

CLASIFICACION DE MACIZOS DE ROCA

Jaime Suárez

erosion.com.co

Métodos de clasificación de Macizos rocosos



Clasificación de Terzaghi

RQD

Sistema Q

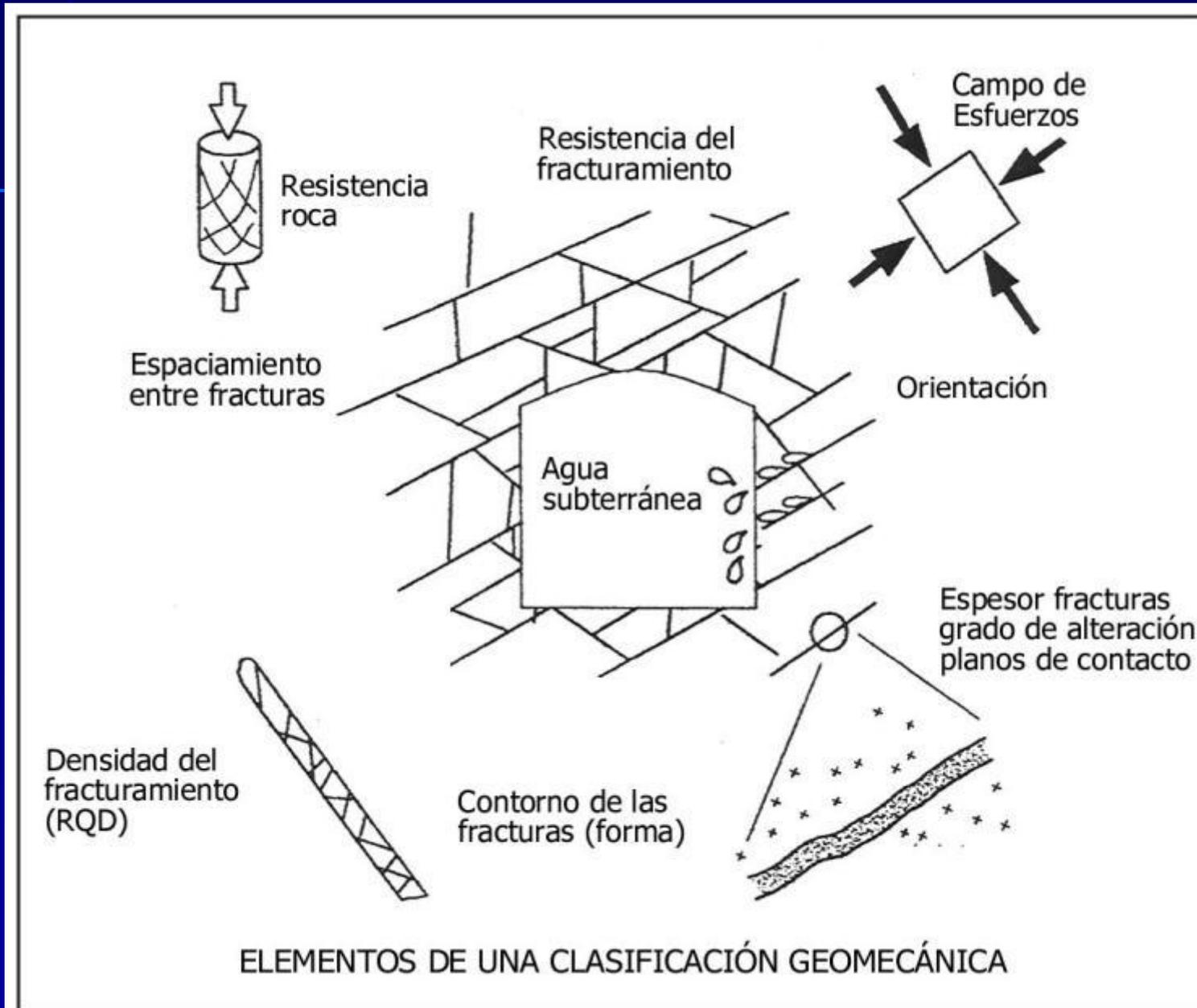
RMR

GSI

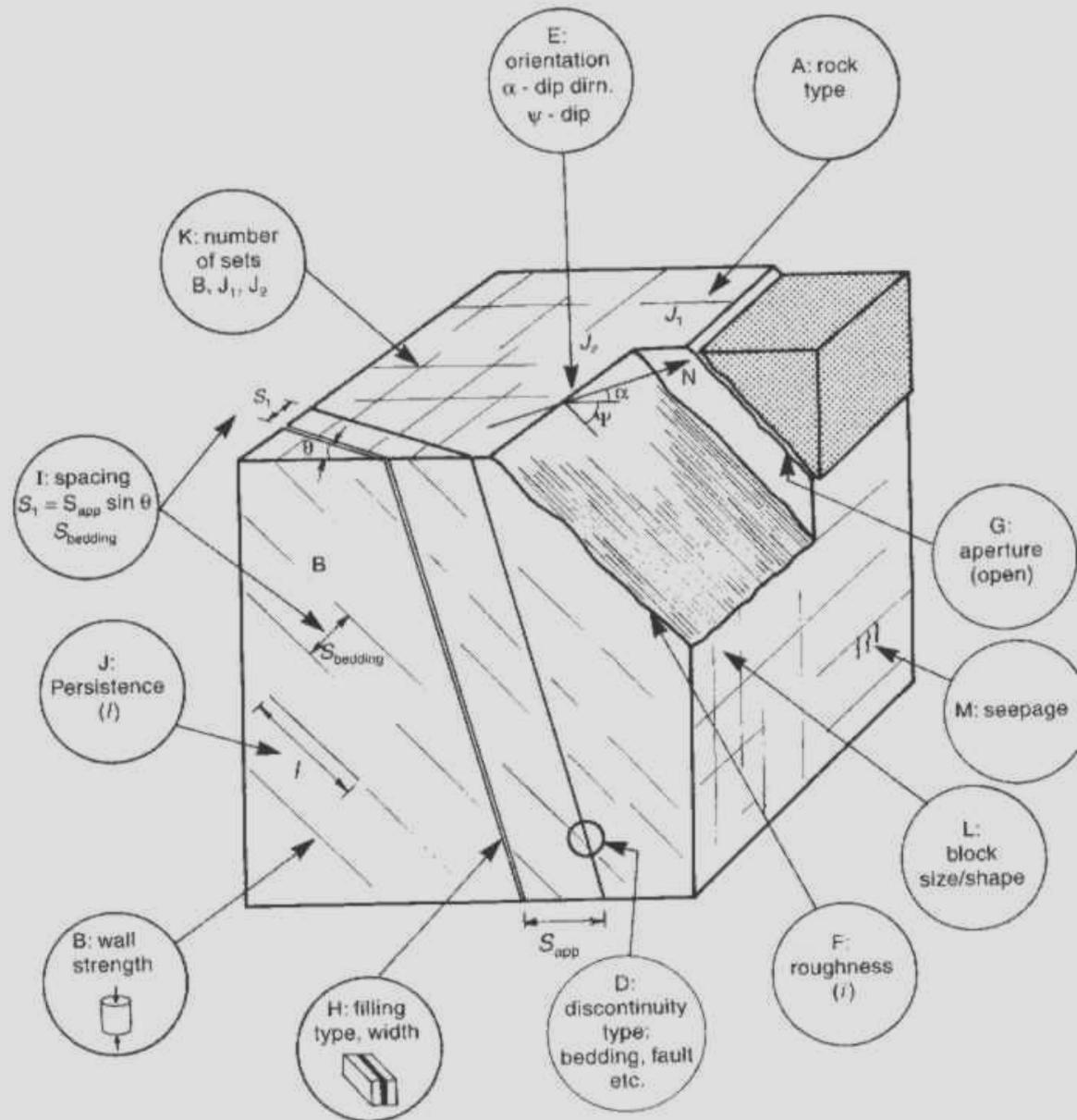
Para qué sirve la clasificación de macizos rocosos

- **Dan idea preliminar de la calidad del macizo rocoso y su variabilidad.**
- **Desarrollados para estimar soportes en túneles con bases empíricas.**
- **Uso para etapas tempranas del proyecto.**
- **Check list de las variables involucradas en el problema.**
- **No reemplazan métodos mas detallados y específicos de diseño.**

Componentes básicos de una clasificación geomecánica.



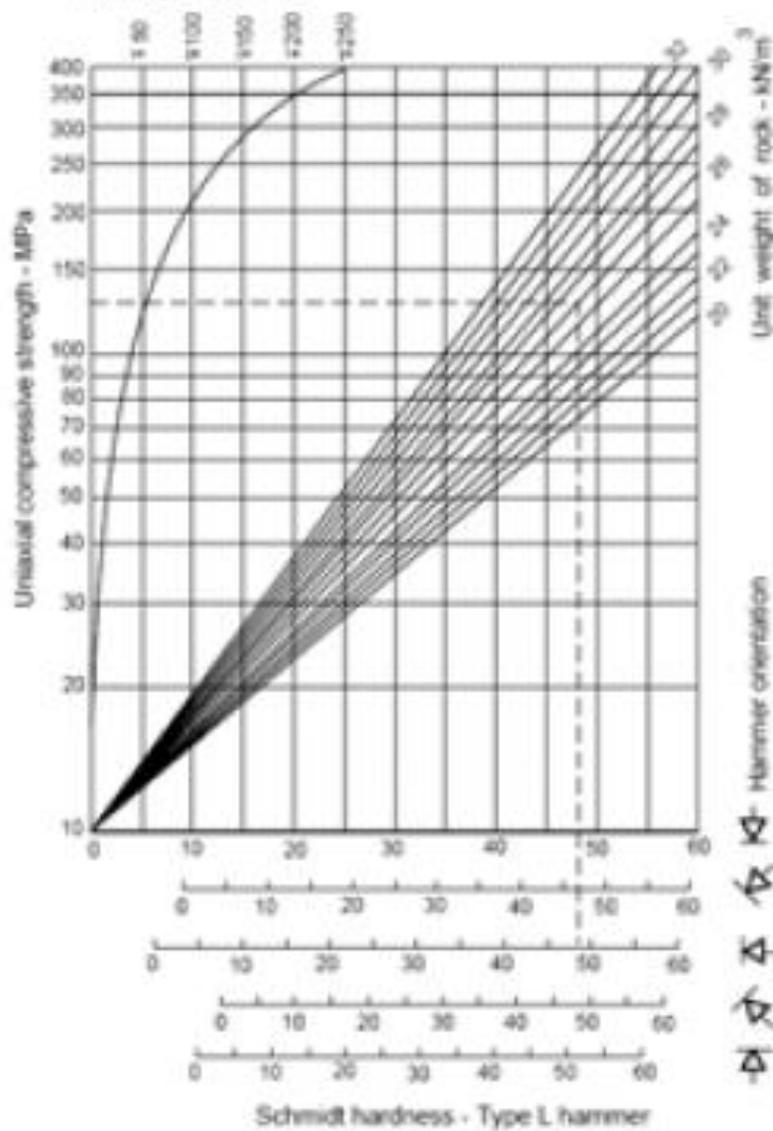
Toma de datos del macizo rocoso

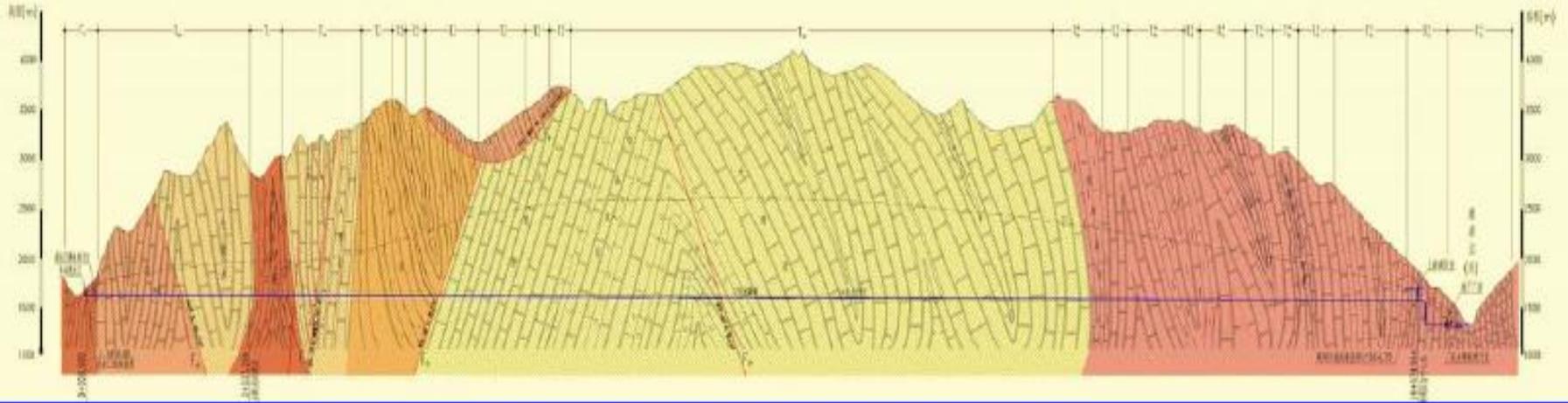




Schmidt Hammer

Average dispersion of strength
for most rocks - MPa





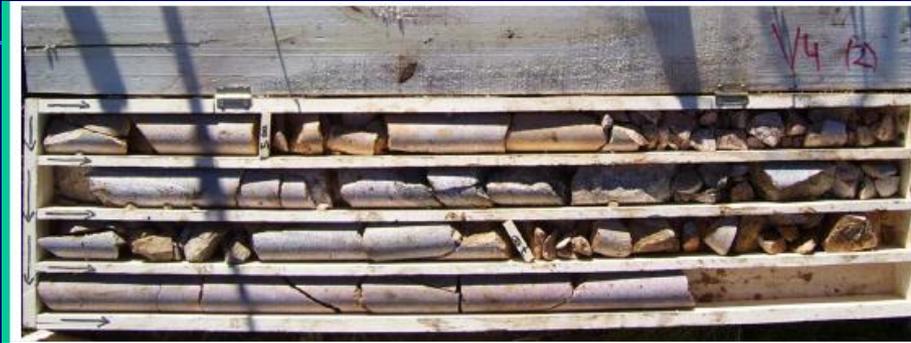
Se deben elaborar perfiles longitudinales y transversales de las obras con la clasificación de los macizos

Clasificación de macizos rocosos de Terzaghi (1946)

- Descripción del macizo rocoso, categorías (para c/u se determina la carga de macizo a tomar por el revestimiento del túnel):

- **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.

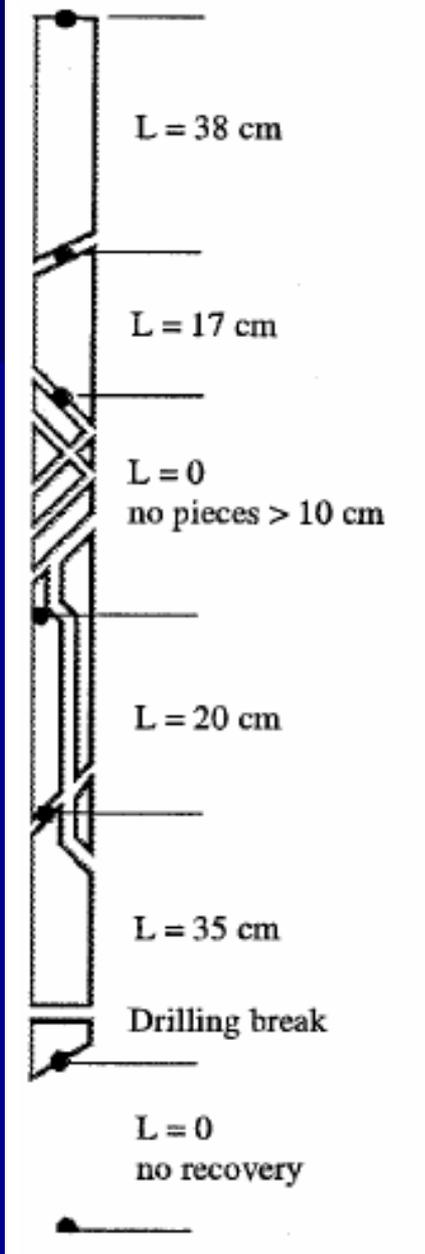
RQD Índice de calidad de la roca (Deere 1967)



- Estimación de calidad del macizo rocoso, a partir de perforaciones rotativas con extracción de testigos. (NW 54mm).

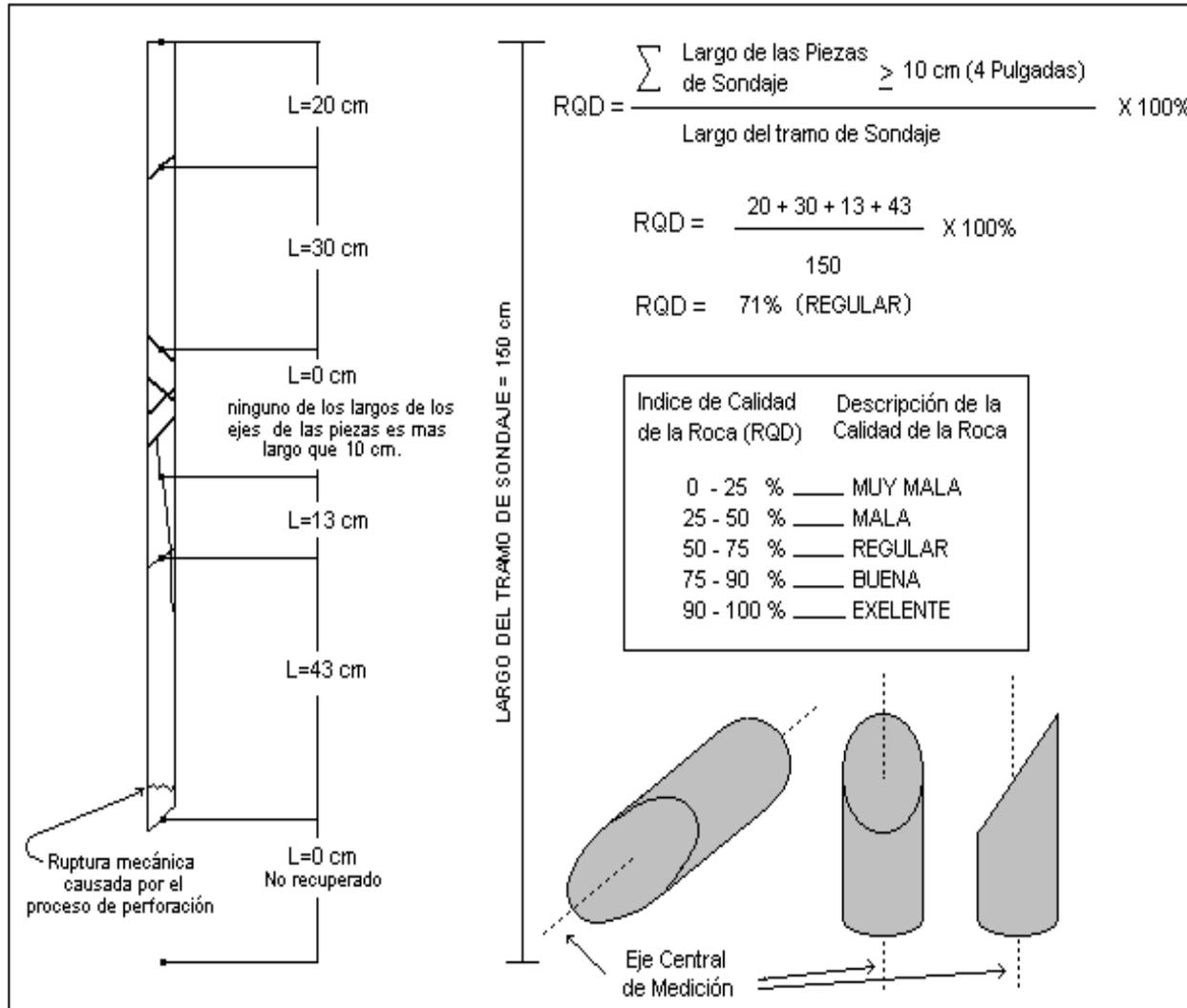
“% de piezas de roca intacta mayores a 10 cm recuperadas por corrida”

- No considerar fisuras generadas por perforación.

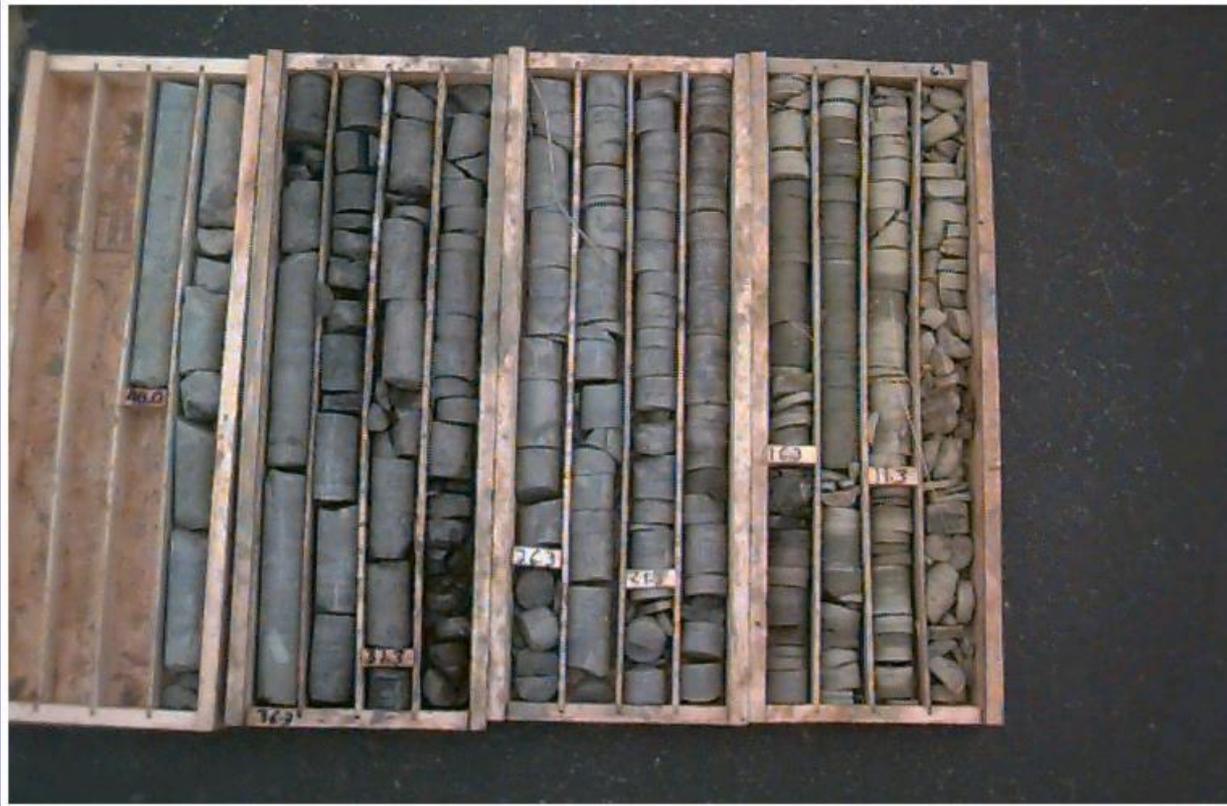


RQD

Procedimiento para la medición y el cálculo del RQD



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





RQD

Caja N°1:
Carreras 0m a 5m



Caja N°2:
Carreras 5 a 8.30m

Caja N°3:
Carreras 8.30 a 12.80m





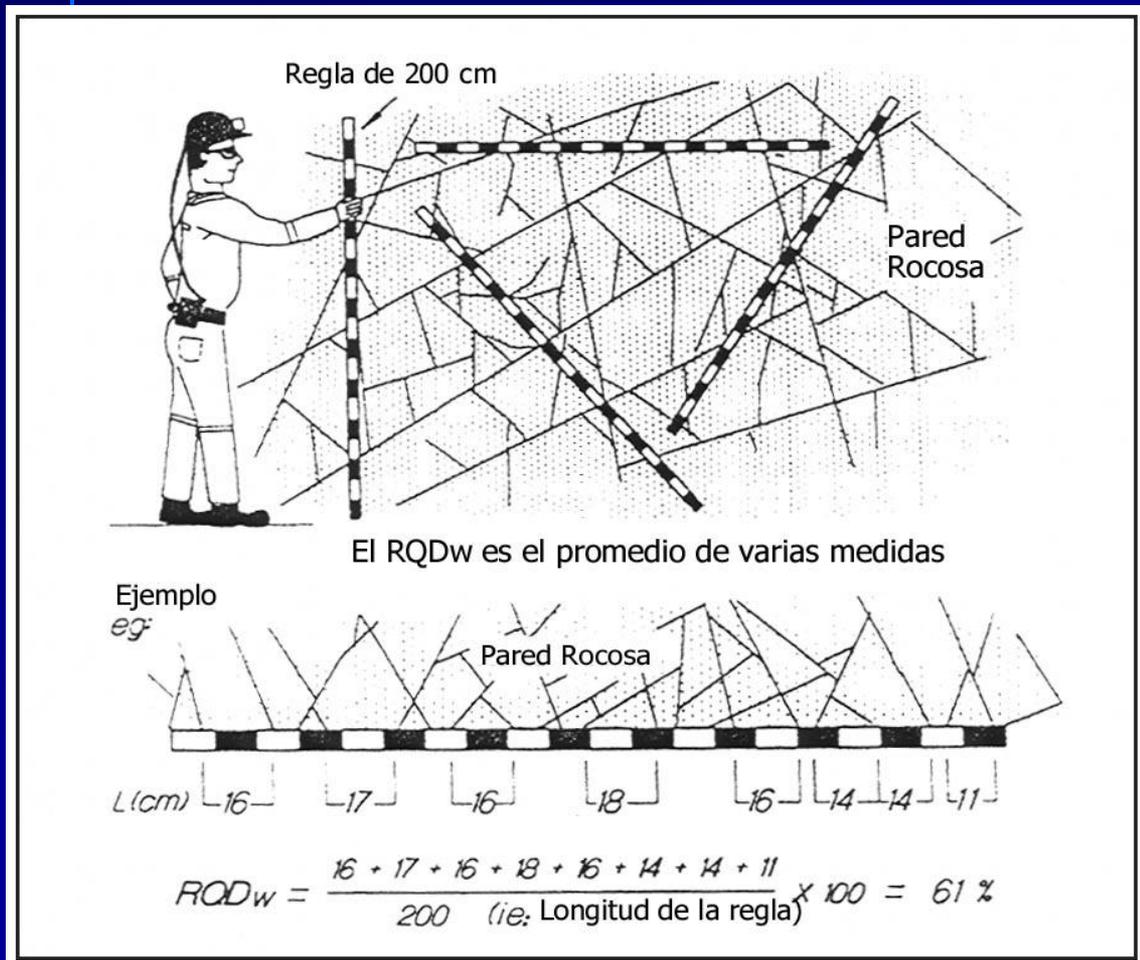


RQD 0



RQD 100

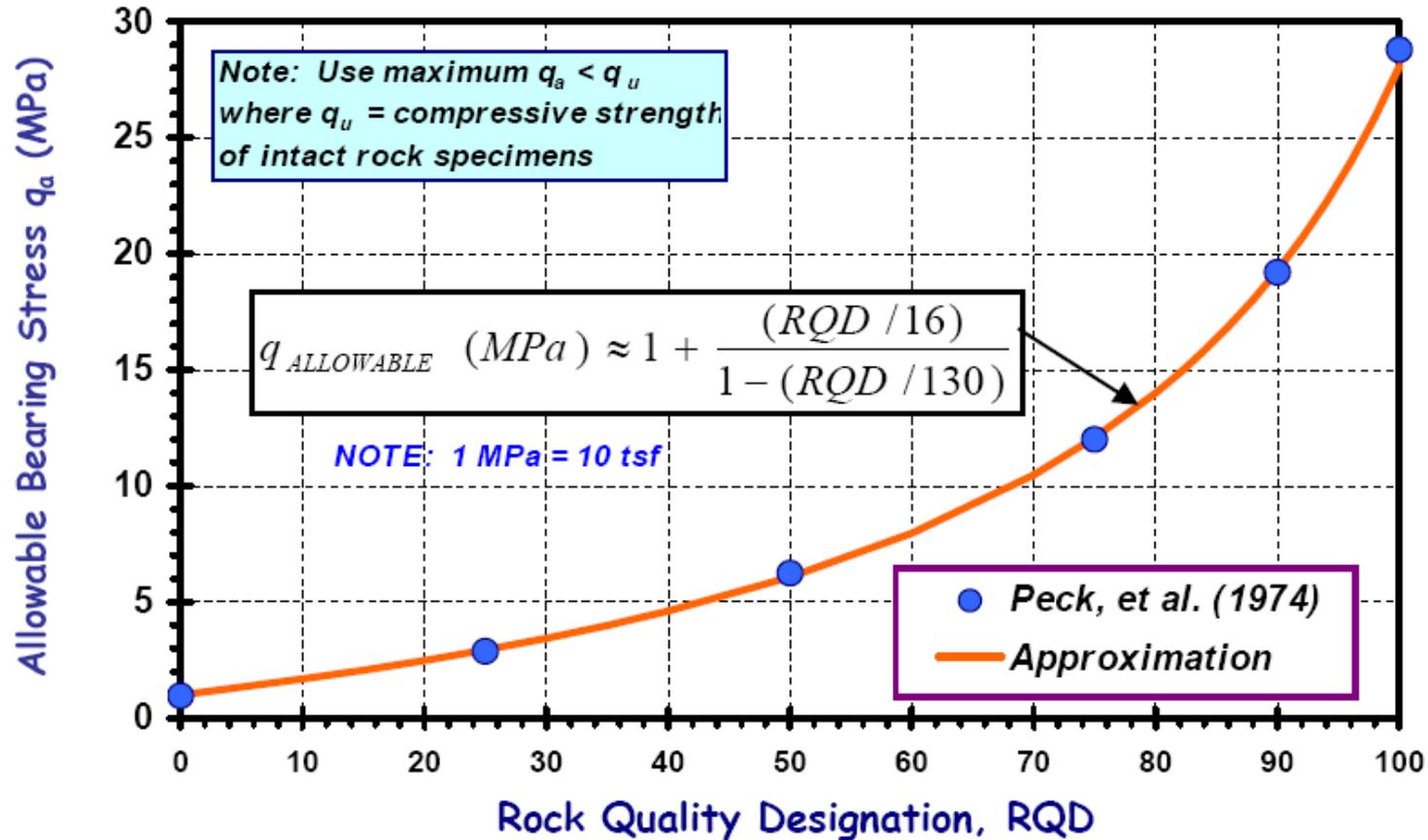
En caso de no disponer de testigos de roca, el RQD se puede estimar del levantamiento de las fracturas expuestas en una tabla o pilar. Se coloca una regla de 2.0 m de longitud en varias direcciones. Es importante no considerar las fracturas frescas creadas con las voladuras o por las concentraciones de esfuerzos



Estimación del RQD a partir de la separación de las fracturas expuestas.

Allowable Bearing Stresses on Rock Masses

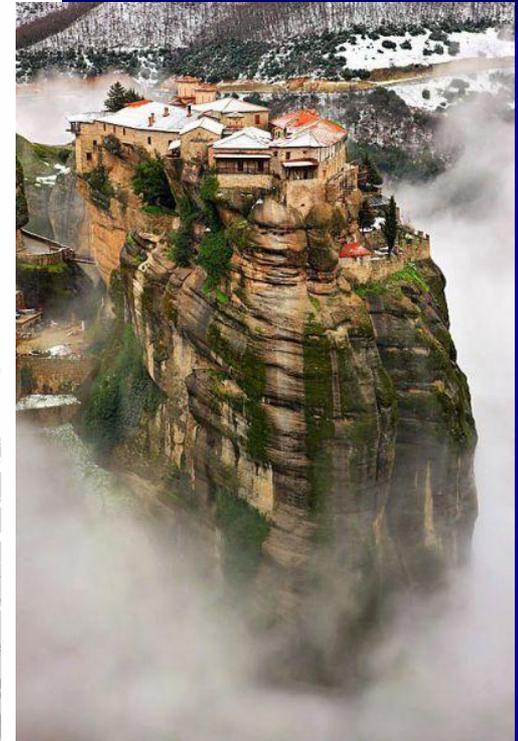
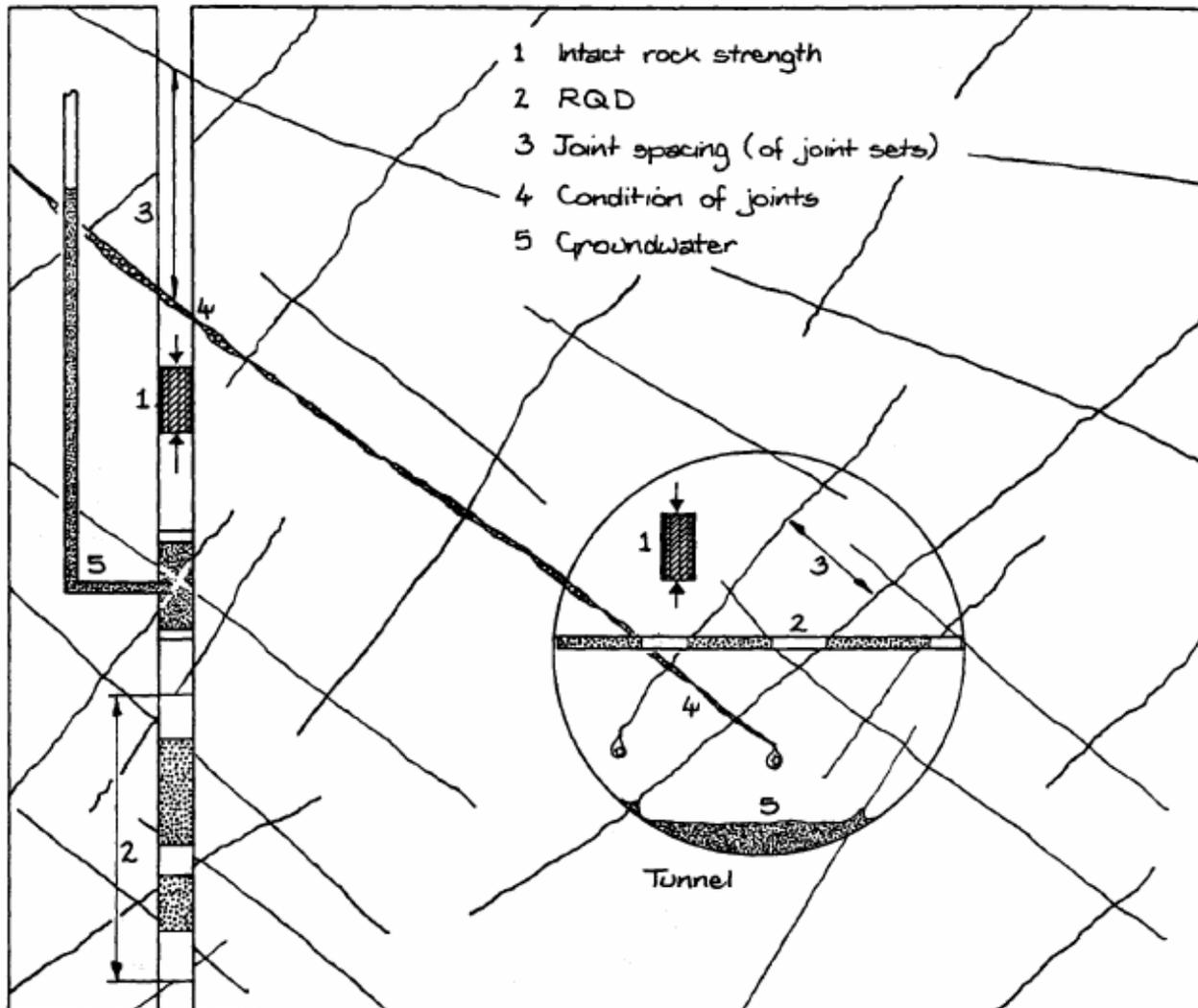
Foundations on Fractured Rock Formations



El RQD da una información muy importante de la calidad de la roca

Clasificación RMR

RMR (Rock Mass Rating System)



Clasificación geomecánica - Rock Mass Rating (RMR) (Bieniawski 1976)

Parámetros base la la clasificación:

- Resistencia a compersión simple de la roca intacta
 - RQD
 - Espaciamiento de discontinuidades
 - Condición de las discontinuidades
 - Condiciones de agua subterránea
 - Orientación de discontinuidades
- OBSV. Desde 1976 hasta 1989 se agregaron otras condiciones de rocas mas débiles y distintas condiciones de túneles, [AJUSTES DE LAS TABLAS DE VALORACIÓN.](#)

		Factor	Rango
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.

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

Basado en la relación anterior y los parámetros que se describen en las páginas siguientes, el Dr. Bieniawski propuso la siguiente clasificación de los macizos rocosos:

Clases de macizos rocosos según el RMR

Clase Macizo Rocoso	Descripción	RMR
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	0-21

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

Determinación del RMR (Bieniawski 1989)

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

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 2: RQD

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

RMR (Bieniawski 1989)

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

Tabla 3:

Espaciamiento discontinuidades

Tabla 4:

Condiciones de discontinuidades

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**

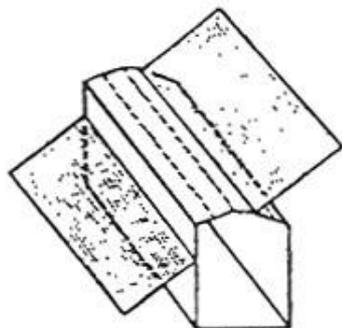
Filtración por cada 10 m de longitud del túnel (L/min)	Presión del agua en la discontinuidad dividido la tensión Principal Mayor	Descripción de las condiciones generales	Puntaje
Nada	0	Completamente seco	15
< 10	0,0 – 0,1	Apenas húmedo	12
10 - 25	0,1 – 0,2	Húmedo	7
25 – 125	0,2 – 0,5	Goteo	4
> 125	>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

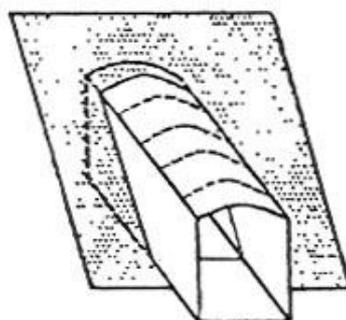
**Tabla 6:
Corrección por
orientación de
discontinuidades**

RUMBO DEL FRACTURAMIENTO CON RELACIÓN A LOS EJES DE LA OBRA

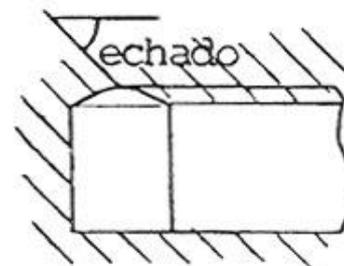
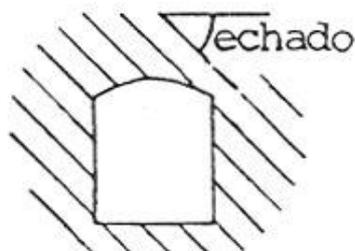
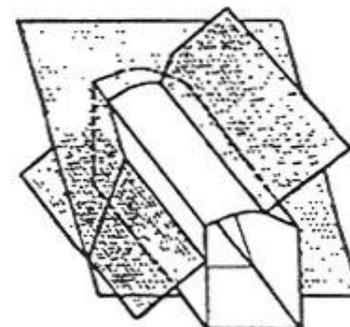
PARALELO



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

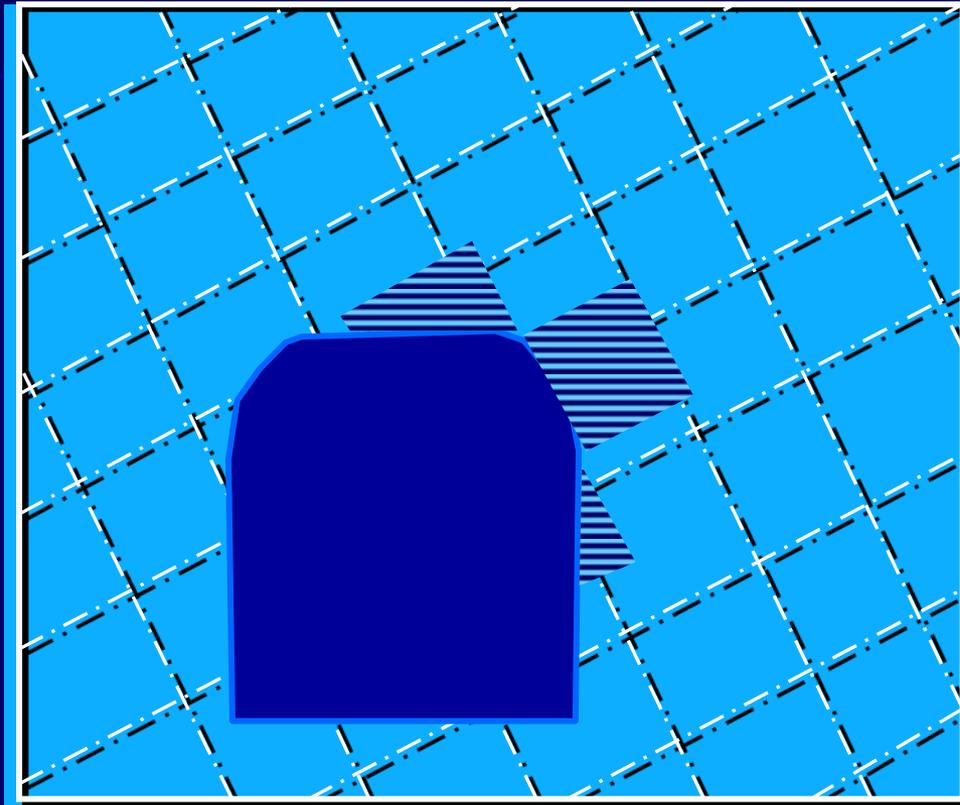
Regular

Regular

Regular

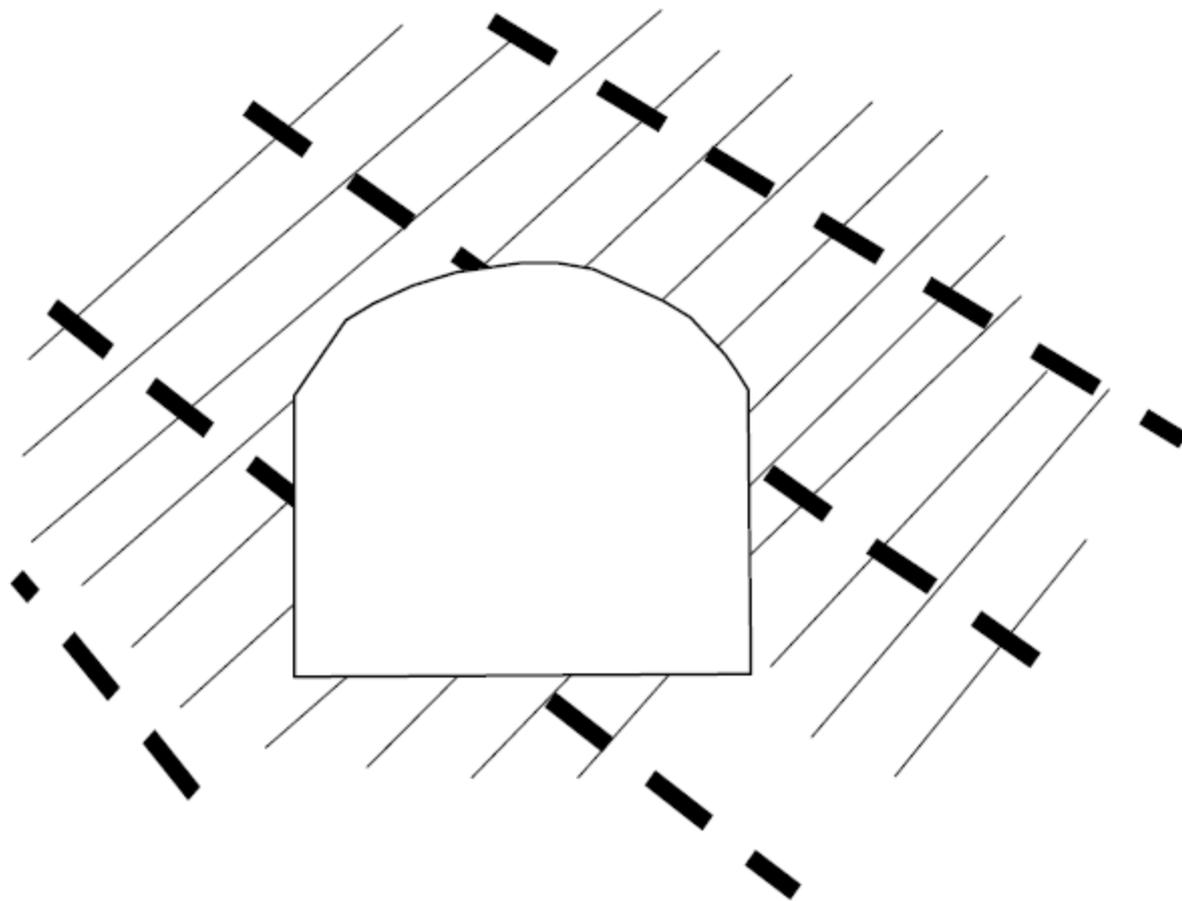
Echado (grados)	Avance a rumbo del echado	Avance contra el el echado	
45 - 90	Muy favorable	Muy favorable	Regular n/a
20 - 45	Regular	Favorable	Desfavorable n/a
0 - 20	Regular	Regular	Regular Regular

Desfavorable

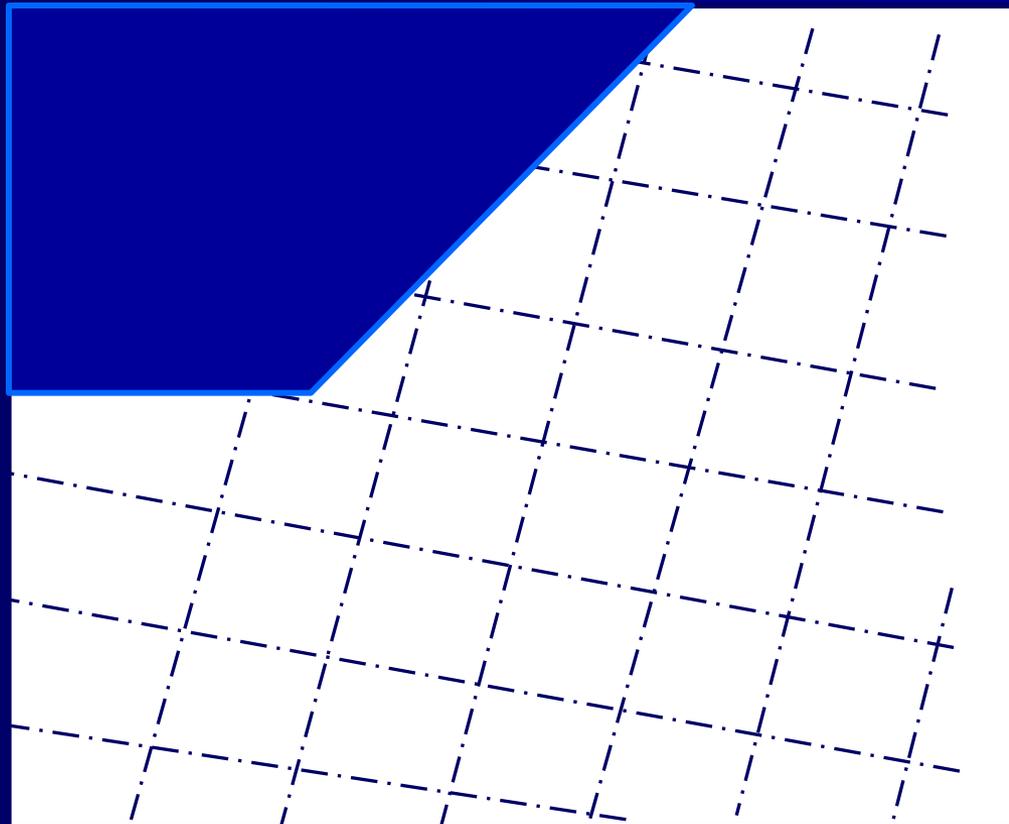


—— discontinuity set with good condition; e.g. high shear strength

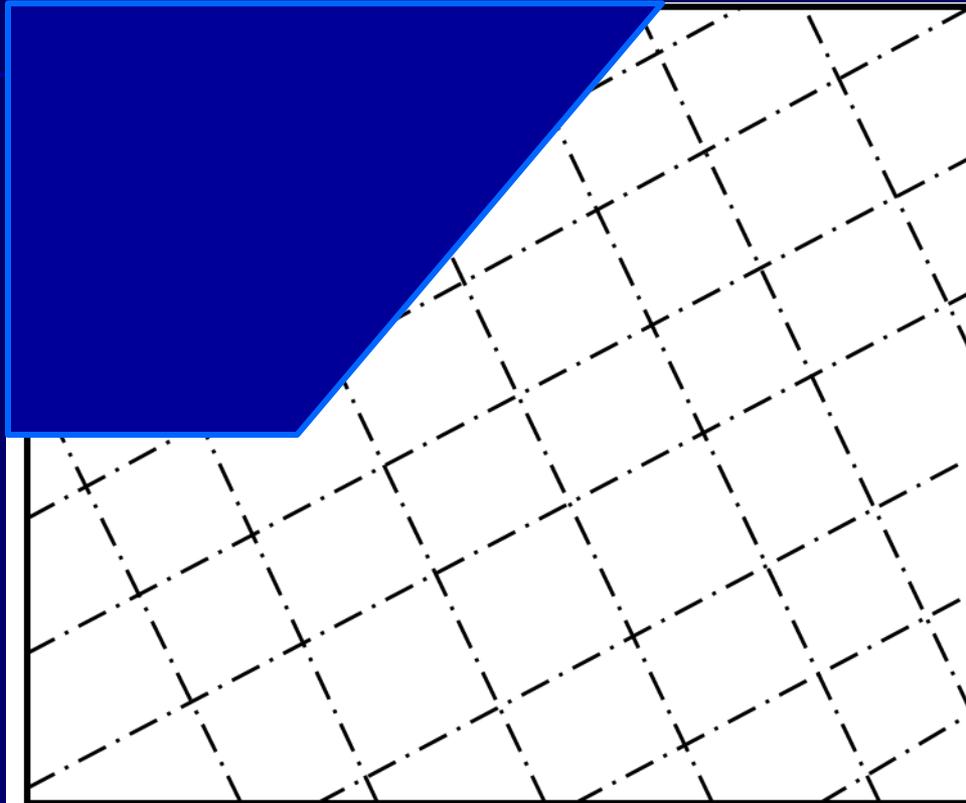
■ ■ discontinuity set with very poor condition; e.g. low shear strength



Orientación favorable



Desfavorable



RMR (Bieniawski 1989)

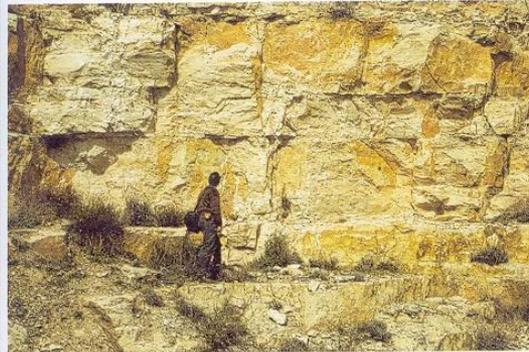
Categorías de la clasificación

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

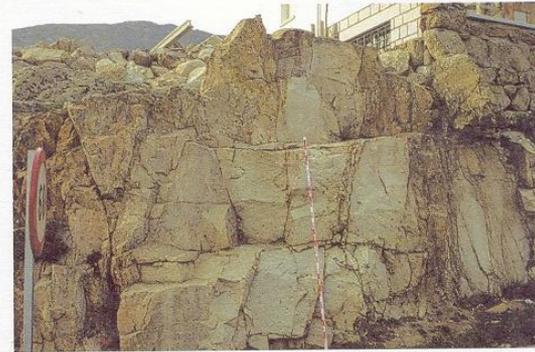
Características resistentes del macizo rocoso

Clase (R.M.R.)	c [Kpa]	ϕ °	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

Macizos de Clase I (RMR = 81 – 100) y Clase II (RMR = 61 – 80)



Dolomías cretácicas. Calidad muy buena. Dos familias de discontinuidades principales.



Granito. Calidad buena. Varias familias de discontinuidades alteradas.

Macizos de Clase III (RMR = 41 – 60)

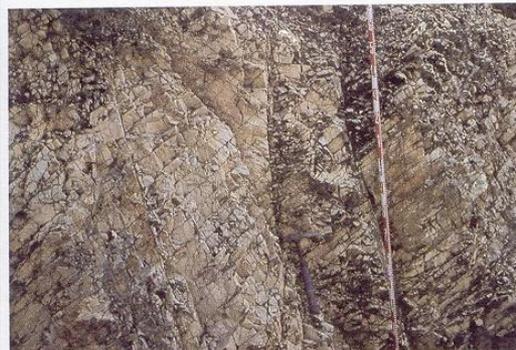


Pizarras ordovícicas. Calidad media. Grado de fracturación alto. Grado de meteorización: III.



Cuarcitas ordovícicas. Calidad media. Grado de fracturación alto. Matriz rocosa muy resistente.

Macizos de Clase IV (RMR = 21 – 40) y Clase V (RMR ≤ 20)

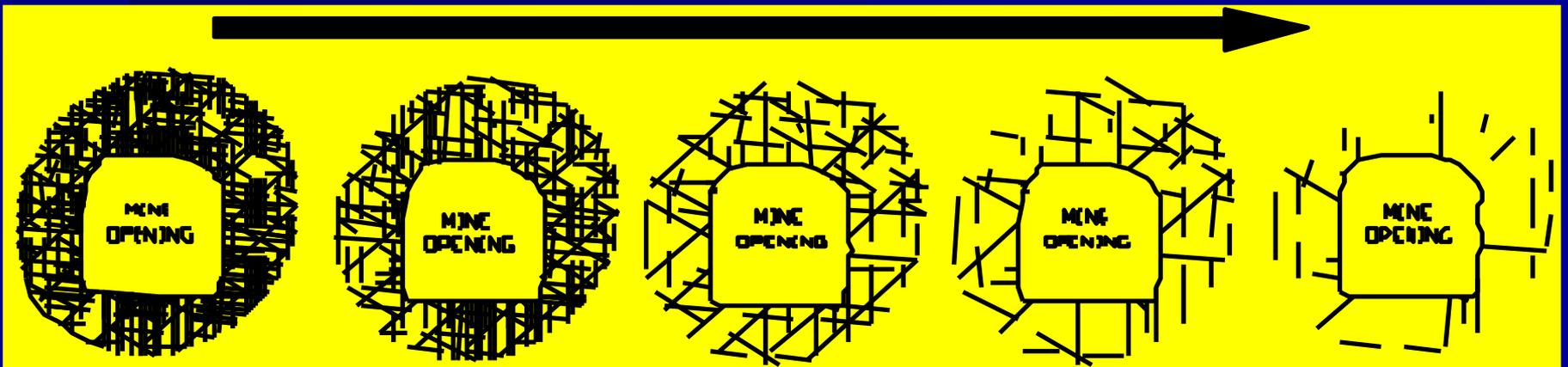
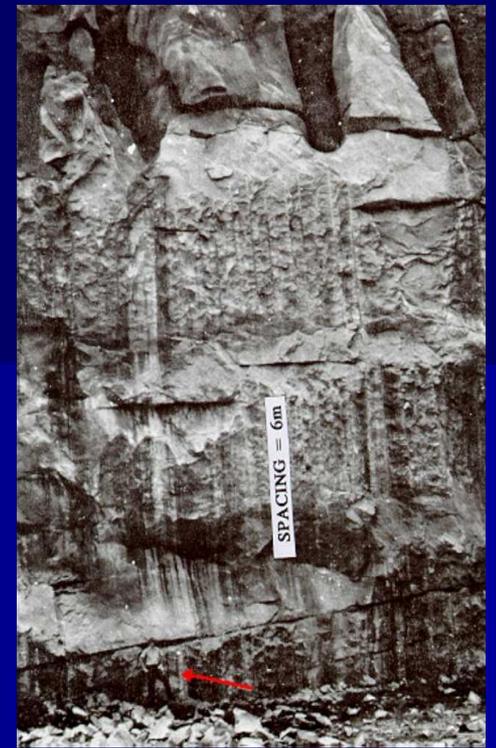
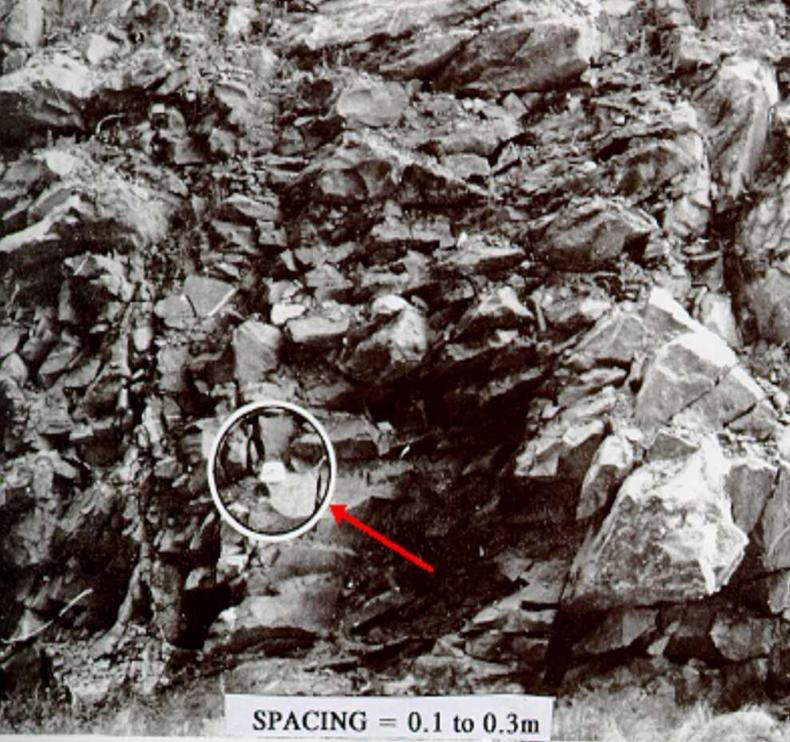


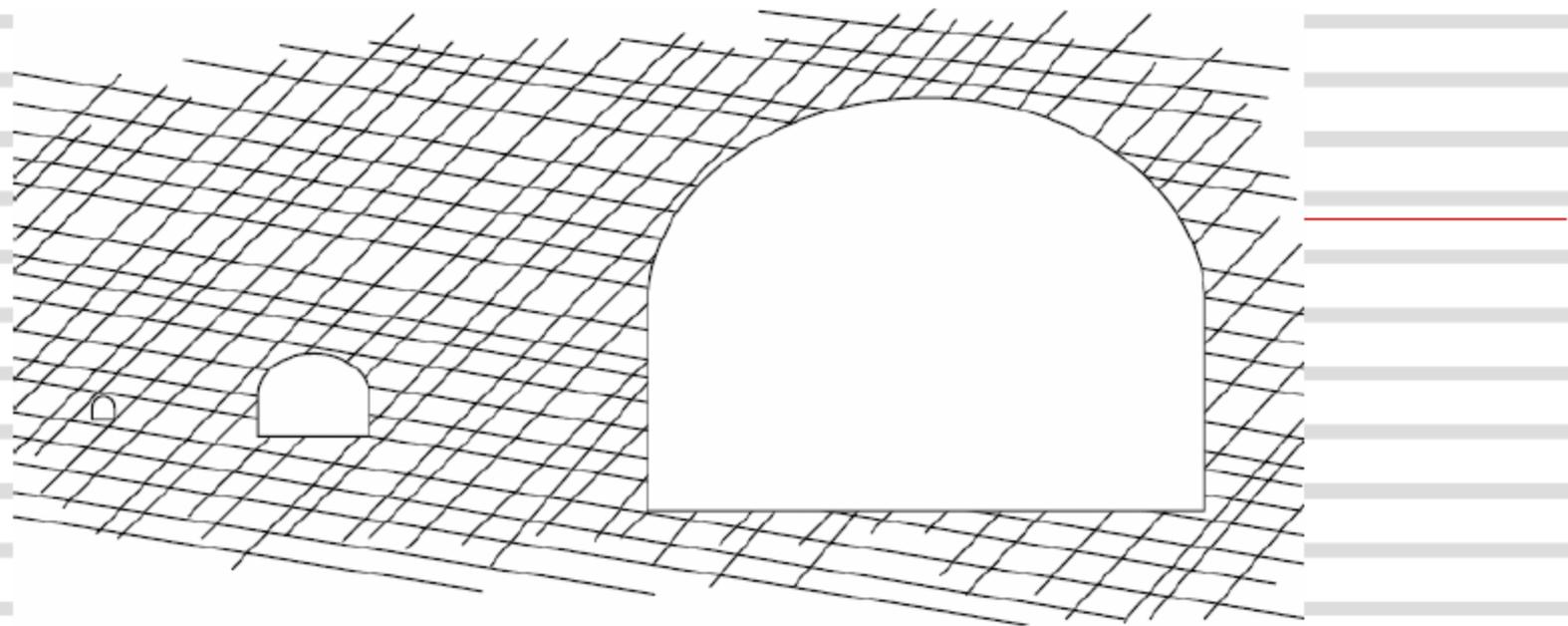
Cuarcitas ordovícicas. Calidad mala. Macizo alterado y brechificado.



Pizarras paleozoicas. Calidad muy mala. Fracturación muy intensa. Grado de meteorización V.

RMR

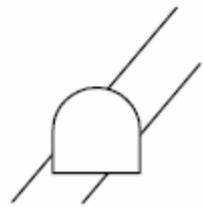




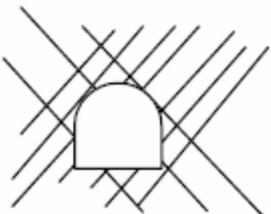
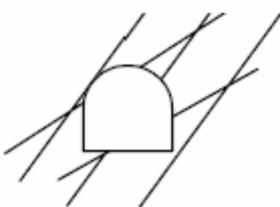
Continuous



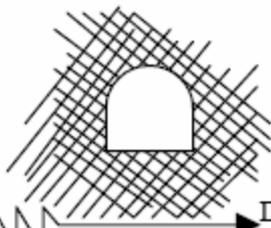
Intact



Discontinuous



Continuous



Closely jointed rock

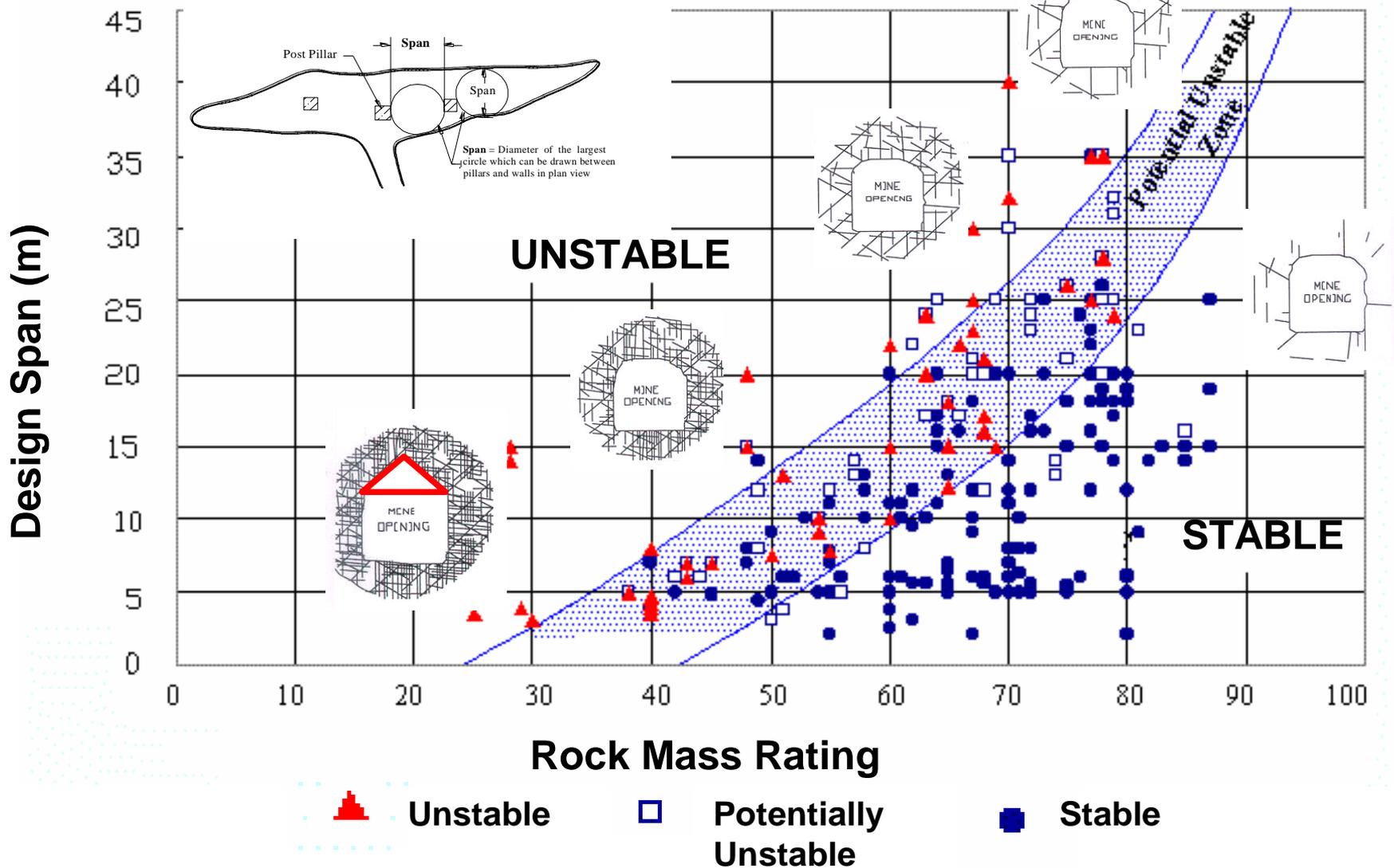
Decreased joint spacing



Consideraciones s/ excavación y sostenimiento para un túnel de 10 m de luz (Clasificación RMR-Bieniawski 1973)

Rock mass class	Excavation	Rock bolts (20 mm diameter, fully grouted)	Shotcrete	Steel sets
I - Very good rock <i>RMR: 81-100</i>	Full face, 3 m advance.	Generally no support required except spot bolting.		
II - Good rock <i>RMR: 61-80</i>	Full face , 1-1.5 m advance. Complete support 20 m from face.	Locally, bolts in crown 3 m long, spaced 2.5 m with occasional wire mesh.	50 mm in crown where required.	None.
III - Fair rock <i>RMR: 41-60</i>	Top heading and bench 1.5-3 m advance in top heading. Commence support after each blast. Complete support 10 m from face.	Systematic bolts 4 m long, spaced 1.5 - 2 m in crown and walls with wire mesh in crown.	50-100 mm in crown and 30 mm in sides.	None.
IV - Poor rock <i>RMR: 21-40</i>	Top heading and bench 1.0-1.5 m advance in top heading. Install support concurrently with excavation, 10 m from face.	Systematic bolts 4-5 m long, spaced 1-1.5 m in crown and walls with wire mesh.	100-150 mm in crown and 100 mm in sides.	Light to medium ribs spaced 1.5 m where required.
V - Very poor rock <i>RMR: < 20</i>	Multiple drifts 0.5-1.5 m advance in top heading. Install support concurrently with excavation. Shotcrete as soon as possible after blasting.	Systematic bolts 5-6 m long, spaced 1-1.5 m in crown and walls with wire mesh. Bolt invert.	150-200 mm in crown, 150 mm in sides, and 50 mm on face.	Medium to heavy ribs spaced 0.75 m with steel lagging and forepoling if required. Close invert.

Updated Span Design Curve (292 obs)



Clasificación sistema Q

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 (nº 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.

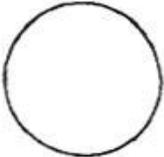
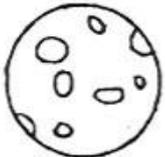
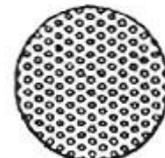
- OBSV.: no se incluye orientación de discontinuidades

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

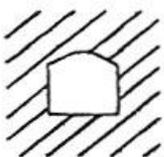
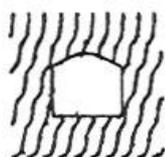
Indice de Rugosidad	Jr	Valor
Diaclasas rellenas		1
<i>Diaclasas limpias:</i>		
<i>Discontinuas</i>		4
Onduladas rugosas		3
Onduladas lisas		2
Planas rugosas		1,5
Planas lisas		1
<i>Lisos o espejos de falla</i>		
Ondulados		1.5
Planos		0.5

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.

		Escala Mayor:			
		Planas	Onduladas	Discontinuas	
A escala menor:	<i>Jr</i> (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

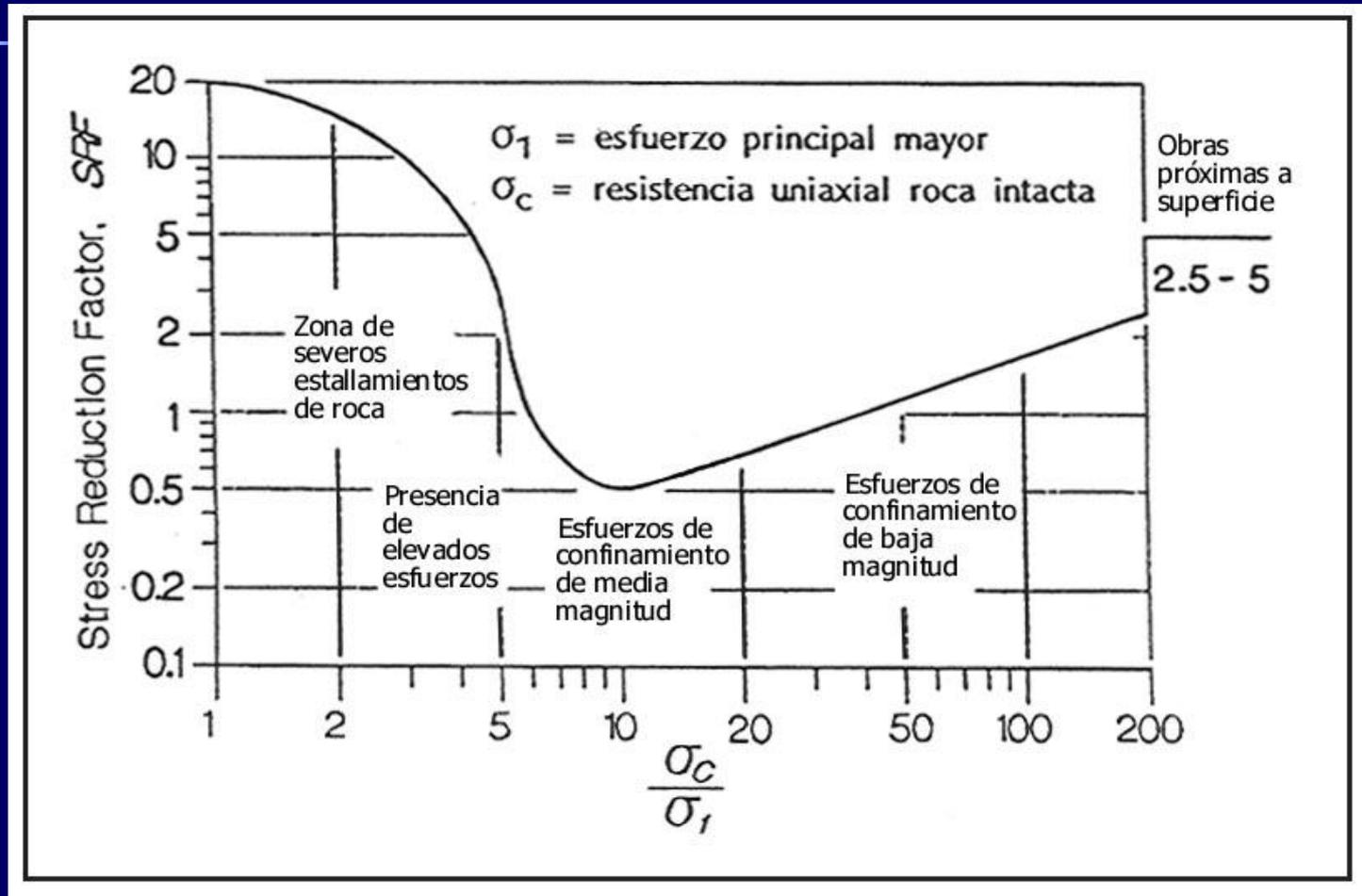
Coeficiente reductor por la presencia de agua	Jw	Presión de agua [Kg/cm ²]	Valor
Excavaciones secas a con < 5 l/min localmente		<1	1
Afluencia media con lavado de algunas diaclasas		1 - 2,5	0,66
Afluencia importante por diaclasas limpias		2,5 - 10	0,5
Idem con lavado de diaclasas		2,5 - 10	0,33
Afluencia 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 débiles aisladas, con arcilla o roca descompuesta (cobertura ≤ 50 m)	5
Idem con cobertura > 50 m.	2,5
Abundantes zonas débiles en roca competente	7,5
Zonas débiles aisladas en roca competente (cobertura ≤ 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 presión de hinchamiento moderada	5 - 10
Con presión 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. σ_c , es la resistencia a compresión uniaxial de roca intacta. σ_1 , es el esfuerzo principal mayor.



Gráfica propuesta para encontrar el valor de SRF en función de σ_c/σ_1 .

Calidades según el sistema Q

Tabla de clasificacion final	(Q)
Excepcionalmente malo	< 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

Dimensión equivalente D_e

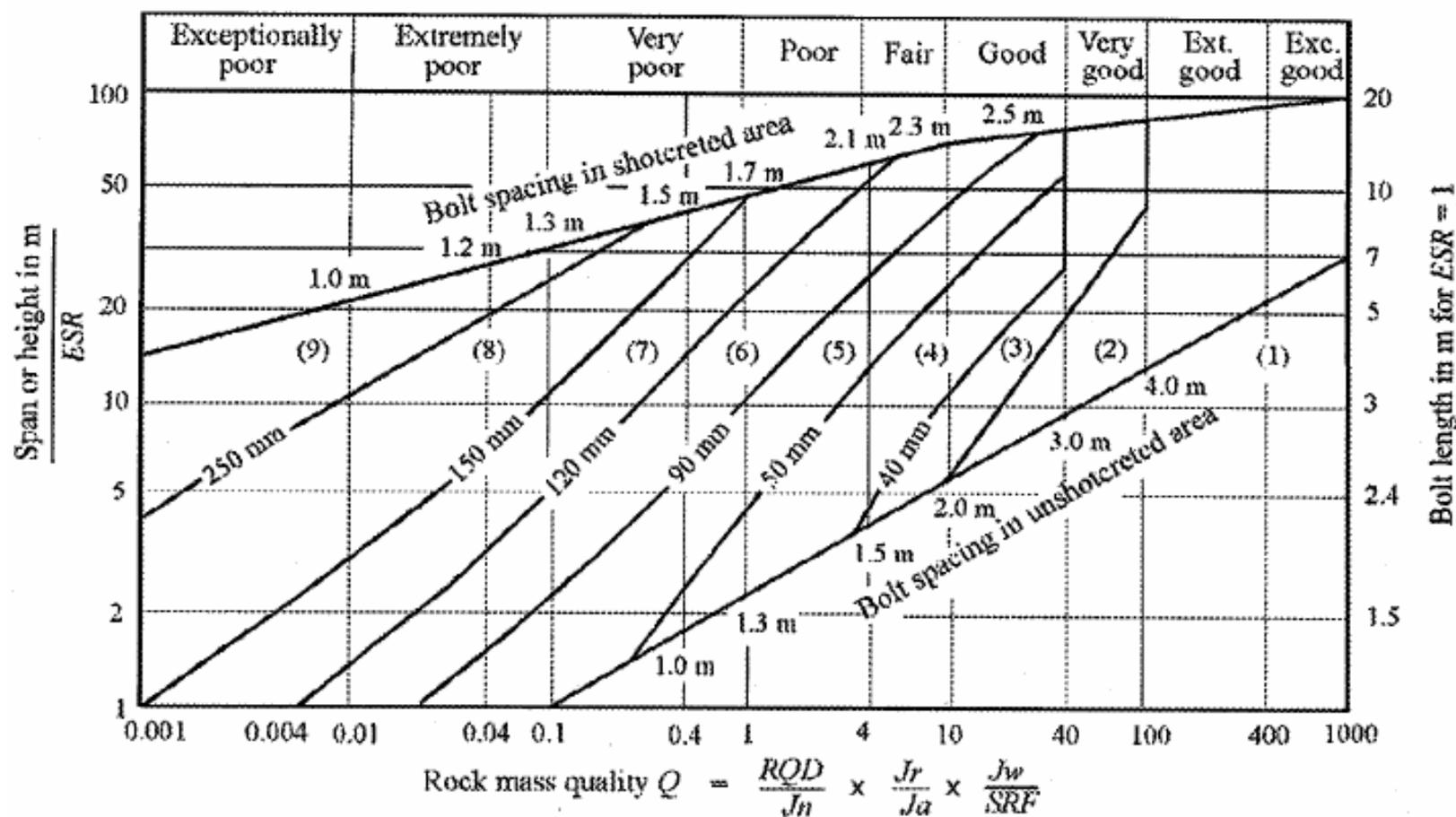
In relating the value of the index Q to the stability and support requirements of underground excavations, Barton et al (1974) defined an additional parameter which they called the *Equivalent Dimension*, D_e , of the excavation. This dimension is obtained by dividing the span, diameter or wall height of the excavation by a quantity called the *Excavation Support Ratio*, *ESR*. Hence:

$$D_e = \frac{\text{Excavation span, diameter or height (m)}}{\text{Excavation Support Ratio } ESR}$$

The value of *ESR* is related to the intended use of the excavation and to the degree of security which is demanded of the support system installed to maintain the stability of the excavation. Barton et al (1974) suggest the following values:

Excavation category	<i>ESR</i>
A Temporary mine openings.	3-5
B Permanent mine openings, water tunnels for hydro power (excluding high pressure penstocks), pilot tunnels, drifts and headings for large excavations.	1.6
C Storage rooms, water treatment plants, minor road and railway tunnels, surge chambers, access tunnels.	1.3
D Power stations, major road and railway tunnels, civil defence chambers, portal intersections.	1.0
E Underground nuclear power stations, railway stations, sports and public facilities,	0.8

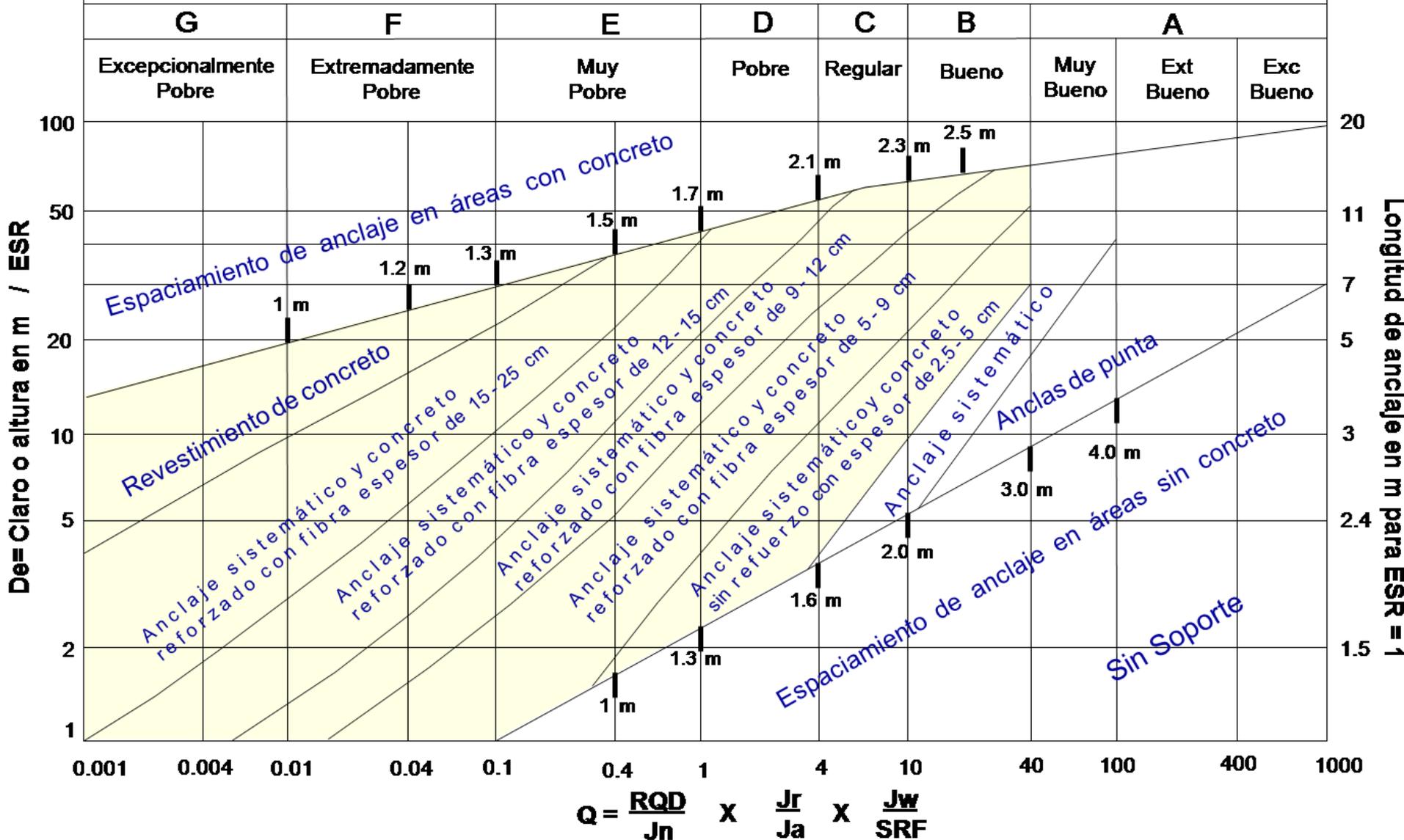
Estimación de las categorías de soporte según el sistema Q



REINFORCEMENT CATEGORIES

- 1) Unsupported
- 2) Spot bolting
- 3) Systematic bolting
- 4) Systematic bolting with 40-100 mm unreinforced shotcrete
- 5) Fibre reinforced shotcrete, 50 - 90 mm, and bolting
- 6) Fibre reinforced shotcrete, 90 - 120 mm, and bolting
- 7) Fibre reinforced shotcrete, 120 - 150 mm, and bolting
- 8) Fibre reinforced shotcrete, > 150 mm, with reinforced ribs of shotcrete and bolting
- 9) Cast concrete lining

CLASIFICACIÓN Q PARA EL MACIZO DE ROCA



Espaciamiento de anclaje en áreas con concreto

Revestimiento de concreto

Anclaje sistemático y concreto reforzado con fibra

Anclaje sistemático y concreto reforzado con fibra espesor de 15-25 cm

Anclaje sistemático y concreto reforzado con fibra espesor de 12-15 cm

Anclaje sistemático y concreto reforzado con fibra espesor de 9-12 cm

Anclaje sistemático y concreto sin refuerzo con espesor de 5-9 cm

Espaciamiento de anclaje en áreas sin concreto

Anclaje sistemático

Anclas de punta

Sin Soporte

Ejemplo

Túnel vial, D=12.90m.

$$D_e = 12.90 / 1.3 = 9.92\text{m}$$

Macizo rocoso:

$$Q \text{ e/ } 0.09 \text{ y } 0.67$$

Tabla 2 - INDICE DE CALIDAD EN TUNELES (Instituto de Geotecnia de Noruega)

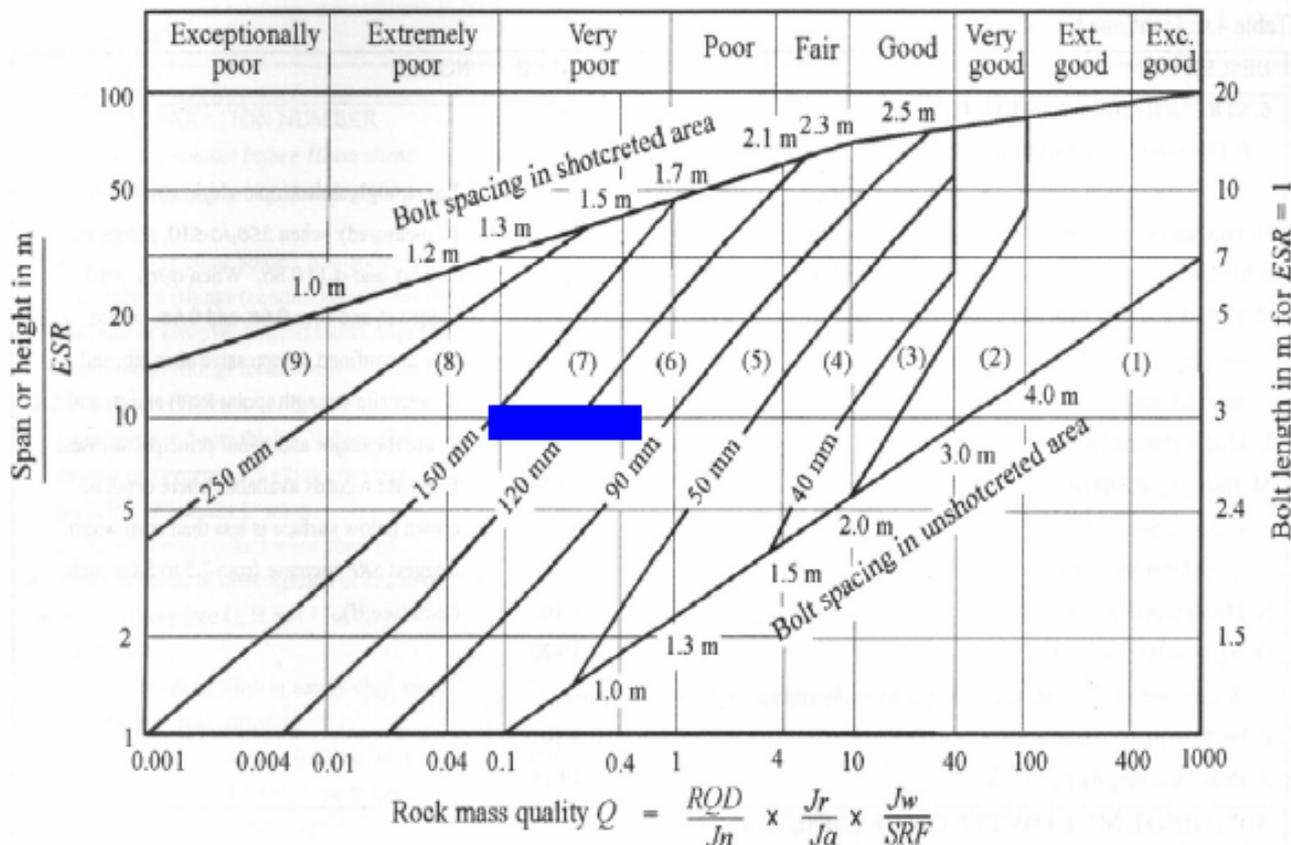
INDICE Q de BARTON

1	INDICE DE CALIDAD DE ROCA	RQD
2	SISTEMAS DE FISURAS	Jn
3	RUGOSIDAD DE LAS FISURAS	Jr
4	ALTERACION DE LAS JUNTAS	Ja
5	FACTOR DE REDUCCION POR AGUA EN LAS FISURAS	Jw
6	FACTOR DE REDUCCION DE ESFUERZOS	SRF

	Exterior	Intermedio	Interior
10		25	25
15		15	15
2		3	2
3		2	2
1		1	1
5		5	2.5

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

Q =	0.09	0.50	0.67
Roca de calidad	MUY MALA	MUY MALA	MUY MALA



Bolt length in m for ESR = 1

• Sostenimiento:

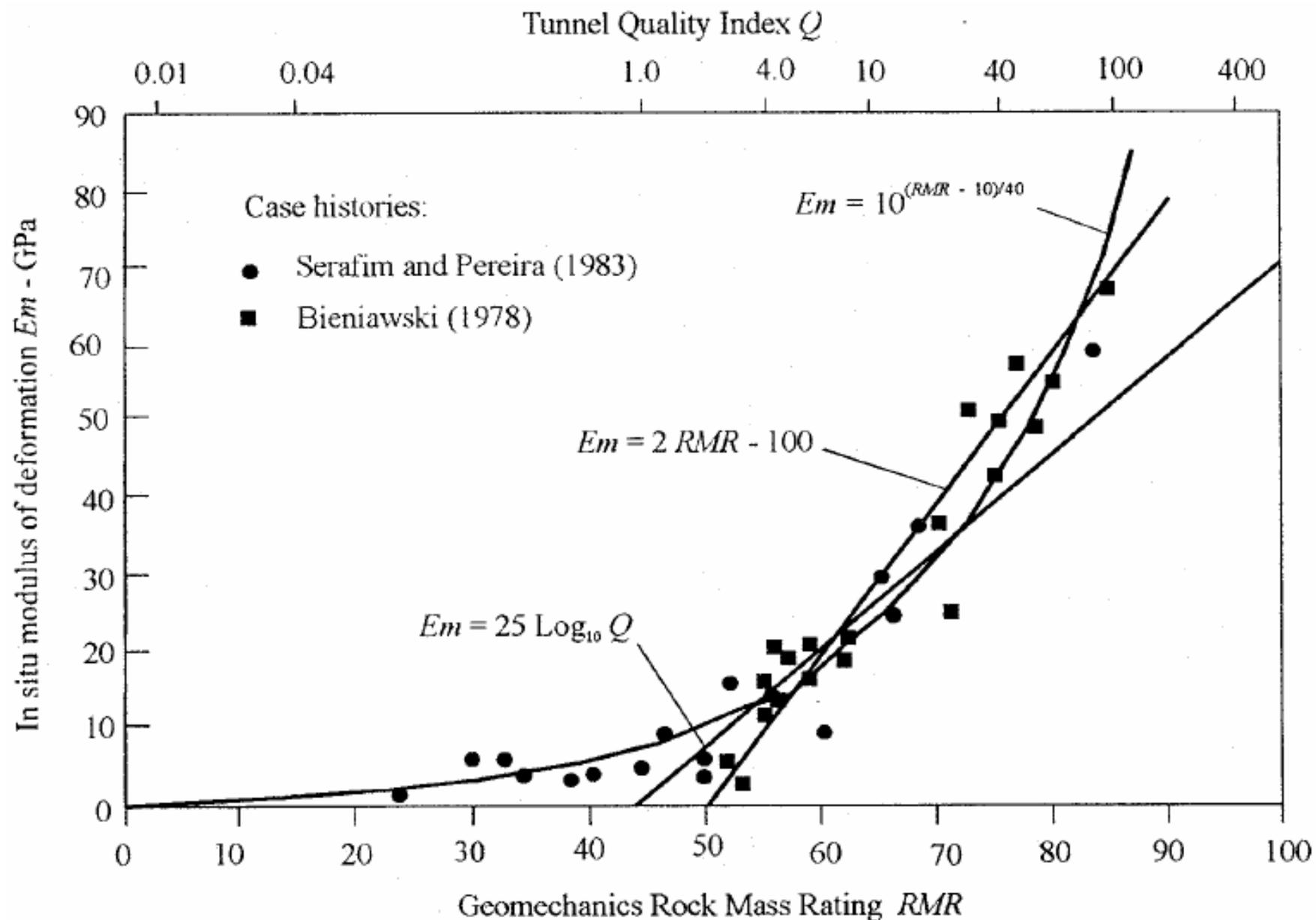
Gunita: espesor medio 12cm, con malla.

Anclajes: en malla, separación 1.50m.

Sistemas de clasificación - Comentarios

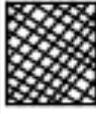
- RMR y Q son los sistemas mas ampliamente usados.
- Ambos incorporan parámetros “ingenieriles” geométricos, geológicos, y se obtiene un “VALOR” de la calidad del macizo rocoso.
- Muchos de los parámetros son subjetivos y requieren experiencia para juzgarlos
- En lo posible usar mas de un sistema de clasificación y compararlos. Existen correlaciones ej. $RMR = 9 \log Q + 44$

E_m a partir de la clasificación



Clasificación

GSI

GSI INDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA PARA ROCAS DIACLASADAS		Condiciones de la superficie de las diaclasas				
<p>Los valores promedio de GSI son estimados de la litología, estructura y condiciones superficiales de las discontinuidades. No trate de ser tan preciso. Estimar un rango de 33 a 37, es una medida más real que establecer GSI=35. Observe que la tabla no aplica a fallas controladas estructuralmente. Donde están presentes planos estructurales débiles con una orientación desfavorable con respecto a la cara de la excavación, éstos van a dominar el comportamiento de la masa de roca. La resistencia al cortante de la superficie en rocas que son susceptibles al deterioro por cambios en el contenido de humedad, se reducirá si hay presencia de agua. Cuando se está trabajando con rocas en las categorías regular a muy pobre, puede hacerse un desplazamiento hacia la derecha de la tabla para condiciones de humedad. El manejo de presiones de poros se realiza con un análisis de esfuerzos efectivos.</p>		MUY BUENAS Superficies muy ásperas, frescas, sin meteorizar.	BUENAS Ásperas, ligeramente meteorizadas, con manchas de oxidación.	REGULARES Superficies suaves, moderadamente meteorizadas y alteradas.	POBRES Superficies azaladas ("Slickensided") muy meteorizadas con cubierta compacta de relleno o fragmentos angulares.	MUY POBRES Superficies muy meteorizadas con cubierta o relleno de arcilla blanda cubriendo o llenando espacios.
		ESTRUCTURA		Disminución de la calidad de la superficie de las diaclasas →		
	INTACTA O MASIVA: Especímenes in situ de roca intacta o masiva con muy pocas discontinuidades ampliamente espaciadas.	Disminución del entrelace de los pedazos de roca ↓	90	80	N/A	N/A
	FRACTURADA ("Blocky"): Masas de roca bien entrelazadas, inalteradas, constituidas por bloques cúbicos formados por tres conjuntos de diaclasas que se intersectan.		70	60		
	MUY FRACTURADA (Very blocky): Masa entrelazada, parcialmente alterada constituida por bloques angulares de múltiples caras, formados por 4 o más conjuntos de diaclasas que se intersectan.		50	40		
	FRACTURADA/ALTERADA/CON-VETAS. Plegada con bloques angulares formados por muchos conjuntos de discontinuidades que se intersectan. Persistencia de los planos de estratificación o esquistosidad.		30	20		
	DESINTEGRADA: Masa de roca pobremente entrelazada, fuertemente partida, con una mezcla de pedazos de roca redondeados y angulares.		10			
	LAMINADA/CIZALLADA: Ausencia de bloques debido al espaciamiento cercano entre los planos débiles de esquistosidad o de cizallamiento.		N/A	N/A		

Parámetros de Hoek Brown

GENERALISED HOEK-BROWN CRITERION		SURFACE CONDITION				
$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c \left(m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_c} + s \right)^a$ <p> σ_1' = major principal effective stress at failure σ_3' = minor principal effective stress at failure σ_c = uniaxial compressive strength of <i>intact</i> pieces of rock m_b, s and a are constants which depend on the composition, structure and surface conditions of the rock mass </p>		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				
	<p>BLOCKY -very well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three orthogonal discontinuity sets</p>	m_b/m_s 0.60 0.190 a 0.5 E_r 75,000 ν 0.2 GSI 85	m_b/m_s 0.40 0.062 a 0.5 E_r 40,000 ν 0.2 GSI 75	m_b/m_s 0.26 0.015 a 0.5 E_r 20,000 ν 0.25 GSI 62	m_b/m_s 0.16 0.003 a 0.5 E_r 9,000 ν 0.25 GSI 48	m_b/m_s 0.08 0.0004 a 0.5 E_r 3,000 ν 0.25 GSI 34
	<p>VERY BLOCKY-interlocked, partially disturbed rock mass with multifaceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets</p>	m_b/m_s 0.40 0.062 a 0.5 E_r 40,000 ν 0.2 GSI 75	m_b/m_s 0.29 0.021 a 0.5 E_r 24,000 ν 0.25 GSI 65	m_b/m_s 0.16 0.003 a 0.5 E_r 9,000 ν 0.25 GSI 48	m_b/m_s 0.11 0.001 a 0.5 E_r 5,000 ν 0.25 GSI 38	m_b/m_s 0.07 0 a 0.53 E_r 2,500 ν 0.3 GSI 25
	<p>BLOCKY/SEAMY-folded and faulted with many intersecting discontinuities forming angular blocks</p>	m_b/m_s 0.24 0.012 a 0.5 E_r 18,000 ν 0.25 GSI 60	m_b/m_s 0.17 0.004 a 0.5 E_r 10,000 ν 0.25 GSI 50	m_b/m_s 0.12 0.001 a 0.5 E_r 6,000 ν 0.25 GSI 40	m_b/m_s 0.08 0 a 0.5 E_r 3,000 ν 0.3 GSI 30	m_b/m_s 0.06 0 a 0.55 E_r 2,000 ν 0.3 GSI 20
	<p>CRUSHED-poorly interlocked, heavily broken rock mass with a mixture of angular and rounded blocks</p>	m_b/m_s 0.17 0.004 a 0.5 E_r 10,000 ν 0.25 GSI 50	m_b/m_s 0.12 0.001 a 0.5 E_r 6,000 ν 0.25 GSI 40	m_b/m_s 0.08 0 a 0.5 E_r 3,000 ν 0.3 GSI 30	m_b/m_s 0.06 0 a 0.55 E_r 2,000 ν 0.3 GSI 20	m_b/m_s 0.04 0 a 0.60 E_r 1,000 ν 0.3 GSI 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

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

$m_i = fn$ (tipo de roca)

Ver tabla de valores típicos

Tipo de roca	Clase	Textura			
		C	M	F	V F
Sedimentaria	Clastica	Conglomerado	Arenisca	Limolita	Lodolita
m_i		22	19	9	4

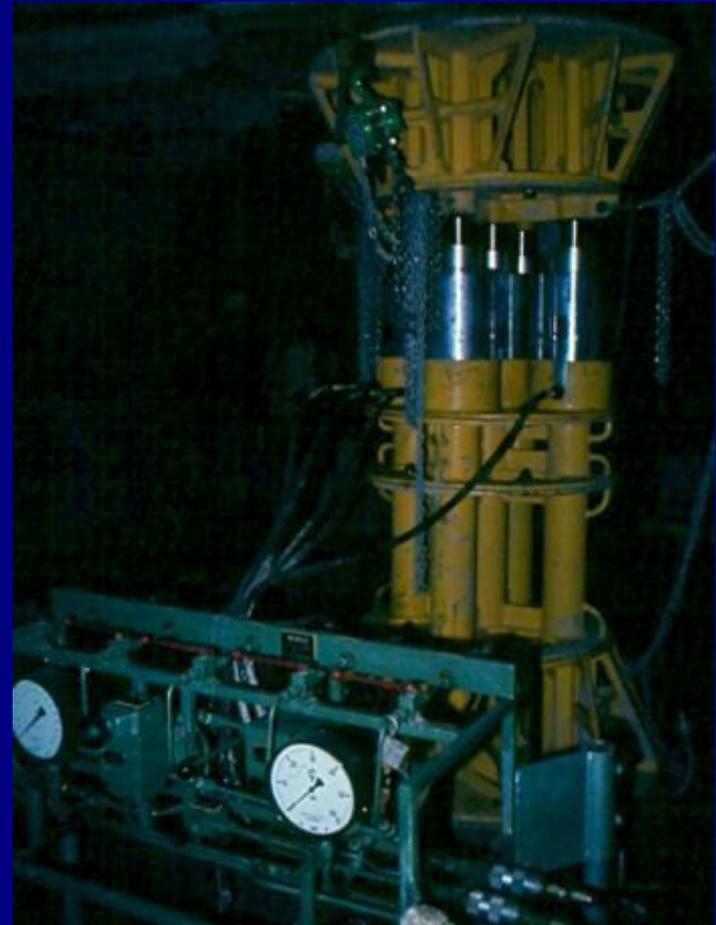
Tipo de roca	Clase	Texture			
		C	M	F	V F
Metamórfica	No Foliada	Marmol	Chert	Quarcita	
m_i		9	19	24	

Tipo de roca	Clase	Textura			
		C	M	F	V F
Metamórfica	Foliada*	Neiss	Esquisto	Folita	Pizarr a
m_i		33	10	10	9

*Ensayo normal a la foliación:

El valor de m_i será muy diferente si la falla ocurre a lo largo de la foliación.

Ensayo de placas

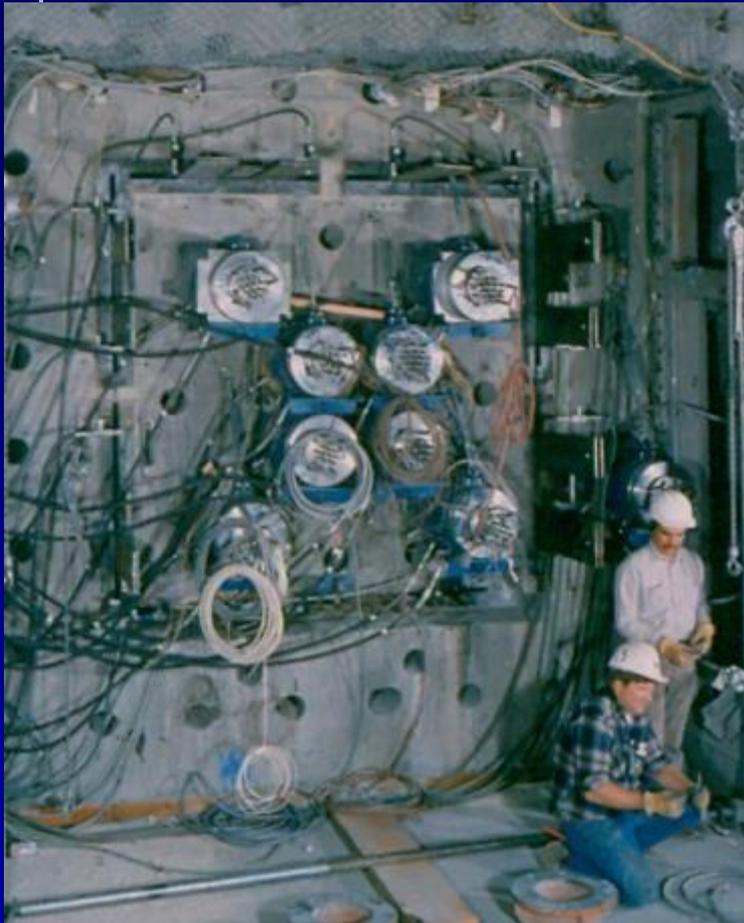


Ensayo LFJ

Large
Flat
Jack



Ensayos de bloque

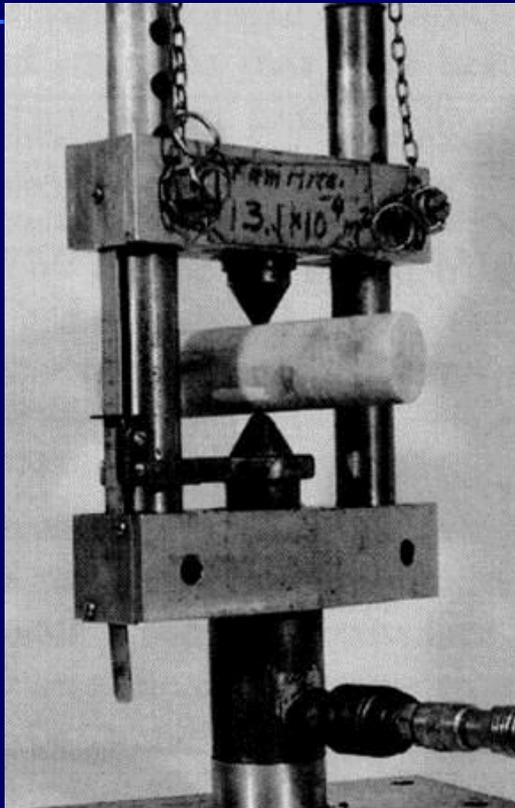


Ensayos de resistencia en el laboratorio

La resistencia del material de roca intacta puede obtenerse en el laboratorio por medio de la prueba de compresión uniaxial, o bien, por el índice de carga.



Prueba puntual sobre una muestra de roca de más o menos 42 mm de diámetro.



Ensayo de carga puntual

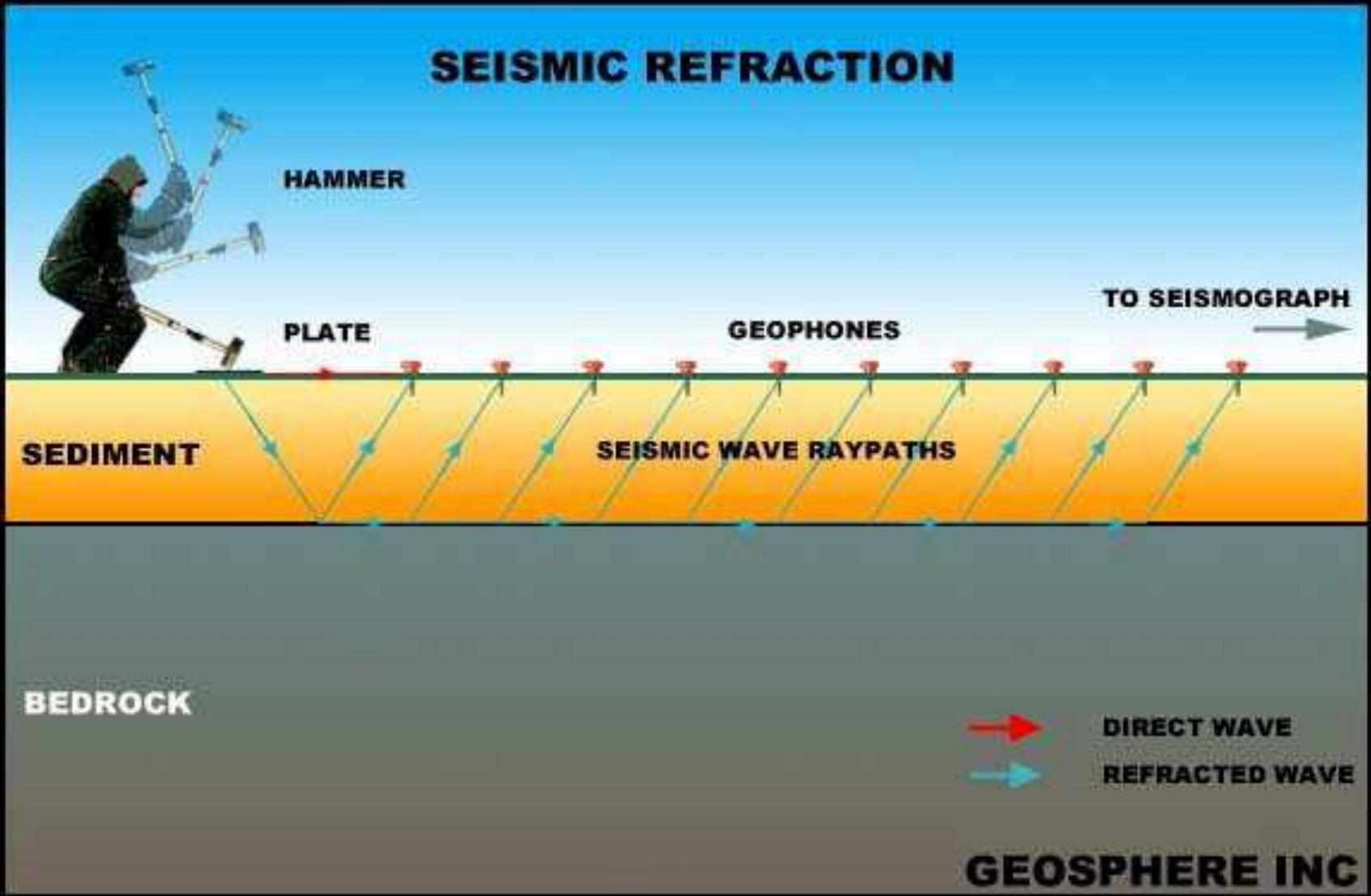


Compresión inconfiada, q_u

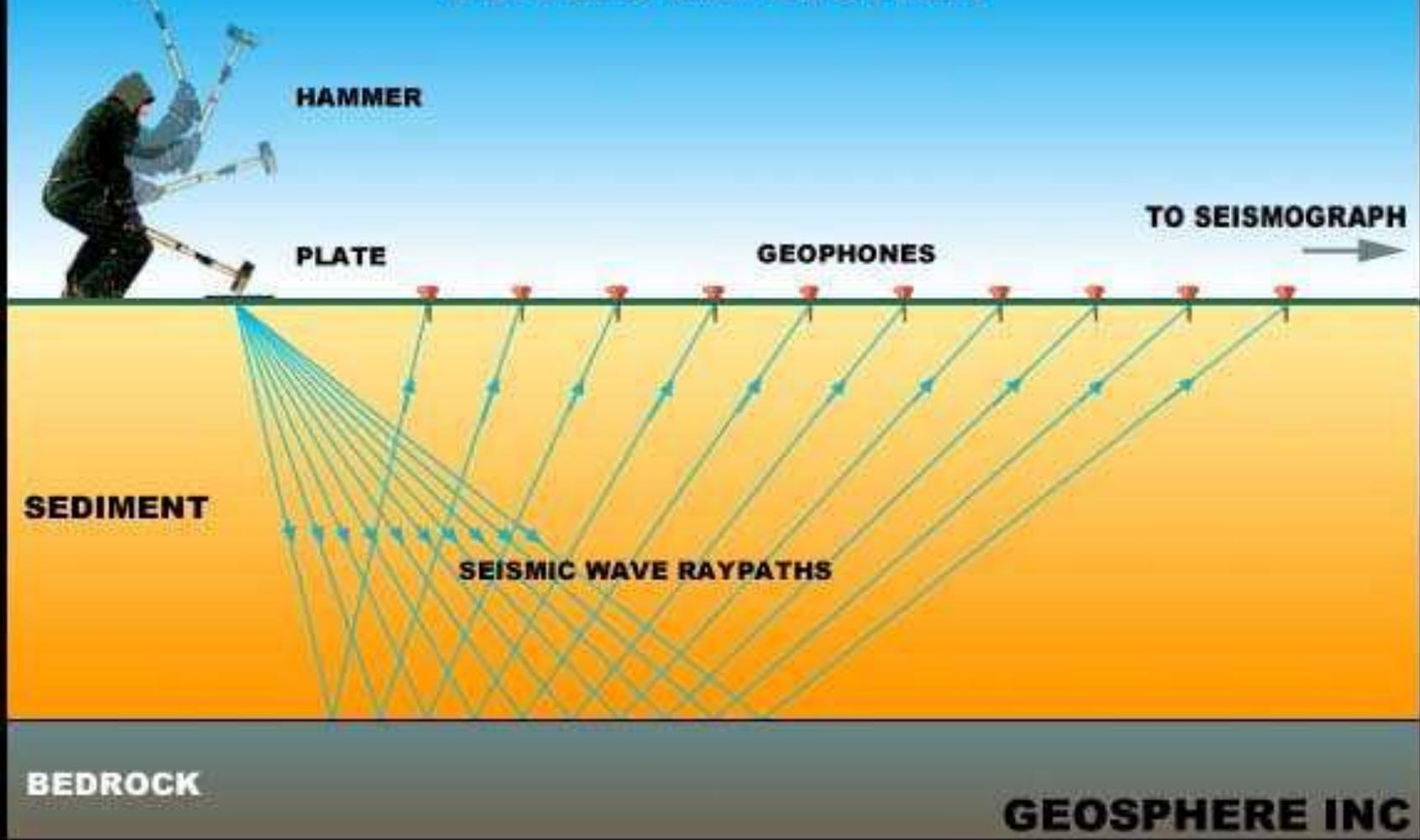
Valores típicos
 $q_u = 1500 - 50000 \text{ psi}$



Ensayos geofísicos



SEISMIC REFLECTION



GEOSPHERE INC

RESISTIVITY SURVEY USING THE WENNER ARRAY

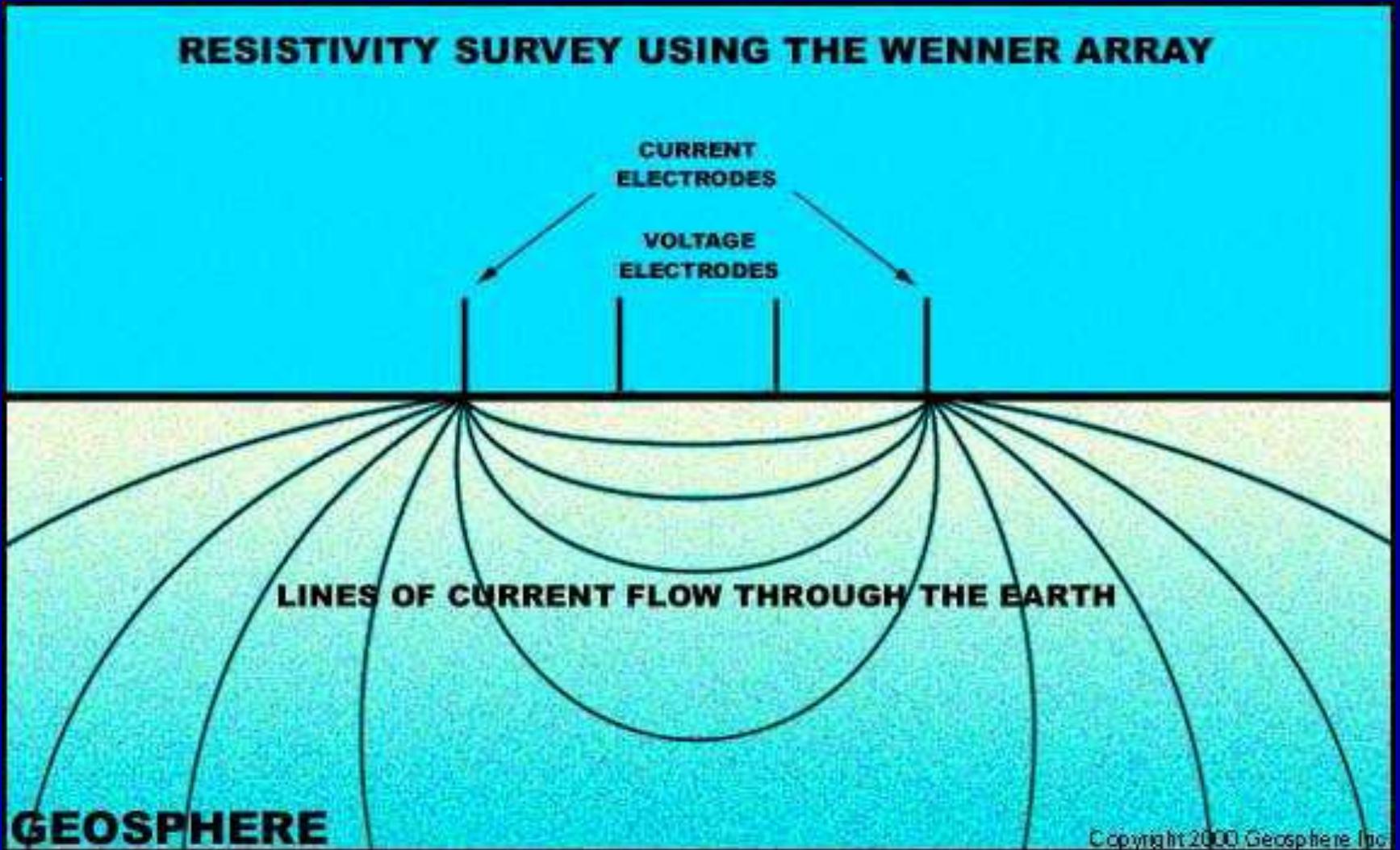
CURRENT
ELECTRODES

VOLTAGE
ELECTRODES

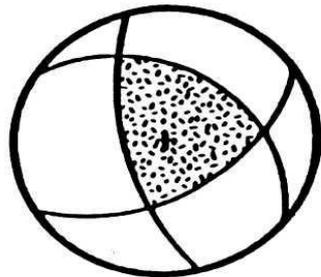
LINES OF CURRENT FLOW THROUGH THE EARTH

GEOSPHERE

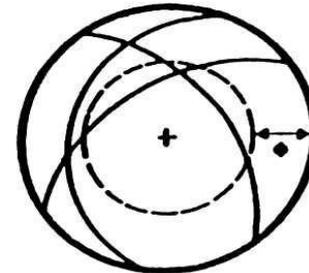
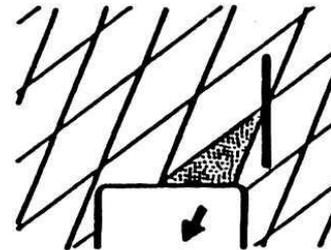
Copyright 2000 Geosphere Inc.



Toda la información obtenida permite analizar el comportamiento de los Túneles



Conditions for gravity falls of roof wedges.



Conditions for sliding failure of roof wedges.

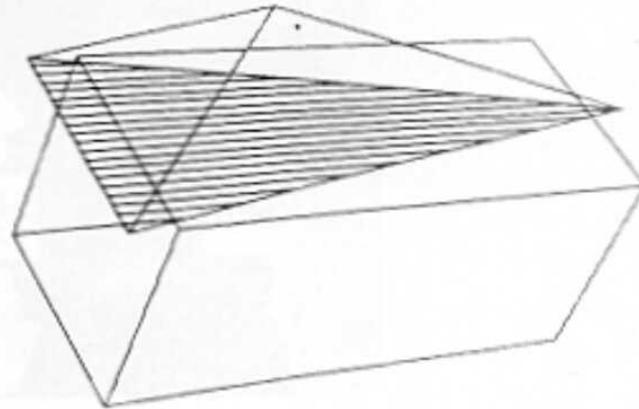
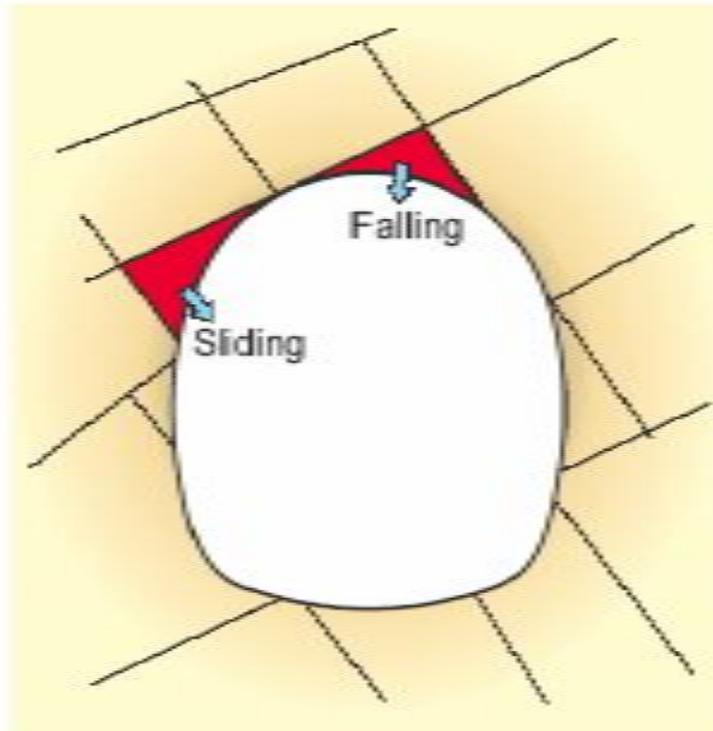
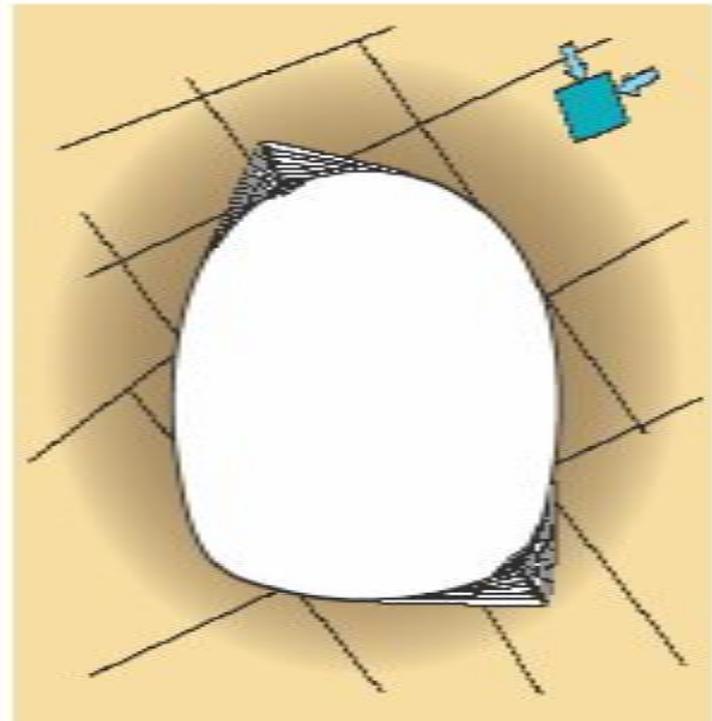


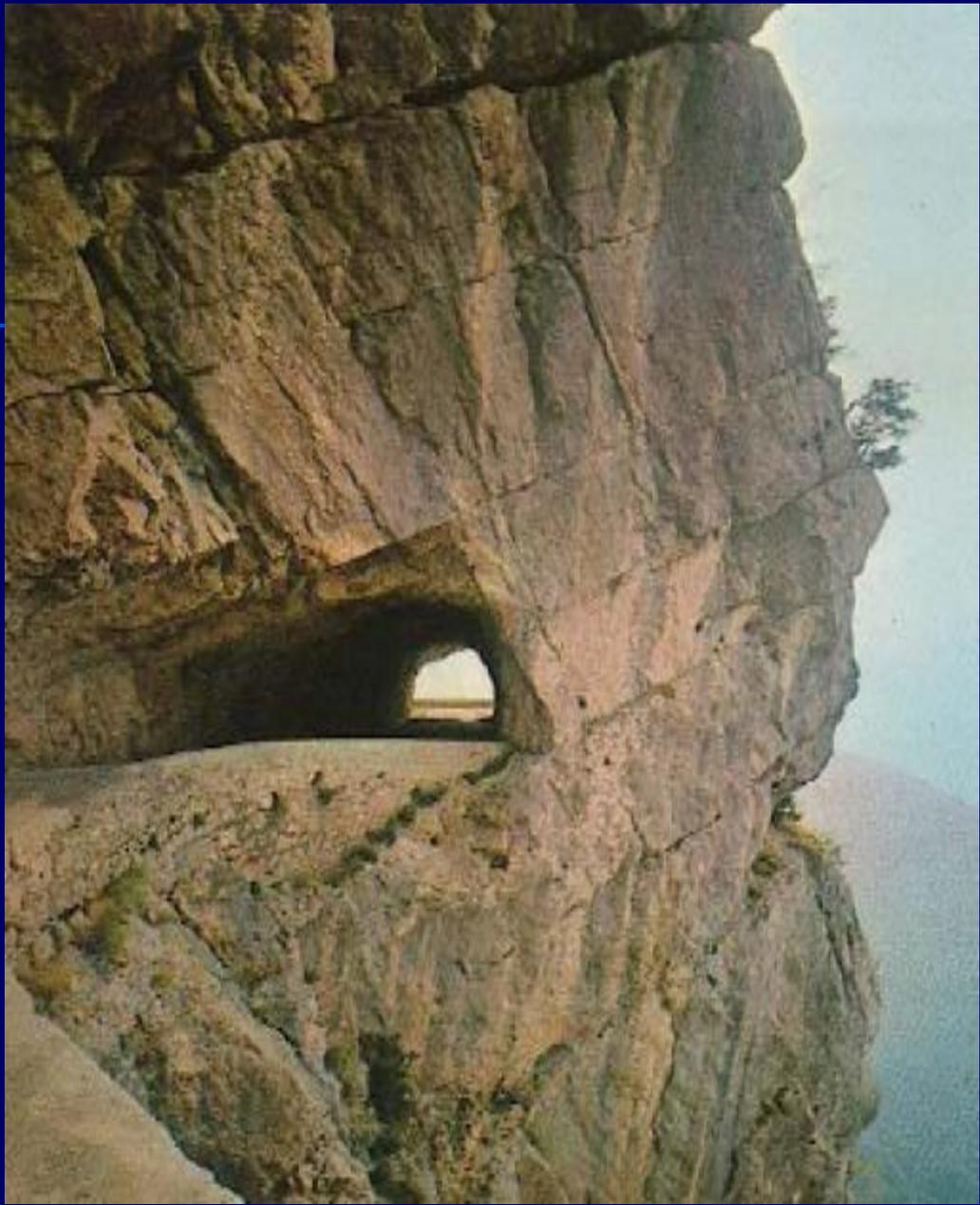
PLATE 7: LOCATION 15 LEVEL DRIFT
EXAMPLE OF DRIFTING PARALLEL TO STRUCTURE
RMR = 83%, SPAN = 10ft, CONDITION = CAVED
STRUCTURE IS CRITICAL NOT RMR



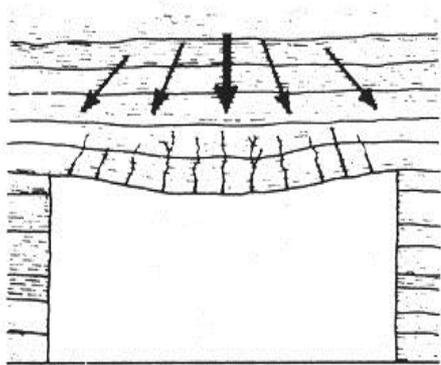
Gravity-induced
structurally controlled
block movement



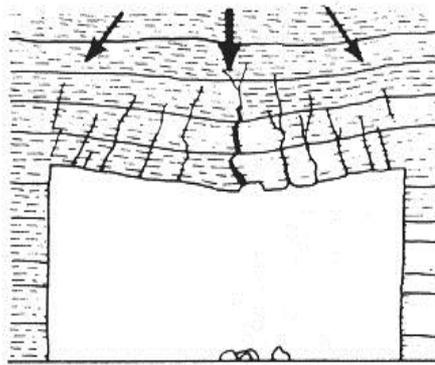
Stress-induced spalling.
Usually found in brittle, blocky
and massive rock masses



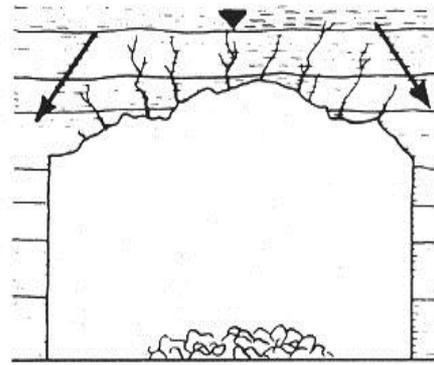
Y permite diseñar los sistemas de Pernos



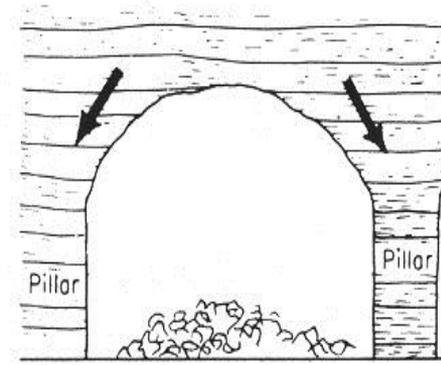
Natural forces on roof rock ...



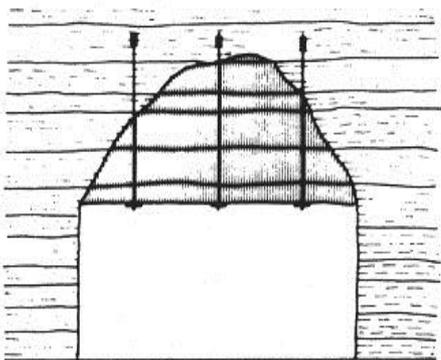
cause it to crack, followed by ...



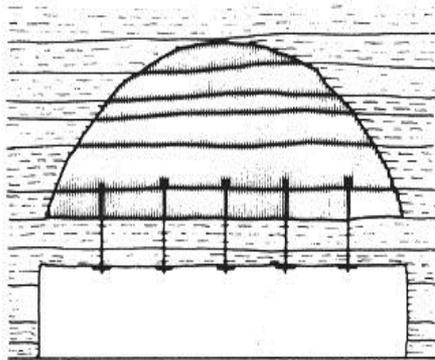
rockfalls that enlarge excavation until ...



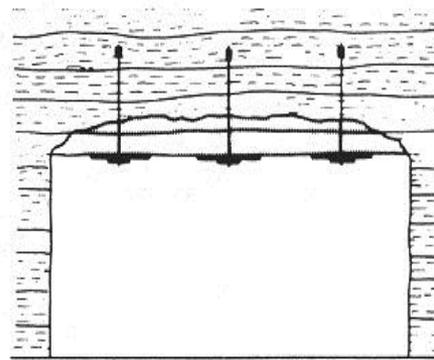
natural arch forms and falls stop.



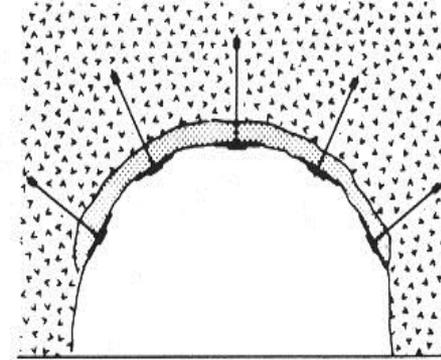
Remedy: Rock bolts can suspend roof;



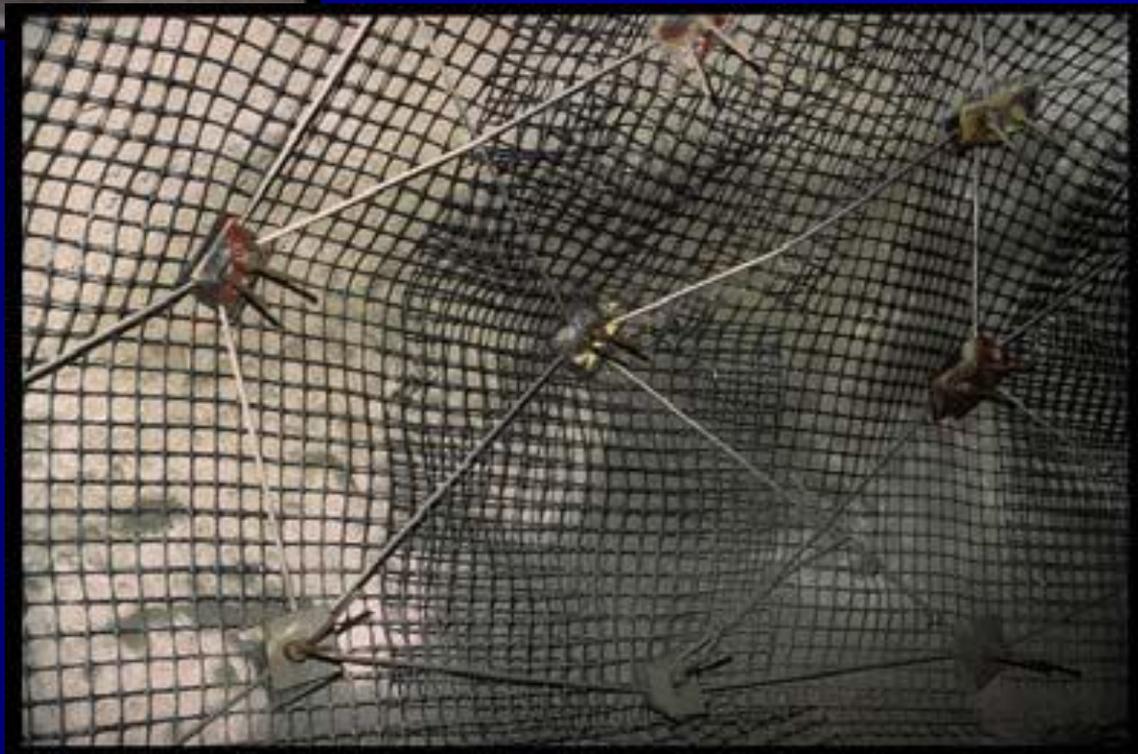
pin strata to form a rock beam;



stabilize rock that tends to spall;



prevent rock burst in rock under pressure.



Y otros sistemas de soporte







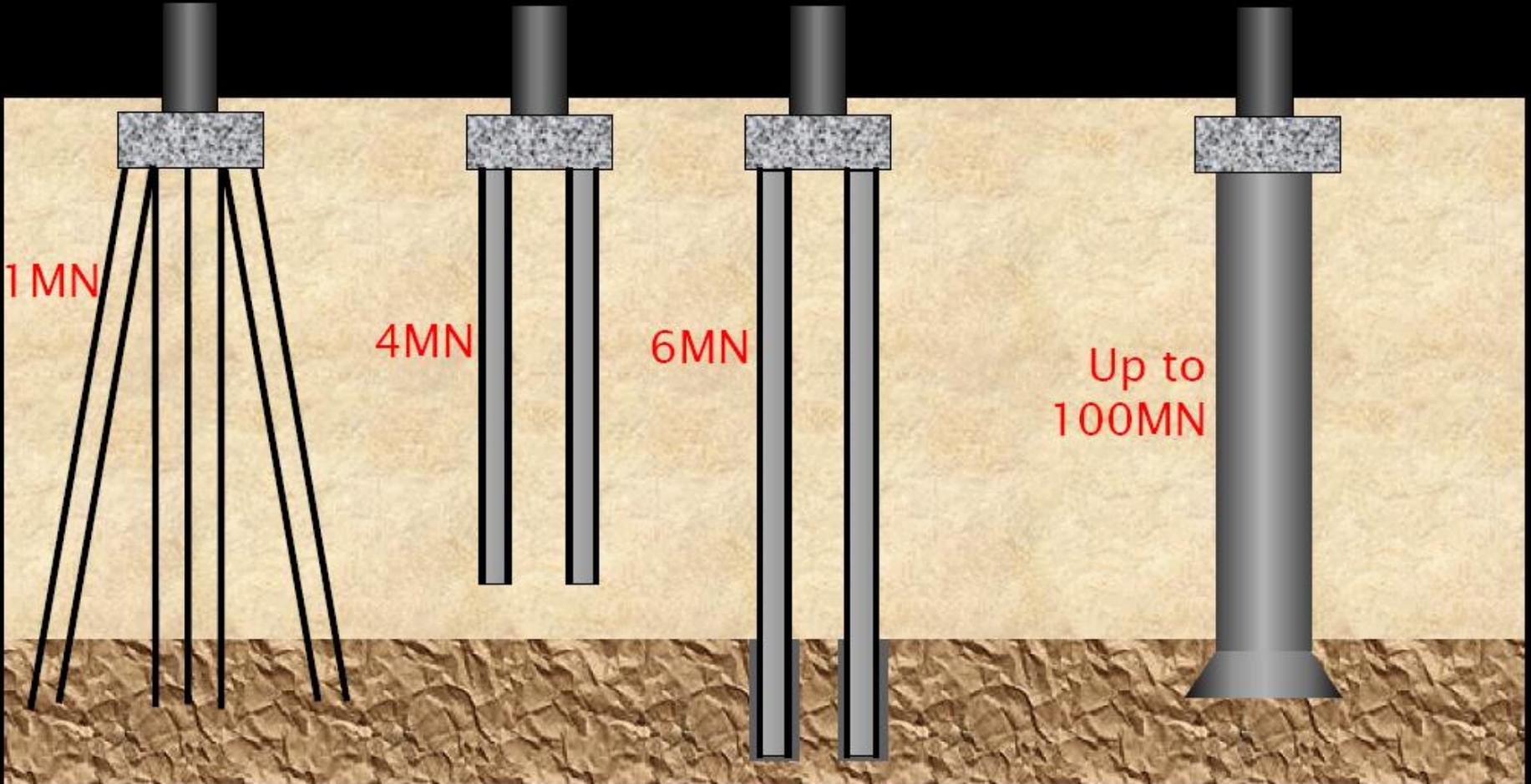




Y para el diseño de cimentaciones

Mini-piles

Steel H piles Large diameter bored pile



Driven

Prebored



Es muy importante clasificar correctamente los macizos de roca para diseñar las obras geotécnicas

Gracias

