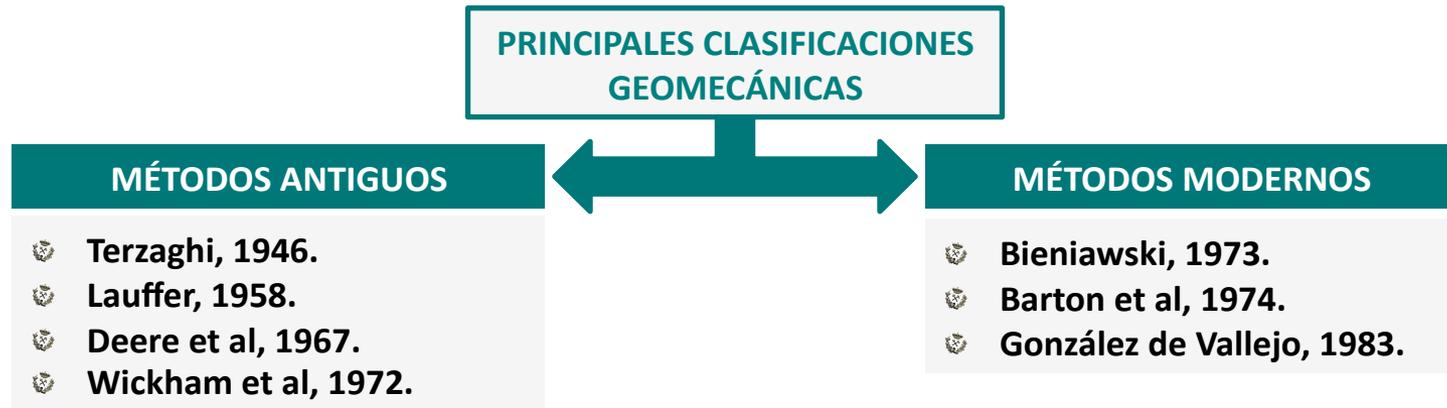
MÉTODOS OBSERVACIONALES Basados en la medida de tensiones y deformaciones en la fase de excavación de un túnel, estimando el sostenimiento en base a métodos numéricos o analíticos. También aplicable la extrapolación de galerías con geometrías y macizos similares.



Introducción

Origen de las clasificaciones geomecánicas

Terzaghi propuso en 1946 la primera clasificación del terreno para la ejecución de túneles, a partir de los datos obtenidos por cerchas metálicas. A partir de la década de 1950 la aplicación de bulonados y gunita ganaron importancia en la obra subterránea, circunstancia que igualmente se reflejó en las clasificaciones surgidas desde dicha fecha, pudiendo citar como ejemplo la desarrollada por Lauffer en el año 1958, resultando ésta de escaso interés en fases de diseño por requerir del feedback obtenido en obra. Los métodos de aplicación más extendida en la actualidad, y los que se consideran más objetivos entre las diversas opciones existentes, son los de Bieniawski y de Barton.



Origen de las clasificaciones geomecánicas

Terzaghi, 1946.

Establece diez categorías para la clasificación del terreno y proporciona tensión vertical que soportarían las cerchas (o cuadros metálicos) de un túnel construido por procedimientos tradicionales. No resulta idónea si se aplican técnicas en roca que empleen hormigón proyectado y bulones.

Lauffer, 1958.

Introdujo el concepto de tiempo de estabilidad para una luz o vano sin sostener, estableciendo en base a ambas variables siete categorías de roca. No atiende a criterios geológicos o geotécnicos, sino a la respuesta frente a la excavación. Es por ello que requiere datos previos derivados de la experiencia o la propia excavación, no resultando práctica en fase de proyecto. Surge auspiciada por los trabajos que condujeron al desarrollo del Nuevo Método Austriaco de ejecución de túneles.

Origen de las clasificaciones geomecánicas

Deere et al (1967).

A partir de la definición del índice de calidad de roca RQD propuesto por Deere en 1964, Clasificación de la calidad de la roca en 5 categorías en base al RQD (Deere, 1964). En 1970 establecen recomendaciones para el sostenimiento en túneles en base al RQD, considerando el empleo de tuneladoras como alternativa a la ejecución por metodología convencional (perforación y voladura). El RQD se considera en otros sistemas más elaborados, como el RMR o la Q de Barton, pero no resulta suficiente para la descripción del macizo rocoso, obviando aspectos como el relleno de juntas, la presencia de agua o la presión, pudiendo además sobre-estimar la competencia de rocas blandas masivas.

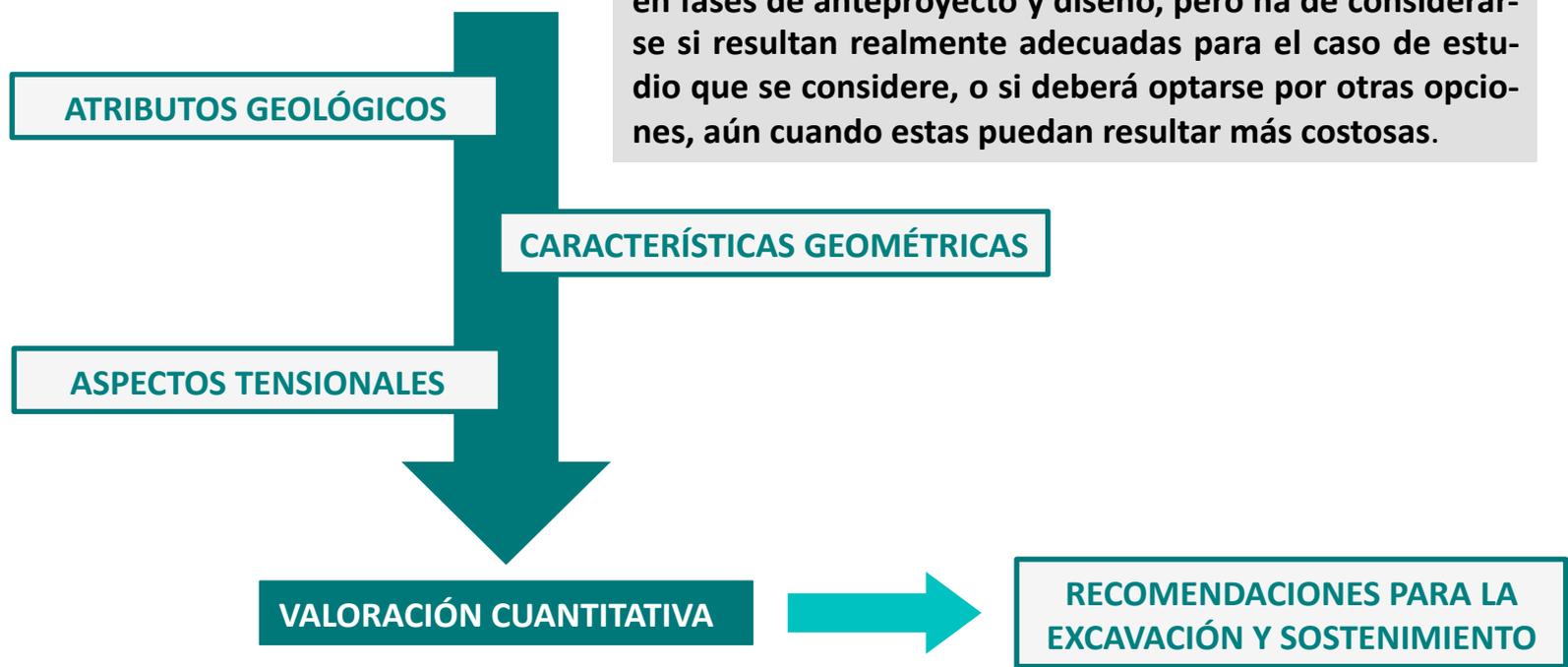
Wickham et al, 1972.

El RSR supuso un avance importante (1972), ya que fue el primero en considerar datos cuantitativos de la roca, en base a la contribución de la fracturación y dirección de avance, condiciones de agua y de las propias juntas. Se basó en túneles sostenidos mediante cerchas fundamentalmente, pero resultó importante como primera aproximación a las consideraciones de los métodos modernos.

Objeto de las clasificaciones geomecánicas

Cuantificar la calidad de un macizo rocoso, proporcionando un valor en base al cual poder estimar el sostenimiento requerido. Se caracterizan por su sencillez, y constituyen una herramienta empírica que es susceptible de comprobación a través de la aplicación de las metodologías propuestas por varios autores, o de la aplicación de otros métodos de determinación del sostenimiento.

Herramientas útiles y económicas, empleadas en la gran mayoría de proyectos de ejecución de túneles, al menos en fases de anteproyecto y diseño, pero ha de considerarse si resultan realmente adecuadas para el caso de estudio que se considere, o si deberá optarse por otras opciones, aún cuando estas puedan resultar más costosas.



Clasificación de Bieniawski

Criterio de puntuación para la obtención del R.M.R.

1	Resistencia de la roca sana	Ensayo de carga puntual (Mpa)	> 10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	En valores bajos, ensayos a compresión simple (MPa)		
		Compresión simple (MPa)	> 250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5	5 - 1	< 1
	Valoración	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD (%)	100 - 90	90 - 75	75 - 50	50 - 25	< 25			
	Valoración	20	17	13	6	3			
3	Separación entre diaclasas (m)	> 2	2 - 0,6	0,6 - 0,2	0,2 - 0,06	< 0,06			
	Valoración	20	15	10	8	5			

Clasificación de Bieniawski

Criterio de puntuación para la obtención del R.M.R.

4	Estado de las discontinuidades	Longitud	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
		Puntuación	6	4	2	1	0
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
		Puntuación	6	5	3	1	0
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
		Puntuación	6	5	3	1	0
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm
		Puntuación	6	4	2	2	0
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
		Puntuación	6	5	3	1	0

Criterio de puntuación para la obtención del R.M.R.

5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel (l/min)	Nulo	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125
		Ratio Presión de agua / Tensión principal mayor	0	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo
	Valoración	15	10	7	4	0	

INFLUENCIA DE LA ORIENTACIÓN DE LAS DIACLASAS

Dirección y Buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Tipología de obra	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Dirección de las diaclasas perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0° - 20° cualquier dirección
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento				
Buzamiento 45 - 90	Buzamiento 20 - 45	Buzamiento 45 - 90	Buzamiento 20 - 45	Buzamiento 45 - 90	Buzamiento 20 - 45	
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable

Criterio del macizo en base al R.M.R.

RMR	CLASE	CALIDAD	COHESIÓN (MPA)	ÁNGULO DE ROZAMIENTO (°)
81 - 100	I	Muy buena	> 0,4	> 45
61 - 80	II	Buena	0,3 - 0,4	35 - 45
41 - 60	III	Media	0,2 - 0,3	25 - 35
21 - 40	IV	Mala	0,1 - 0,2	15 - 25
0 - 20	V	Muy mala	< 0,1	< 15

Basada en el RMR, pero considera el estado tensional del macizo, las condiciones de ejecución del túnel, y el empleo de datos de afloramiento. Desarrollada por González Vallejo en 1985 y 2003.

CONSIDERACIONES

- En rocas de calidad buena y media (RMR I, II, III), se ha de usar Q o RMR de forma indistinta.
- En rocas de calidad mala o media (V, IV, III), con matriz blanda y tensiones notables, la clasificación SRC se ajusta mejor que la RMR.
- Las correlaciones entre RMR, Q y SRC no son apropiadas en rocas de calidad mala y muy mala.

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA S.R.C.								
Parámetros		Puntuaciones						
1	RESISTENCIA MATRIZ ROCOSA							
	Carga puntual (MPa)	> 8	8 a 4	4 a 2	2 a 1			
	Ensayos de compresión simple (MPa)	> 250	250 a 100	100 a 50	50 a 25	25 a 5	5 a 1	< 1
	Puntuación	20	15	4	4	2	1	0
2	ESPACIADO O RQD							
	Espaciado (m)	> 2	2 a 0,6	0,6 a 0,2	0,2 a 0,06	< 0,06		
	RQD (%)	100 a 90	90 a 75	75 a 50	50 a 25	< 25		
	Puntuación	25	20	15	8	5		

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA S.R.C.						
Parámetros		Puntuaciones				
3	DISCONTINUIDADES					
	Condiciones	Muy rugosa	Algo rugosas	Algo rugosas	Lisas o con Slickensides	Lisas o co Slickensides
		Discontinuas	Discontinuas	Discontinuas	Continuas	Continuas
		Sin separación	Separación < 1 mm	Separación 1 mm	Abiertas 1 a 5 mm	Abiertas más de 5 mm
		Bordes poco alterados y duros	Bordes duros y poco alterados	Bordes blandos y alterados	Con rellenos	Con rellenos
Puntuación	30	25	20	10	0	
4	FILTRACIONES					
	Caudal por 10 m de túnel (l/min)	Inapreciable	< 10	10 a 25	25 a 125	> 125
	Condiciones	Seco	Algo húmedo	Algunas filtraciones	Frecuentes filtraciones	Abundantes filtraciones
	Puntuación	15	10	7	4	0

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA S.R.C.									
Parámetros			Puntuaciones						
5	ESTADO TENSIONAL								
	Factor de competencia (1)		> 10	10 a 5	5 a 3	< 3	-		
	Puntuación		10	5	-5	-10			
	Accidentes tectónicos		Fallas de alcance regional		Tectónica compresiva	Tectónica distensiva			
	Puntuación		-5		-2	0			
	Factor de relajación tensional (2)		> 200	200 a 80	80 a 10	< 10	Zonas afectadas por laderas o taludes.		
							200 a 80	79 a 10	< 10
	Puntuación		0	-5	-8	-10	-10	-13	-15
	Actividad sísmica		Desestimada o baja		Moderada			Alta	
Puntuación		0		-5			-10		

CLASES DE ROCAS					
Clase de S.R.C.	I	II	III	IV	V
Calidad de Roca	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación (3)	100 a 81	80 a 61	60 a 41	40 a 21	<u>≤ 20</u>

- Factor de competencia: resistencia uniaxial de la matriz rocosa dividida por la tensión máxima vertical debida al peso del recubrimiento.
- Factor de relajación tensional: edad geológica de la deformación tectónica principal (en años x 10⁻³) dividida por el máximo espesor de recubrimientos en metros.
- Una vez obtenida la puntuación S.R.C., se utiliza este valor en lugar del RMR para el cálculo de las propiedades del macizo y los sostenimientos.

(González de Vallejo, 1985).

FACTORES DE CORRECCIÓN POR DATOS DE AFLORAMIENTOS. CLASIFICACIÓN S.R.C.

Espaciado o RQD

Corregir la puntuación obtenida por el cálculo del espaciado o RQD multiplicando por THCF x WCF sin superar los 25 puntos					
THFD:	Fracturas de compresión	1,3	WCF:	Grado de meteorización \geq IV	0,8
	Fracturas de distensión	0,8		Grado de meteorización III	0,9
	Para profundidades < 50 m	1,0		Grado de meteorización I y II	1,0

Condiciones de las discontinuidades:

La puntuación obtenida se ajusta para:

- Fracturas de compresión (+5) puntos, sin superar la puntuación total de 30 puntos.
- Fracturas de distensión (0) puntos.
- No aplicable para profundidades menores de 50 m.

Filtraciones:

La puntuación obtenida se corrige para el THCF:

- Fracturas de compresión (+5) puntis, sin superar la puntuación total de 15 puntos.
- Fracturas de distensión (0) puntos.
- No aplicable para profundidades menores de 50 m.

THCF Factor de corrección de historia tectónica.

WCF Factor de corrección de meteorización.

FACTORES DE CORRECCIÓN POR EFECTOS CONSTRUCTIVOS. CLASIFICACIÓN S.R.C.

Durabilidad de las rocas (1)				Puntos		
Rocas de alta durabilidad, o sin contenido en arcilla				0		
Rocas de baja durabilidad, o con alto contenido de arcilla				-5		
Rocas de muy baja durabilidad, o con un contenido de arcilla muy alto				-10		
Orientación de las discontinuidades con respecto al eje del túnel (Bieniawski, 1979)						
Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al túnel		Buzamiento 0° a 20° en cualquier dirección
Avance con buzamiento		Avance contra buzamiento				
Buzamiento 45° a 90°	Buzamiento 20° a 45°	Buzamiento 45° a 90°	Buzamiento 20° a 45°	Buzamiento 45° a 90°	Buzamiento 20° a 45°	
Muy favorable	Favorable	Aceptable	Desfavorable	Muy desfavorable	Aceptable	
0	-2	-5	-10	-12	-5	-10

FACTORES DE CORRECCIÓN POR EFECTOS CONSTRUCTIVOS. CLASIFICACIÓN S.R.C.	
Método de excavación	Puntos
Excavación mecanizada	5
Voladuras controladas, precorte, etc.	0
Voladuras de mala calidad	-10
Sostenimientos (2)	
Clase I	0
Clase II	
< 10 días	0
> 10 días < 20 días	-5
> 20 días	-10
Clase III	
< 2 días	0
> 2 días < 5 días	-5
> 5 días < 10 días	-10
> 10 días	-20
Clase IV y V	
< 8 horas	0
> 8 horas < 24 horas	-10
> 24 horas	-20
Excavaciones adyacentes (3)	
AEF < 2,5	-10
Emboquilles y zonas de escaso recubrimiento (4)	
PF < 3	-10

NOTAS:

1. Se calcula con el ensayo de durabilidad (slake durability test) o de forma indirecta, estimando la proporción de arcilla en la roca.
2. Plazo de instalación de los sostenimientos según la relación entre la estabilidad del frente y longitudes de pase. Bieniawski (1979).
3. AEF: el coeficiente entre la distancia a la excavación adyacente y el diámetro de la sección del túnel.
4. PF: el cociente entre el espesor de recubrimientos en la boquilla y la altura del túnel.

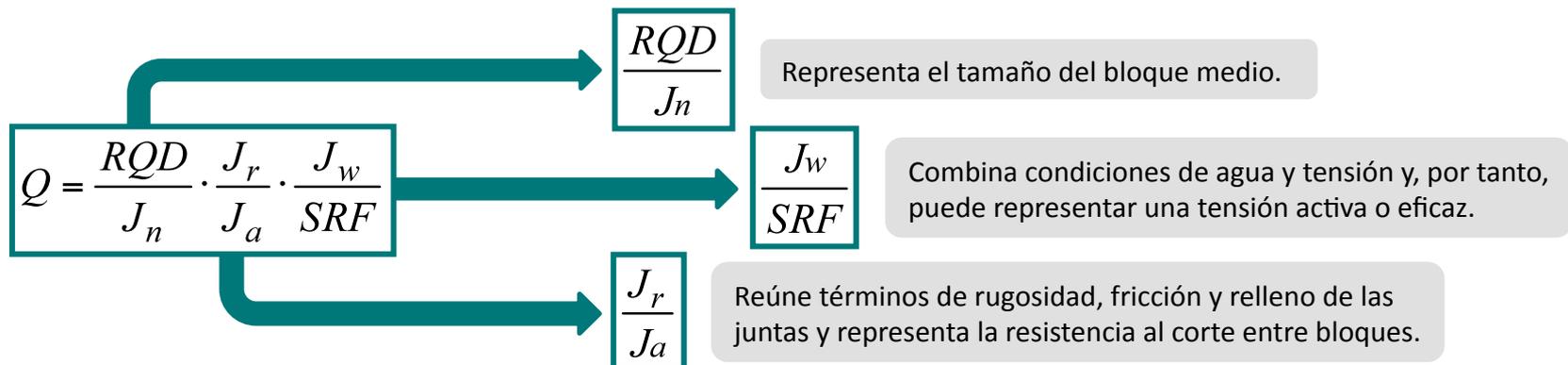
Clasificación de Barton

Parámetros a considerar en la determinación de la Q de Barton

- RQD:** porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud (en su eje) sin considerar las roturas frescas del proceso de perforación con respecto a la longitud total del sondeo. Este procedimiento fue desarrollado por Deere (1963 a 1967).
- J_n:** parámetro para describir el número de familias de discontinuidad.
- J_r:** parámetro para describir la rugosidad de las juntas *.
- J_a:** parámetro para describir la alteración de las juntas *.
- J_w:** factor asociado al agua en juntas.
- SRF:** factor asociado al estado tensional (zonas de corte, fluencia, expansividad, tensiones «*in situ*»). **Stress Reduction Factor.**

% RQD	CALIDAD
< 25	Muy mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Media
75 - 90	Buena
90 - 100	Muy buena

* Los valores de J_r y J_a se han de referir a la familia de juntas que con más probabilidad puedan permitir el inicio de la rotura.



Puntuación según el sistema de clasificación de Barton



1. CALIDAD DEL TESTIGO		% RQD
A	Muy mala	0 - 25
B	Mala	25 - 50
C	Media	50 - 75
D	Buena	75 - 90
E	Excelente	90 - 100
Si se tiene un valor inferior o igual al 10%, se adoptará el 10% para calcular la Q de Barton		
Una consideración con intervalos del 5% al determinar el RQD será suficiente		

2. ÍNDICE DE DIACLASADO		Jn
A	Roca masiva, sin diaclasas o con fisuras escasas	0,5 - 1,0
B	Una familia de diaclasas	2
C	Una familia y algunas diaclasas aleatorias	3
D	Dos familias de diaclasas	4
E	Dos familias y algunas diaclasas aleatorias	6
F	Tres familias de diaclasas	9
G	Tres familias y algunas diaclasas aleatorias	12
H	Cuatro o más familias, diaclasas aleatorias, roca muy fracturada, roca en terrores, etc.	15
J	Roca triturada, terrosa	20
En intersecciones de túneles se utiliza la expresión $3 J_n$		
En las bocas de los túneles se emplea la expresión $2 J_n$		

Puntuación según el sistema de clasificación de Barton

J_r

3. ÍNDICE DE RUGOSIDAD DE LAS DISCONTINUIDADES		J _r
a) Contacto entre las dos caras de las discontinuidad		
b) Contacto entre las dos caras de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante inferior a 10 cm		
A	Diaclasas discontinuas	4
B	Diaclasas onduladas, rugosas o irregulares	3
C	Diaclasas onduladas, lisas	2
D	Diaclasas onduladas, perfectamente lisas	1,5
E	Diaclasa rugosas o irregulares	1,5
F	Diaclasas planas, lisas	1
G	Diaclasas perfectamente lisas	0,5
Las descripciones se refieren a caracterizaciones a escalas pequeña e intermedia, por ese orden		
c) No existe contacto entre las caras de la discontinuidad ante un desplazamiento cortante		
H	Zona que contiene minerales arcillosos con un espesor suficiente para impedir el contacto de las caras de la discontinuidad	1
J	Zona arenosa, de gravas o triturada con un espesor suficiente para impedir el contacto entre las dos caras de la discontinuidad	1
Si el espaciado de la principal familia de discontinuidades es superior a 3 m, debe aumentarse J _r en una unidad		
En caso de diaclasas planas perfectamente lisas con lineaciones orientadas según la dirección de mínima resistencia, se puede utilizar el valor J _r = 0,5		

Puntuación según el sistema de clasificación de Barton

Ja

4. ÍNDICE DE ALTERACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES		fr	Ja
a) Contacto entre los planos de discontinuidad, sin minerales de relleno intermedio			
A	Discontinuidad cerrada, dura, sin reblandecimientos, impermeable, cuarzo	–	0,75
B	Planos de discontinuidad inalterados, superficies ligeramente manchadas	25 - 35°	1
C	Planos de discontinuidades ligeramente alterados. Preentan minerales no reblandecibles, partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcillas, etc.	25 - 30°	2
D	Recubrimientos de arcillas limosas o arenosas. Fracción pequeña de arcilla (no blanda)	20 - 25°	3
E	Recubrimientos de arcillas blandas o de baja fricción (caolinita o mica). Clorita, talco, yeso, grafito, etc. y pequeñas cantidades de arcillas expansivas	8 - 16°	4
b) Contacto entre los planos de la discontinuidad entre un desplazamiento cortante inferior a 10 cm (minerales de relleno en pequeños espesores)			
F	Partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcilla, etc.	25 - 30°	4
G	Fuertemente sobreconsolidadas, con rellenos de minerales arcillosos no blandos (continuos, pero de espesores inferiores a 5 mm)	16 - 24°	6
H	Sobreconsolidación media a baja, con reblandecimiento, rellenos de minerales arcillosos (continuos, pero de espesores inferiores a 5 mm)	12 - 16°	8
J	Rellenos de arcillas expansiva (montmorillonita). Continuos, pero de espesores inferiores a 5 mm. El valor de Ja depende del porcentaje de partículas con tamaños similares a los de las arcillas expansivas	6 - 12°	8 - 12

Clasificación de Barton

Puntuación según el sistema de clasificación de Barton

Ja

4. ÍNDICE DE ALTERACIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES		fr	Ja
c) No se produce contacto entre los planos de discontinuidad ante un desplazamiento cortante (reellenos de mineral de gran espesor)			
K, L, M	Zonas o bandas de roca desintegrada o triturada y arcillas (ver G, H y J para la descripción de las condiciones de las arcillas)	6 - 24°	6,8 ó 8 - 12
N	Zonas o bandas de arcillas liosas o arenosas, con pequeñas fracciones de arcillas no reblandecibles	-	5
O, P, R	Zonas o bandas continuas de arcilla, de espesor grueso (ver clases G, H y J, para la descripción de las condiciones de las arcillas)	6 - 24°	10,13 ó 13 - 20
<p>Los valores expresados para los parámetros Jr y Ja se aplican a las diaclasas o discontinuidades menos favorables con relación a la estabilidad, tanto por orientación de las mismas como por resistencia al corte. Esta resistencia puede evaluarse mediante la expresión: $T @ sn \cdot [tg(Jr/Ja)]^{-1}$</p>			

Clasificación de Barton

Puntuación según el sistema de clasificación de Barton

J_w

5. REDUCCIÓN POR LA PRESENCIA DE AGUA		Presión de agua (kg/cm ²)	J _w
A	Excavaciones secas o pequeñas afluencias, inferiores a 5 l/min, de forma localizada	< 1	1
B	Afluencia a presión medida, con lavado ocasional de los rellenos de las discontinuidades	1 - 2,5	0,66
C	Afluencia importante o presión alta en rocas competentes con discontinuidades sin relleno	2,5 - 10	0,5
D	Afluencia importante o presión alta, produciéndose un lavado considerable de los rellenos de las diaclasas	2,5 - 10	0,33
E	Afluencia excepcionalmente alta o presión elevada en el momento de realizar las voladuras, decreciendo con el tiempo	> 10	0,2 - 0,1
F	Afluencia excepcionalmente alta, o presión elevada de carácter persistente, sin disminución apreciable	> 10	0,1 - 0,05

Los valores de las clases C, D, E y F son estimativos. Si se acometen medidas de drenaje, puede incrementarse el valor J_w.
No se han considerado problemas especiales derivados de la formación de hielo

Clasificación de Barton

Puntuación según el sistema de clasificación de Barton

SRF

6. CONDICIONES TENSIONALES DE LA ROCA		SFR
a) Las zonas débiles intersectan a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de roca a medida que la excavación del túnel va avanzando.		
A	Múltiples zonas débiles, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca de contorno muy suelta (a cualquier profundidad)	10
B	Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de la excavación ≤ 50 m)	5
C	Zonas débiles aisladas, conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de la excavación > 50 m)	2,5
D	Múltiples zonas de fracturas en roca competente (libre de arcillas), roca de contorno suelta (a cualquier profundidad)	7,5
E	Zonas de fractura aisladas en roca competente (libre de arcillas) (profundidad de la excavación ≤ 50 m)	5
F	Zonas de fractura aislada en roca competente (libre de arcillas) (profundidad de la excavación > 50 m)	2,5
G	Terreno suelto, diaclasas abiertas, fuertemente fracturado, en terrones, etc. (con independencia de la profundidad)	5

Se reducen los valores expresados del SFR entre un 20 y un 50% si las zonas de fractura ejercen cierta influencia pero no intersectan la excavación.

Puntuación según el sistema de clasificación de Barton

SRF

6. CONDICIONES TENSIONALES DE LA ROCA				
b) Rocas competentes, con problemas tensionales en las rocas		sc/s1	sq/sc	SRF
H	Tensiones pequeñas cerca de la superficie, diaclasas abiertas	> 200	< 0,01	2,5
J	Tensiones medias, condiciones tensionales favorables	200 - 10	0,01 - 0,3	1
K, L, M	Tensiones elevadas, estructura muy compacta. Normalmente favorable para la estabilidad, pudiendo ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales	10 a 5	0,3 - 0,4	0,5 - 2
L	Lajamiento moderado de la roca tras 1 hora en rocas masivas	5 a 3	0,5 - 0,65	5 a 50
M	Lajamiento y estallido de la roca después de algunos minutos en rocas masivas	3 ó 2	0,65 - 1	50 - 200
N	Estallidos violentos de la roca (deformación explosiva) y deformaciones dinámicas inmediatas en rocas masivas	< 2	> 1	200 - 400
<p>Si se comprueba la existencia de campos con fuerte anisotropía: si $5 > s1/s3 \geq 10$, se disminuye s_c hasta $0,75 \cdot s_c$; si $s1/s3 > 10$, se toma $0,5 \cdot s_c$, siendo s_c la resistencia compresión simple, $s1$ y $s3$ las tensiones principales mayor y menor, y s_q es la tensión tangencial máxima, estimada a partir de la teoría de la elasticidad</p>				
<p>En casos en que la profundidad de la clave del túnel es inferior al ancho de excavación, se sugiere aumentar el SRF entre 2,5 y 5 (ver clase H)</p>				

Puntuación según el sistema de clasificación de Barton

SRF

6. CONDICIONES TENSIONALES DE LA ROCA			
c) Rocas deformables: flujo plástico de roca incompetente sometida a altas tensiones litostáticas		sq/sc	SRF
O	Presión de deformación baja	1 a 5	5 a 10
P	Presión de deformación alta	> 5	10 a 20
<p>Los fenómenos de deformación o fluencia de rocas suelen ocurrir a profundidades $H > 350Q^{1/3}$ (Singh <i>et al</i>, 1992 en González de Vallejo, L.I. , 2002). La resistencia a compresión del macizo rocoso se pueden estimar a través de la expresión $q(\text{MPa}) = 7 \cdot g \cdot Q^{1/3}$, donde g es la densidad de la roca expresada en g/cm^3 (Singh, 1993 en González de Vallejo, L.I. , 2002)</p>			
d) Rocas expansivas: actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua			SRF
R	Presión de expansión baja		5 a 10
S	Presión de expansión alta		10 a 15

Clasificación de Barton

Clasificación del macizo en base a la Q de Barton

TIPO DE MACIZO ROCOSO	ÍNDICE Q
Excepcionalmente malo	0,001 - 0,01
Extremadamente malo	0,01 - 0,1
Muy malo	0,1 - 1
Malo	1 - 4
Medio	4 - 10
Bueno	10 - 40
Muy bueno	40 - 100
Extremadamente bueno	100 - 400
Excepcionalmente bueno	400 - 1000

Correlaciones entre clasificaciones geomecánicas

Diversos autores han propuesto expresiones para relacionar el RMR de Bieniawski y la Q de Barton, si bien se desaconseja la obtención de uno en base a su correlación con el otro, resultando más adecuado para el cotejo de resultados:

$$RMR = a \cdot \ln Q + b$$

$$RMR = 9 \cdot \ln Q + 44$$

Bieniawski, 1979

$$RMR = 5,9 \cdot \ln Q + 43$$

Rutledge y Preston, 1980

$$RMR = 5,4 \cdot \ln Q + 55,2$$

Moreno Tallón, 1981

$$RMR = 10,5 \cdot \ln Q + 41,8$$

Abad et al., 1983