

# DISEÑO DE TÚNELES



## AGENDA DISEÑO DE TÚNELES

- Importancia del estudio de del diseño de túneles.
- Historia del diseño de túneles.
- Sección de un túnel.
- Investigaciones para el diseño de túneles.
- Clasificaciones geomecánicas utilizadas en el diseño de túneles.
- Resistencia del macizo rocoso.
- Estado tensional de la excavación.
- Excavación de un tunel.
- Sostenimiento (Revestimiento primario).
- Revestimiento (Revestimiento secundario).

### Importancia del diseño un túnel

El túnel arranca de la necesidad de superar un obstáculo natural, generalmente un macizo montañoso. Pero, existen otras barreras que se pueden salvar mediante túneles como los cursos de agua, fluviales o marinos, y las zonas urbanas densamente edificadas en las que a menudo se incorporan túneles.

# Importancia del diseño un túnel

Entre los usos más frecuentes pueden enumerarse:

- Los túneles para vehículos
- Redes de ferrocarril urbano o Metros
- Uso peatonal
- Abastecimiento de agua
- Saneamiento
- Galerías de servicio
- Almacenamiento de residuos

## Historia del diseño un túnel

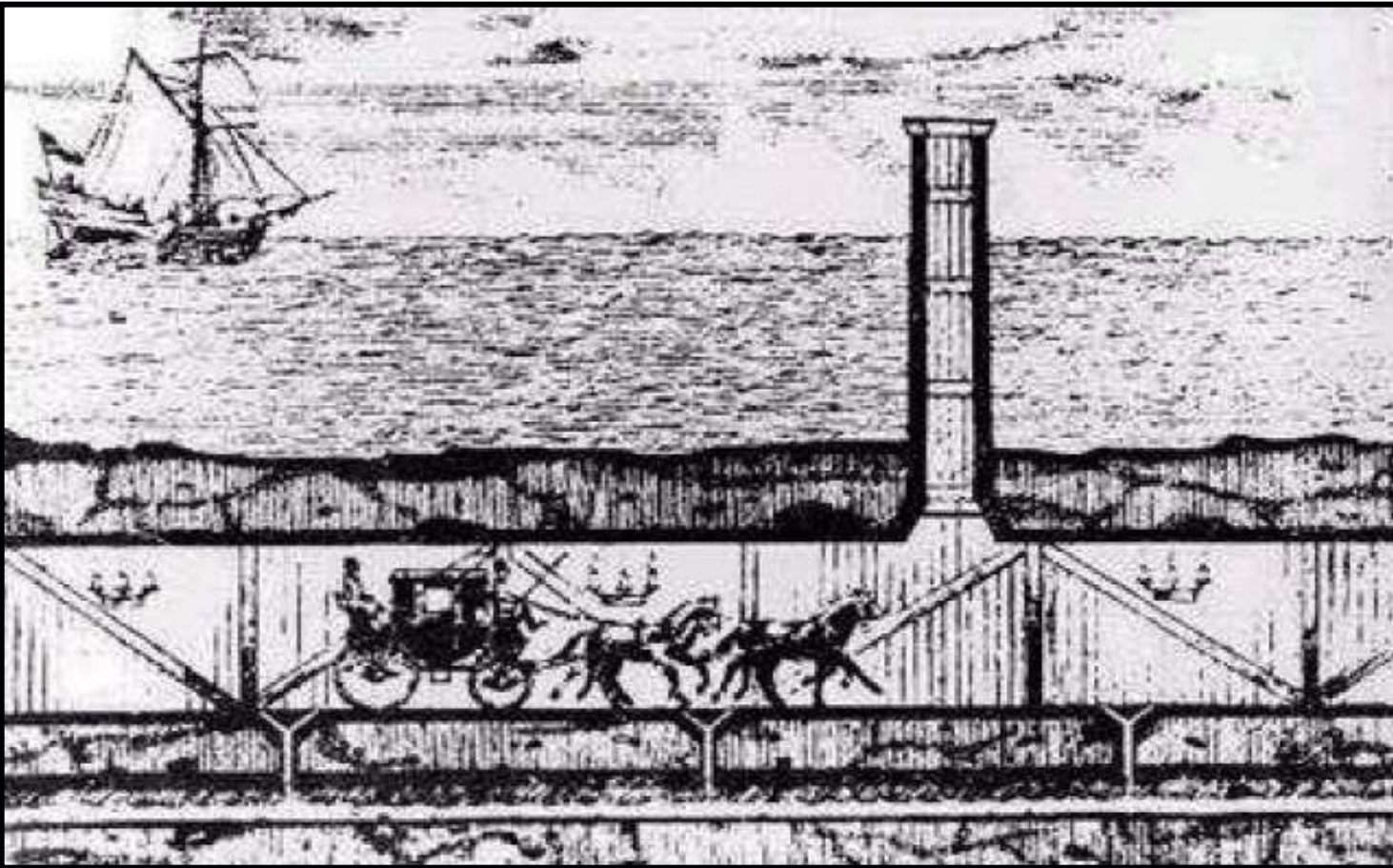


Imagen ficticia del túnel ideado por Thomé de Garamond bajo las aguas del Canal de la Mancha (proyecto presentado en 1867 en la Exposición Universal).



## Historia del diseño un túnel



Grabado extraído de la obra de De Re Metallica del autor alemán Georgius Agricola. Ésta, sirvió de referencia como manual de consulta durante los S. XVI-XVII.

## Historia del diseño un túnel



Primer túnel del renacimiento. Imágenes de la antigua Mina de Daroca.



## Historia del diseño un túnel

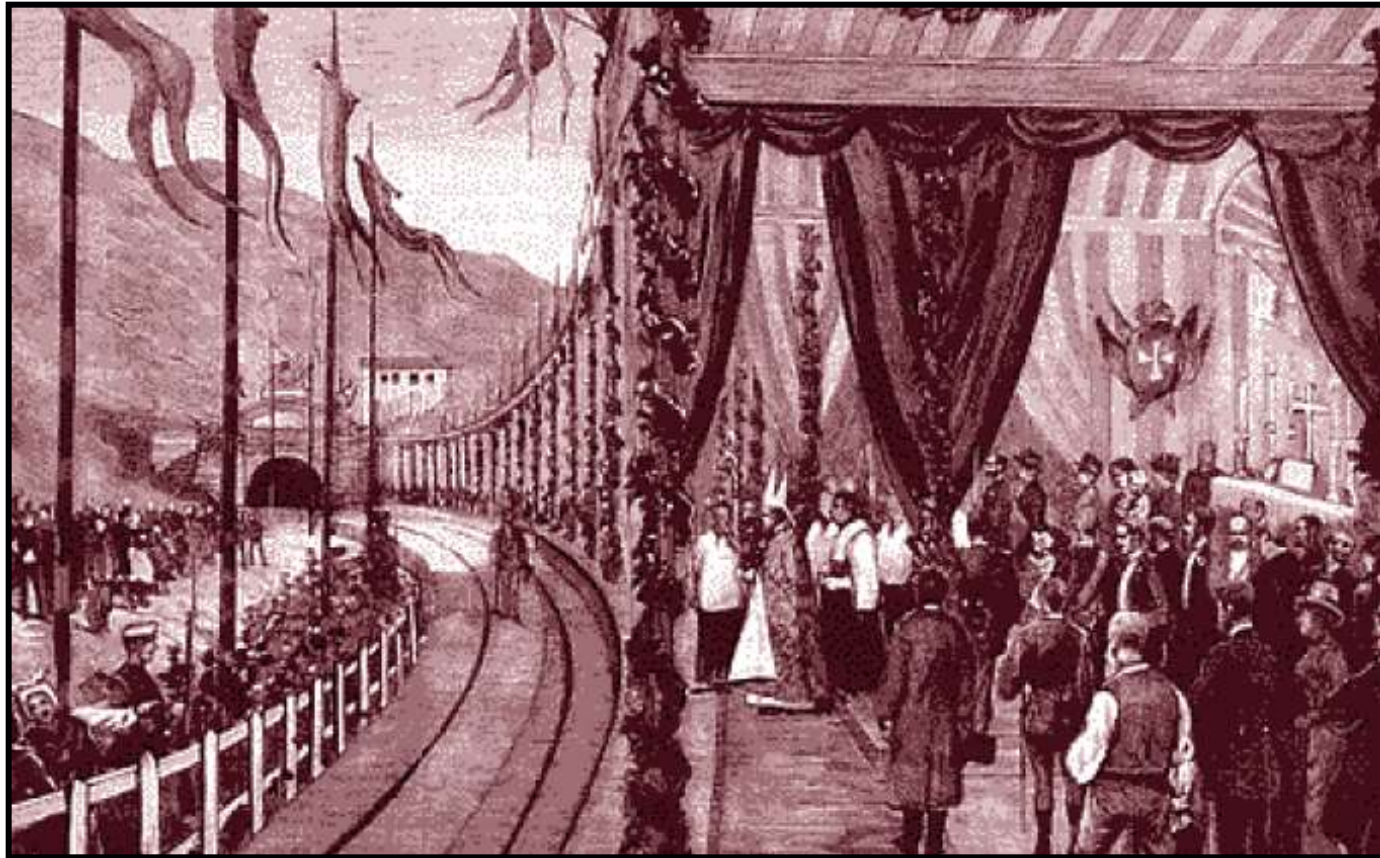


Imagen correspondiente a la bendición de los raíles de la vía del túnel de Perruca en León (1884)



## Historia del diseño un túnel

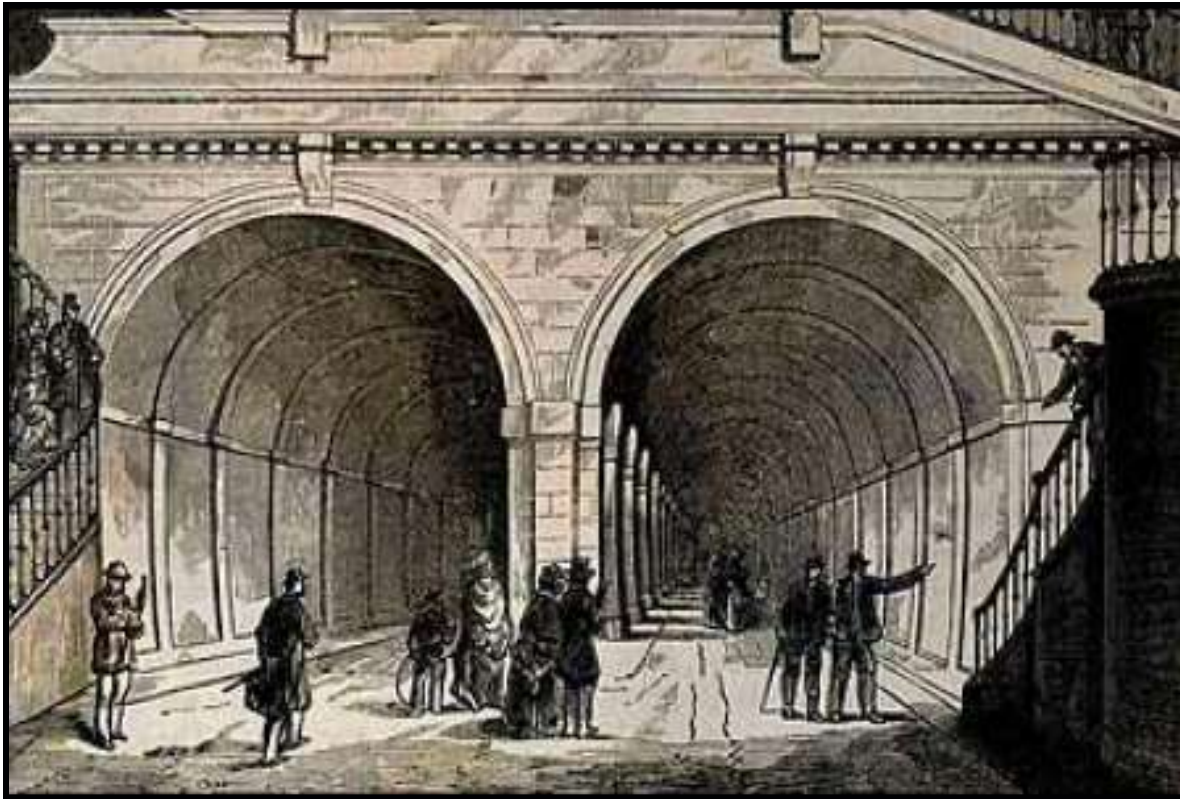
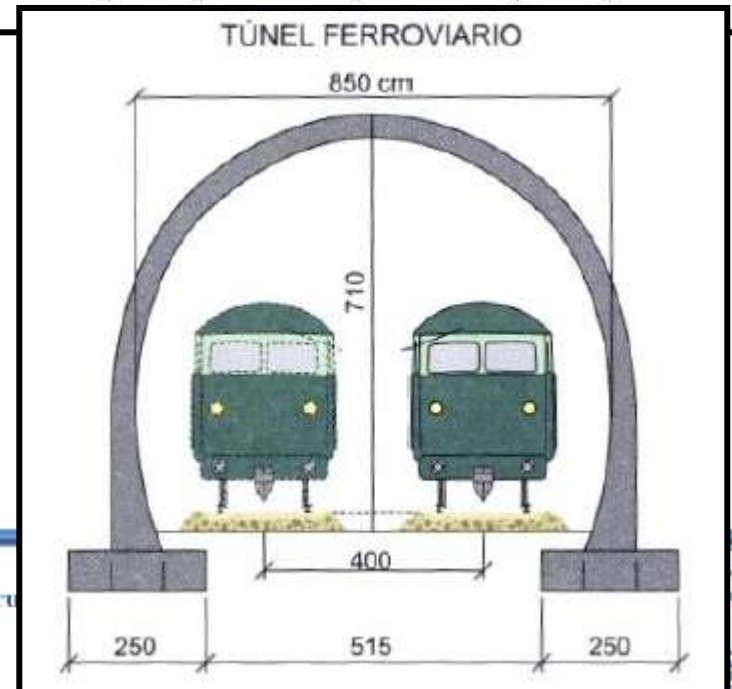
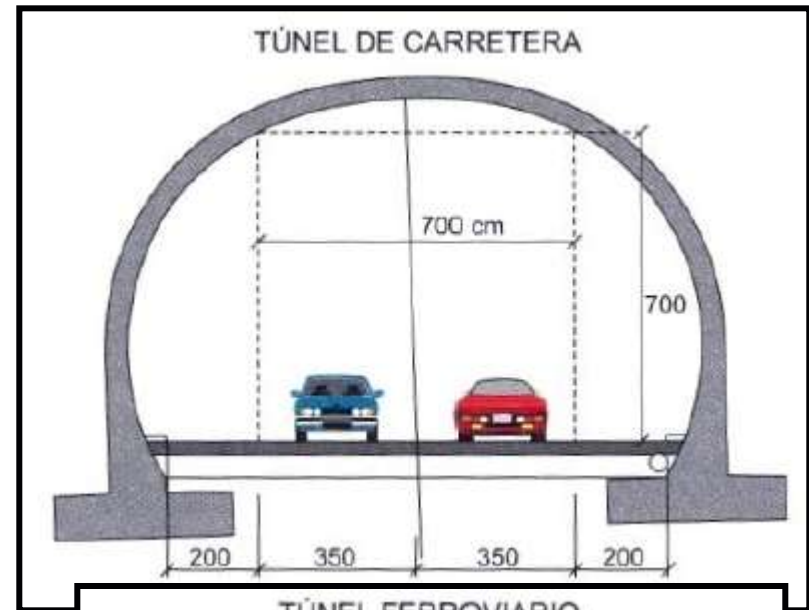
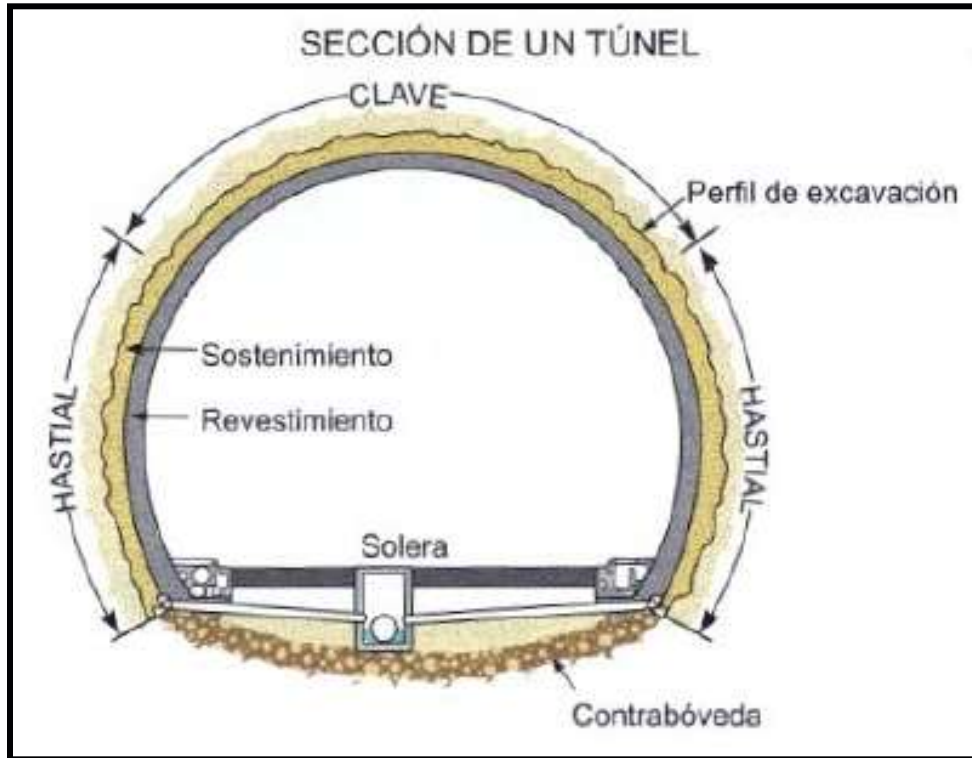
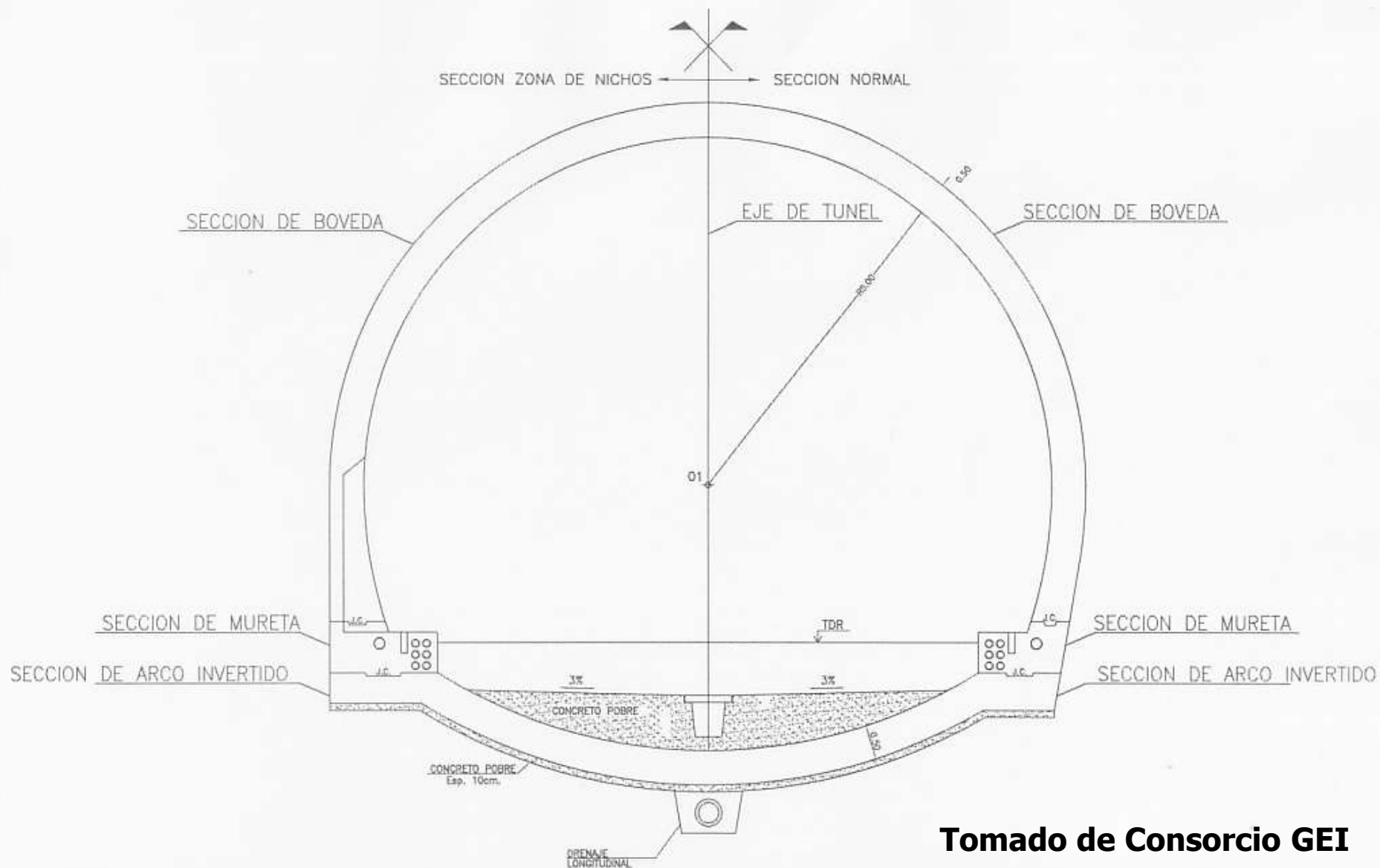


Imagen de época del túnel construido bajo las aguas del río Támesis (1843)

## Sección de un túnel



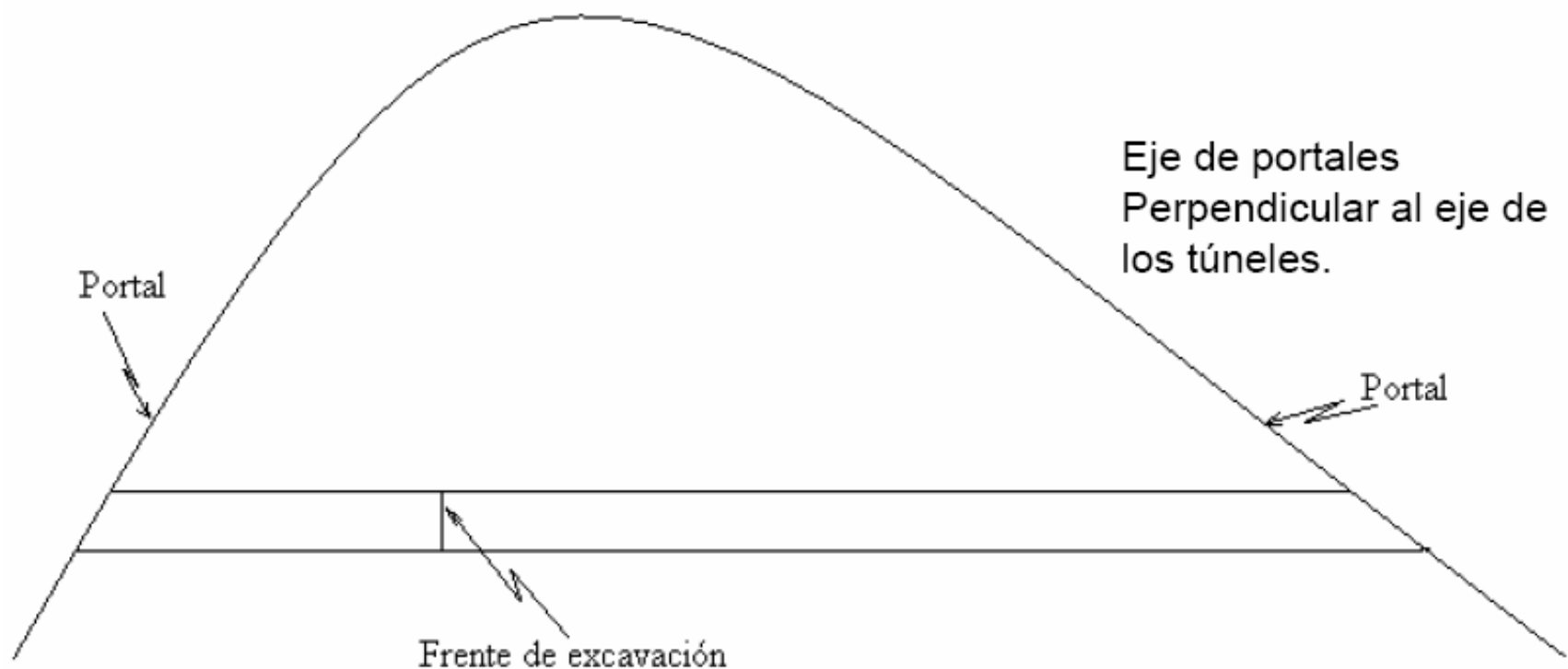
# SECCIONES CONSTRUCTIVAS DE REVESTIMIENTO FINAL



**Tomado de Consorcio GEI**



# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



Buzamiento de los portales definido por la pendiente del terreno natural

# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles





## Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles





# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

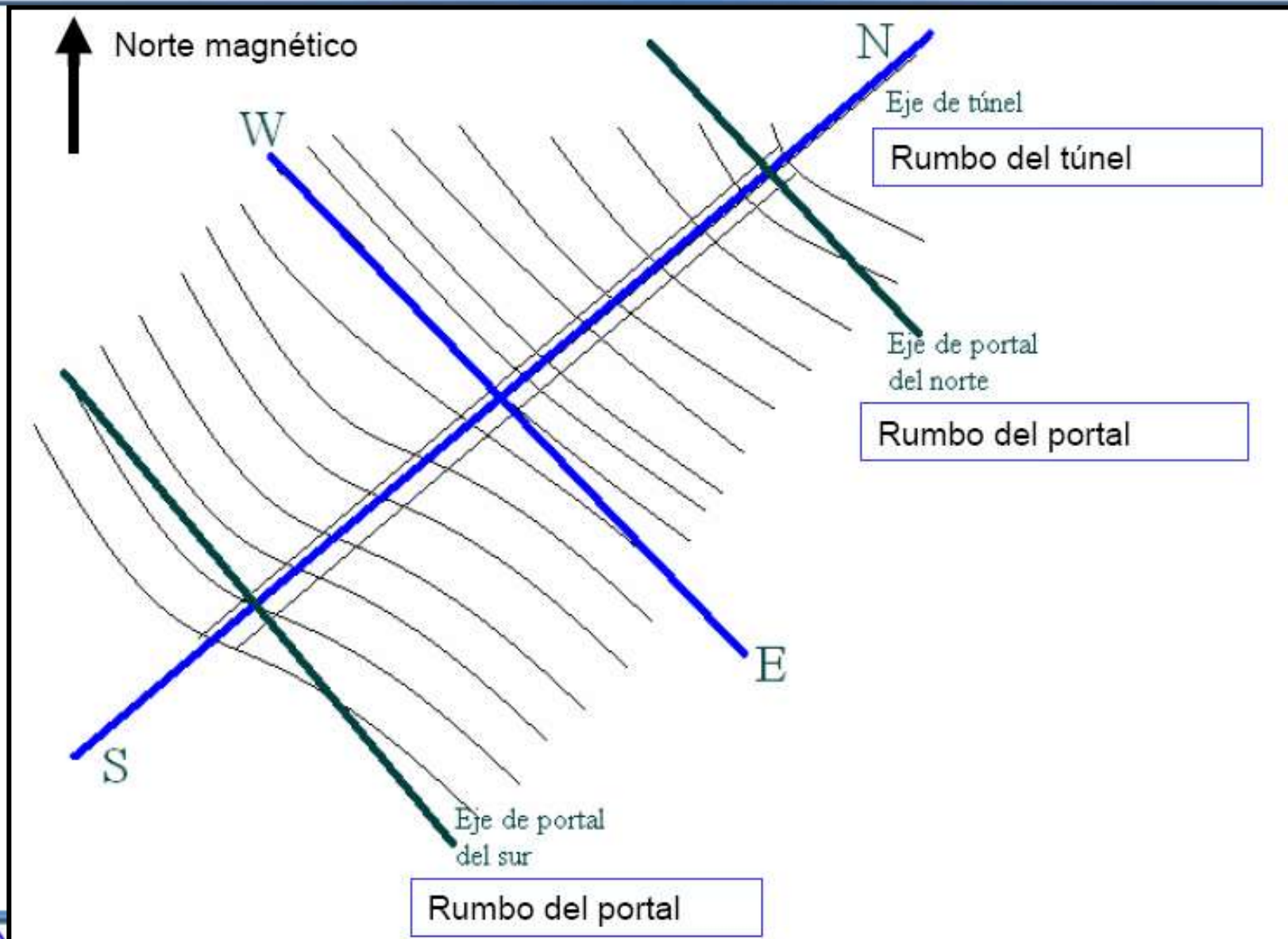




# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

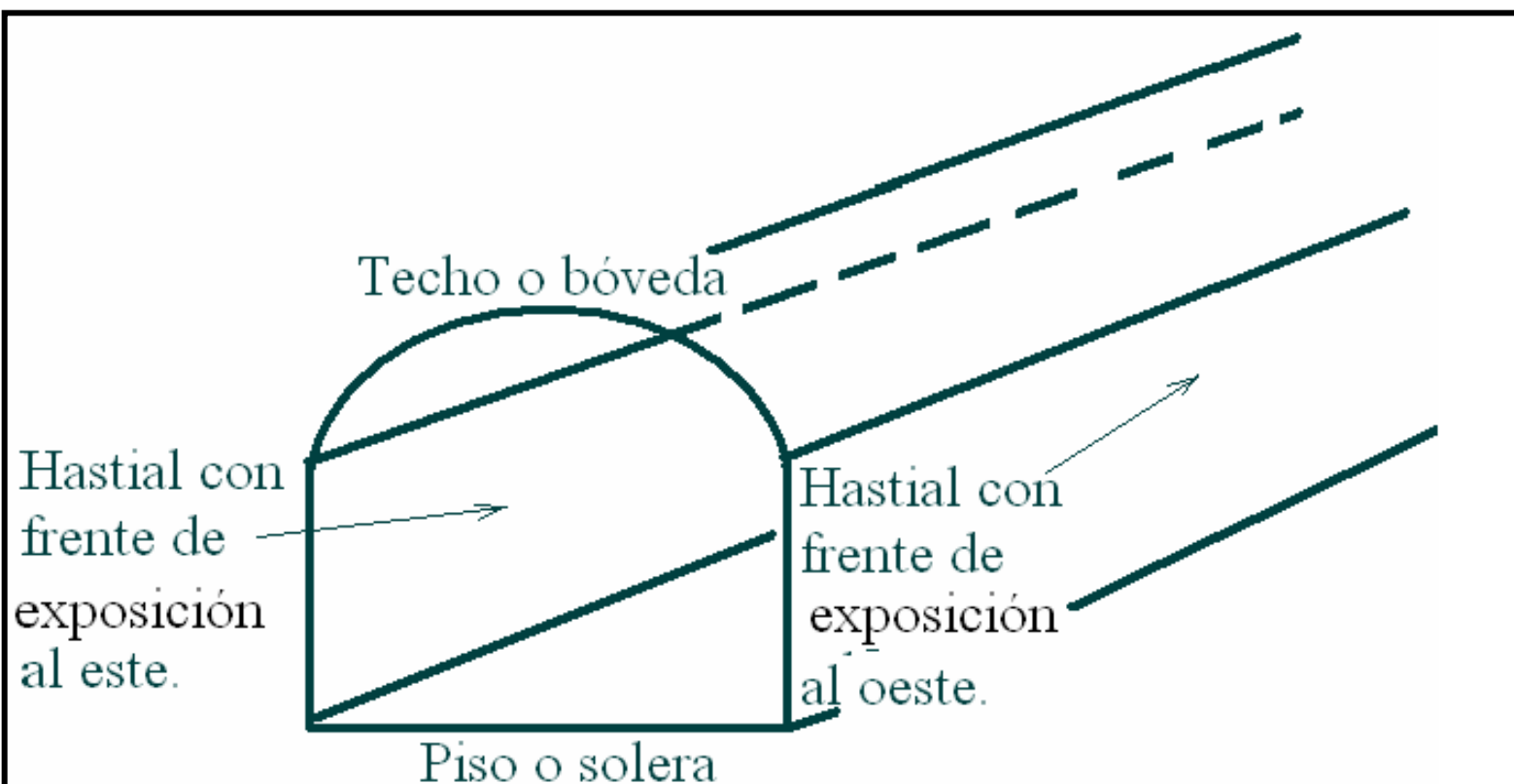


# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles





## Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



Evaluar la estabilidad de los portales es evaluar la estabilidad del terreno natural.

Si es inestable o factores de seguridad muy bajos, entonces se debe anclar.

Para la seguridad de los hastiales y techo: Concreto proyectado, pernos y costillas

## Reconocimiento del terreno en las distintas fases de construcción de un túnel

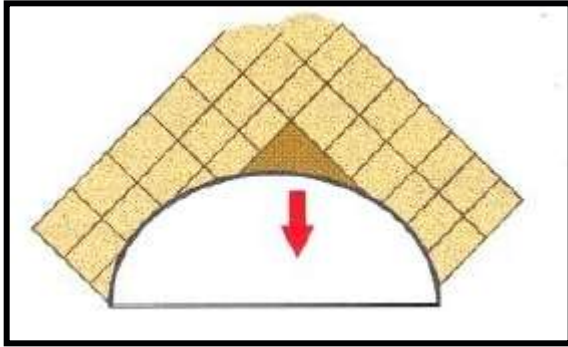
FASE DEL PROYECTO	OBJETIVOS	MÉTODOS
ESTUDIOS PREVIOS	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Cartografía a diferentes escalas:<ul style="list-style-type: none"><li>• 1/200.000</li><li>• 1/100.000</li><li>• 1/50.000</li></ul></li><li>➤ Litología</li><li>➤ Unidades geoestructurales</li><li>➤ Estudio general de las formaciones</li><li>➤ Modelo Geológico</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Información bibliográfica</li><li>➤ Cartografía Geológica existente</li></ul>
ANTEPROYECTO	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Cartografía a escalas de mayor detalle:<ul style="list-style-type: none"><li>• 1/25.000</li><li>• 1/10.000</li></ul></li><li>➤ Unidades rocosas homogéneas (características)</li><li>➤ Plegamientos, fallas, discontinuidades (frecuencia, orientación, características, ...)</li><li>➤ Investigación hidrogeológica</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Fotointerpretación</li><li>➤ Geofísica</li><li>➤ Sondeos mecánicos / ensayos</li><li>➤ Reconocimiento de campo</li><li>➤ Túnel piloto</li></ul>

# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

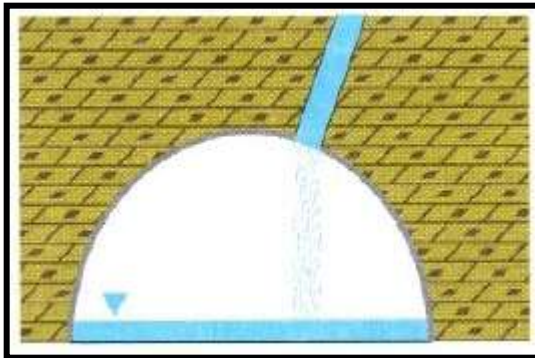
FASE DEL PROYECTO	OBJETIVOS	MÉTODOS
PROYECTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cartografía de detalle:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1/5.000</li> <li>• 1/1.000</li> <li>• 1/500</li> <li>• 1/250 (Emboquilles)</li> </ul> </li> <li>➤ División, en detalle, de las unidades rocosas</li> <li>➤ Estudio de discontinuidades (también en detalle)</li> <li>➤ Interpretación geotécnica (deslizamientos, alterabilidad, clasificación geomecánica, parámetros de resistencia, deformabilidad, ...)</li> <li>➤ Acuíferos: Permeabilidad, Transmisividad, ...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Fotointerpretación</li> <li>➤ Geofísica</li> <li>➤ Sondeos mecánicos                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uno cada 50 m o bien cada 100 m</li> </ul> </li> <li>➤ Ensayos (campo, laboratorio, ...)</li> </ul>
CONSTRUCCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cartografía de detalle (Planta y alzado) a pie de obra:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1/1.000</li> <li>• 1/250</li> </ul> </li> <li>➤ Comparación con lo previsto en la fase de proyecto =&gt; Decisión sobre nuevas campañas y/o posibles modificaciones de proyecto</li> <li>➤ Previsión de la calidad del macizo rocoso por delante del frente. Presencia de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Reconocimiento de detalle (Guía: clasificaciones geomecánicas)</li> <li>➤ Sondeo de avance (no siempre): 20 m – 50 m</li> <li>➤ Ensayos especiales                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensiones “in situ” en túneles profundos</li> <li>• Auscultación (deformaciones, tensiones, ...)</li> </ul> </li> </ul>



# Influencia de las condiciones geológicas.



Orientación desfavorable de las discontinuidades.

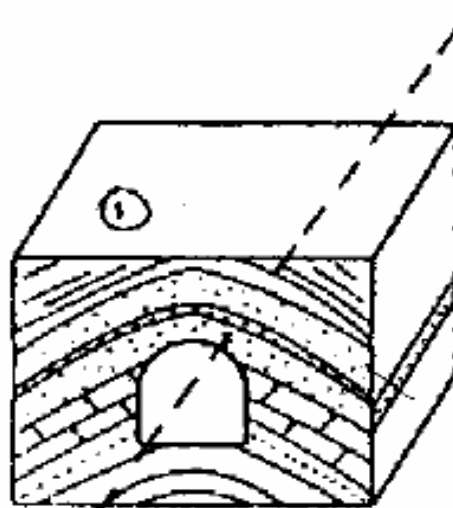


Filtración hacia el interior de la excavación.

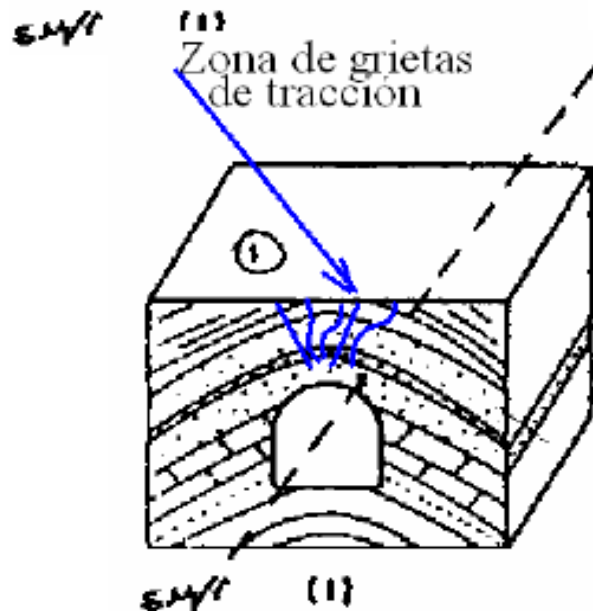
- Orientación desfavorables de las discontinuidades con respecto al eje del túnel.
- Orientación desfavorable de las tensiones.
- Flujo de agua hacia el interior de la excavación.

## Estructuras geológicas

### Ubicación del túnel respecto a las capas:

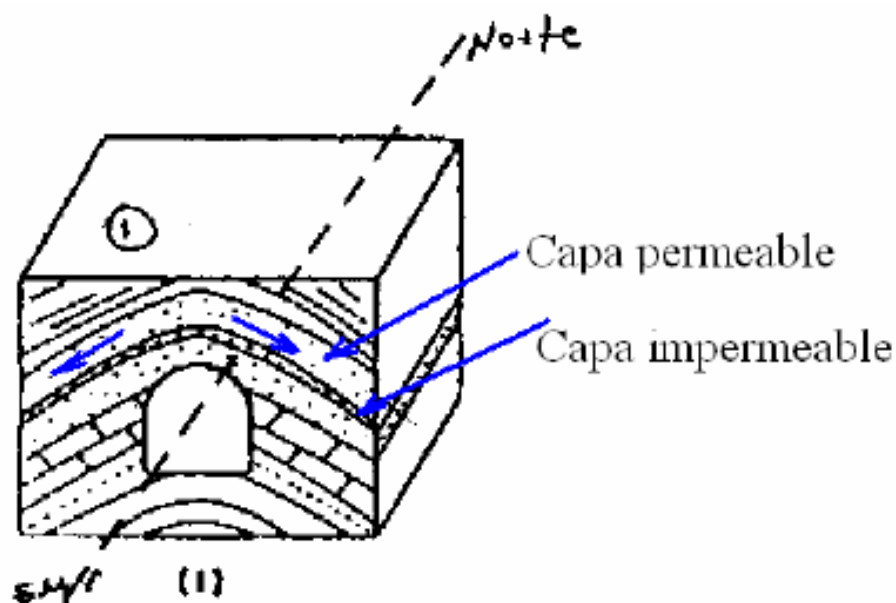


- Eje del túnel paralelo al eje del anticlinal.
- Ambos hastiales son cinemáticamente estables.
- Rumbos de las capas perpendiculares al rumbo de los portales.
- Rumbo de las capas paralelo al eje del túnel.

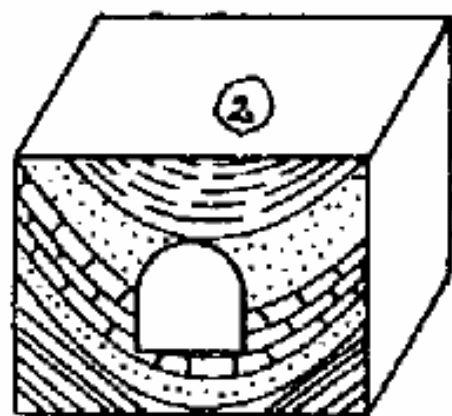


- Se debe evitar construir el túnel paralelo al eje del anticlinal.
  - Siempre existirá agua en el túnel
  - Aumentará la permeabilidad.
- (permeabilidad secundaria: Flujo a través de discontinuidades y grietas)

# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



No hay problemas por filtraciones, si la capa impermeable está sin fisuras.



- Eje túnel paralelo al eje del sinclinal
- Rumbo de capas paralelo al eje del túnel
- Rumbo de capas perpendicular al rumbo de portales.
- Ambos hastiales son cinemáticamente inestables.
- Posible zonas de grietas en la zona más baja y de menor resistencia del sinclinal.

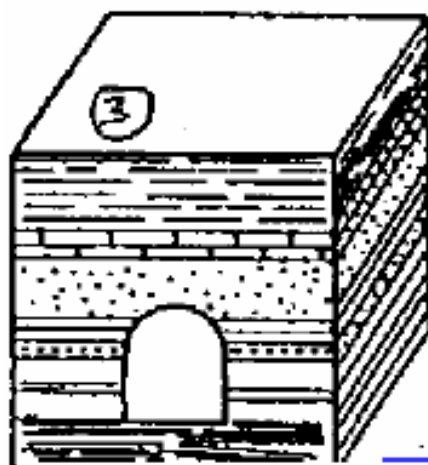
(2)



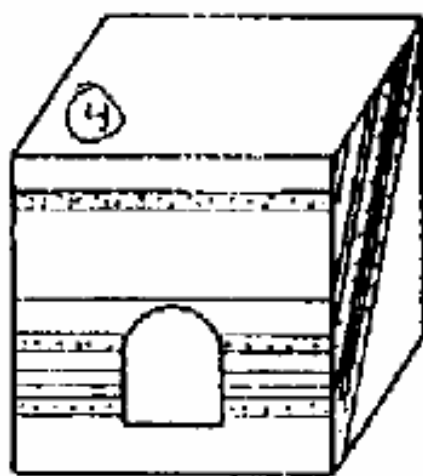
# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

Norma:

No orientar el túnel paralelo a ejes de anticlinales o sinclinales.



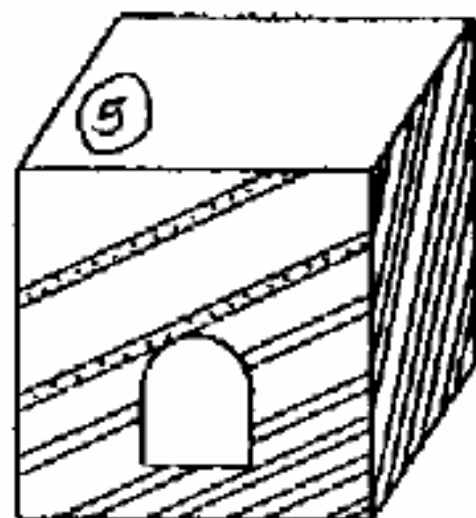
- Túnel ubicado en suelo estratificado con capas horizontales (infinitos rumbos para las capas)
- Los hastiales son cinemáticamente estables.
- El problema puede ser fallas flexulares de algunos estratos débiles.
- Otro problema es el hacer el avance con la presencia de distintos materiales.



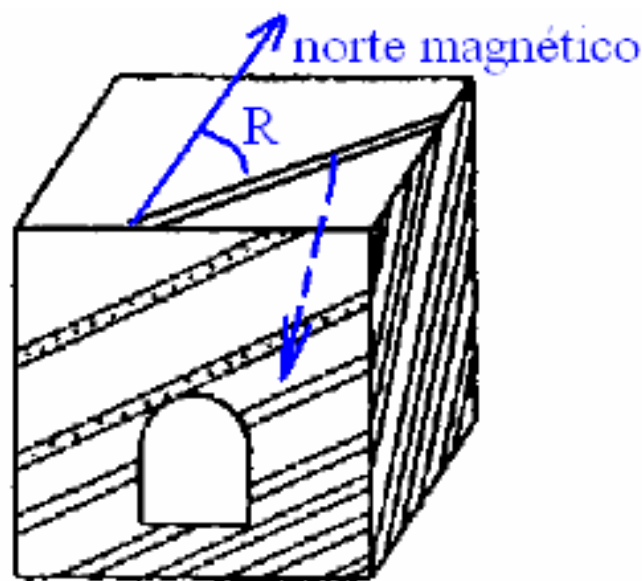
- Rumbo del túnel perpendicular a rumbo de las capas
- Rumbo de las capas paralelo al rumbo de los portales.
- Portal sur cinemáticamente inestable.
- Portal norte cinemáticamente estable aunque pueden existir problemas de volcamientos de capas.
- Frente de excavación del sur cinemáticamente inestable
- Frente de excavación del norte cinemáticamente estable
- Hastiales estables.
- Problemas de avance en distintos materiales.

(2)

# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

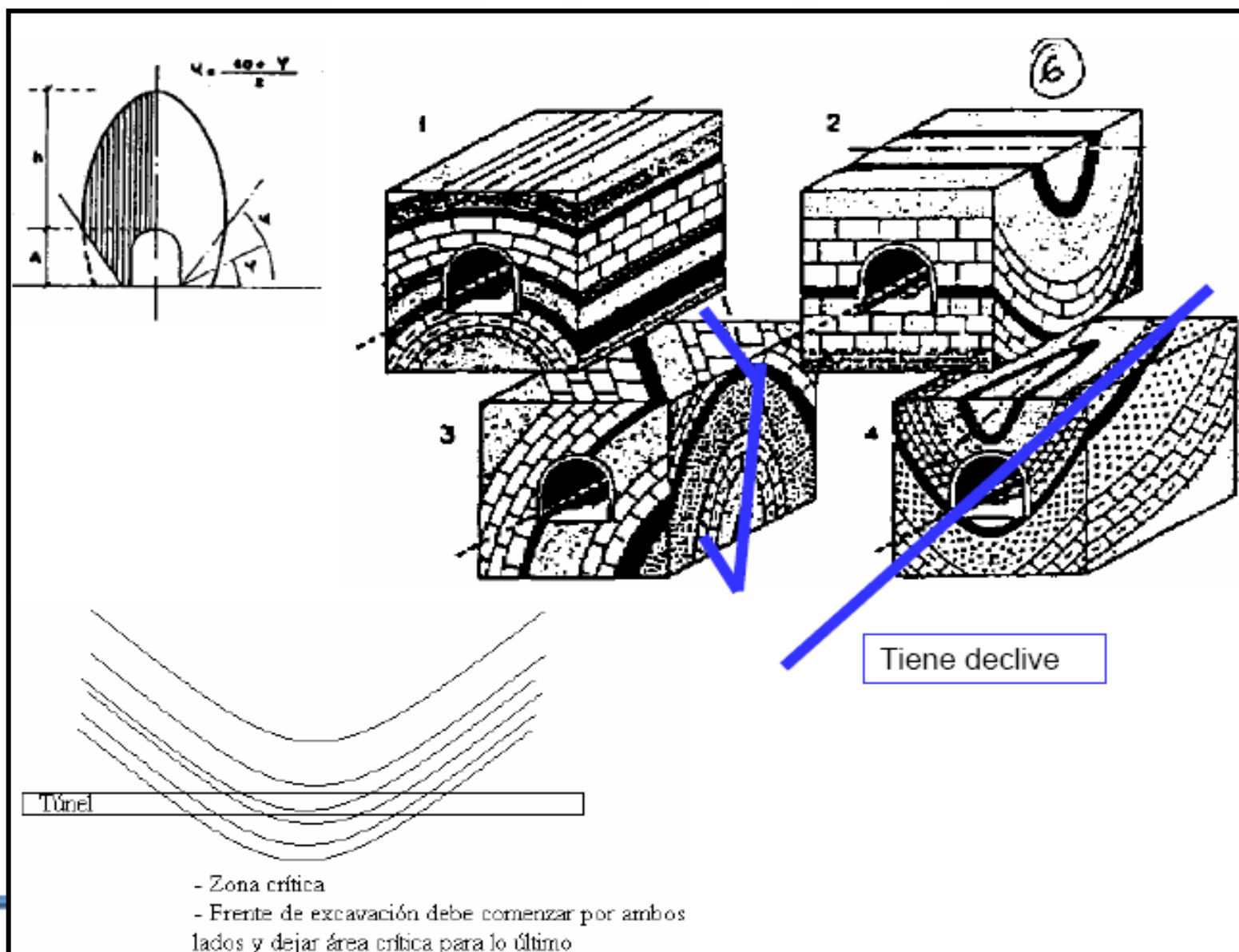


**(3)**



- Rumbo del túnel no coincide con rumbo de capas.
- Hastial con frente de exposición al oeste es cinematicamente inestable.
- Hastial con frente de exposición al este cinematicamente estable.
- Portal del sur cinematicamente inestable.
- Portal del norte cinematicamente estable. Pueden existir problemas de volcamiento.
- Frente de excavación del sur puede tener problemas de deslizamientos de capas.

# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles





# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

Caso 1:

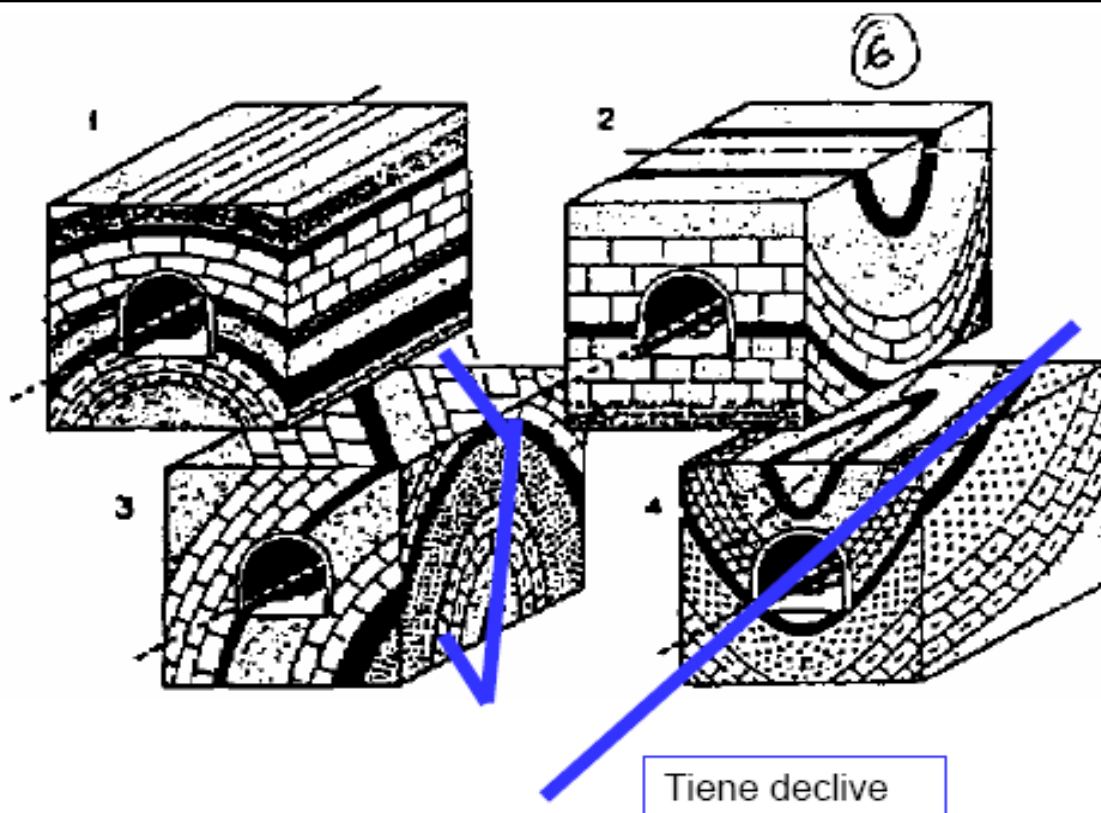
Anticlinal (declive horizontal)

Hastiales, frente de excavación, portales, son: cinemáticamente estables.

Caso 2:

Portales y frentes de excavación pueden tener problemas de volcamiento. Pero son cinemáticamente estables.

La presión en el túnel disminuye en las entradas e incrementa en el centro.



Caso 3:

Las mayores presiones en el túnel están en la entrada y disminuyen en el centro

Antes de llegar al plano del eje del túnel, el hastial con frente de disposición al oeste es cinemáticamente inestable. Luego el hastial con frente de exposición al este es C.I

# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

Caso 1:

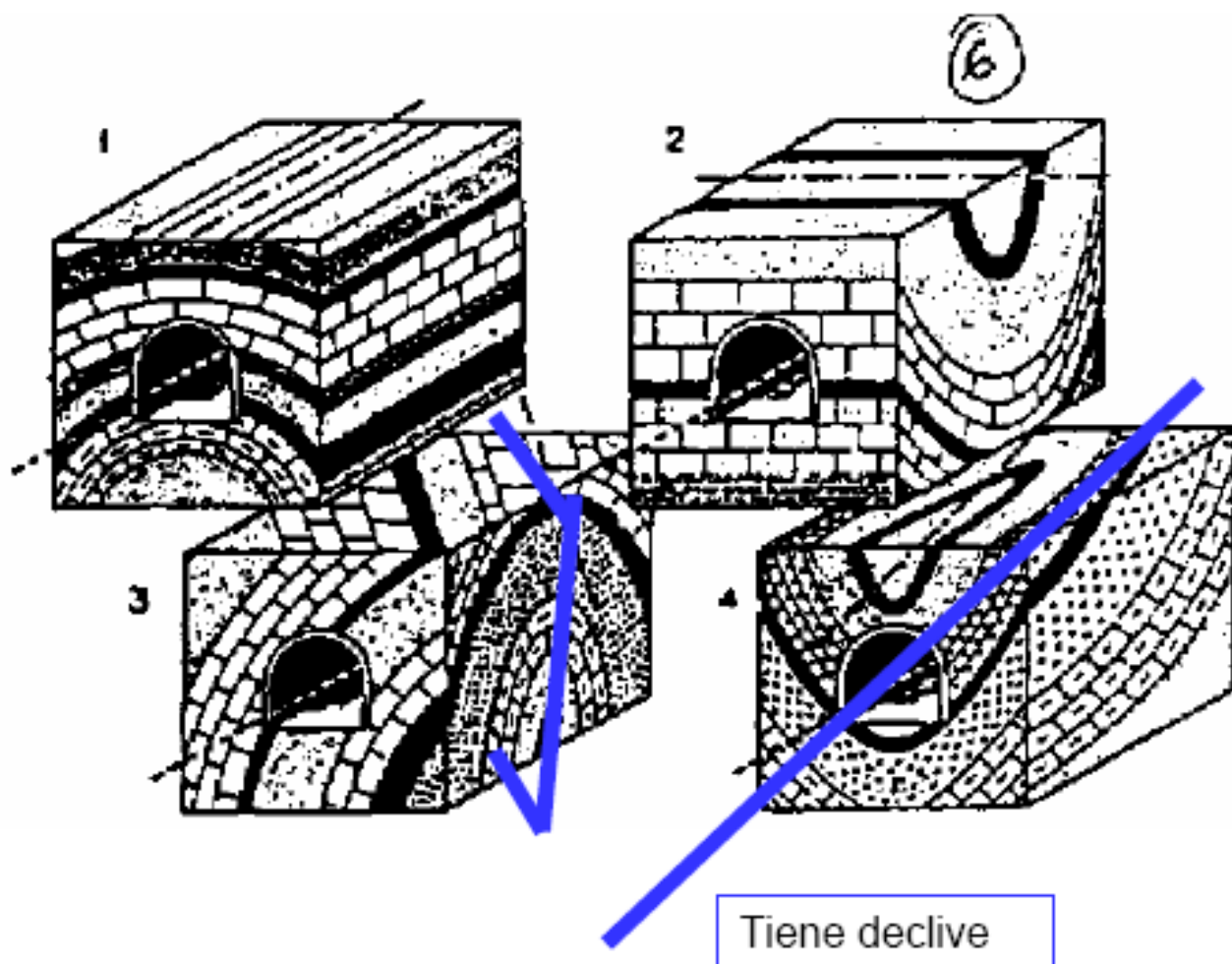
Ayuda aliviar las presiones en el revestimiento.

Caso 4:

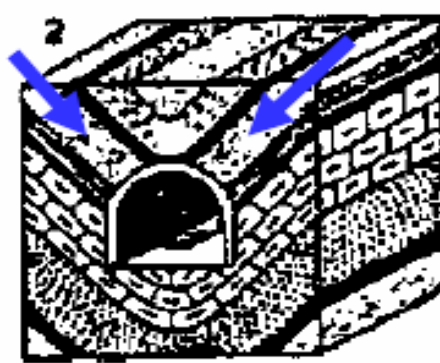
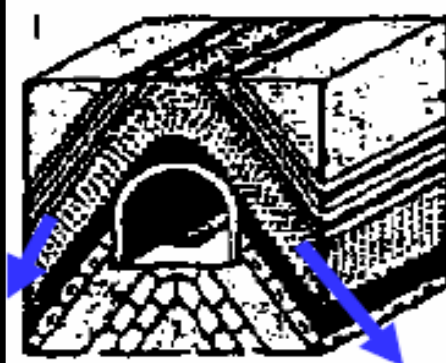
Ubicación del túnel no favorece la presión sobre el revestimiento.

Hastiales C.I

Frente de excavación del sur C.I



# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



Caso 1:

- La presión vertical sobre el revestimiento tiende a aliviar.
- El agua tiende a escurrir hacia los lados.
- En esa zona de ubicación los estratos superiores pueden estar agrietados.

Caso 2:

- La presión sobre el revestimiento tiende a aumentar.
- El agua tiende a escurrir hacia los túneles.
- Pueden existir grietas en la parte más curvada del sinclinal.

Caso 3:

El túnel se ubica en uno de los flancos del anticlinal.



# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

Túneles en ladera:



(1)

- Estratificación Favorable.
- Si la roca es resistente la ubicación del túnel es favorable y el túnel será estable.



(2)

- Estratificación es desfavorable para la ubicación del túnel. Buzamiento en el sentido de la ladera.
- Construcción inestable.

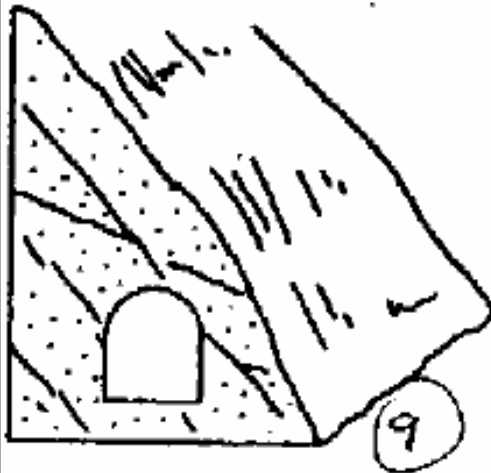
# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

## Estructuras geológicas.



(3)

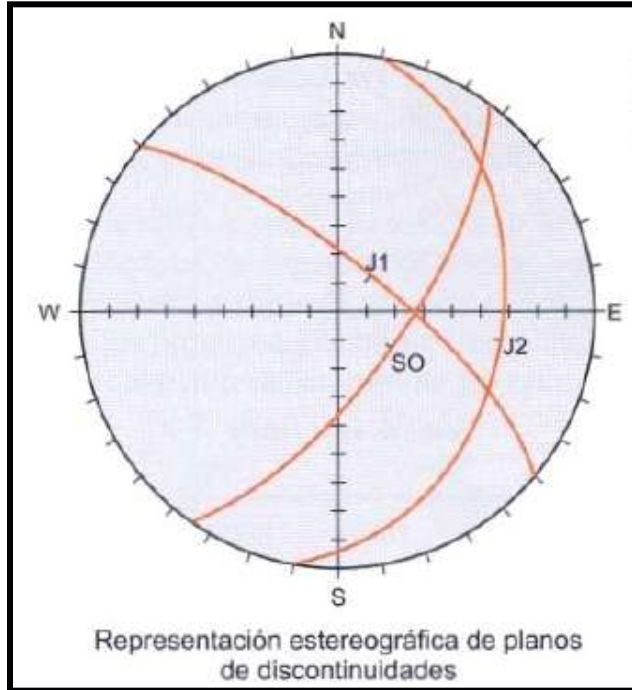
- Estratificación favorable.
- Buzamiento de capas contrario a la inclinación de la ladera.
- Si la roca es poco meteorizada el túnel es estable.
- Condición ideal para ubicar el túnel.



(4)

- Se observa una serie de fisuras en la roca.
- Probablemente la roca está fuertemente meteorizada.
- Condición muy desfavorable para ubicar el túnel.

## Discontinuidades.

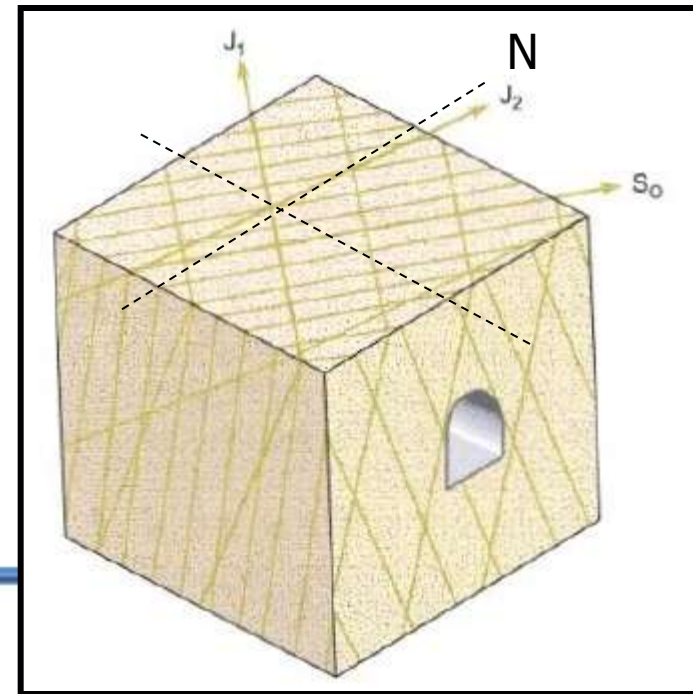
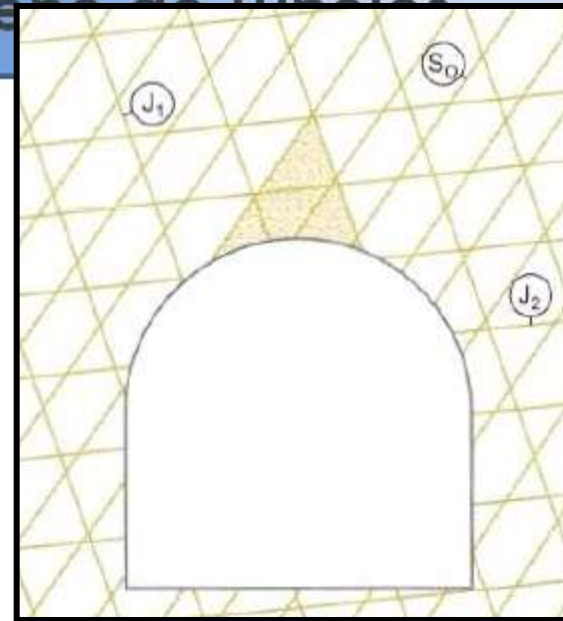


J1: N50W, 75NE

J2: N10E, 37SE

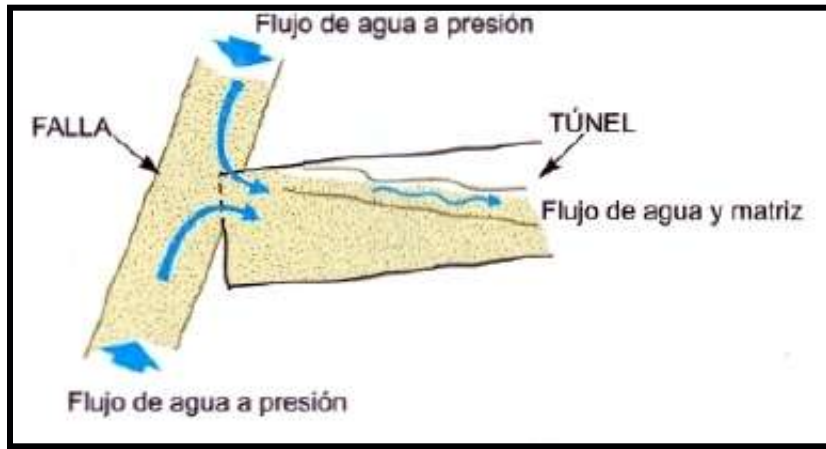
So: N35E, 70SE

Túnel E-W

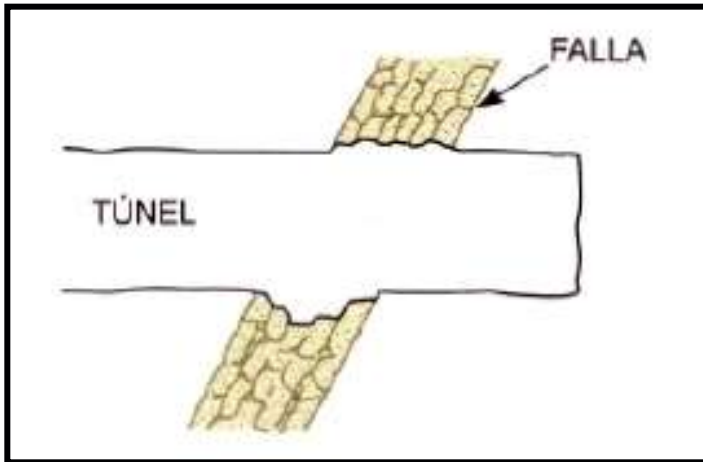




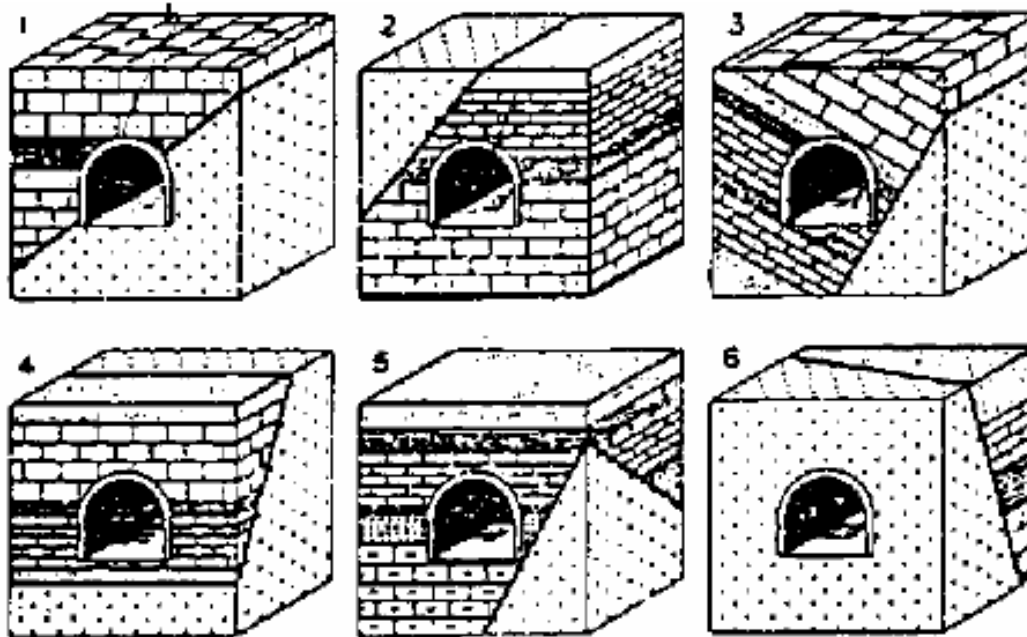
## Discontinuidades y flujo de agua.



- Fallas y fracturas.
- Rocas de brecha, rellenos de fallas, zonas alteradas.
- Contactos litológicos entre rocas de permeabilidad muy diferente.
- Cavidades cársticas



## Discontinuidades y flujo de agua.



Caso 1: Caso más desfavorable para su ubicación

Caso 2: Ubicación más favorable para el túnel

Caso 3: Más favorable que el caso 1

Caso 4: Más favorable que el caso 1

Caso 5: Favorable como el caso 2

Caso 6: Más desfavorable que el caso 4

# Discontinuidades y flujo de agua.

### Comentarios:

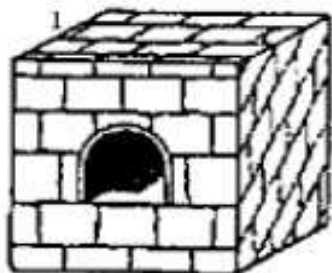
Sea la falla activa o inactiva, en la zona fallada el terreno suele estar fracturado y ser inestable. Se pueden encontrar fuertes caudales como el caso de un sinclinal.

También algunas veces, el espacio entre los labios de la falla, está relleno de roca triturada del tamaño de granos de arena, que tiene la tendencia a fluir en el túnel. Si el túnel está emplazado por debajo del NF, el túnel puede ser invadido por una especie de suspensión de arena.

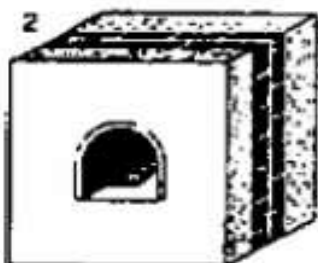


# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

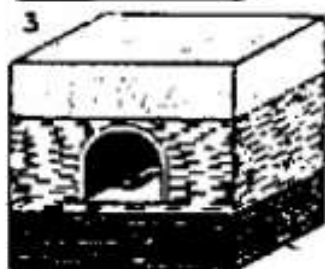
## Condiciones hidrogeológicas



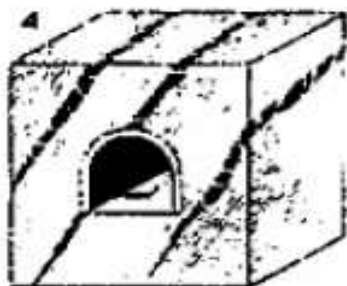
Caso 1: Si la roca es sana las filtraciones serán pequeñas hacia el túnel. La simbología de la roca es de caliza.



Caso 2: Alternancia de estratos permeables (arenisca) e impermeables. Si existe circulación de aguas a través de arenisca altamente meteorizadas, puede ser una condición peligrosa, cuando el frente de excavación alcance esa situación.

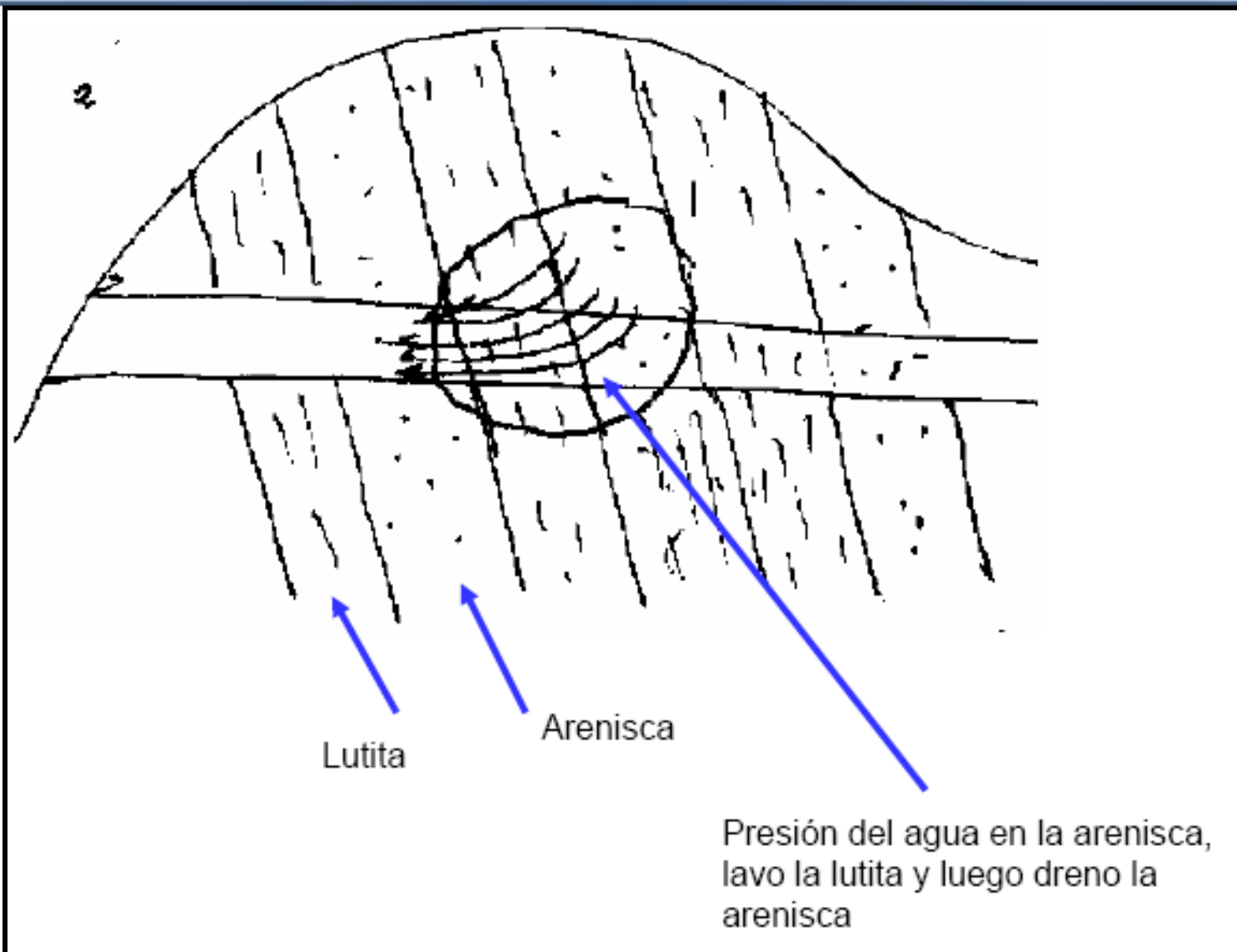


Caso 3: Si existe filtraciones a través de la arenisca, el delgado espesor de lutita en techo puede sufrir filtraciones.



Caso 4: A través de las fracturas en la roca, pueden circular flujos de agua.

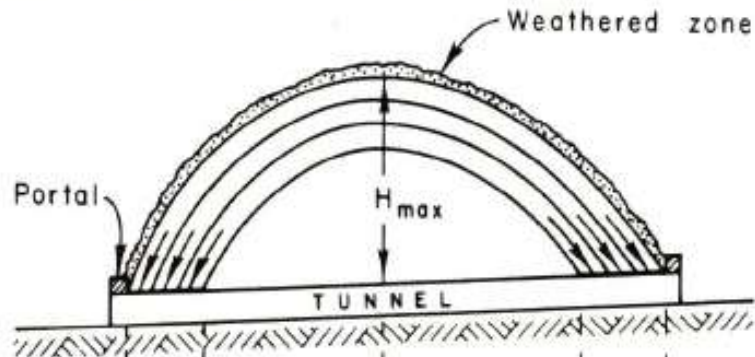
## Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



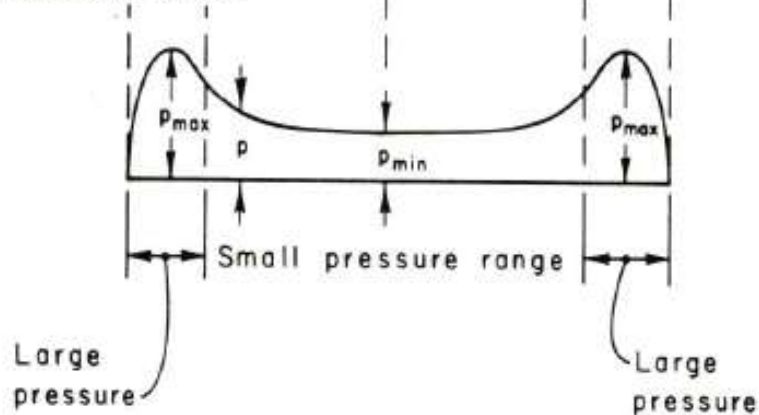
# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

## ROCK MECHANICS

a) Natural arch-anticline



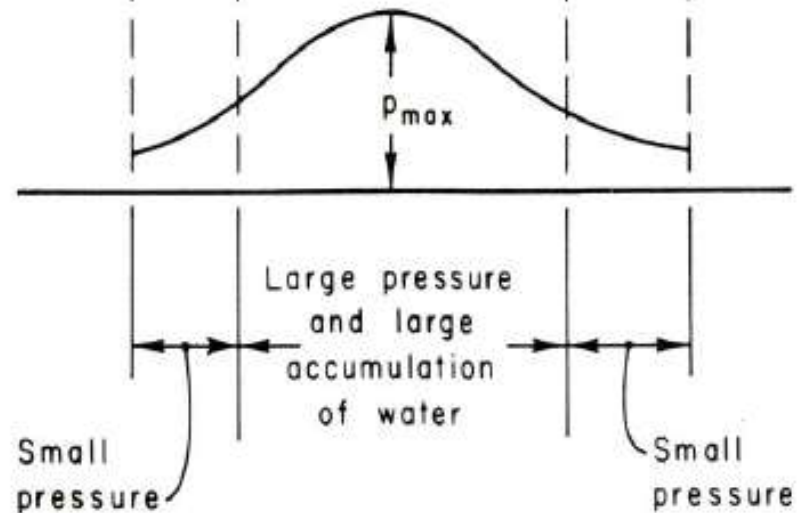
b) Pressure variation



a) Syncline



b) Pressure variation





## Estado tensional.

### Naturales.

- Tectónico
- Gravitacionales

$$\frac{\sigma_h}{\sigma_v} = \left( \frac{\nu}{1 - \nu} \right)$$

$$\sigma_h = K \sigma_v$$

$\nu$  = Coeficiente de poisson ( $\nu=0,25$ ) para la mayoría de las rocas.

$K$  = Constante de reposo.

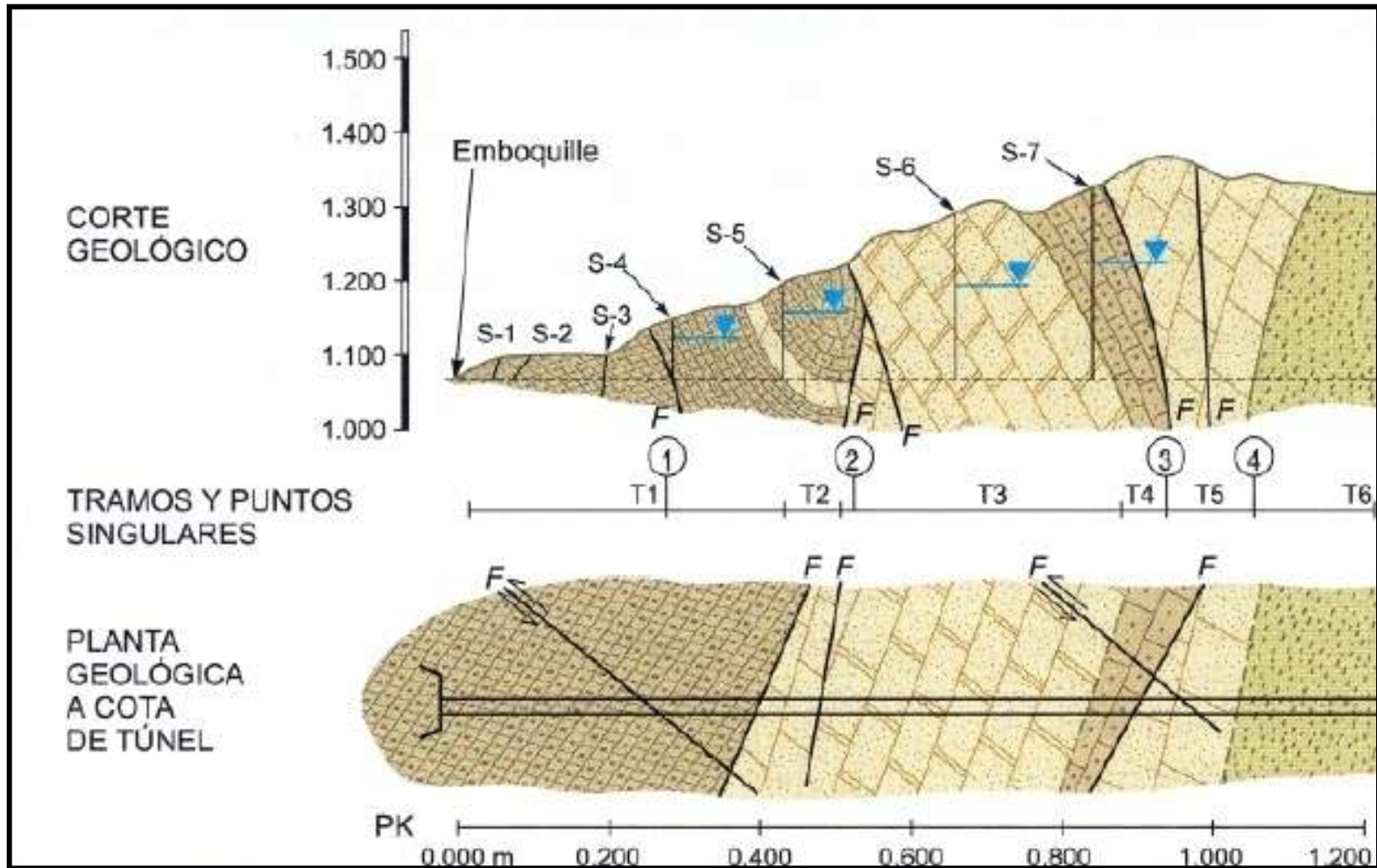
**$K < 1$**  si el comportamiento es elástico.  
(1/3).

**$K = 1$**  Presiones hidrostáticas  
(deformaciones plásticas)

**$K > 1$**  Existe erosión.

### Inducidas.

## Clasificaciones geomecánicas para túneles.



## Clasificaciones geomecánicas para túneles.

**SINGULARES**

PLANTA GEOLÓGICA A COTA DE TÚNEL

TRAMO	T1	T2	T3	T4	T5	T6
PUNTO SINGULAR	①	②	③	④		
LONGITUD (m)	420	100	340			
LITOLOGÍA CARACTERÍSTICA	Calizas margosas, margas y areniscas.	Dolomías	Dolomías			
FILTRACIONES	Bajas con caudales extingüibles	Variables con posibles puntos de filtraciones	Golpes de agua con altos caudales			
CLASIFICACIÓN RMR	45 - III - Media	72 - II - Buena	61 - II Buena			
$\sigma_G$ (MPa)	43	105	105			
$E_M$ (GPa)	3 - 6	5 - 13	6 - 14			
EXCAVABILIDAD	Ripable	Voladuras	Voladuras			
SOSTENIMIENTO	TIPO III	TIPO I	TIPO I			
LONGITUD DE PASE (m)	1,5 a 2	4	2 a 3			
TRATAMIENTOS ESPECIALES	Paraguas y drenajes	Ninguno	Inyecciones			



# Clasificaciones geomecánicas para túneles.

## 1) Terzagui , 1946.

Clasificación para determinar la carga de la roca o suelo sobre el túnel.

## 2) Clasificación de Wickham, et. al. , 1972.

(RSR) Rock Structure Rating

## 3) Clasificación de Bieniawski, 1973.

(RMR) Rock Mass Rating

## 4) Barton, Lien y Lunde, 1974.

Índice de calidad Q

## 5) Hoek y Brown, 1988.

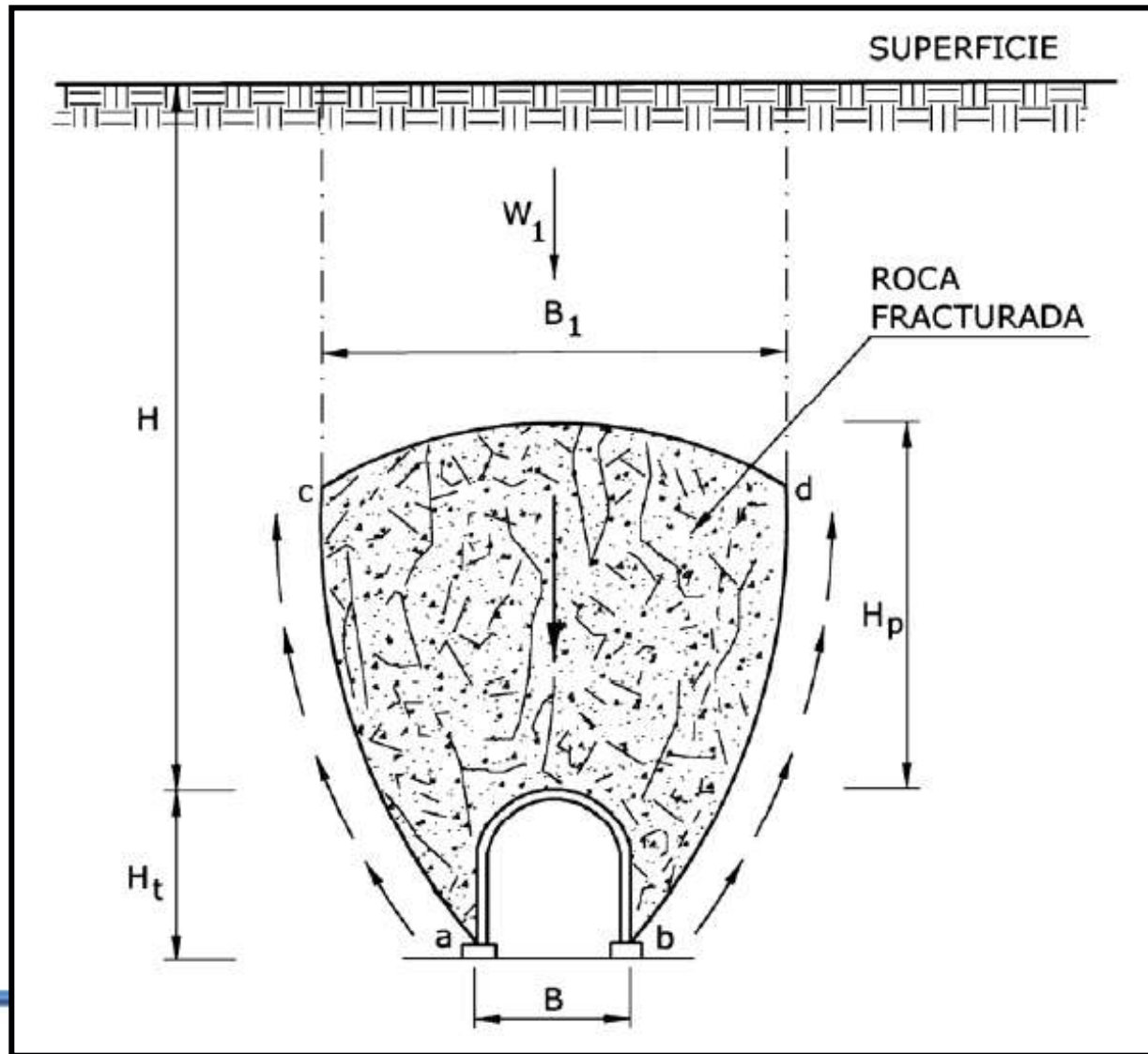
Índice de calidad GSI (Geological Strength Index)

## 6) Palmstron, 1996.

Índice del macizo Rocoso RMI

# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

## Arqueo sobre el de túnel según Terzagui.



# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

## Cargas sobre el revestimiento de un túnel según Terzaghi.

Carga  $H_p$  en metros de roca sobre el techo del revestimiento en túneles con anchura  $B$  (m) y altura  $H_t$  (m) a profundidad superior a  $1,5 (B + H_t)$  (1)

CONDICIONES DE LA ROCA	PESO DE ROCA $H_p$ (m)	OBSERVACIONES
1. Dura e intacta	Cero	Revestimiento ligero, necesario sólo en caso de fenómenos de descompresión
2. Dura estratificada o esquistosa (2)	$0 - 0,5 \cdot B$	Revestimiento ligero
3. Masiva, moderadamente fracturada	$0 - 0,25 \cdot B$	La carga puede cambiar erráticamente de un punto a otro
4. Moderadamente fracturada en bloques o fisurada	$0,25 \cdot B$ a $0,35 \cdot (B + H_t)$	Sin presión lateral
5. Muy fractura en bloques o fisurada	$(0,35 \cdot B$ a $1,10) \cdot (B + H_t)$	Pequeña o nula presión
6. Completamente machacada pero químicamente intacta	$1,10 \cdot (B + H_t)$	Considerable presión lateral. El efecto erosivo de las filtraciones de agua hacia la parte baja del túnel requiere, o soportes continuos para la parte baja de las cerchas, o soportes circulares.
7. Roca fluvente, profundidad moderada	$(1,10$ a $2,10) \cdot (B + H_t)$	Fuertes presiones laterales, se requieren contrabóvedas, cerchas circulares recomendables
8. Roca fluvente, gran profundidad	$(2,10$ a $4,50) \cdot (B + H_t)$	
9. Roca expansiva	Hasta 75 m, independientemente del valor $(B + H_t)$	Requiere cerchas circulares. En casos extremos usar soportes deslizantes.



# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

## Cargas sobre el revestimiento de un túnel según Terzaghi. Modificado posteriormente por Rose, 1982.

CONDICIÓN EN ROCA	PESO ROCA $H_p$ (m)	RQD	OBSERVACIONES
1. Dura e intacta	0	95 – 100	Revestimiento ligero, necesario sólo en caso de fenómeno de descompresión.
2. Dura estratificada o esquistosa (2)	0 – 0,5 B	90 – 99	Revestimiento ligero.
3. Masiva, moderadamente fracturada	0 – 0,25 B	85 – 95	La carga puede cambiar erráticamente de un punto a otro.
4. Moderadamente fracturada en bloques o fisurada	$(0,25 \cdot B \text{ a } 0,35) \cdot (B+H_t)$	75 – 85	Sin presión lateral.
5. Muy fracturada en bloques o fisurada	$(0,35 \cdot B \text{ a } 1,10) \cdot (B+H_t)$	30 – 75	Pequeña o nula presión lateral.
6. Completamente machacada pero químicamente intacta	1,10 $(B+H_t)$	3 – 30	Considerable presión lateral. El efecto erosivo de las filtraciones de agua hacia la parte baja del túnel requiere; o soportes continuos para la parte baja de las cerchas, o soportes circulares.
7. Roca fluyente, profundidad moderada	$(1,10 \text{ a } 2,10) \cdot (B+H_t)$	No aplicable	Fueres presiones laterales, se requieren contrabóvedas, cerchas circulares recomendables.
8. Roca fluyente, gran profundidad	$(2,10 \text{ a } 4,50) \cdot (B+H_t)$	No aplicable	
9. Roca expansiva	Hasta 70 m, independientemente del valor $(B + H_t)$	No aplicable	Requiere cerchas circulares en casos extremos usar soportes deslizantes.

# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

## Parámetros para utilizar la clasificación de Wickham et al.

$$RSR = A + B + C$$

PARÁMETRO A: GEOLOGÍA DE LA ZONA				
TIPO DE TERRENO	MASIVA	ESTRUCTURA		
		LIGERAMENTE PLEGADA O FALLADA	MODERADAMENTE PLEGADA O FALLADA	INTENSAMENTE PLEGADA O FALLADA
Ígneo	30	26	15	10
sedimentario	24	20	12	8
metamórfico	27	22	14	9

PARÁMETRO B: INFLUENCIA DEL DIACLASADO								
SEPARACIÓN MEDIA DE DIACLASAS (m)	RUMBO PERPENDICULAR EJE					RUMBO PARALELO AL EJE		
	DIRECCIÓN DE AVANCE					DIRECCIÓN DE AVANCE		
	AMBAS	SEGÚN BUZAMIENTO		CONTRA EL BUZAMIENTO		AMBAS		
						BUZAMIENTO DE DIACLASAS PRINCIPALES		
						1	2	3
1	2	3	2	3	1	2	3	
< 0,15	14	17	20	16	18	14	15	12
0,15 – 0,30	24	26	30	20	24	24	24	20
0,30 – 0,60	32	34	38	27	30	32	30	25
0,60 – 1,20	40	42	44	36	39	40	37	30
> 1,20	45	48	50	42	45	45	42	36

\* 1 = < 20°  
 2 = 20° - 50°  
 3 = 50° - 90°

## Parámetros para utilizar la clasificación de Wickham et al.

$$RSR = A + B + C$$

PARÁMETRO C: EFECTO DEL AGUA						
FLUJO DE AGUA PREVISTO (l/min/m)	SUMA A + B					
	20 – 45			46 - 80		
	ESTADO DE LAS DIACLASAS*					
	1	2	3	1	2	3
Nula	18	15	10	20	18	14
Ligera (< 2,5 l/min/m)	17	12	7	19	15	10
Media (2,5 – 12,5 l/min/m)	12	9	6	18	12	8
Alta (> 12,5 l/min/m)	8	6	5	14	10	6

- \* 1 = cerradas o cementadas
- 2 = ligeramente alteradas
- 3 = abiertas o muy alteradas

# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

## Clasificación de Bieniawski (RMR).

$$\text{RMR} = 1 + 2 + 3 + 4 + 5$$

1	RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA		Bajo carga puntual	> 80 kg /cm <sup>2</sup>	40 - 80 kg /cm <sup>2</sup>	20 - 40 kg /cm <sup>2</sup>	10 - 20 kg /cm <sup>2</sup>	< 10 kg /cm <sup>2</sup>		
	$\sigma_c$		A compresión simple en kg /cm <sup>2</sup>	> 2.000 kg / cm <sup>2</sup>	1.000 - 2.000 kg /cm <sup>2</sup>	500 - 1.000 kg /cm <sup>2</sup>	100 - 250 kg /cm <sup>2</sup>	100 -250	30 - 100	10 - 30
	VALOR			15	12	7	4	2	1	0
2	R.Q.D.			90 - 100 %	75 - 90 %	950 - 75 %	25 - 20 %	> 25 %		
	VALOR			20	17	13	8	3		
3	ESPECIADO DE LAS JUNTAS			> 3 m	1 - 3 m	0.3 - 1 m	50 - 300 mm	> 50 mm		
	VALOR			30	25	20	10	5		
4	CONDICIÓN DE LAS JUNTAS			Muy rugosas sin continuidad Cerradas, roca labios dura	Ligeramente rugosa. Separación < 1mm. Roca labios dura	Ligeramente rugosa. Separación < 1mm. Roca labios blanda	Espejo de falla o relleno de espesor < 5mm, o abierta 1-5 mm continuas	Relleno blando de espesor > 5mm o abiertas > 5 mm continuas		
	VALOR			25	20	12	6	0		
5	A G U A	FLUJO EN CADA 10 m DE TUNEL	NINGUNO			< 25 l/min	25 - 125 l/min	> 125 l/min		
		RELACION PRESION DEL AGUA TENSION PRINCIPAL MAYOR	0			0 - 0,2	0,2 - 0,5	>0,5		
		CONDICIONES MAYOR TENSION PRAL	Completamente seco			Húmedo agua intersticial	Agua a presión moderada	Agua a presión fuerte		
		VALOR	10			7	4	0		



## Clasificación de Bieniawski (RMR).

**RMR= suma 5 parámetros – Corrección por orientación.**

ORIENTACIONES DEL RUMBO Y BUZAMIENTO DE LAS JUNTAS	MUY FAVORABLE	FAVORABLE	REGULAR	DESFAVORABLE	MUY DESFAVORABLE
VALOR	0	- 2	- 5	- 10	- 12

VALOR TOTAL R.M.R.	81 – 100	61 – 80	41 60	21 – 40	< 20
CLASE NÚMERO	I	II	III	IV	V
DESCRIPCIÓN	Muy bueno	Bueno	Medio	Malo	Muy malo

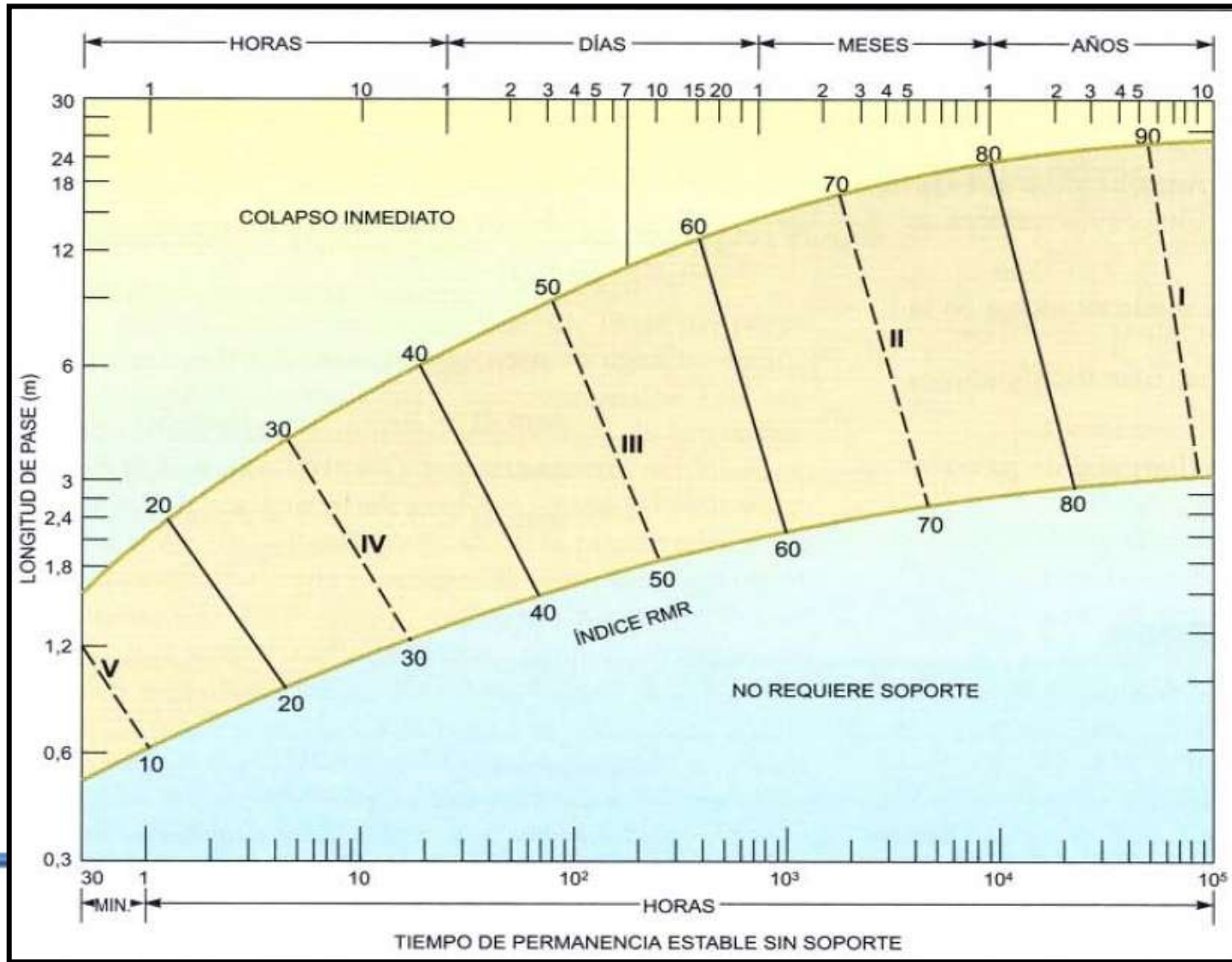
CLASE NÚMERO	I	II	III	IV	V
TIEMPO DE MANTENIMIENTO	10 años para 5 m de luz	6 meses para 4 m de luz	1 semana para 3 m de luz	5 horas para 1,5 m de luz	10 minutos para 0,5 m de luz
COHESIÓN	> 0,30 MPa	0,20 – 0,30 MPa	0,15 – 0,20 MPa	0,10 – 0,15 MPa	10 minutos para 0,5 m de luz
ÁNGULO DE FRICCIÓN	> 45°	40° - 45°	35° - 40°	30° - 35°	< 30°

## Clasificación de Bieniawski (RMR).

CLASE DE MACIZO ROCOSO	EXCAVACIÓN	SOSTENIMIENTO		
		PERNOS DE ANCLAJE REPARTIDO ( $\phi = 20 \text{ mm}$ )	HORMIGÓN PROYECTADO	CERCHAS DE ACERO
I Muy Buena RMR 81-100	A plena sección de avances de 3 m.	Generalmente no requieren sostenimiento excepto Algún perno ocasional		
II Buena RMR 61-80	A plena sección. Avances de 1 a 1,5 m finalizar el sostenimiento a 20 m del frente.	Bulones locales en coronas de 3 m de longitud, espaciados 2,5 m y con malla ocasional	50 mm de corona donde requiera	Ninguna
III Media RMR 41 – 60	En bóveda y destroza. Avance de 1,5 – 3m en bóveda. Iniciar el sostenimiento después de cada pega. Finalizar el sostenimiento a 10 m del frente	Empernado sistemático de 4 m de longitud espaciados 1,5 – 2m en corona y hastiales con malla en la corona.	En corona 50 – 100 mm y en hastiales 30 mm	Ninguna
IV Mala RMR 21-40	En bóveda y destroza. Avance de 1 – 1,5 m en bóveda. Colocar el sostenimiento a medida que se excava.	Empernado sistemático de 4 – 5 m de longitud, espaciados 1 – 1,5 m en corona y hastiales, con malla.	En corona 100 – 150 mm y en hastiales 100 mm	Donde se requieran cerchas ligeras espaciadas 1,5 m
V Muy mala RMR < 20	En secciones múltiples. Avances de 0,5 – 1,5 m en bóveda. Colocar el sostenimiento a medida que se excava. El hormigón proyectado se coloca lo antes posible después de la voladura	Empernado sistemático de 5 – 6 m de longitud; espaciados 1 - 1,5 m en corona y hastiales, con malla y bulonado de piso.	En corona 150 – 200 mm ,en hastiales 150 mm y en el frente 50 mm	Cerchas medias o pesadas espaciadas 0,75 m con blindaje de chapas y en caso necesario paraguas contrabóveda.

# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

## Longitud de pase y tiempo de estabilidad sin soporte Bieniawski (RMR).



### Clasificación de Barton, et al. (Q).

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

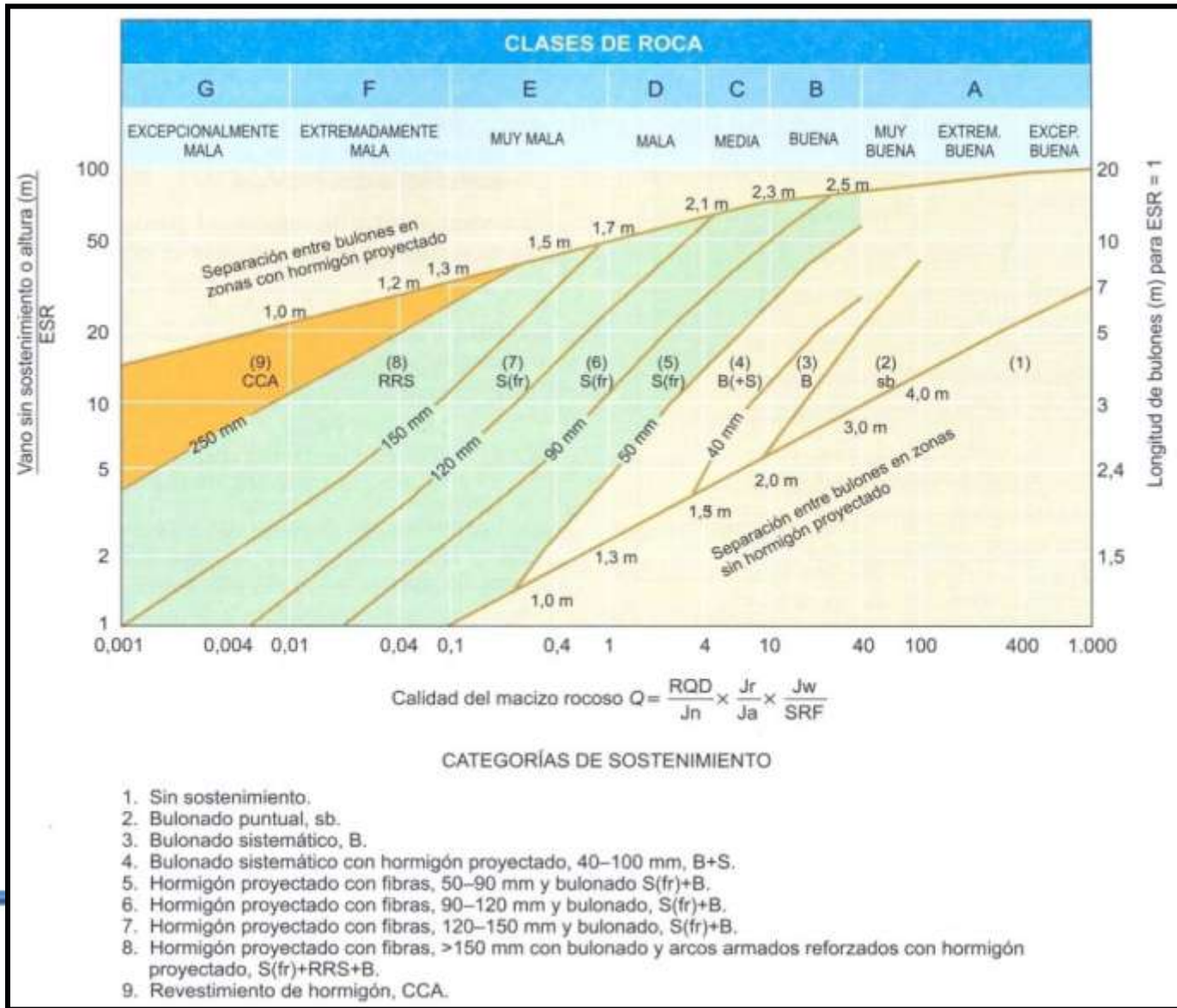
- R.Q.D: Índice de recuperación. (Rock Quality Designation)
- $J_n$ : Número de familias de diaclasas.
- $J_r$ : Grado de rugosidad de las diaclasas.
- $J_a$ : Grado de alteración de las diaclasas.
- $J_w$ : Presencia del Agua.
- SRF: Estado tensional del macizo rocoso.

La correlación entre RMR y Q (Bieniawski):

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



## Sostenimiento según índice (Q). Barton, et al.



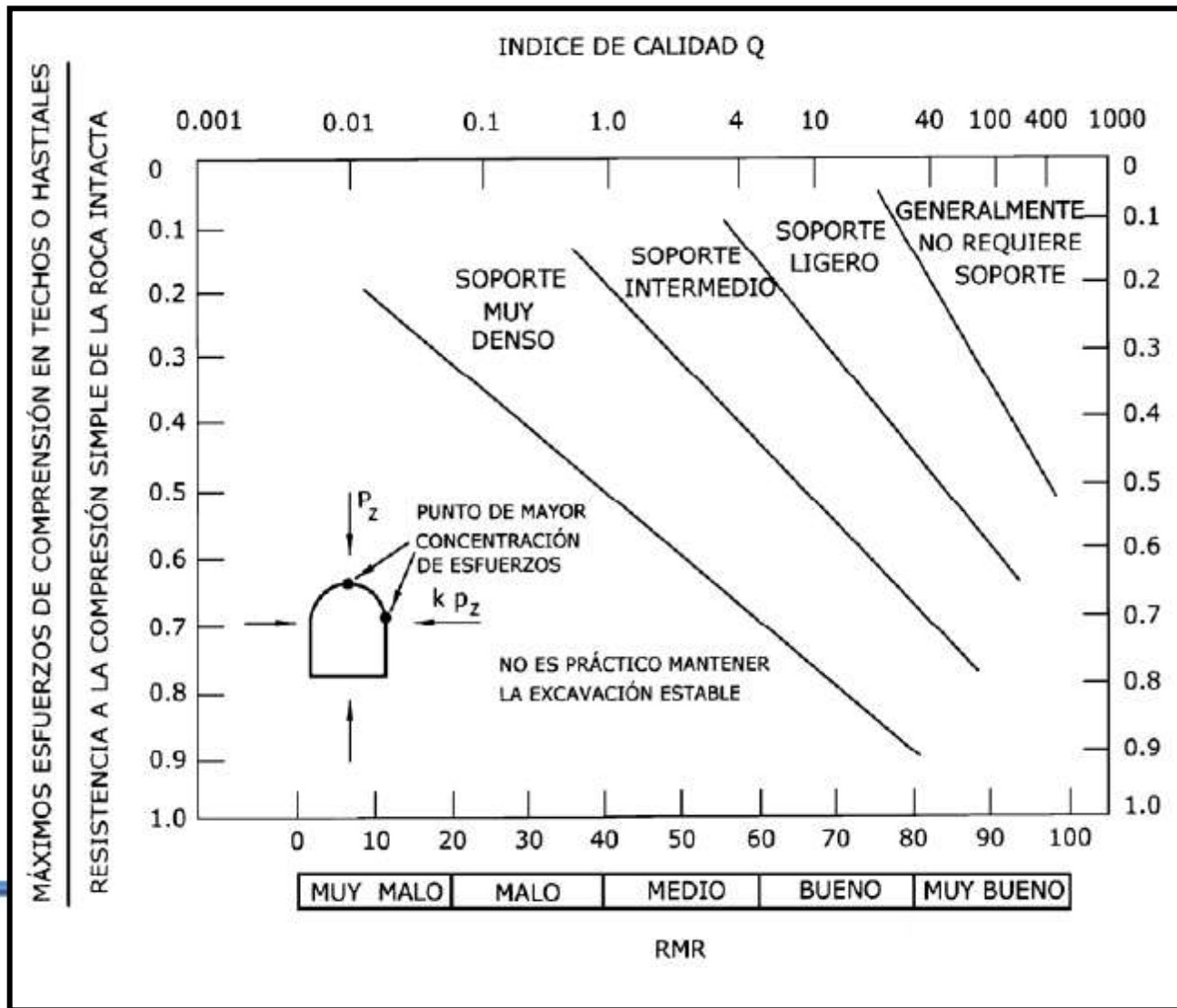
## Otras correlaciones entre RMR y Q

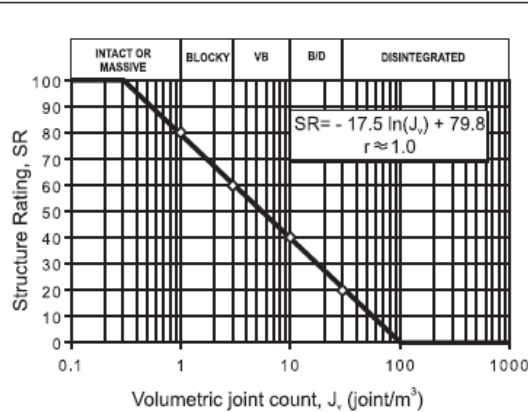
CORRELACIÓN	FUENTE	COMENTARIO
$RMR = 13,50 \log Q + 43$	Nueva Zelanda	Túneles
$RMR = 9 \ln Q + 44$	Varias Fuentes	Túneles
$RMR = 12,50 \log Q + 52,50$	España	Túneles
$RMR = 5 \ln Q + 60,8$	Sudáfrica	Túneles
$RMR = 43,89 - 9,19 \ln Q$	España (Roca blanda)	Minería
$RMR = 10,50 \ln Q + 41,80$	España (Roca blanda)	Minería
$RMR = 12,11 \log Q + 50,81$	Canadá (Roca dura)	Minería
$RMR = 8,70 \ln Q + 38$	Canadá (Rocas sedimentarias)	Túneles
$RMR = 10,00 \ln Q + 39$	Canadá (Roca dura)	Túneles

# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

En relación al diseño de sostenimientos Hoek, 1981.

Muestra el tipo de soporte en función de las clasificaciones RMR y Q.

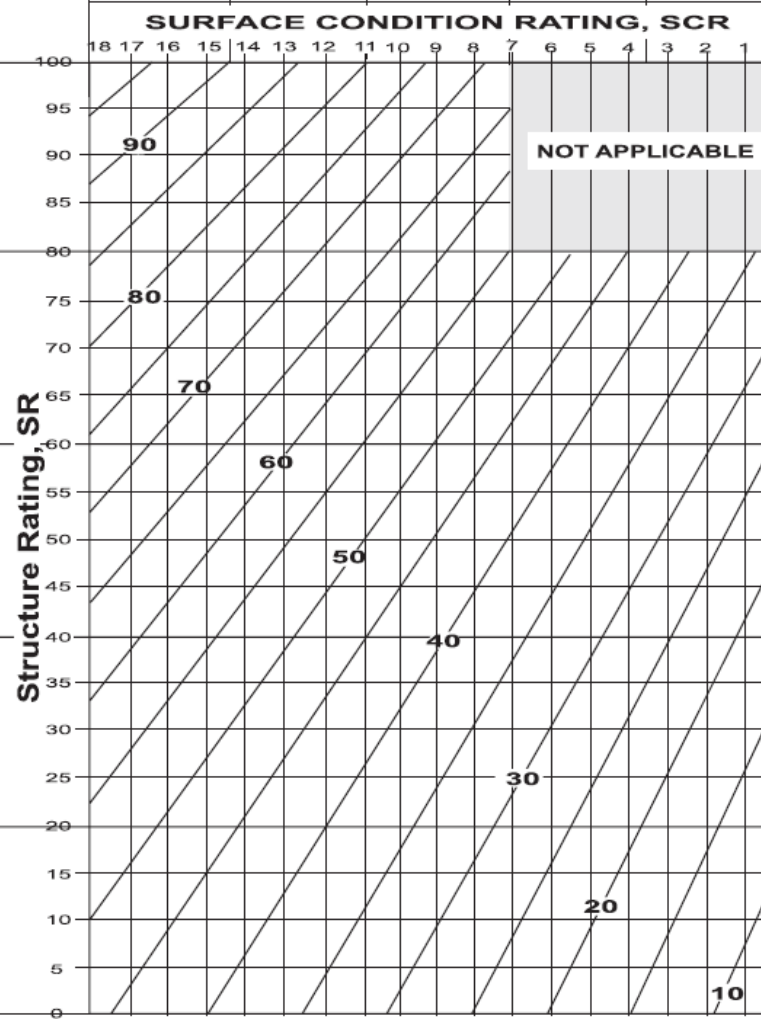




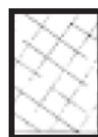
Roughness Rating (Rr)	Very rough 6	Rough 5	Slightly rough 3	Smooth 1	Slickensided 0
Weathering Rating (Rw)	None 6	Slightly weathered 5	Moderately weathered 3	Highly weathered 1	Decomposed 0
Infilling Rating (Rf)	None 6	Hard < 5 mm 4	Hard > 5 mm 2	Soft < 5 mm 2	Soft > 5 mm 0

$SCR = R_r + R_w + R_f$

VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Smooth, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered or altered surfaces	POOR Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings of angular fragments	VERY POOR Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or filling
---	---	--	--	---



**INTACT OR MASSIVE**- Intact rock specimens or massive in-situ rock masses with very few widely spaced discontinuities



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



**VERY BLOCKY**-interlocked partially disturbed rock mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more discontinuity sets



**BLOCKY/DISTURBED/SEAMY**-folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding plane or schistosity

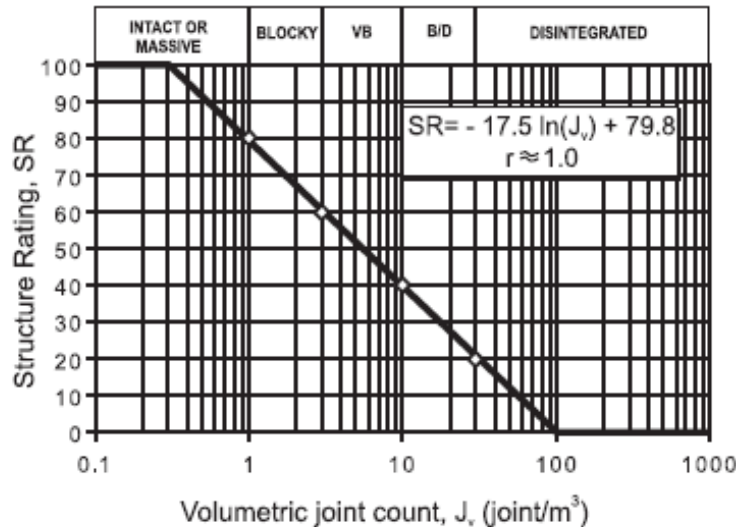


**DISINTEGRATED**-poorly interlocked, heavily broken rock mass with a mixture of angular and rounded rock pieces

y Belandria  
cada (GIGA)  
le Geológica  
omecánica



# Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



Roughness Rating (Rr)	Very rough 6	Rough 5	Slightly rough 3	Smooth 1	Slickensided 0
Weathering Rating (Rw)	None 6	Slightly weathered 5	Moderately weathered 3	Highly weathered 1	Decomposed 0
Infilling Rating (Rf)	None 6	Hard < 5 mm 4	Hard > 5 mm 2	Soft < 5 mm 2	Soft > 5 mm 0

$$SCR = R_r + R_w + R_f$$

VERY GOOD  
Very rough, fresh unweathered surfaces

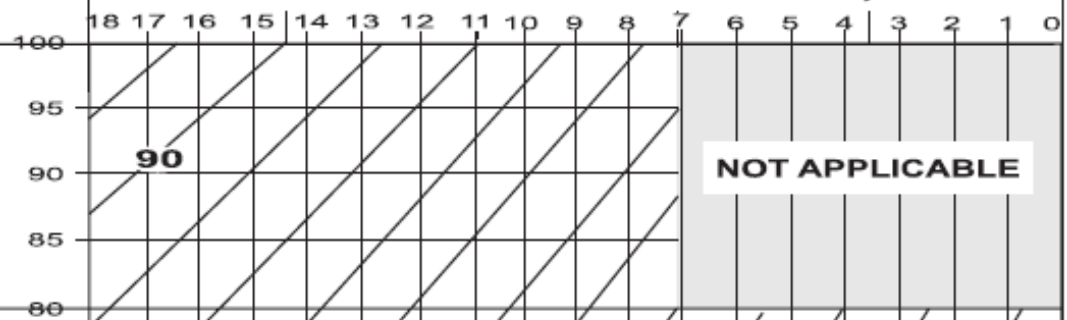
GOOD  
Smooth, slightly weathered, iron stained surfaces

FAIR  
Smooth, moderately weathered or altered surfaces

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

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

## SURFACE CONDITION RATING, SCR



INTACT OR MASSIVE- Intact rock specimens or massive in-situ rock masses with very few widely spaced discontinuities