

DISEÑO DE TÚNELES

AGENDA DISEÑO DE TÚNELES

- Importancia del estudio de 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

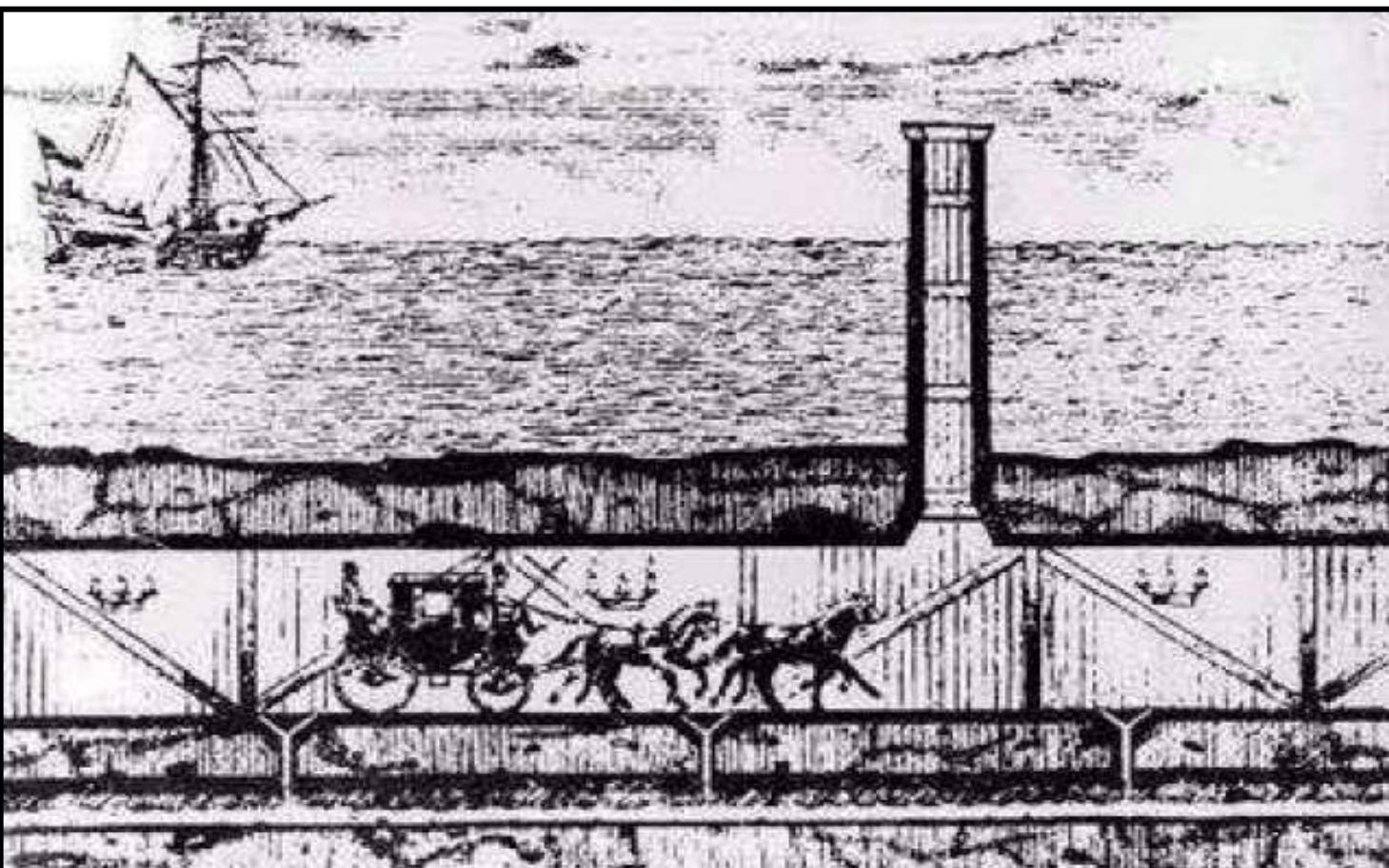


Imagen ficticia del túnel ideado por Thomé de Garamond bajo las aguas del Canal de la Mancha (proyecto presentado en 1867 en la Exposición Universal).

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

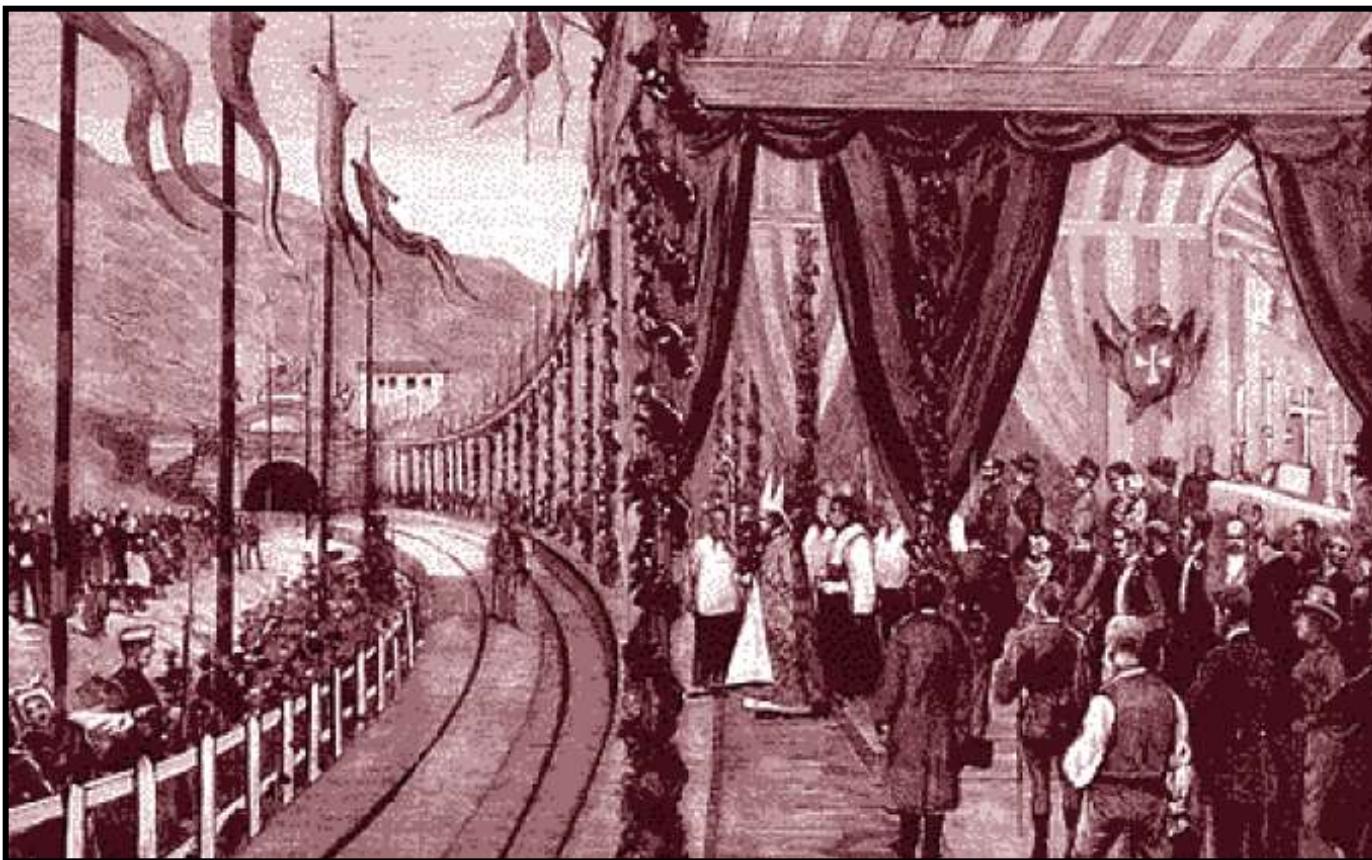


Imagen correspondiente a la bendición de los raíles de la vía del túnel de Perruca en León (1884)

Historia del diseño un túnel

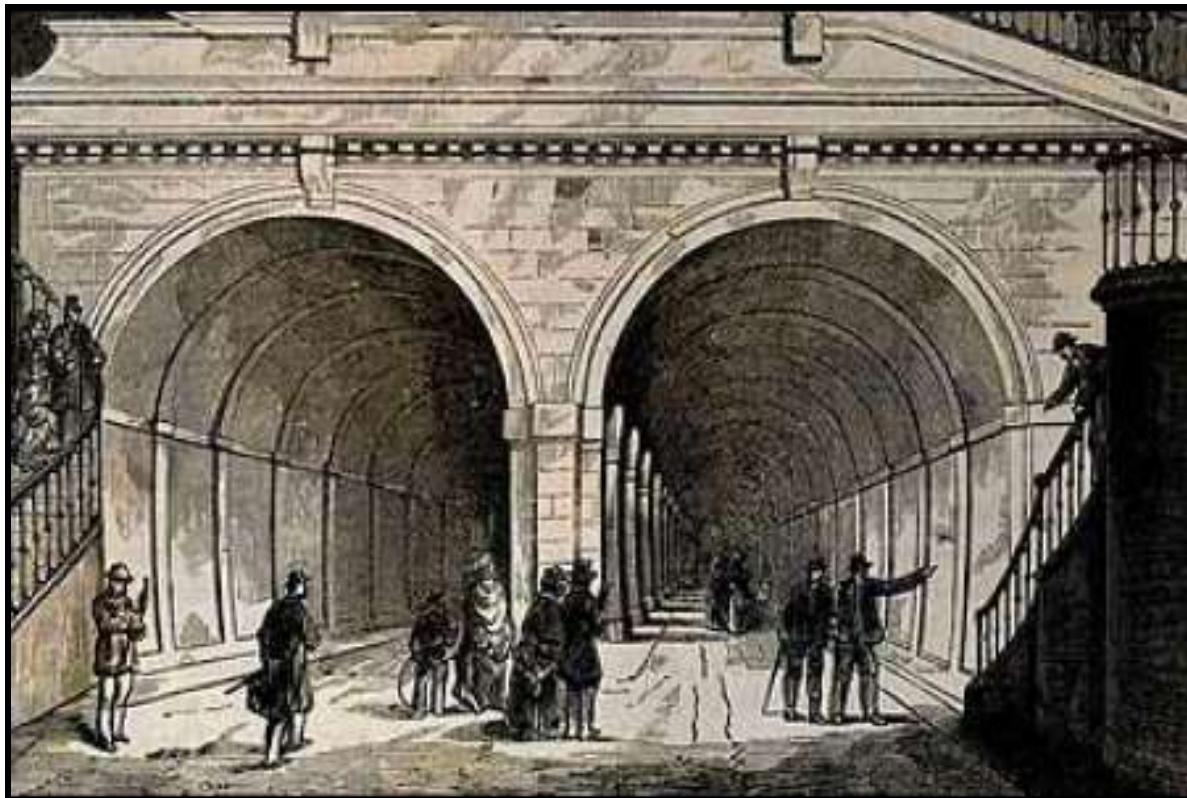
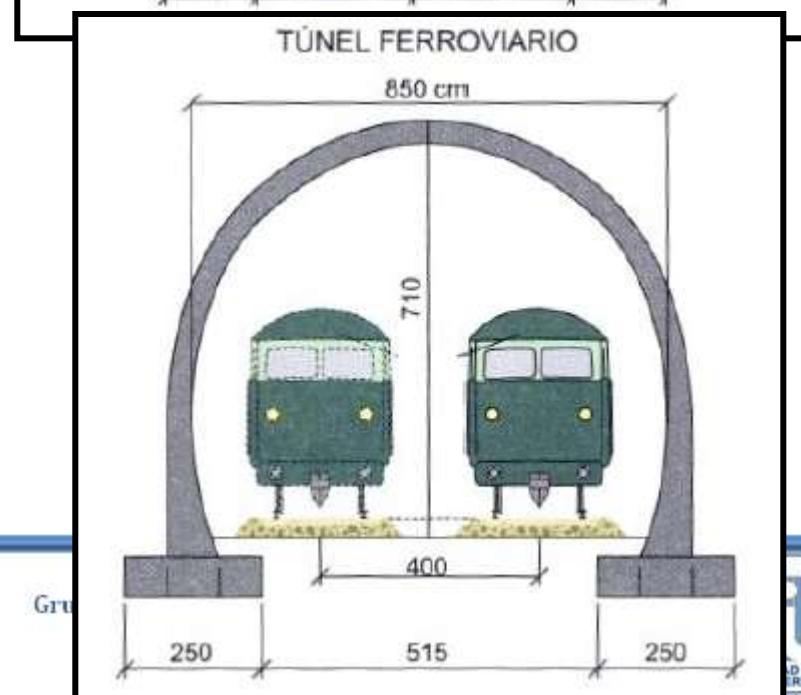
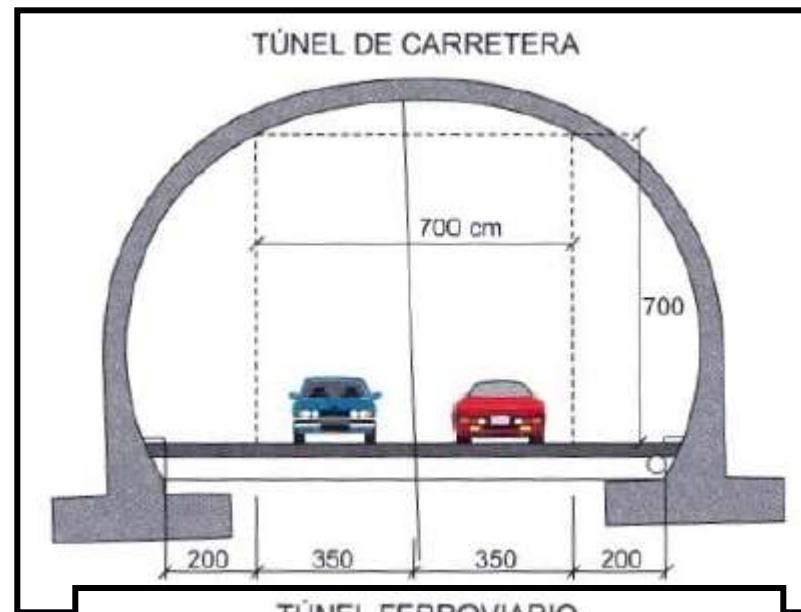
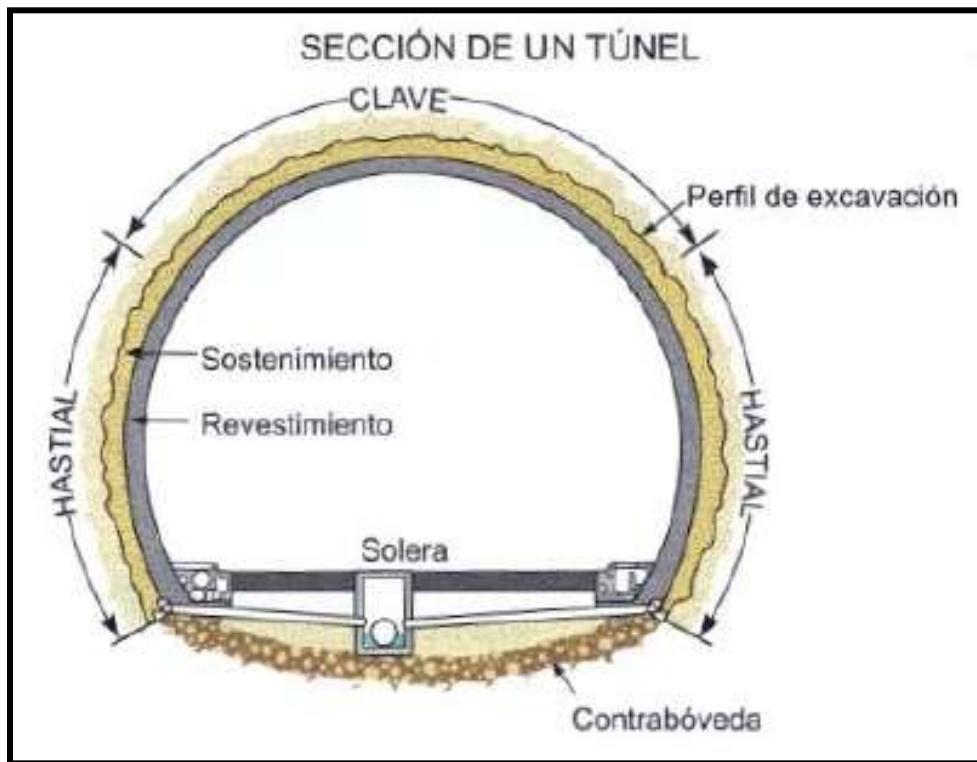
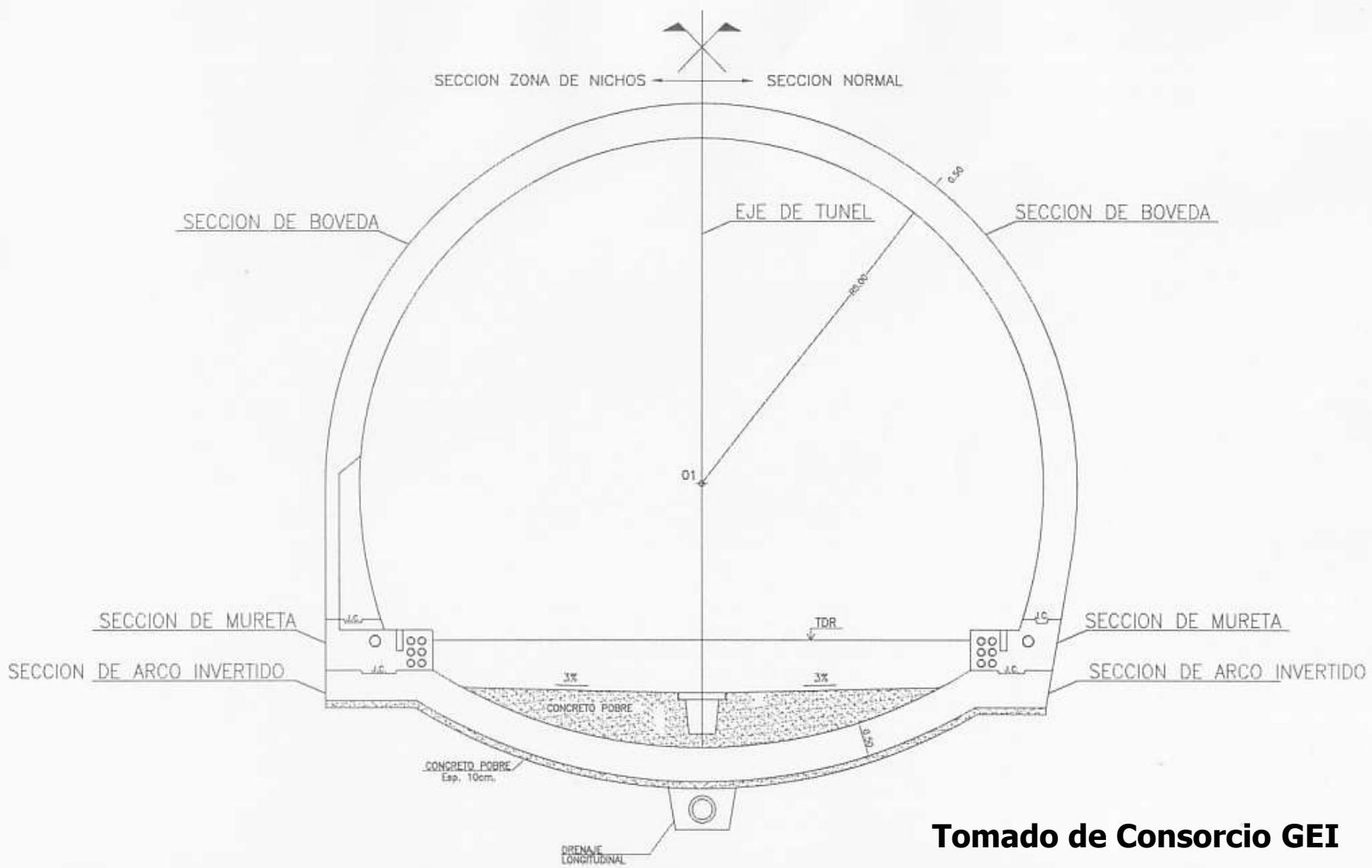


Imagen de época del túnel construido bajo las aguas del río Támesis (1843)

Sección de un túnel

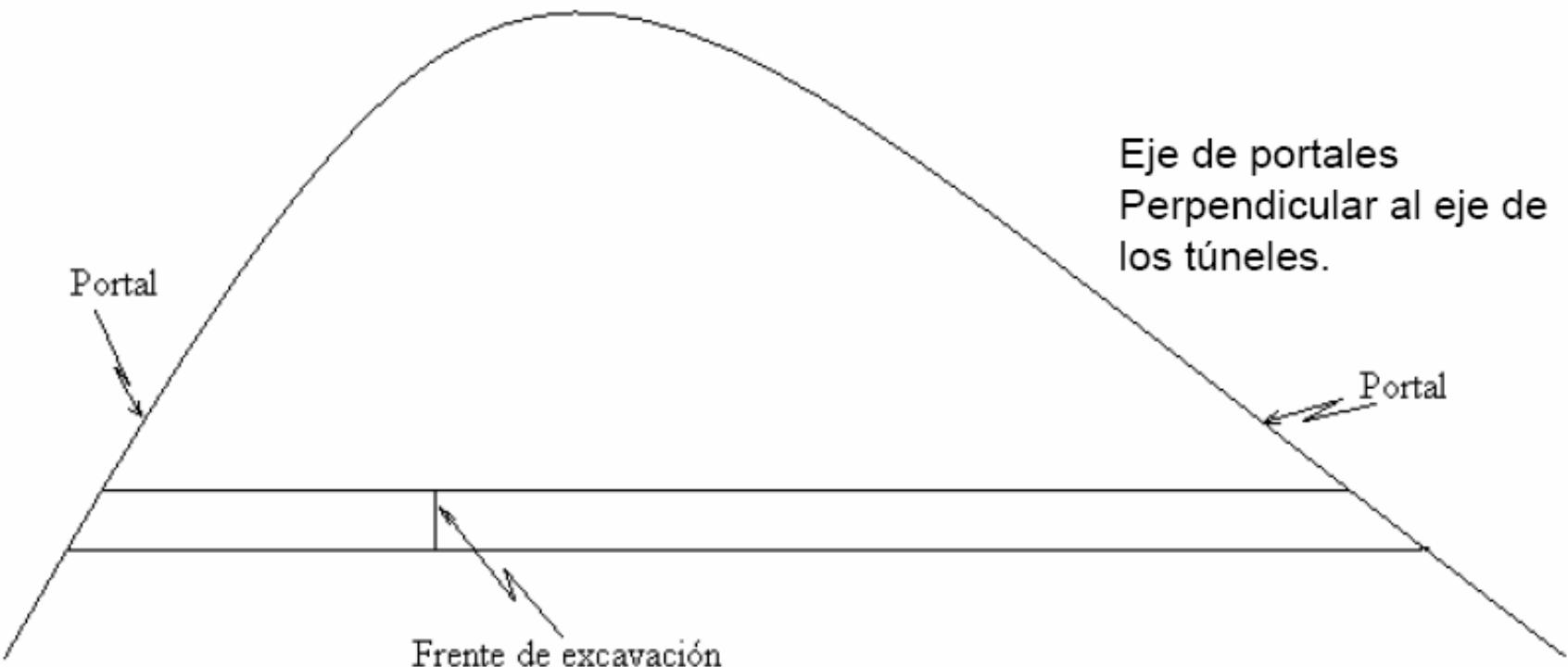


SECCIONES CONSTRUCTIVAS DE REVESTIMIENTO FINAL



Tomado de Consorcio GEI

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



Buzamiento de los portales definidos por la pendiente del terreno natural

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



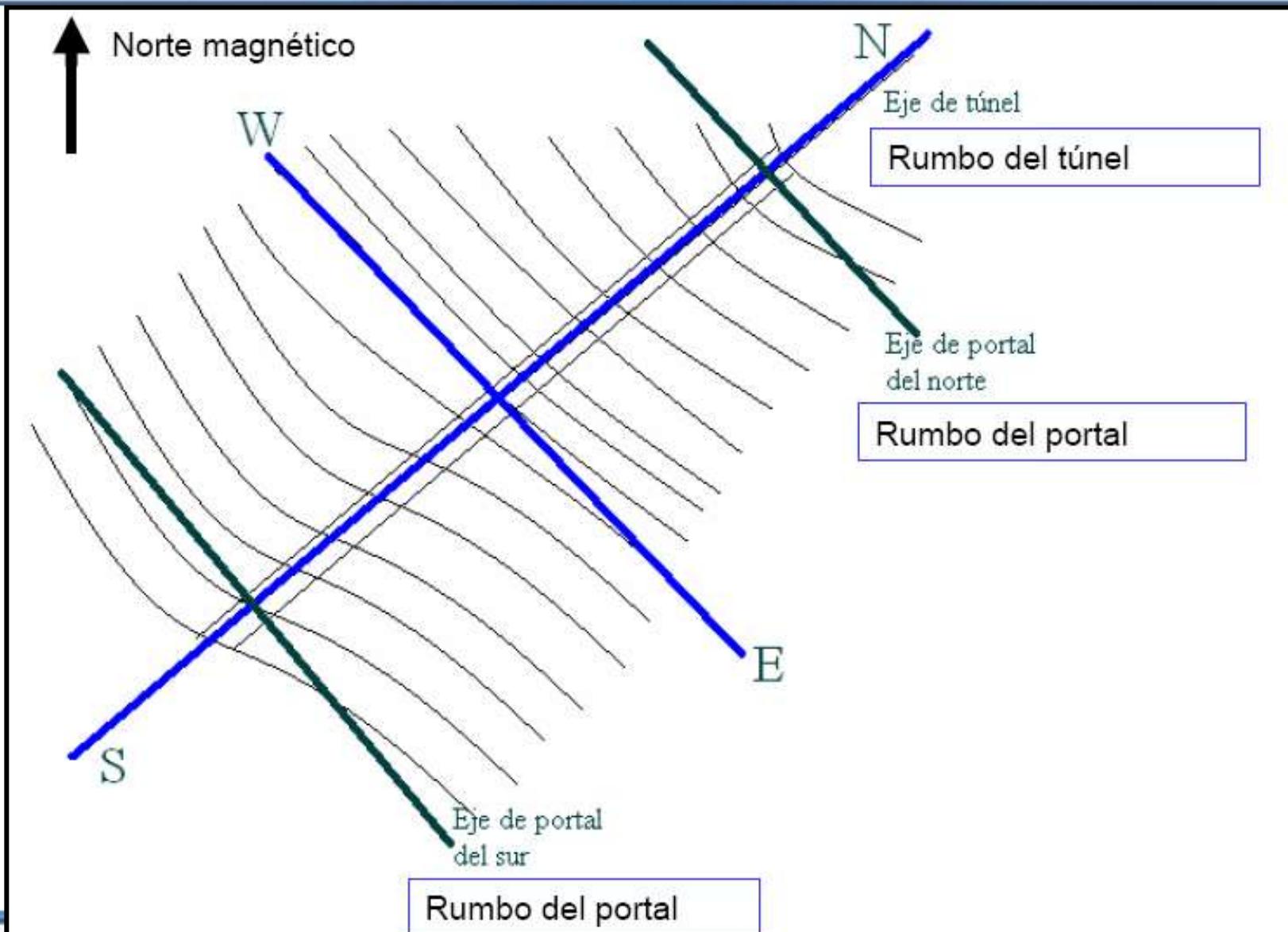
Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

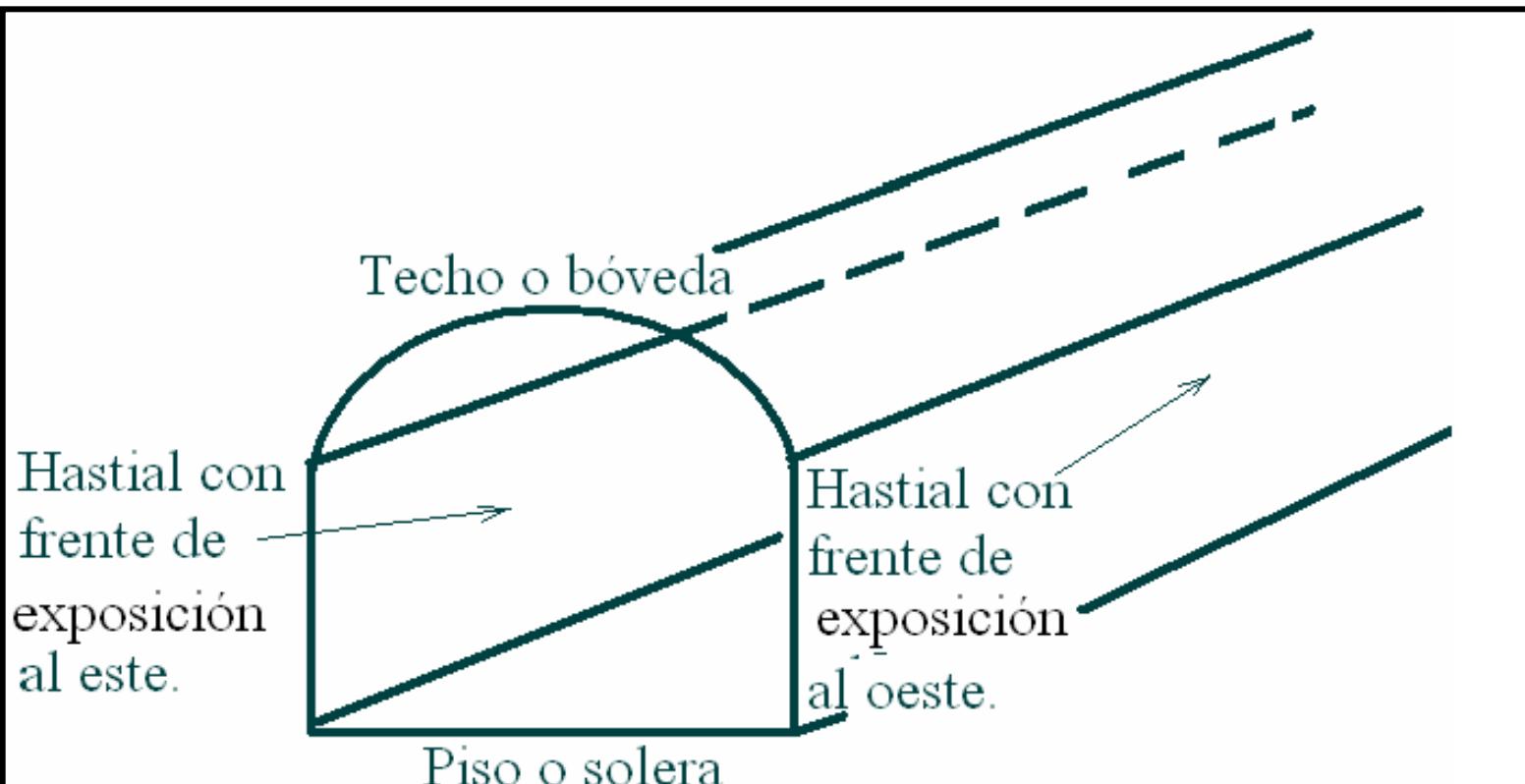


Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles





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

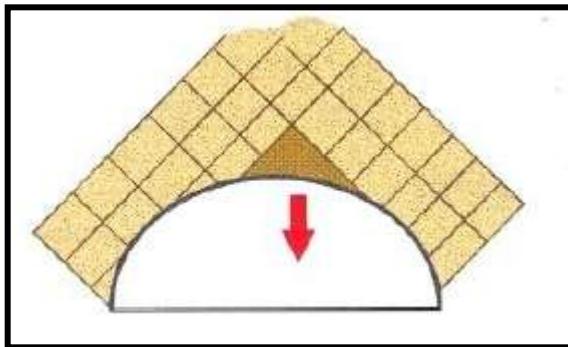
Reconocimiento del terreno en las distintas fases de construcción de un túnel

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

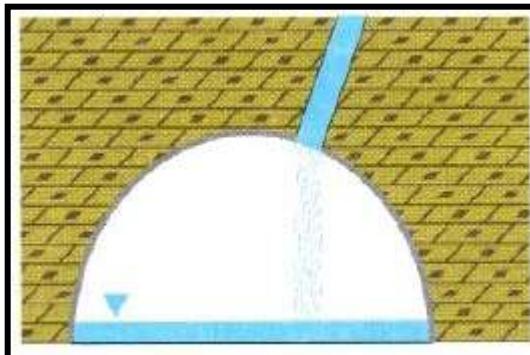
Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

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

Influencia de las condiciones geológicas.



Orientación desfavorable de las discontinuidades.



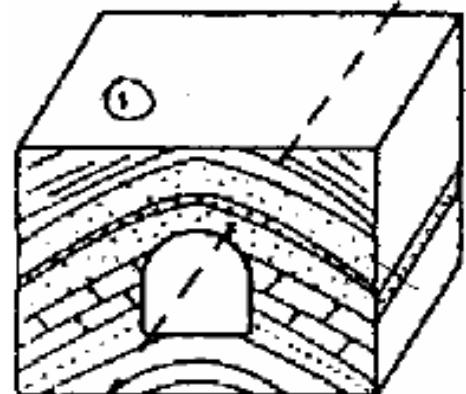
Filtración hacia el interior de la excavación.

-Orientación desfavorables de las discontinuidades con respecto al eje del túnel.

-Orientación desfavorable de las tensiones.

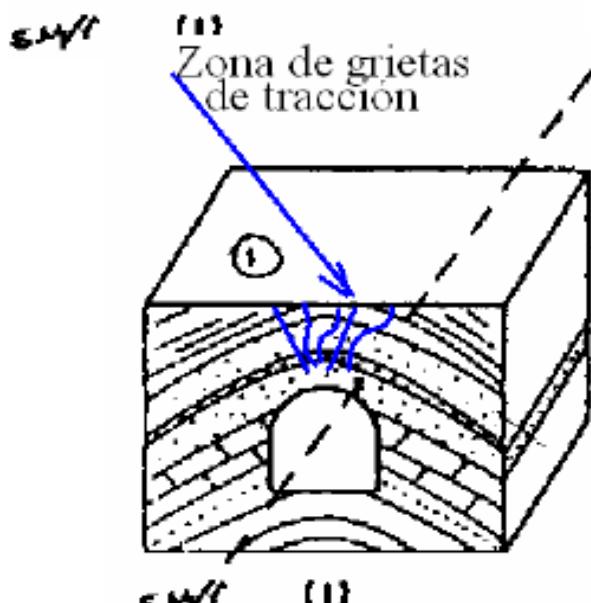
-Flujo de agua hacia el interior de la excavación.

Estructuras geológicas



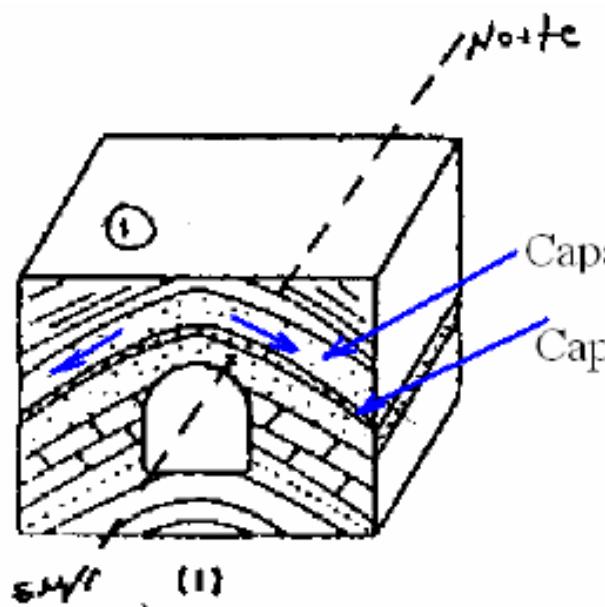
Ubicación del túnel respecto a las capas:

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

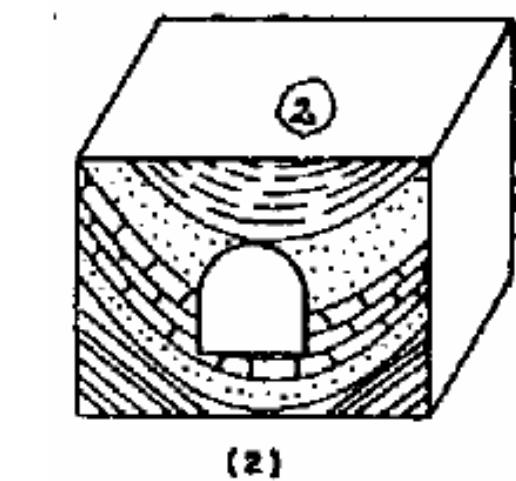


- Se debe evitar construir el túnel paralelo al eje del anticinal.
- Siempre existirá agua en el túnel
- Aumentará la permeabilidad.
(permeabilidad secundaria: Flujo a través de discontinuidades y grietas)

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



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

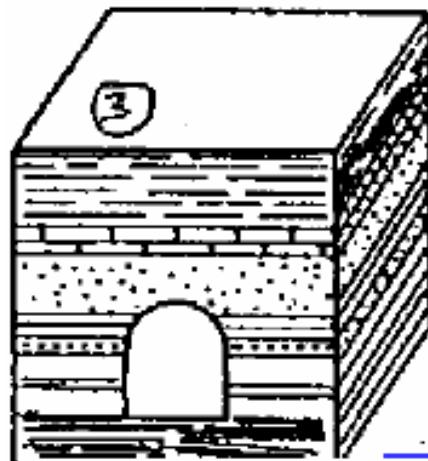


- Eje túnel paralelo al eje del sinclinal
- Rumbo de capas paralelo al eje del túnel
- Rumbo de capas perpendicular al rumbo de portales.
- Ambos hastiales son cinematicamente inestables.
- Posible zonas de grietas en la zona más baja y de menor resistencia del sinclinal.

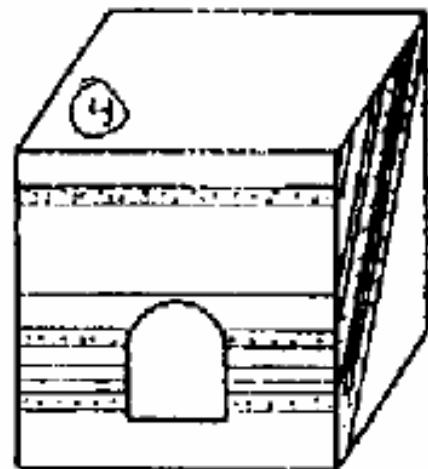
Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

Norma:

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

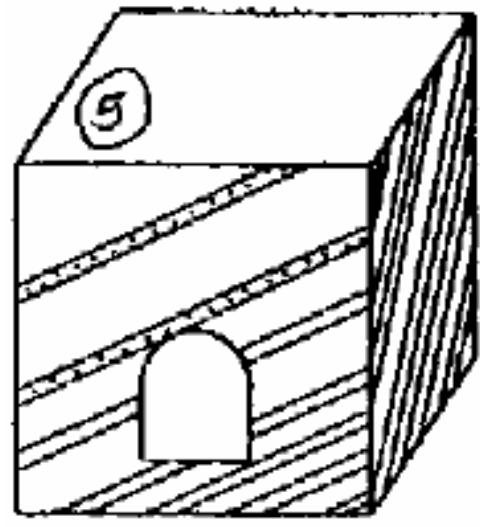


- Túnel ubicado en suelo estratificado con capas horizontales (infinitos rumbos para las capas)
- Los hastiales son cinemáticamente estables.
- El problema puede ser fallas flexulares de algunos estratos débiles.
- Otro problema es el hacer el avance con la presencia de distintos materiales.

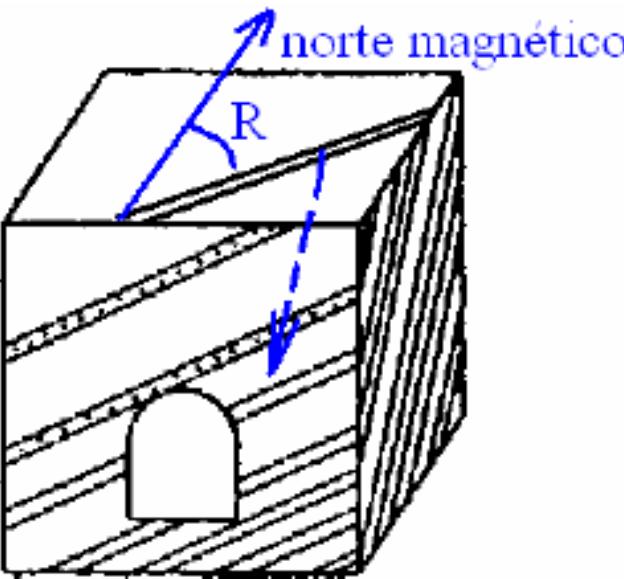


- Rumbo del túnel perpendicular a rumbo de las capas
- Rumbo de las capas paralelo al rumbo de los portales.
- Portal sur cinematicamente inestable.
- Portal norte cinematicamente estable aunque pueden existir problemas de volcamientos de capas.
- Frente de excavación del sur cinematicamente inestable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

(2)

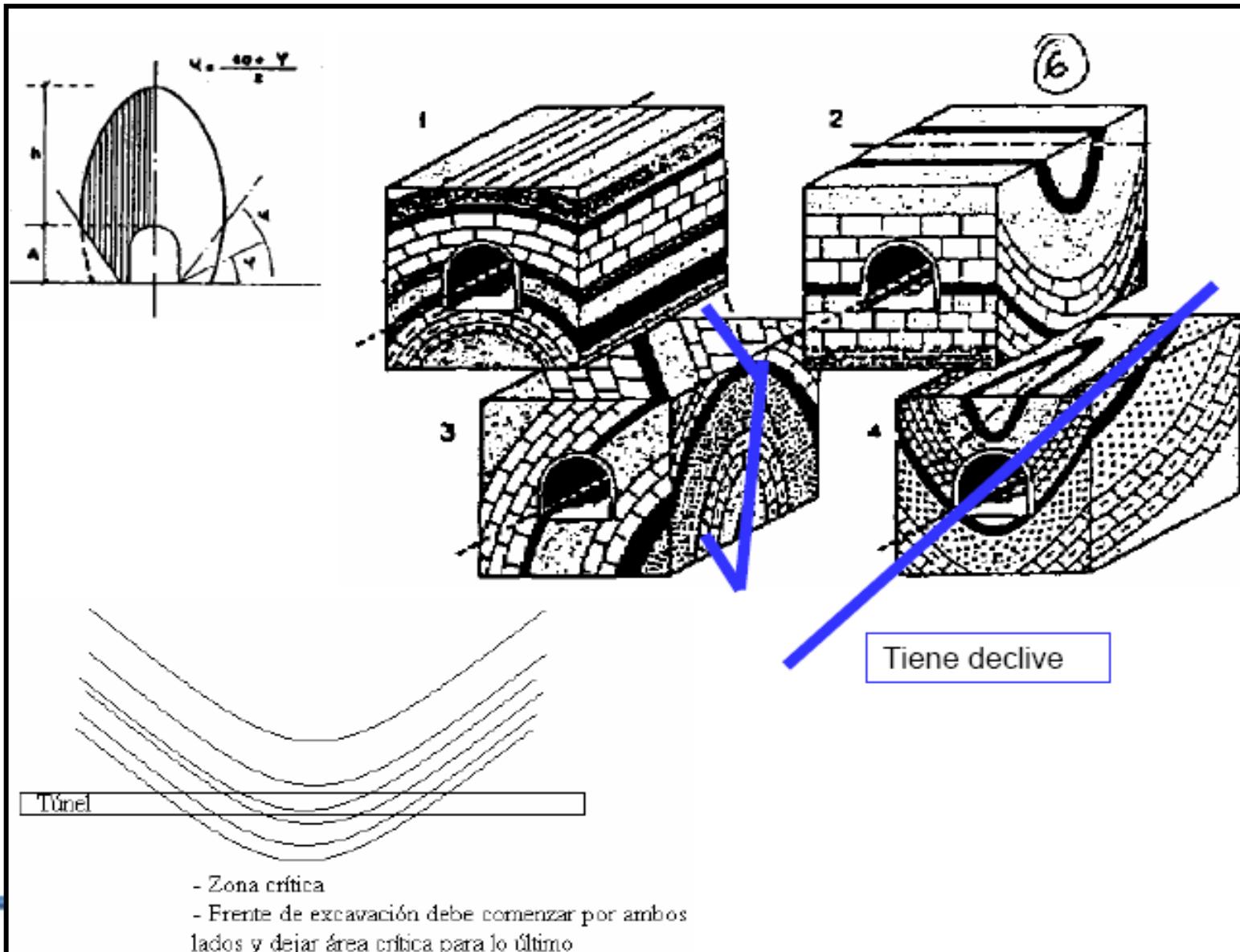


(3)



- 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:

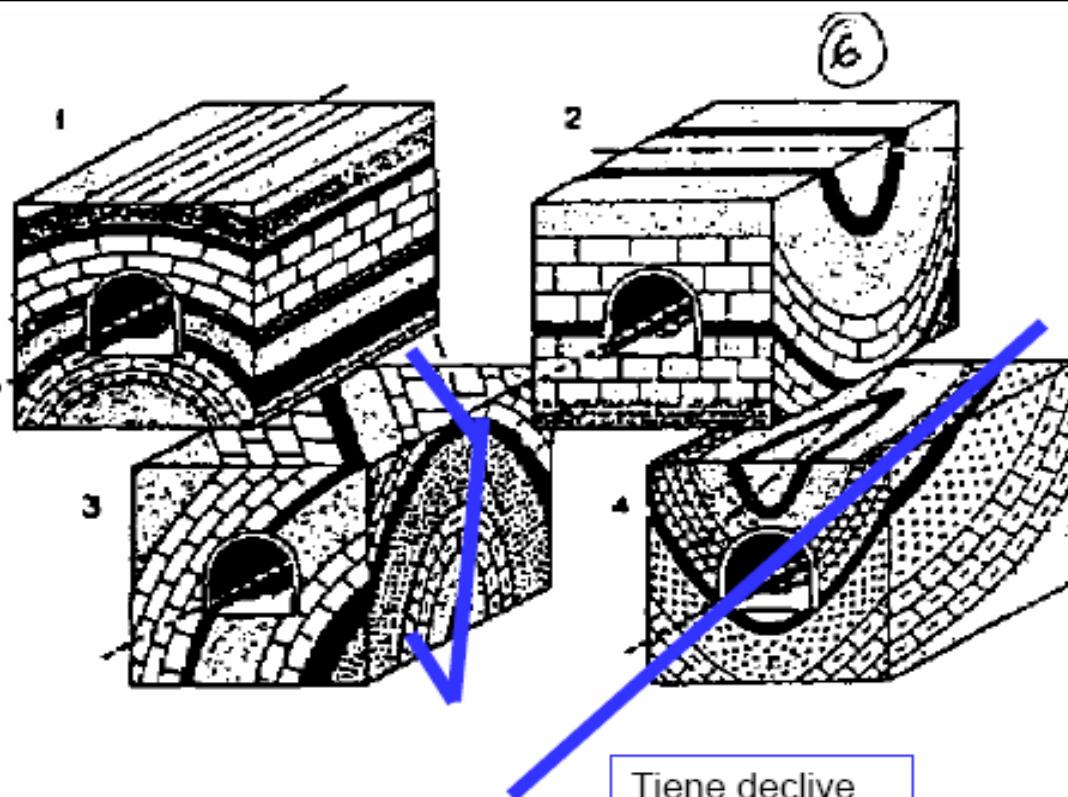
Anticinal (declive horizontal)

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

Caso 2:

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

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



Caso 3:

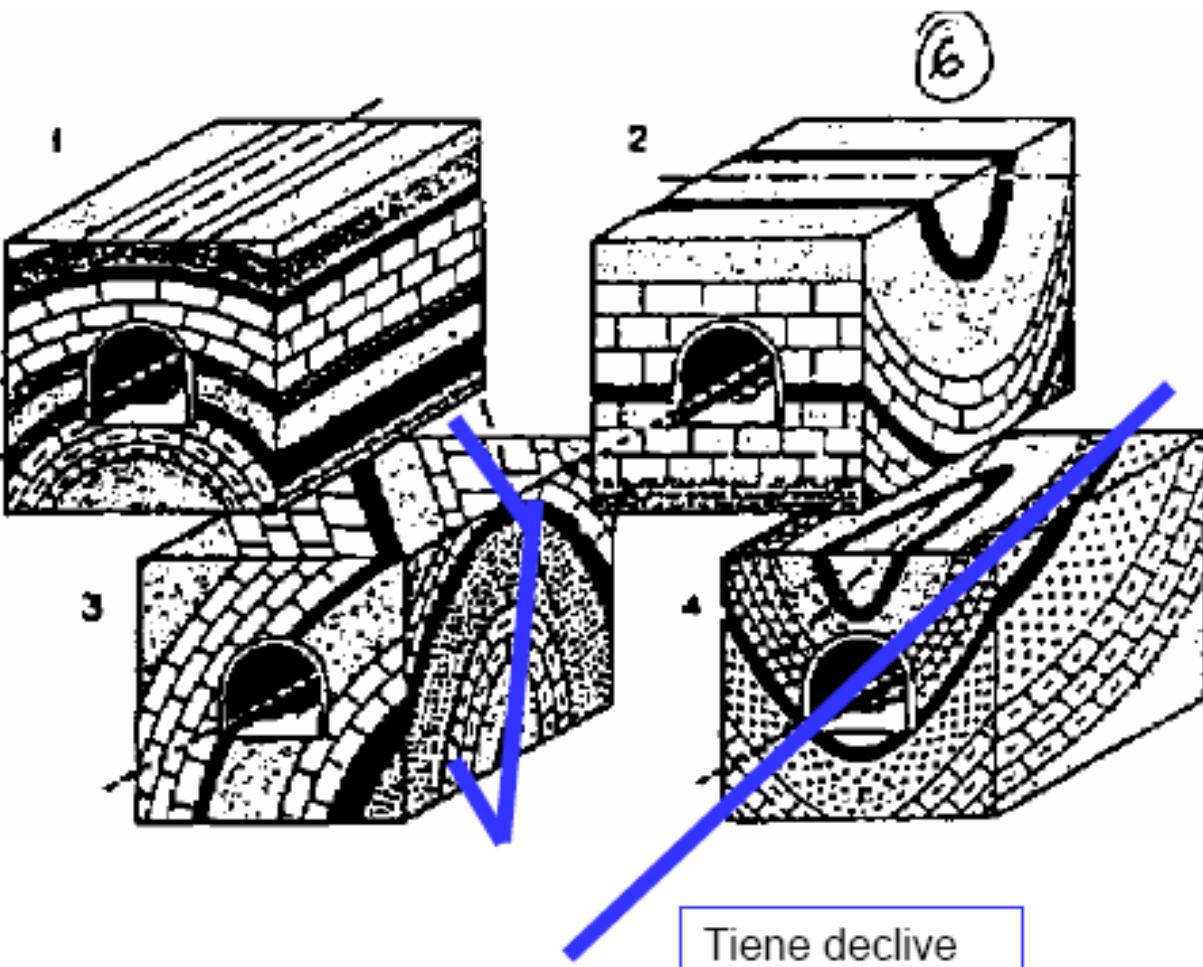
Las mayores presiones en el túnel están en la entrada y disminuyen en el centro

Antes de llegar al plano del eje del túnel, el hastial con frente de disposición al oeste es cinematicamente 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.



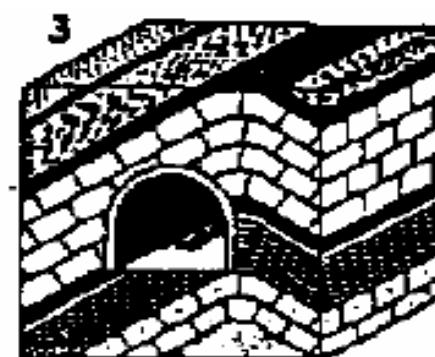
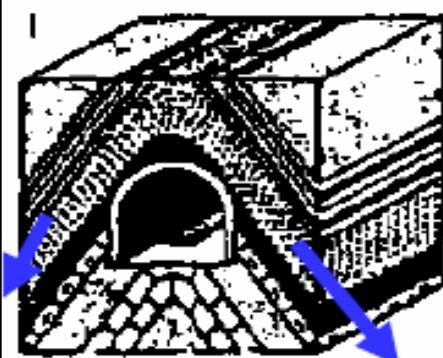
Caso 4:

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.

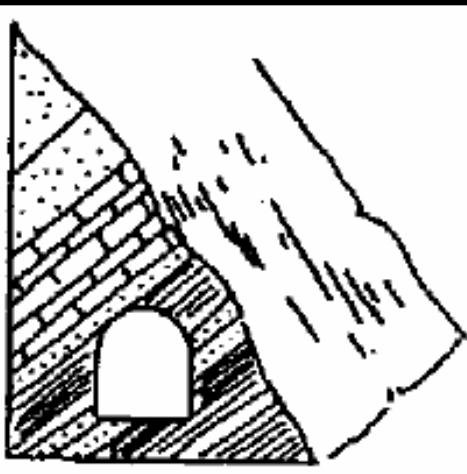


(2)

- 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.



- 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.

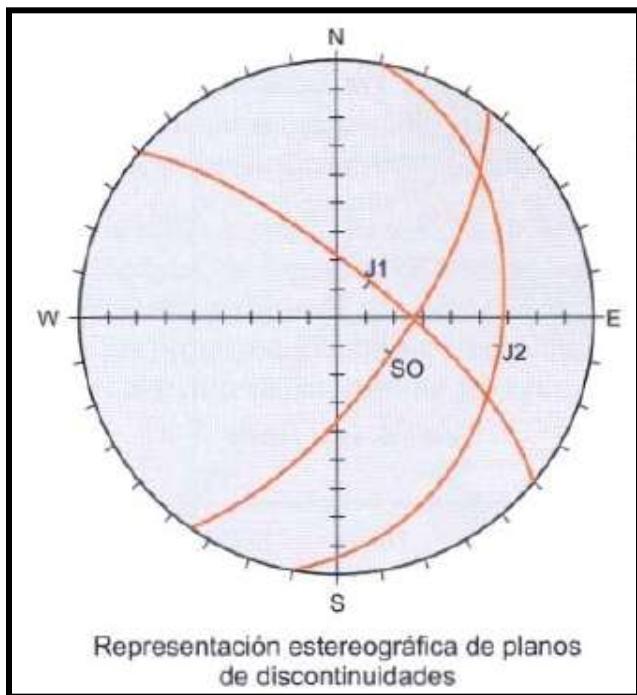
(3)



(4)

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

Discontinuidades.

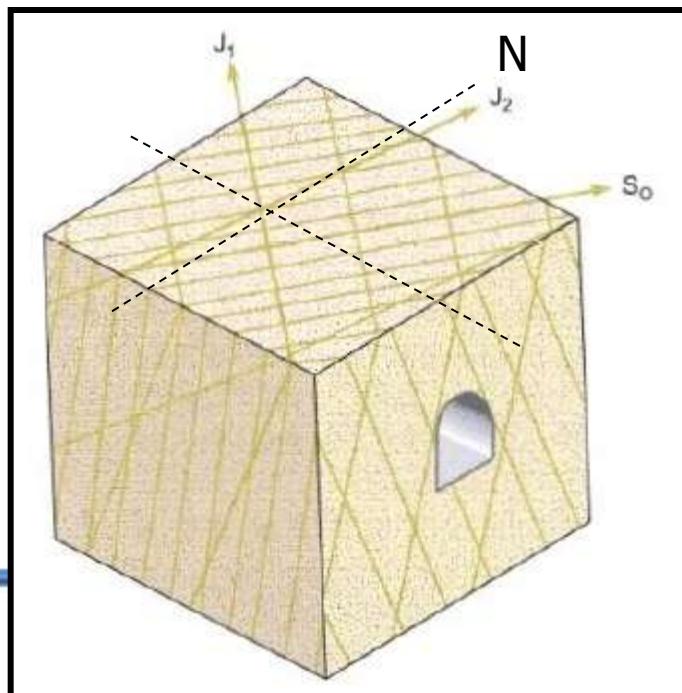
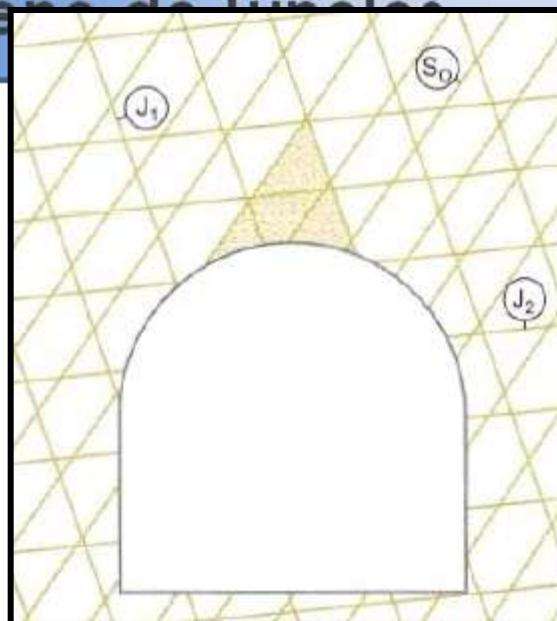


J1: N50W, 75NE

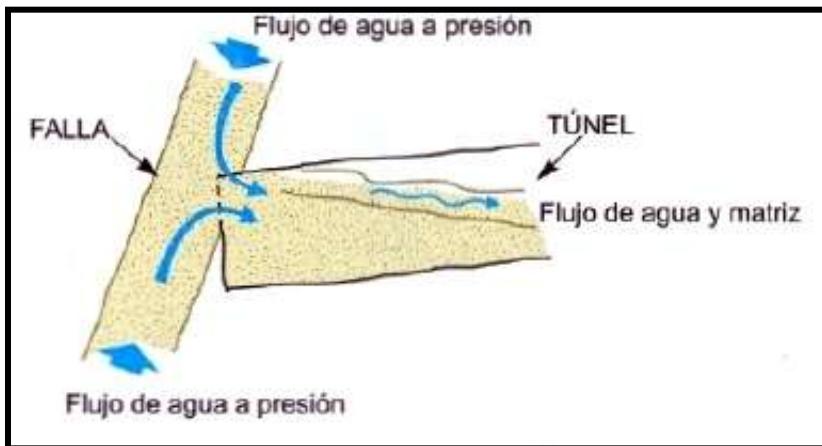
J2: N10E, 37SE

So: N35E, 70SE

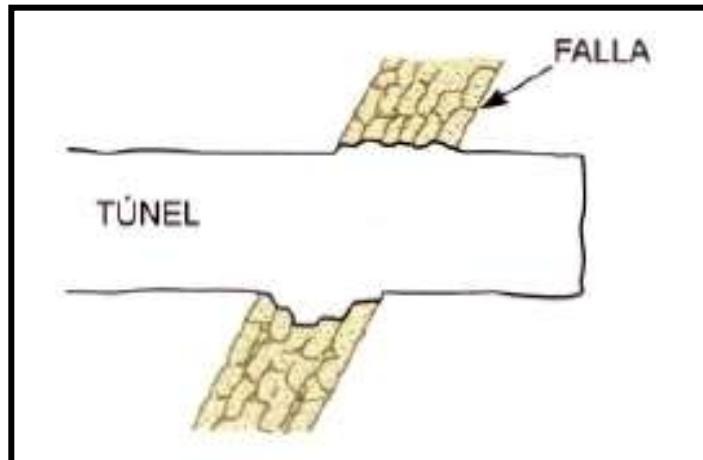
Túnel E-W



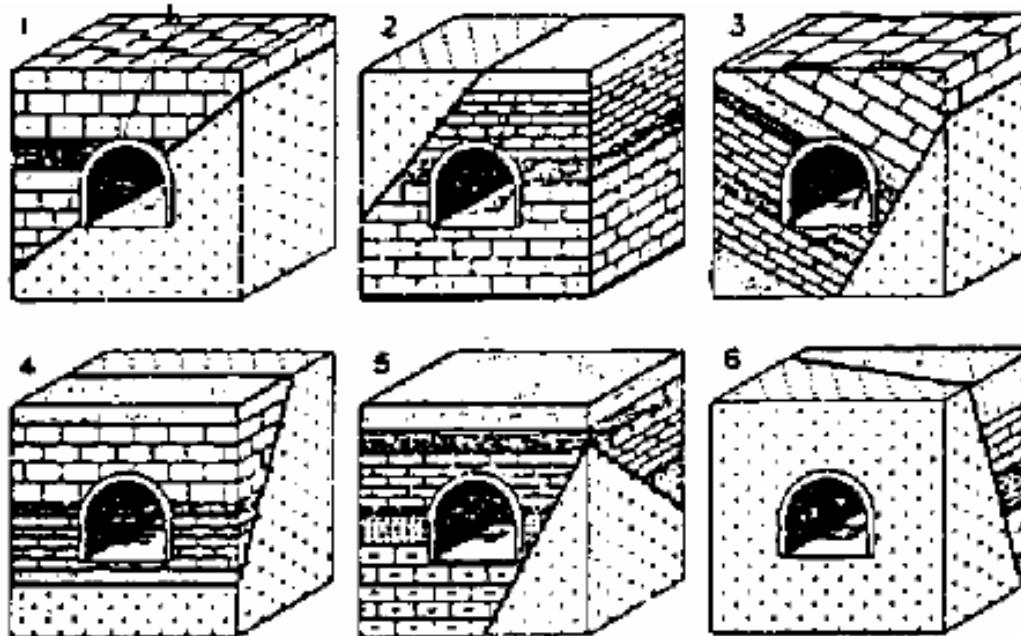
Discontinuidades y flujo de agua.



- 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

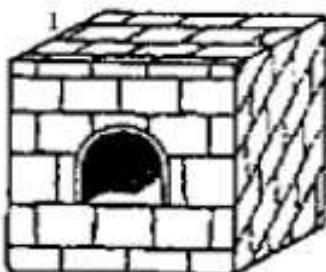
Discontinuidades y flujo de agua.

Comentarios:

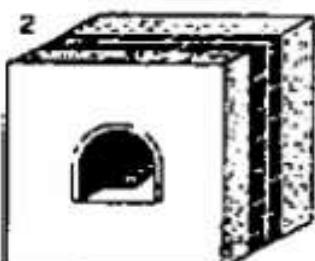
Sea la falla activa o inactiva, en la zona fallada el terreno suele estar fracturado y ser inestable. Se pueden encontrar fuertes caudales como el caso de un sinclinal.

También algunas veces, el espacio entre los labios de la falla, está lleno 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.

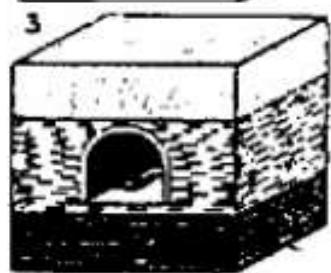
Condiciones hidrogeológicas



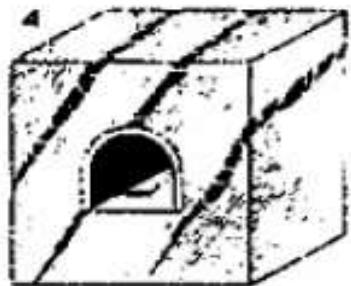
Caso 1: Si la roca es sana las filtraciones serán pequeñas hacia el túnel. La simbología de la roca es de caliza.



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.

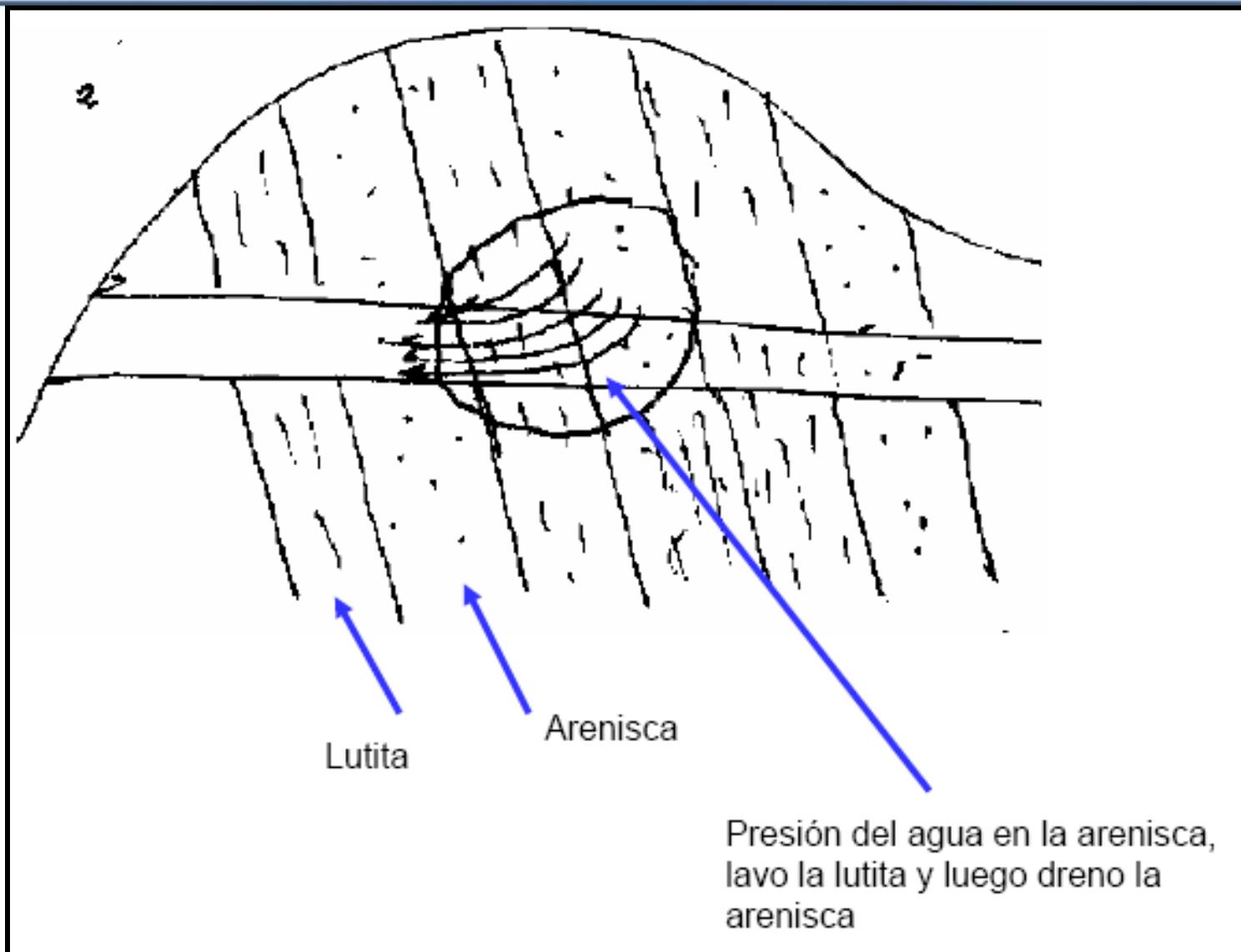


Caso 3: Si existe filtraciones a través de la arenisca, el delgado espesor de lutita en techo puede sufrir filtraciones.



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

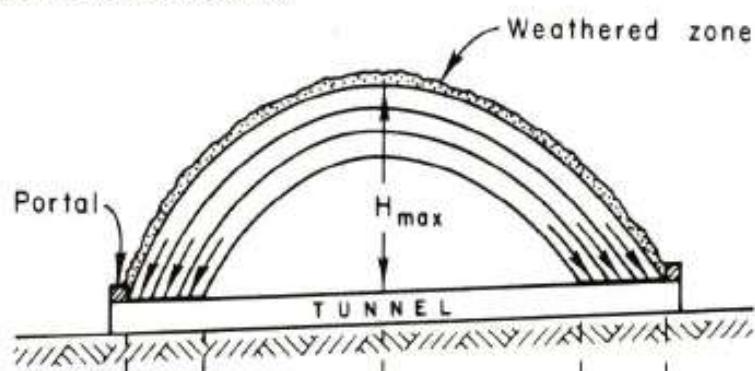
Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



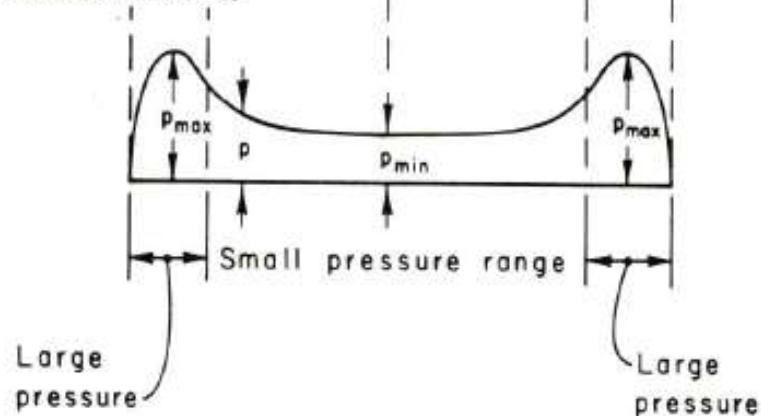
Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

ROCK MECHANICS

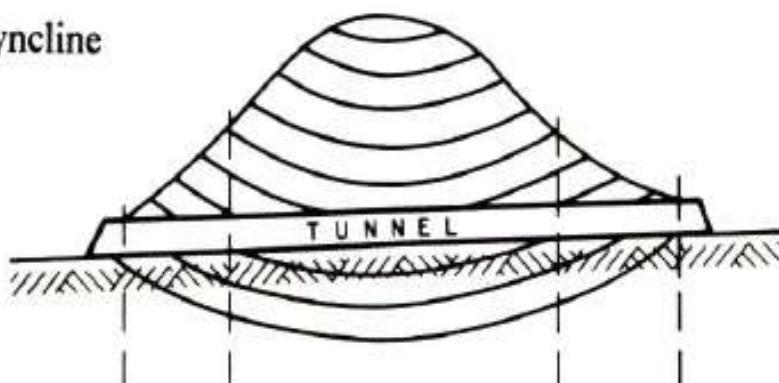
a) Natural arch-anticline



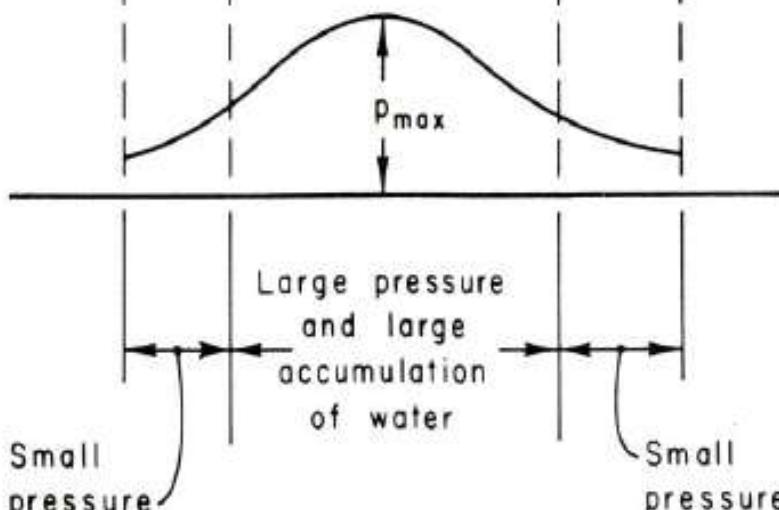
b) Pressure variation



a) Syncline



b) Pressure variation



Estado tensional.

Naturales.

- Tectónico

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

- Gravitacionales

K = Constante de reposo.

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

$$\sigma_h = K \sigma_v$$

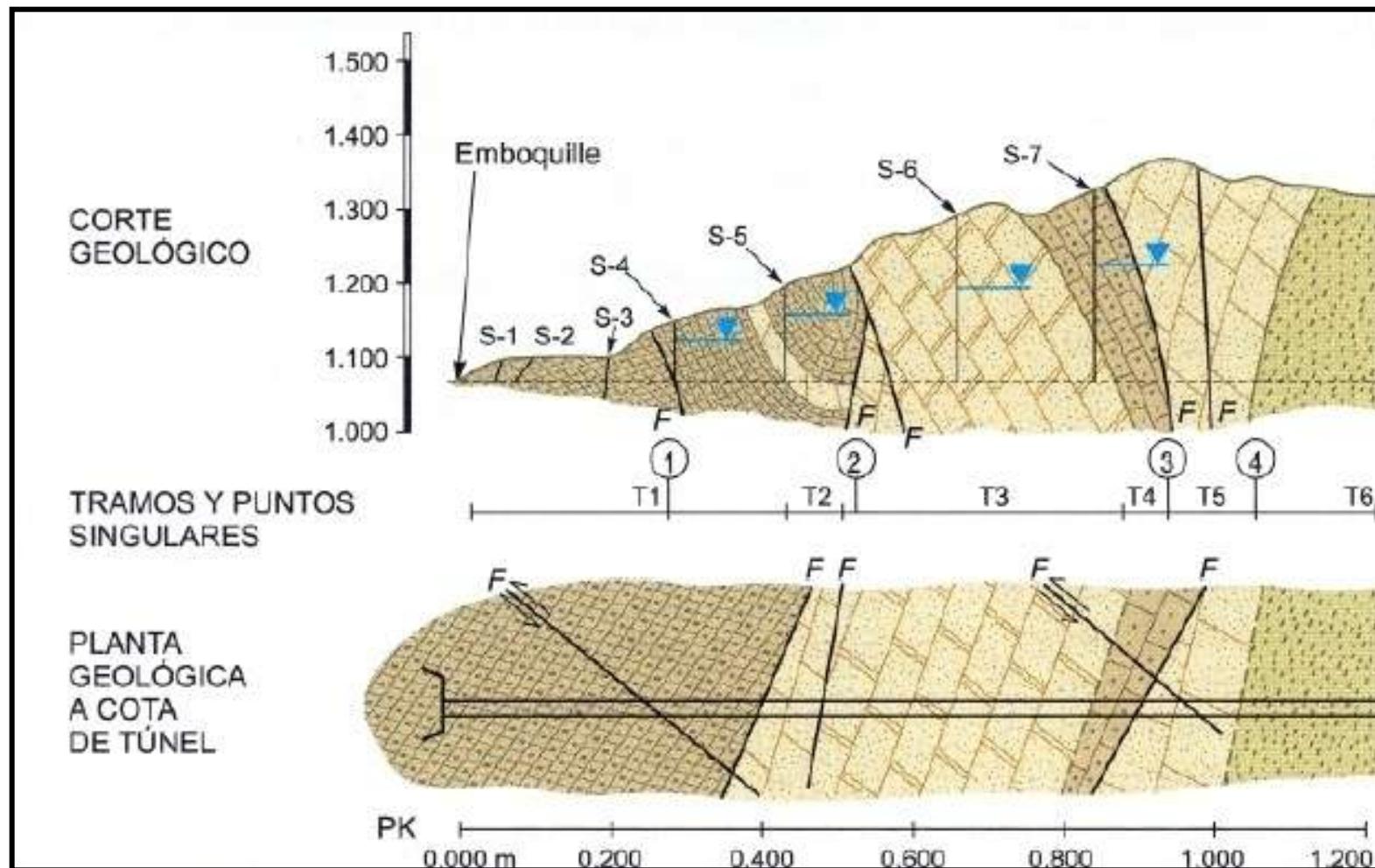
$K < 1$ si el comportamiento es elástico.
(1/3).

$K = 1$ Presiones hidrostáticas
(deformaciones plásticas)

$K > 1$ Existe erosión.

Inducidas.

Clasificaciones geomecánicas para túneles.



Clasificaciones geomecánicas para túneles.

SINGULARES

PLANTA GEOLÓGICA A COTA DE TÚNEL

PK 0,000 m 0,200 0,400 0,600 0,800 1,000 1,200

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 extinguibles	Variables con posibles puntos de filtraciones		Golpes de agua con altos caudales		
CLASIFICACIÓN RMR	45 - III - Media	72 - II - Buena		61 - II Buena		
σ_3 (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 Baniawski, 1973.

(RMR) Rock Mass Rating

4) Barton, Lien y Lunde, 1974.

Indice de calidad Q

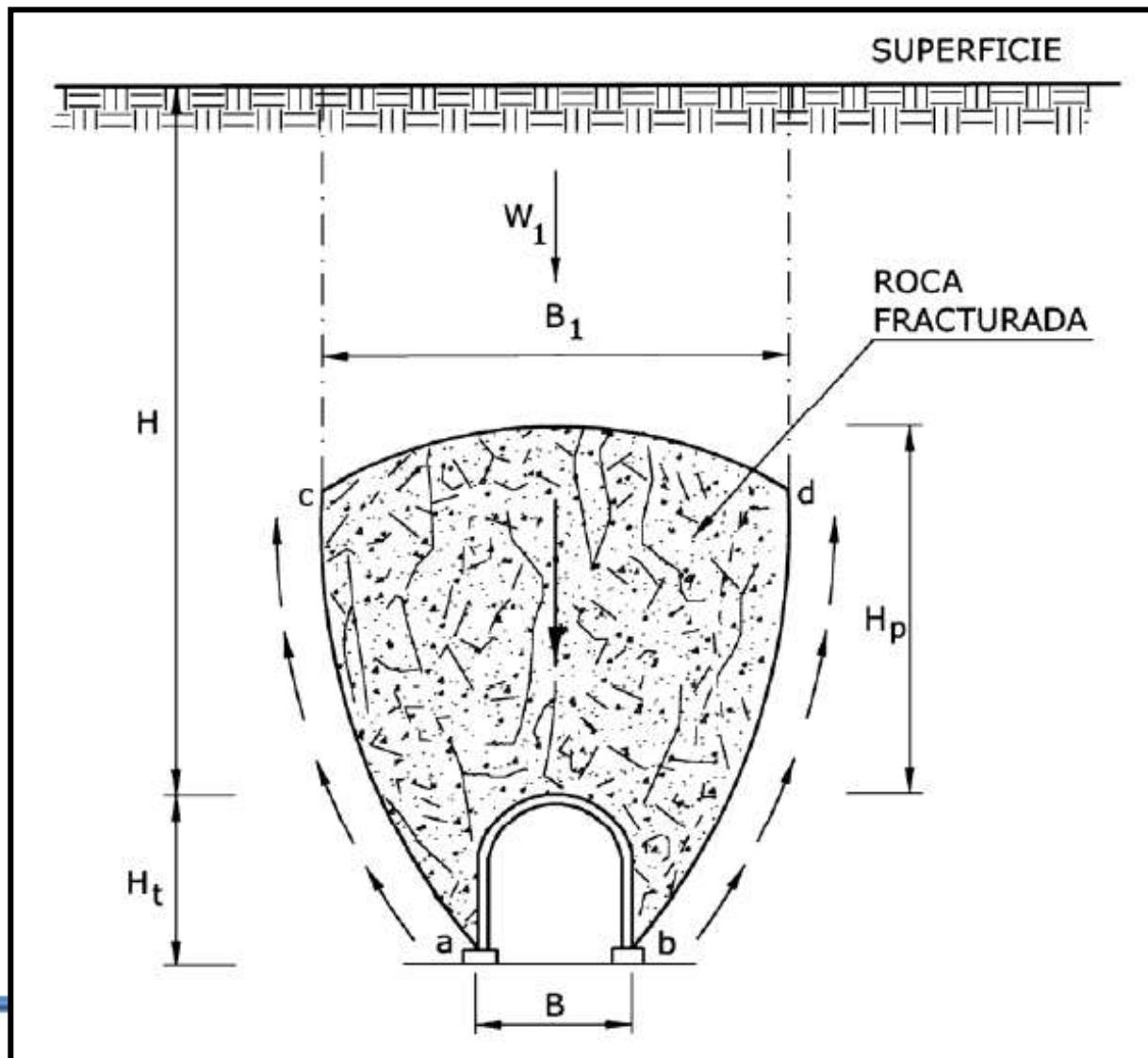
5) Hoek y Brown, 1988.

Indice de calidad GSI (Geological Strength Index)

6) Palmstron, 1996.

Índice del macizo Rocoso RMi

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 fluyente, profundidad moderada	$(1,10$ a $2,10) \cdot (B + H_t)$	Fuertes presiones laterales, se requieren contrabóvedas, cerchas circulares recomendables
8. Roca fluyente, 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.

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 · B a 0,35) · (B+H _t)	75 – 85	Sin presión lateral.
5. Muy fracturada en bloques o fisurada	(0,35 · B a 1,10) · (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 a 2,10) · (B+H _t)	No aplicable	Fuertes presiones laterales, se requieren contrabóvedas, cerchas circulares recomendables.
8. Roca fluyente, gran profundidad	(2,10 a 4,50) · (B+H _t)	No aplicable	
9. Roca expansiva	Hasta 70 m, independiente-mente 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	
ígneos	30	26	15	10	
sedimentario	24	20	12	8	
metamórfico	27	22	14	9	

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		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 Bieniawaski (RMR).

$$RMR = 1 + 2 + 3 + 4 + 5$$

	RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA σ_c	Bajo carga puntual	> 80 kg /cm ²	40 - 80 kg /cm ²	20 - 40 kg /cm ²	10 - 20 kg /cm ²	< 10 kg /cm ²		
1	A compresión simple en kg /cm ²	> 2.000 kg / cm ²	1.000 - 2.000 kg /cm ²	500 - 1.000 kg /cm ²	100 - 250 kg /cm ²	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	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 Bieniawaski (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

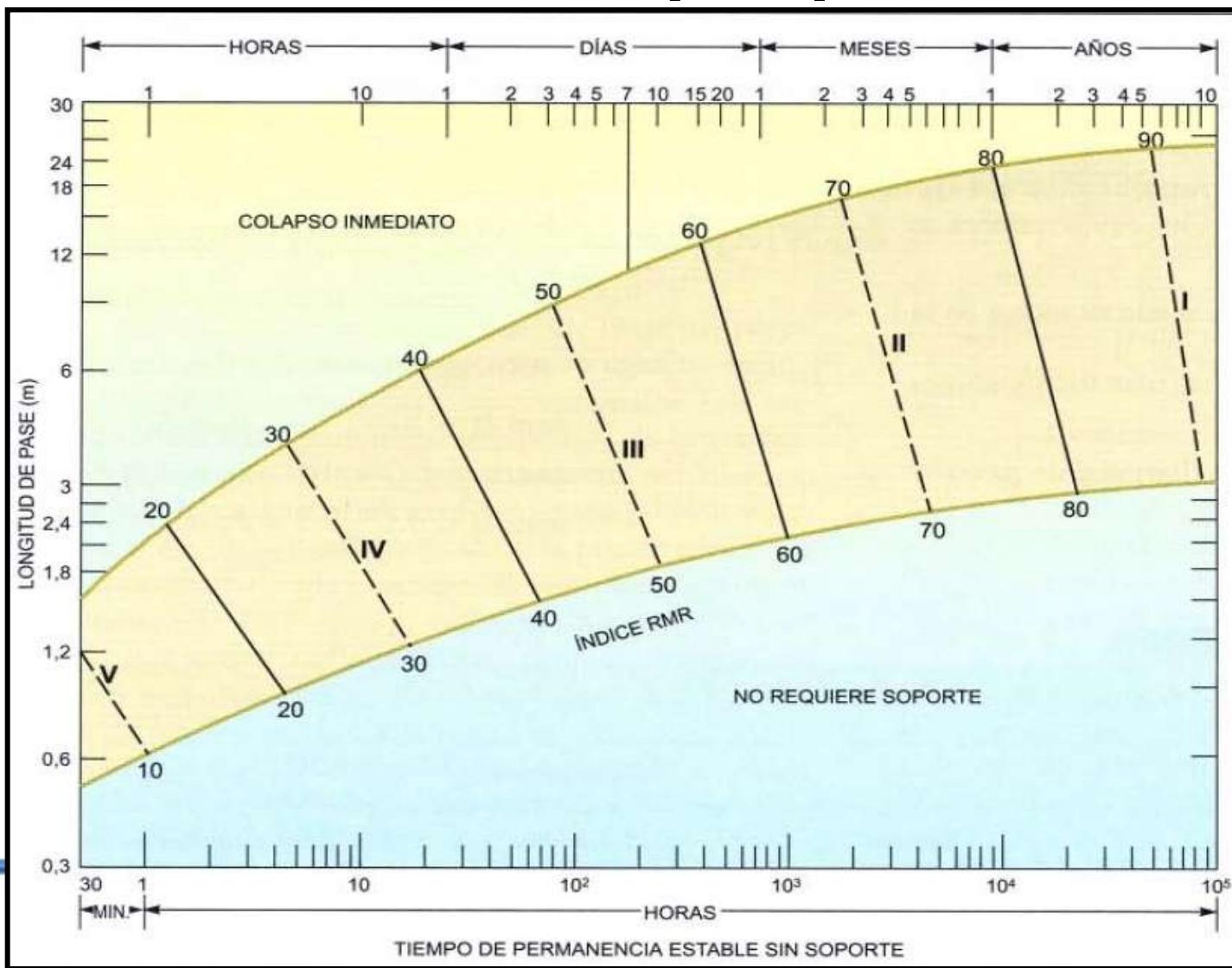
VALOR TOTAL R.M.R.	81 – 100	61 – 80	41-60	21 – 40	< 20
CLASE NÚMERO	I	II	III	IV	V
DESCRIPCIÓN	Muy bueno	Bueno	Medio	Malo	Muy malo

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 Algun 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.

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



Clasificación de Barton, et al. (Q).

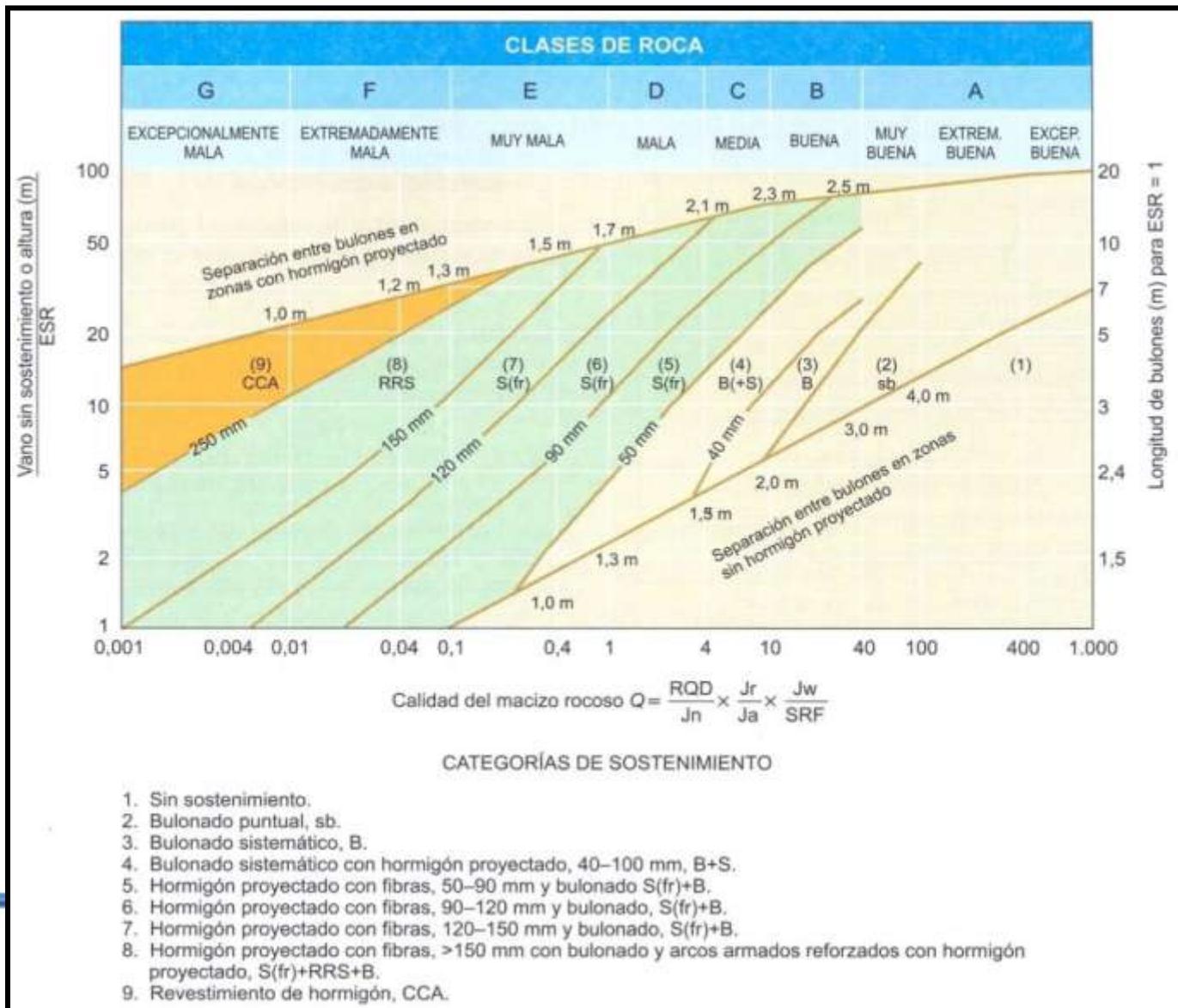
$$Q = \frac{RQD}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{Jw}{SRF}$$

- R.Q.D: Índice de recuperación. (Rock Quality Designation)
- Jn: Número de familias de diaclasas.
- Jr: Grado de rugosidad de las diaclasas.
- Ja: Grado de alteración de las diaclasas.
- Jw: Presencia del Agua.
- SRF: Estado tensional del macizo rocoso.

La correlación entre RMR y Q (Bieniawaski):

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

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



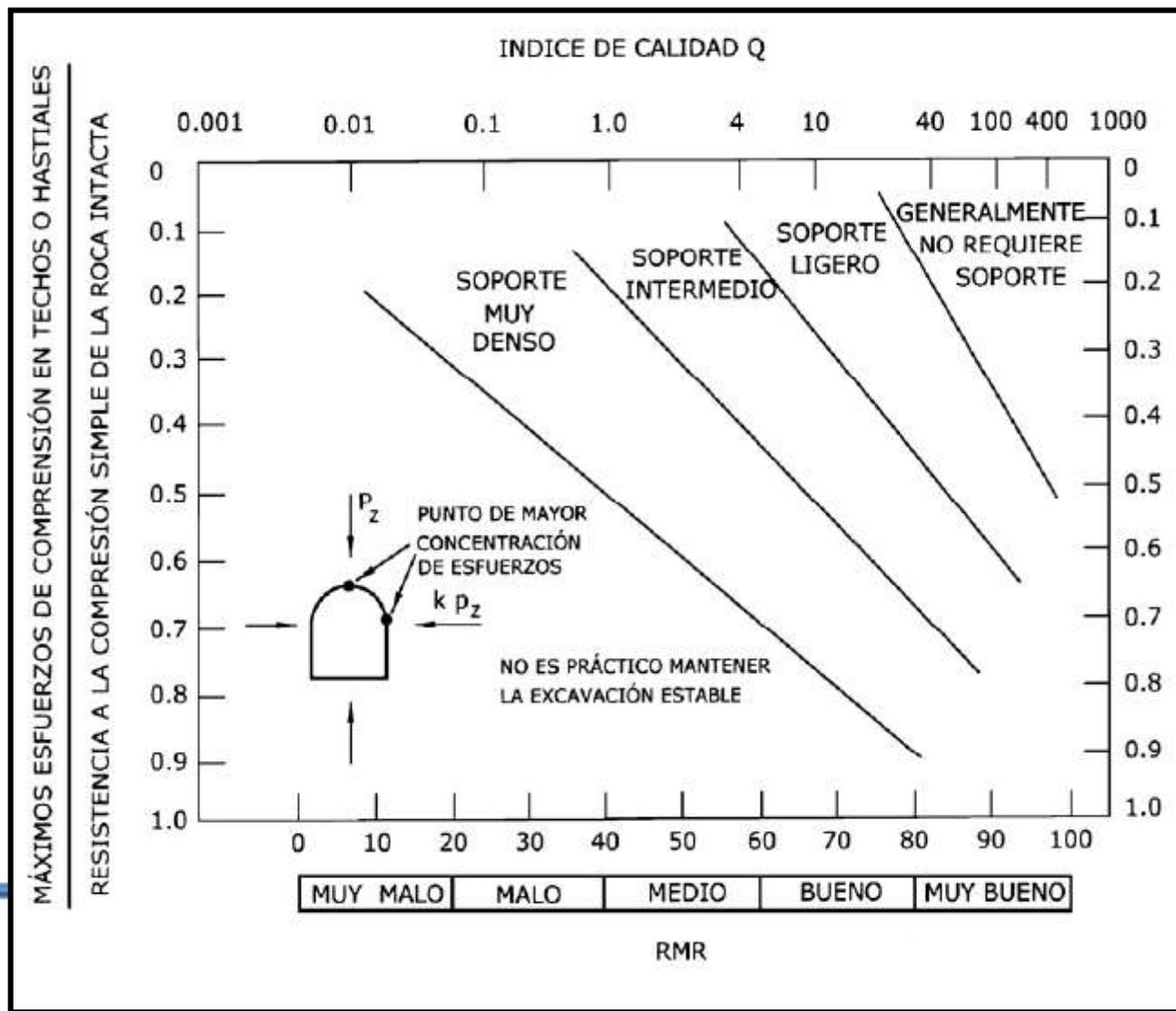
Otras correlaciones entre RMR y Q

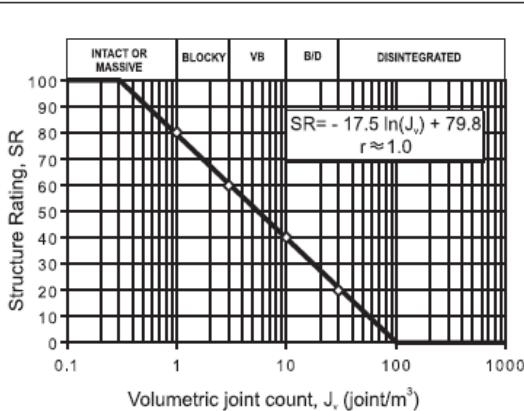
CORRELACIÓN	FUENTE	COMENTARIO
$RMR = 13,50 \log Q + 43$	Nueva Zelanda	Túneles
$RMR = 9 \ln Q + 44$	Varias Fuentes	Túneles
$RMR = 12,50 \log Q + 52,50$	España	Túneles
$RMR = 5 \ln Q + 60,8$	Sudáfrica	Túneles
$RMR = 43,89 - 9,19 \ln Q$	España (Roca blanda)	Minería
$RMR = 10,50 \ln Q + 41,80$	España (Roca 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.

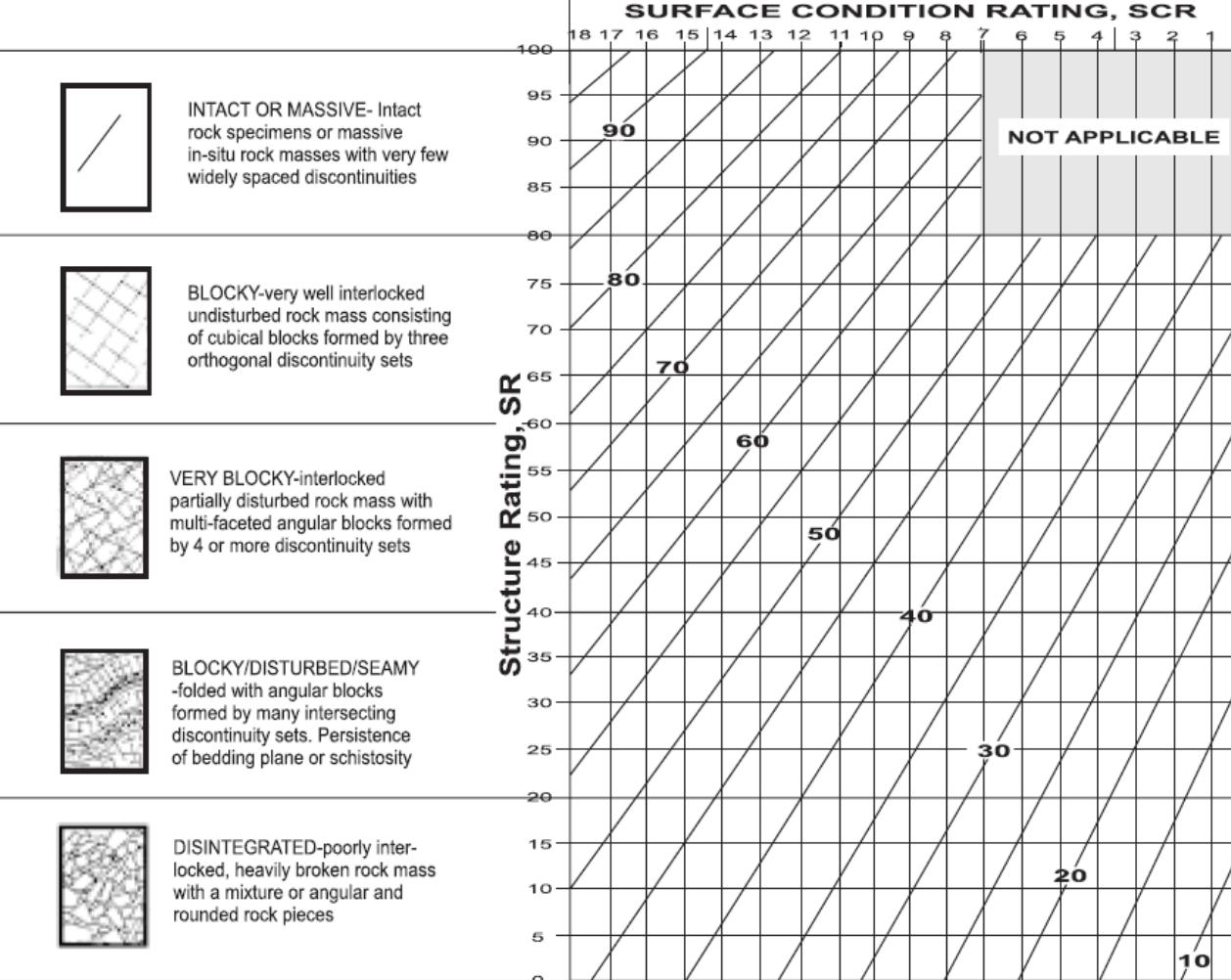
Muestra el tipo de soporte en función de las clasificaciones RMR y Q.





Roughness Rating (Rr)	Very rough 6	Rough 5	Slightly rough 3	Smooth 1	Slicksided 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



Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

