

Excavación de túneles



PORTAL DEL TUNEL: (emboquille)



Paraguas en el emboquille

Frente de emboquille



Drenajes en el emboquille



Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

PORTAL DEL TUNEL: (emboquille)



Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

PORTAL DEL TUNEL: (emboquille)



LAS NUEVAS RECOMENDACIONES PARA EL PREDIMENSIONAMIENTO DE EMBOQUILLES

1.- Partición de la sección.

Para masas rocosas de buena calidad ($RMR > 70$) parece recomendable emboquillar a sección completa, si la excavación va a continuarse también a sección completa.

Para masas rocosas de media calidad ($30 < RMR < 70$) el sistema habitual es la sección partida en dos: avance y destroza.

Para masas rocosas de calidad mala ($30 > RMR$) es más conveniente el emboquille por galerías múltiples, con construcción de contrabóveda robusta para finalizar la sección.

2.- Paraguas de emboquille

El paraguas es siempre una buena práctica y se recomienda prácticamente en todos los casos, aunque podría obviarse cuando la calidad del macizo rocoso es muy buena ($80 > \text{RMR}$).

a) Paraguas ligero ($60 < \text{RMR}$)

Constituido por bulones de ϕ 32 de acero corrugado y de 6 a 9 metros de longitud, colocados dentro de una perforación. La distancia usual entre las perforaciones varía entre 0.5 y 1 m.

b) Paraguas medio ($30 < \text{RMR} < 70$)

Constituido por micropilotes de tubo metálico de diámetro exterior igual o inferior a 90 mm y espesor igual o inferior a 7 mm. La distancia entre ejes de micropilotes oscila entre 40 y 70 cm. La longitud de estos paraguas varía entre 9 y 20 m.

c) Paraguas pesado (RMR < 30)

Puede estar constituido por micropilotes de tubo metálico de diámetro exterior superior a 90mm y espesor superior a 7 mm,. La distancia entre los ejes de micropilotes es menor de 50 cm. La longitud de los paraguas pesados es, como mínimo de 20 m y está limitada técnicamente por la capacidad para mantener el paralelismo entre perforaciones próximas.

d) Paraguas de jet-grouting

En terrenos sin cohesión el paraguas puede construirse mediante columnas de jet-grouting. La longitud de los paraguas de jet grouting suele variar entre 12 y 20 m aunque se han construido paraguas de jet-grouting de hasta 25 m. En las columnas es conveniente introducir una armadura.

3.- Bulones en el talud frontal

Es normal la utilización de bulones de acero corrugado, o de acero de alta resistencia. El diámetro recomendable es φ 32, aunque pueden utilizarse bulones de φ 25 cuando la calidad del macizo rocoso sea alta. Los bulones deben anclarse por adherencia con lechada de cemento y es conveniente aplicar en cabeza una ligera tensión para que la placa la transmita a la superficie del talud y prevenir así la descompresión superficial. La longitud de los bulones suele ser del orden de 6 m o inferior.



4.- Hormigón proyectado en el talud frontal

El gunitado sistemático de todos los taludes no es deseable. La capa de hormigón proyectado puede dificultar el drenaje natural, aporta poca resistencia frente a un problema de inestabilidad del talud, enmascara los síntomas iniciales de roturas por deslizamiento y, además, tiene un mal aspecto desde el punto de vista estético.

Para masas rocosas de calidad media a buena ($40 < \text{RMR}$), y entonces debe aplicarse puntualmente, según la técnica del “hormigón dental”.

Para masas rocosas de calidad mala ($\text{RMR} < 40$) el hormigón proyectado puede ser útil para prevenir la erosión superficial debida al clima o a la escorrentía superficial de agua.

5.-Red de protección sobre el talud frontal

La colocación de una red/ malla metálica sobre el talud supone una importante protección contra la caída de piedras y es muy recomendable donde el punto de vista de la seguridad del personal, aunque no supone mejora de la estabilidad del talud. Debe elegirse el tipo de red o malla en función del tamaño del bloque-tipo que pueda desprenderse y caer.

6.- Mallazo

Se recomienda la colocación de mallazo como armadura de la capa de hormigón proyectado. Su función es evitar la rotura a tracción de la gunita y reforzar su resistencia a flexión frente a fenómenos de caída de fragmentos de la masa rocosa.

7.- Drenaje del talud frontal

Una buena práctica es la construcción de sistemas de cunetas de drenaje, con las correspondientes bajantes, para evitar la escorrentía superficial sobre las superficies de los taludes de la trinchera, que erosionaría y dañaría al talud.

RMR	MODIFICADO		BIENIAWSKI ORIGINAL	
	CLASE	DENOMINACIÓN	DENOMINACIÓN	CLASE
100	Ia	EXCELENTE	MUY BUENA	I
90	Ib	MUY BUENA		
80	II a	BUENA A MUY BUENA	BUENA	II
70	II b	BUENA A MEDIA		
60	III a	MEDIA A BUENA	MEDIA	III
50	III b	MEDIA A MALA		
40	IV a	MALA A MEDIA	MALA	IV
30	IV b	MALA A MUY MALA		
20	V a	MUY MALA	MUY MALA	V
10	V b	PÉSIMA		

Clasificación modificada de Bieniawski en subclases por Romana 2000

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

CLASIFICACIÓN		EXCAVACIÓN		TRATAMIENTO DEL TALUD FRONTAL						
SMR	CLASE	PARTICIÓN DE EMBOQUILLE	PARAGUAS	BULONES			HORMIGÓN PROYECTADO e (cm)	RED ® /MALLAZO		
				L(m)	b/m ²	s (m)				
100	I a	SECCIÓN / COMPLETA	Opcional	No	No	No	No	® Opcional		
90			Opcional	4	<0.10	Ocasional	No	® Si		
80	II a		Ligero	4/5	0.11	3 x 3	No	® Si		
70			Ligero o medio	5/6	0.25	2 x 2	Ocasional	® Si		
60	III a		CALOTA / DESTROZA	Medio	6	0.44	1.5x1.5	Ocasional	® Si	
50				Medio	6/8	0.70	1.2x1.2	Ocasional	® Si	
40	IV a			Medio	8	1.00	1 x 1	0.10-0.15	Mallazo opcional	
30				Pesado	8	1.50	0.8x0.8	0.15-0.20	Mallazo simple	
20	IV b			GALERÍA CENTRAL	Pesado	No	No	No	0.20-0.25	Mal. simple o doble
10					Pesado	No	No	No	0.25-0.30	Mallazo doble
0	V a	GALERÍAS MÚLTIPLES								
	V b				CONTRABÓVED					

Belandria

Grupo de Investigación en Geología Aplicada (GIGA)

Facultad de Ingeniería, Escuela de Geológica

Departamento Geomecánica



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

FASES DE EXCAVACIÓN DE UN TUNEL



PARTICIÓN DE LA SECCIÓN: (FASES DE EXCAVACIÓN)

BIENIAWSKI recomendaba la excavación a sección completa para las masas rocosas de buena calidad ($RMR > 60$). La mejora de los equipamientos permiten actualmente excavar a sección completa, con rendimientos altos cuando las necesidades de sostenimiento son reducidas.

En las categorías medias a malas ($20 < RMR < 60$) BIENIAWSKI recomendaba sección partida en dos fases, y para las muy malas ($RMR < 20$) galerías múltiples.

Sección completa (RMR > 60)

Posible a partir de RMR > 50 y recomendable (con buena mecanización) para RMR > 60



Bóveda y destroza (RMR > 30)

En general, podrán excavarse completamente por separado la bóveda y la destroza siempre que la calidad del macizo rocoso no sea mala o muy mala.

Galería de avance ($10 < \text{RMR} < 40$)

Una galería de avance llevada ligeramente por adelantado puede ser útil en terrenos de calidad media y túneles de gran anchura o en terrenos de calidad mala y túneles de ancho medio (10-12 m).

Galerías múltiples ($0 < \text{RMR} < 30$)

Se trata del llamado método alemán (con dos o cuatro galerías excavadas previamente en los hastiales) o de métodos más complejos con galerías tangentes excavadas y hormigonadas sucesivamente. Son sistemas adecuados para túneles en macizos rocosos de calidad mala a muy mala (que son una transición a los suelos).

Contrabóveda ($0 < \text{RMR} < 30$)

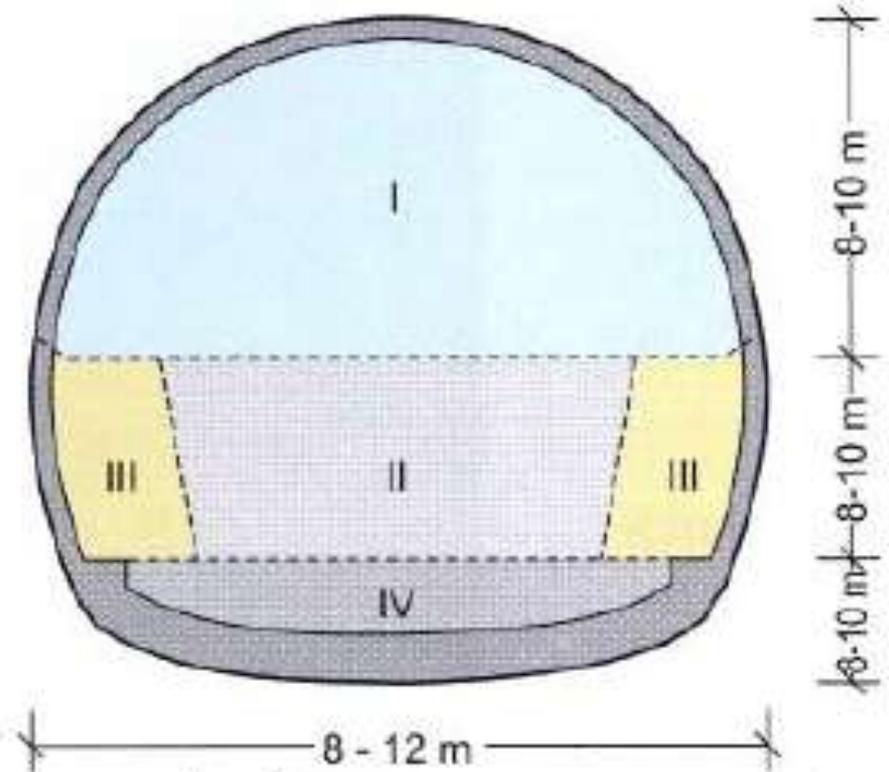
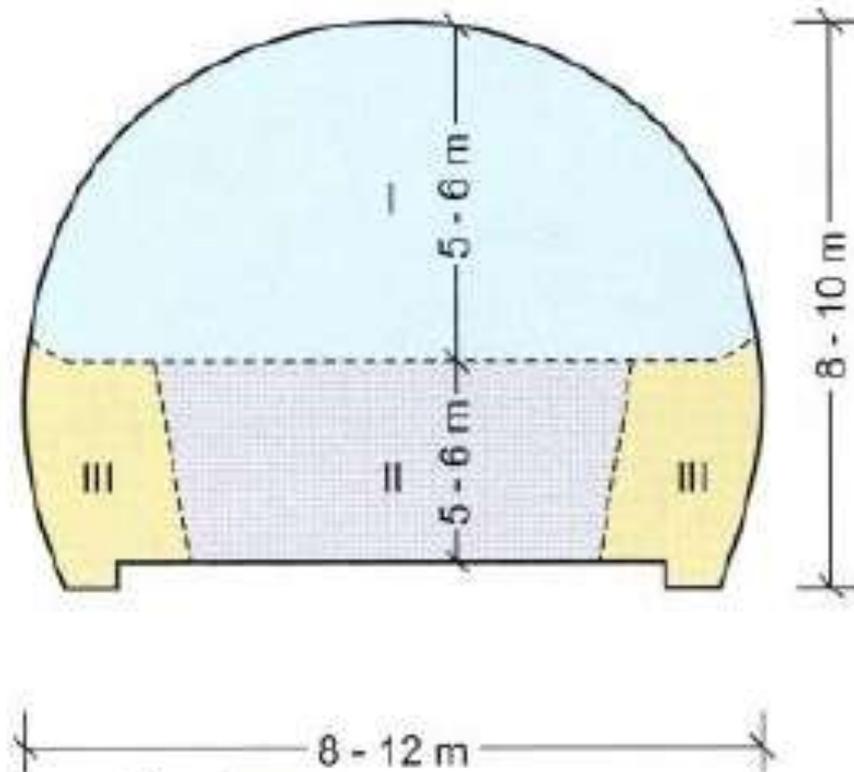
Necesaria cuando la sección puede cerrarse por la base. Es un método complementario con todos los demás, que requiere una construcción muy próxima a los frentes de excavación.



Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

A - Terreno buena calidad

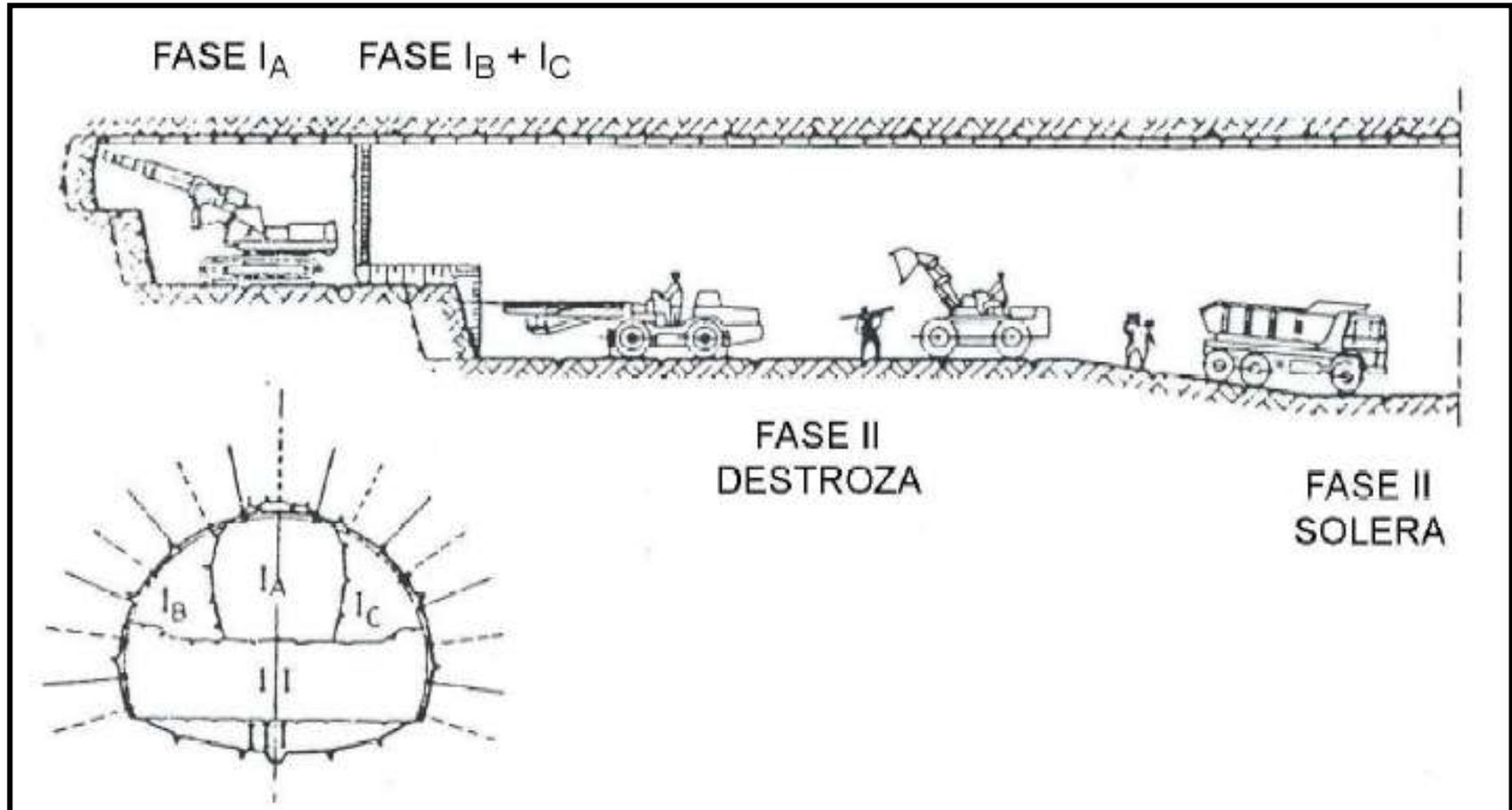
B - Terreno mala calidad



- I : Avance
- II : Destroza central
- III : Destroza bataches laterales

- I : Avance
- II : Destroza central
- III : Bataches laterales
- IV : Contrabóveda

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



Fases de excavación utilizando una rozadora

LONGITUD DE PASE

En el estado actual de la mecanización no son prácticos avances superiores a 5m (que son posibles a partir de $RMR > 60$, lo que coincide con el intervalo donde se puede recomendar la excavación a sección completa).

Para macizos de calidad media a mala se recomienda graduar la longitud de pase variándola entre 4 m ($RMR = 60$) y 1 m ($20 < RMR < 30$).

Los macizos de calidad muy mala ($20 > RMR$) requieren pases muy reducidos inferiores a 1 m.



MÉTODO DE EXCAVACIÓN



MÉTODO DE EXCAVACIÓN

Organización general del túnel y a sus necesidades de sostenimientos.

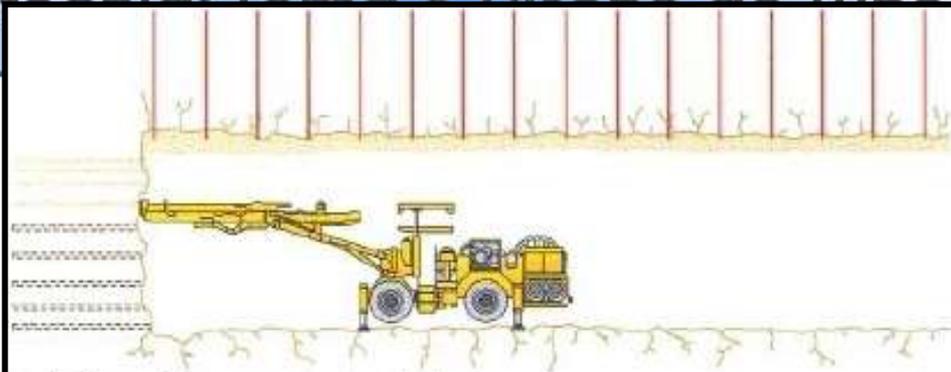
Cualquier método es posible en casi todos los casos, pero solo resulta adecuado en determinados intervalos.

La dureza y abrasividad de la roca es una limitación añadida para los métodos de excavación mecanizada.

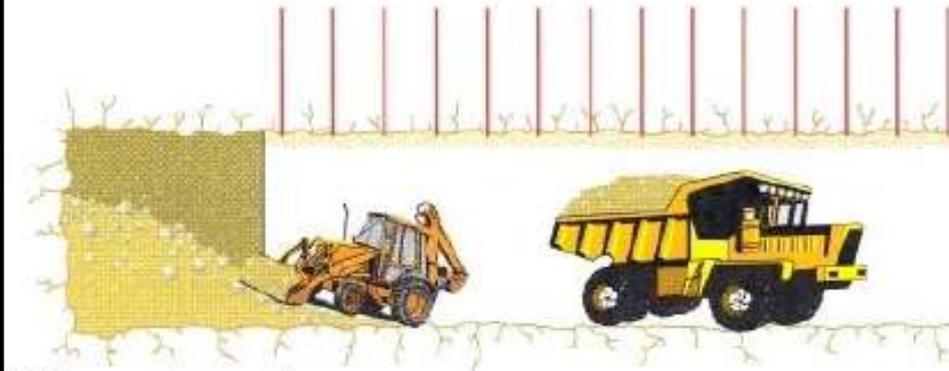
Voladuras: $RMR > 40$

Es el método más versátil y por lo tanto el más frecuente.

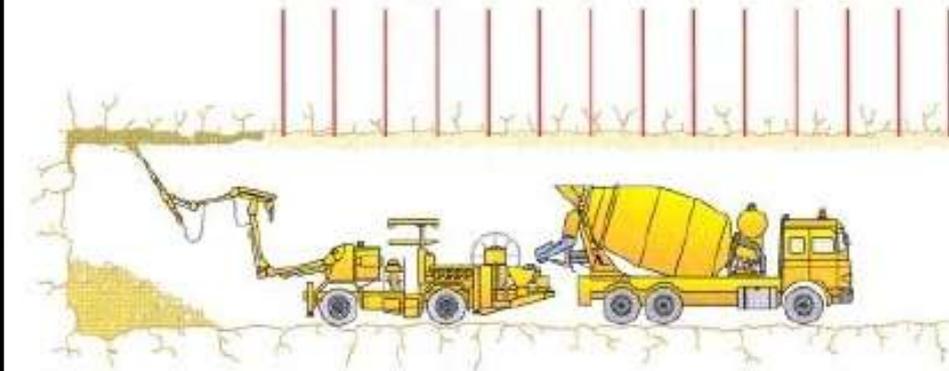




1. Perforación y carga de la voladura

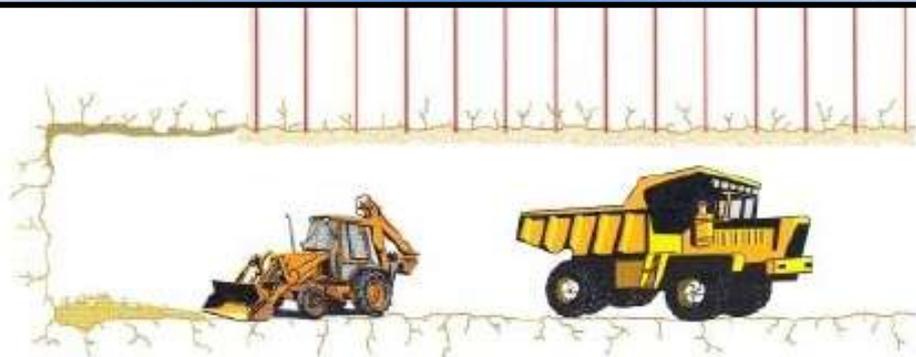


2. Saneo y desescombro

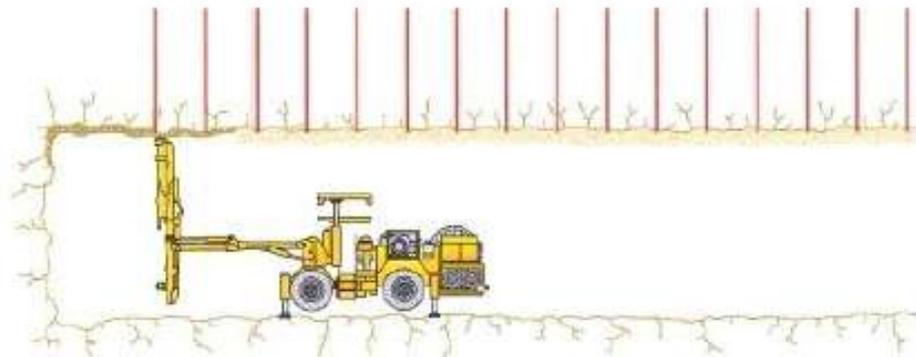


3. Sellado

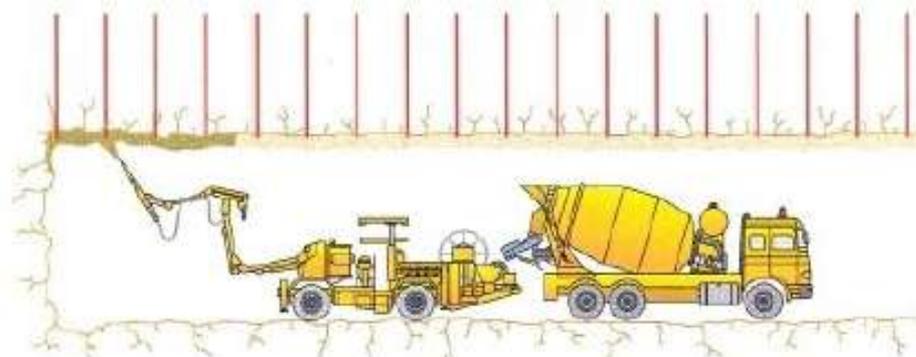
Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



4. Finalización del desescombro



5. Sostenimiento mediante bulones



6. Sostenimiento mediante hormigón proyectado

Martillo:



Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

Martillo:



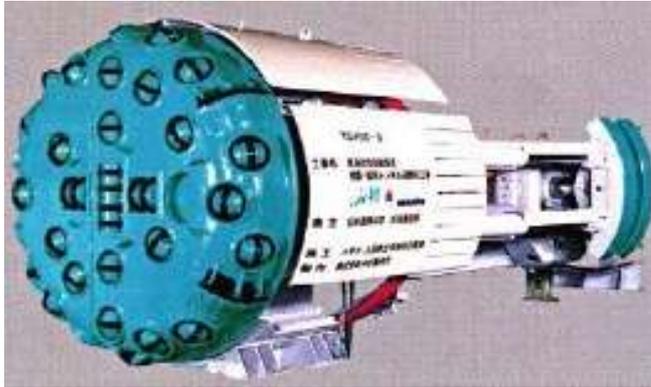
TBM (Tuneladoras): $RMR > 60$

Ventajoso cuando las necesidades de sostenimientos son reducidas, y ese sostenimiento puede instalarse detrás de la cabeza de perforación. ($RMR > 60$)

Es tolerable, $50 < RMR < 60$.

Muy trabajosa, $RMR < 50$

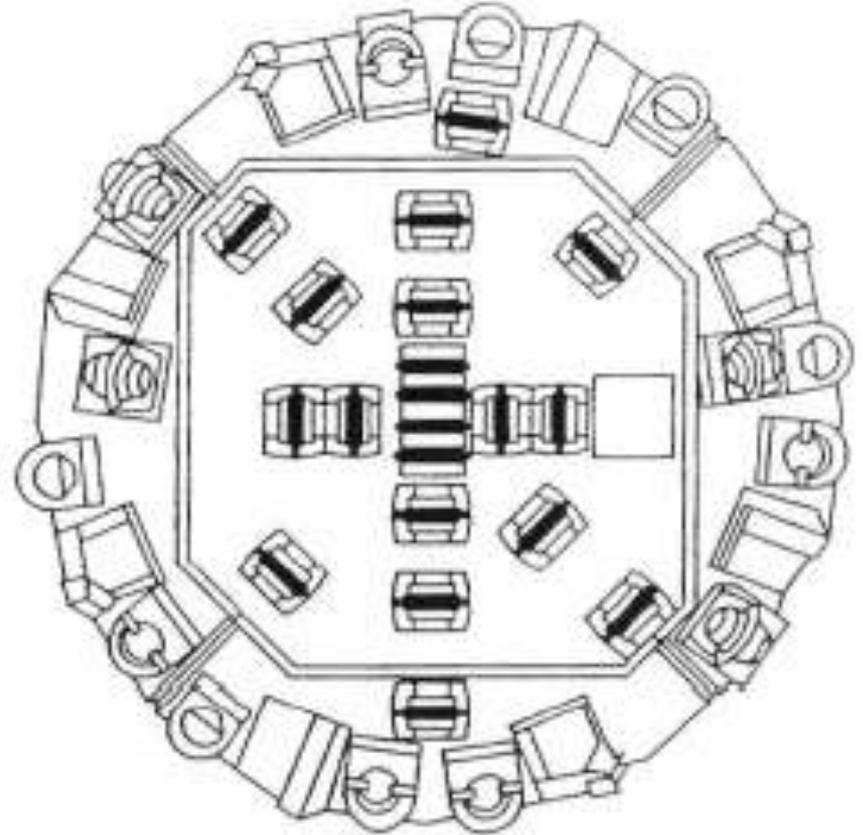
Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



Diferentes tipos de topo.



Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



Vista frontal de un topo.

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

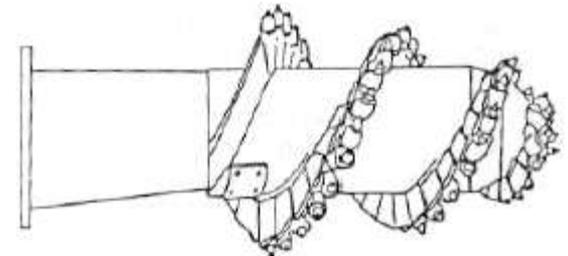


Vista general de un topo a punto de iniciar el ataque de la excavación

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

Rozadora: $30 < \text{RMR} < 90$

Maquina de ataque puntual y cuerpo bajo y compacto. Puede utilizarse en gran variedad de terrenos.



Rosadora con cabeza de corte tipo ripping

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



Rosadora de brazo.

Rosadora de cadena.



ia
A)

Fresado: $RMR < 30$

Son maquinas que montan una fresa de potencia media sobre un brazo de retroexcavadora.

Escarificación/pala: $RMR < 20$

Los macizos de calidad muy mala pueden excavarse prácticamente como suelos con palas convencionales y/o escarificarse (excavar la destroza o contrabóveda)



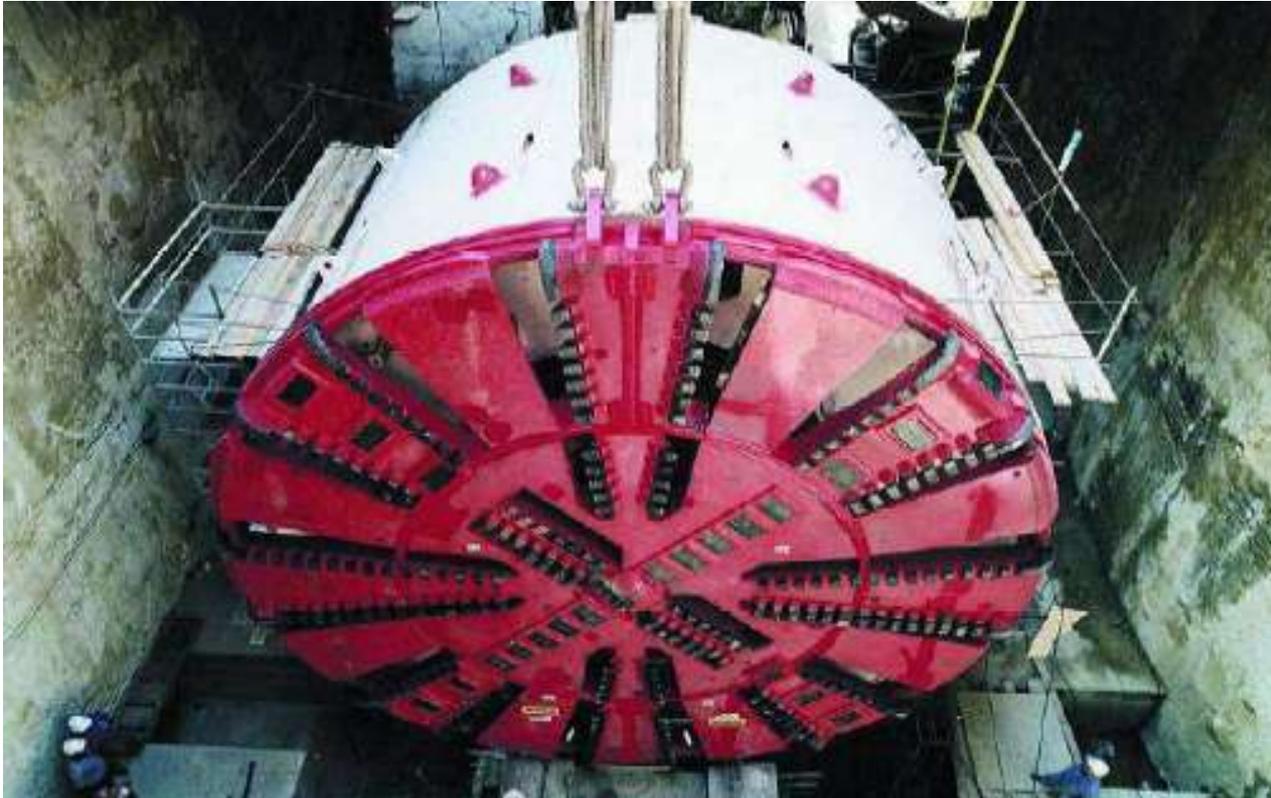
Escudo: RMR < 20

Se desarrollo para excavar suelos, cuya cohesion y capacidad portante son muy bajos.



Vista general de un escudo.

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



Vista frontal de la cabeza de un escudo.

RMR	CLASE	LONGITUD DE PASE (m)		PARTICIÓN DE LA SECCIÓN	MÉTODO DE EXCAVACIÓN		
		MÁXIMA	RECOMENDADA				
100	I a		≥ 5	SECCIÓN COMPLETA CALOTA Y DESTROZA	TBM ABIERTO VOLADURAS ROZADORA		
90	I b		≥ 5				
80	II a	16.0	≥ 5				
70	II b	9.5	4/6				
60	III a	6.0	3/4				
50	III b	4.0	2/3				
40	IV a	2.5	1/2			GALERÍA DE AVANCE GALERÍAS MÚLTIPLES CONTRABO VEDA	ESCUDO FRESADO ESCARIFICACIÓN/PALA
30	IV b	1.75	1				
20	V a	1.0	0,5/0,75				
10	V b		0,5				
0							

Recomendaciones para la excavación de túneles de 10-14m de ancho (ROMANA, 2000)

Factores que controlan la abrasividad:

- Contenido de sílice.
- Tamaño medio del grano mineral abrasivo.
- Cuanto mayor tamaño: mayor abrasividad.

si el diámetro es $< 20 \mu$ la abrasividad es muy pequeña.

- Cemento.

Tipo de roca	% S_1O_2
Arenisca silícea	98
Otras areniscas	80-95
Arcosas	70-80
Granito	70
Grauwacka, granodiorita	60-70
Pizarra, sienita	50-65
Basalto, gabro	50
Arcilla	40
Caliza, dolomía	2-10

SOSTENIMIENTO



SOSTENIMIENTO:

Se conoce por sostenimiento en una obra subterránea a la combinación de elementos estructurales que es necesaria colocar para asegurar y proteger la estabilidad de la excavación en la etapa de construcción y durante el tiempo que estará en servicio.



El dimensionado del soporte depende de:

1. La calidad del macizo rocoso.
2. Geometría de la excavación.
3. Estado tensional existente en el terreno antes y después de realizada la excavación.

NUEVO MÉTODO AUSTRIACO:

Se fundamenta en:

1. El macizo rocoso es el principal medio de sostenimiento de la excavación.
2. Observar y controlar la interacción terreno sostenimiento, permitiendo la deformación controlada del terreno, para que el sostenimiento se cargue lo menos posible.
3. Utilizar sostenimientos flexibles, fundamentalmente hormigón proyectado en capas de pequeño espesor y bulonaje para permitir la mayor deformación posible del terreno de forma controlada.

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

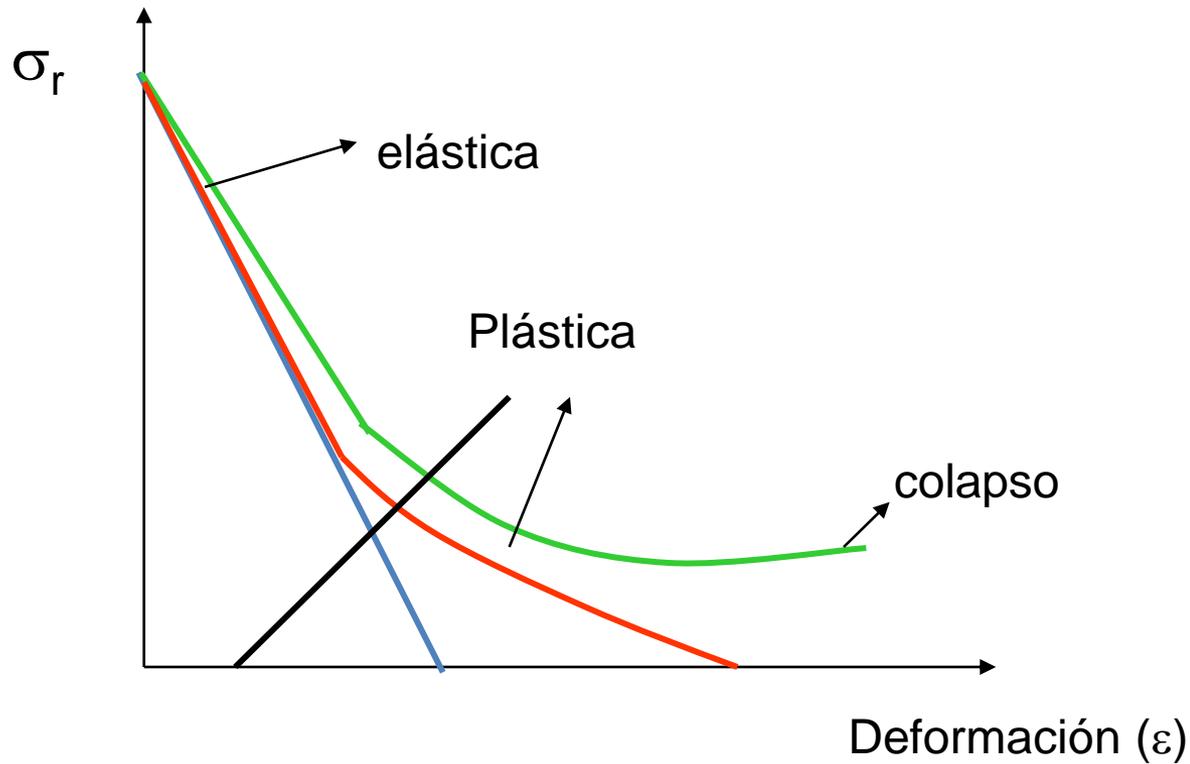
Un soporte instalado cuando el terreno ha tenido una deformación pequeña, se carga mucho más que otro cuando el terreno se halla deformado más.

Si la excavación no es auto – estable y se demora la colocación del sostenimiento, para que este se cargue lo menos posible, existe el riesgo de no poder llegar a un estado de equilibrio.

La solución apropiada consiste en instalar en el frente un soporte ligero y flexible que se reforzará más tarde para lograr un estado de equilibrio satisfactorio.



Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



Interacción terreno - sostenimiento.

ELEMENTOS DE SOSTNIMIENTO:

- 1.- Hormigón Proyectado.
- 2.- Malla electro soldada o mallazo.
- 3.- Los bulones o pernos anclados.
- 4.- Las cerchas. (COSTILLAS)





Hormigón Proyectado.

Mallazo.



Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

Mallazo, cerchas y inyección de bulones.



Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



Profesora Norly Belandria
Grupo de Investigación en Geología Aplicada (GIGA)
Facultad de Ingeniería, Escuela de Geológica
Departamento Geomecánica

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES

Profesora Norly Belandria
Grupo de Investigación en Geología Aplicada (GIGA)
Facultad de Ingeniería, Escuela de Geológica
Departamento Geomecánica

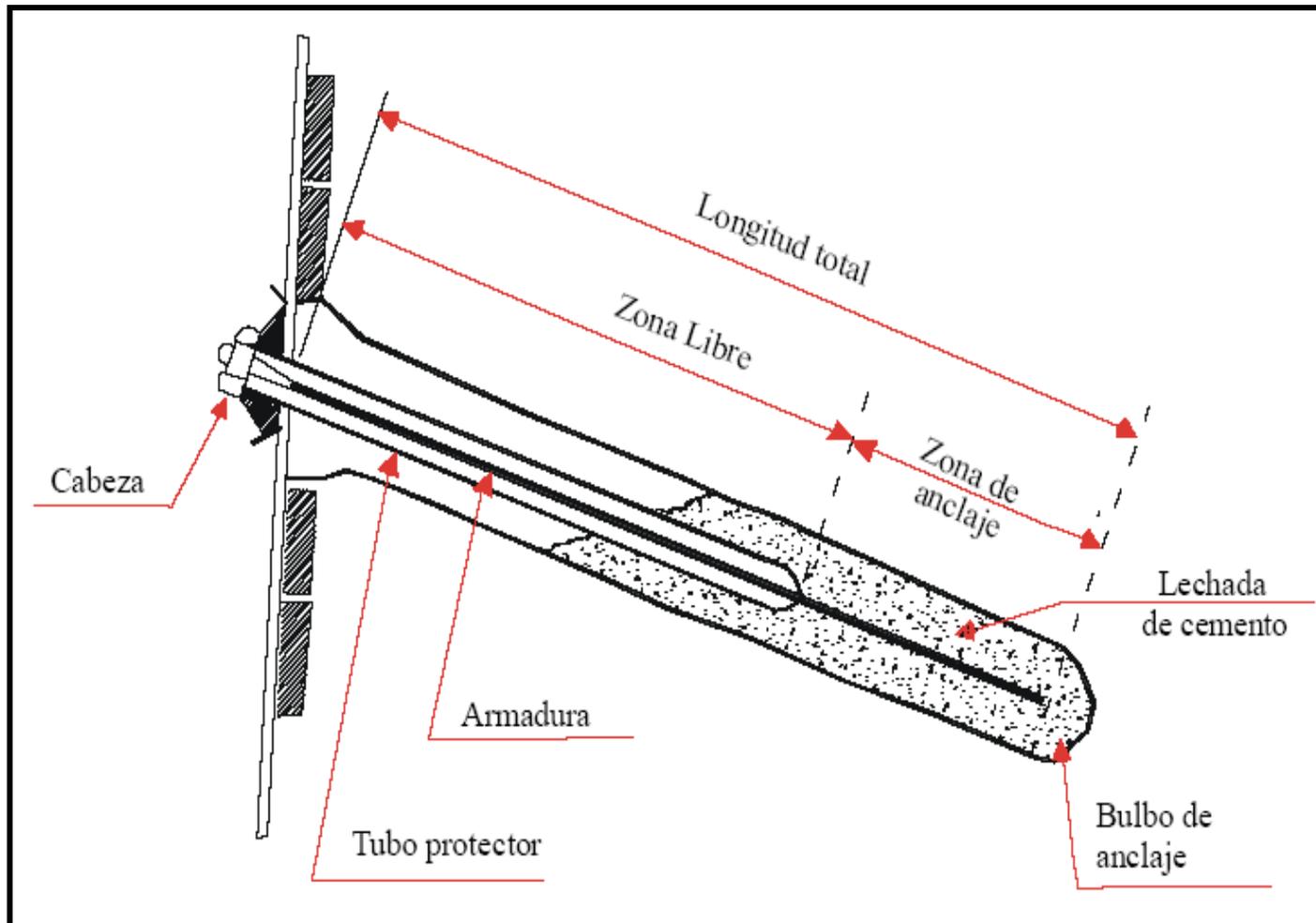


Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

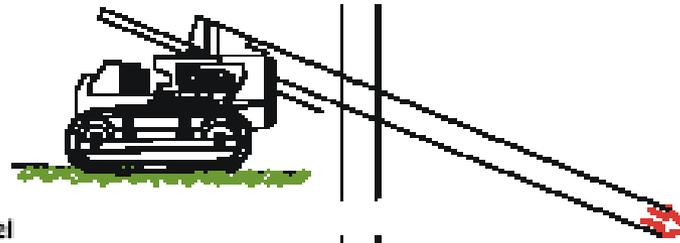
Pernos anclados:



Detalle de un tirante anclado.

Perforación de un barreno con o sin revestimiento
de 75 - 150 mm de diámetro

Extracción de la barras de perforación e introducción del conjunto tensor del anclaje



Extracción de la tubería de revestimiento inyectando a presión simultáneamente lechada de cemento en toda la longitud de anclaje del elemento tensor



Verificación del anclaje
6-8 días aproximadamente después de su inyección



Conjunto de apoyo
Cabeza de anclaje

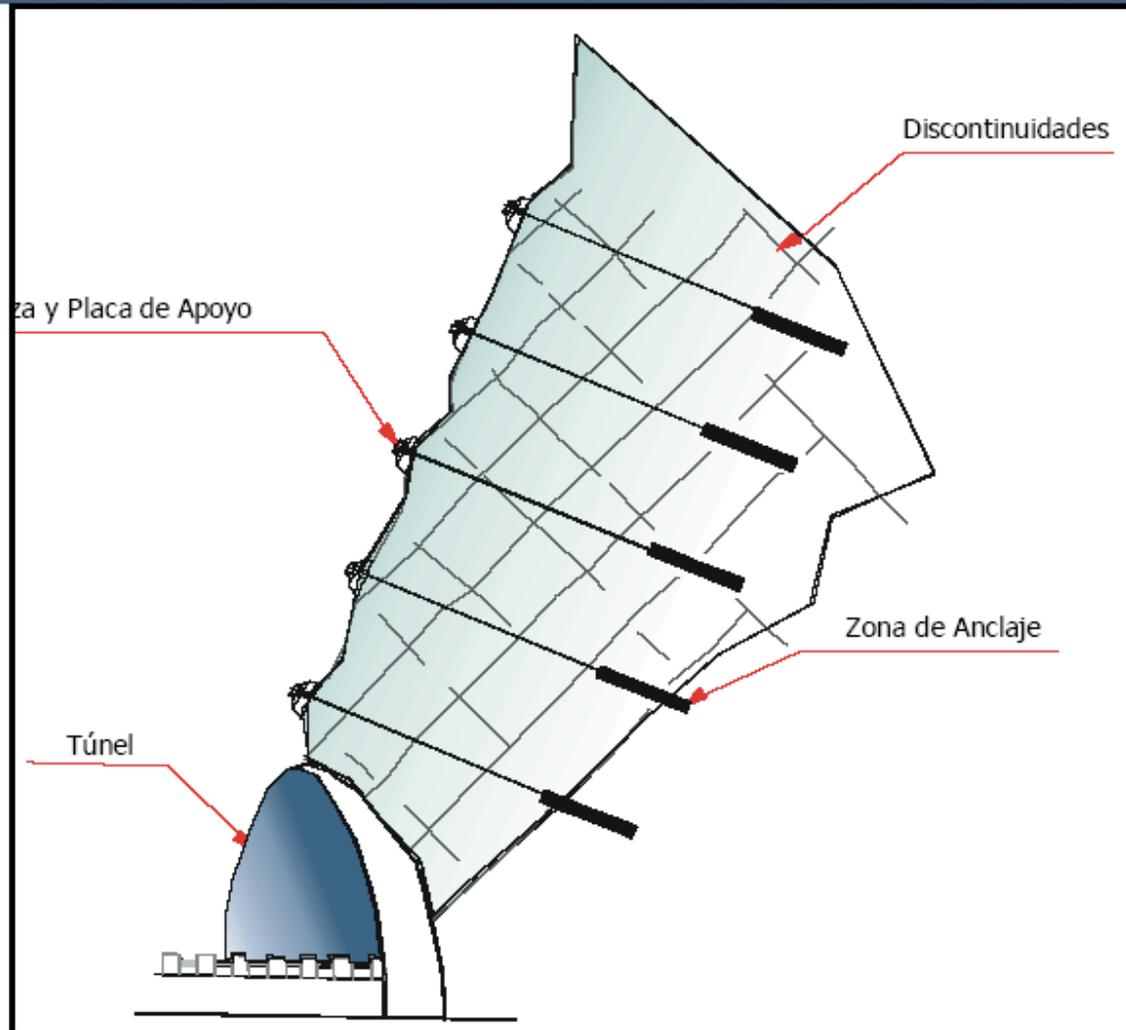
Puesta en tensión del anclaje a la carga deseada

Pantalla a anclar
Vaina de protección
Elemento tensor de anclaje
Bulbo de inyección

Zona de anclaje



Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



Estabilización mediante la técnica de tirantes anclados

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



Bulones de anclaje soportando un bloque de roca en un túnel excavado a través de un macizo rocoso.

Tratamientos especiales:

Cuando el terreno tiene baja resistencia o presenta problemas de estabilidad, filtraciones hinchamientos, se aplican los tratamientos especiales.

- **Enfilajes:** (bulones inclinados 40° - 45°)
- **Paraguas:** zonas de roca muy fracturada. (bulones o micropilotes)
- **Coronas de jet grouting:** (roca de relleno de fallas, rocas descompuestas).
- **Inyecciones.**
- **Drenajes.**

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

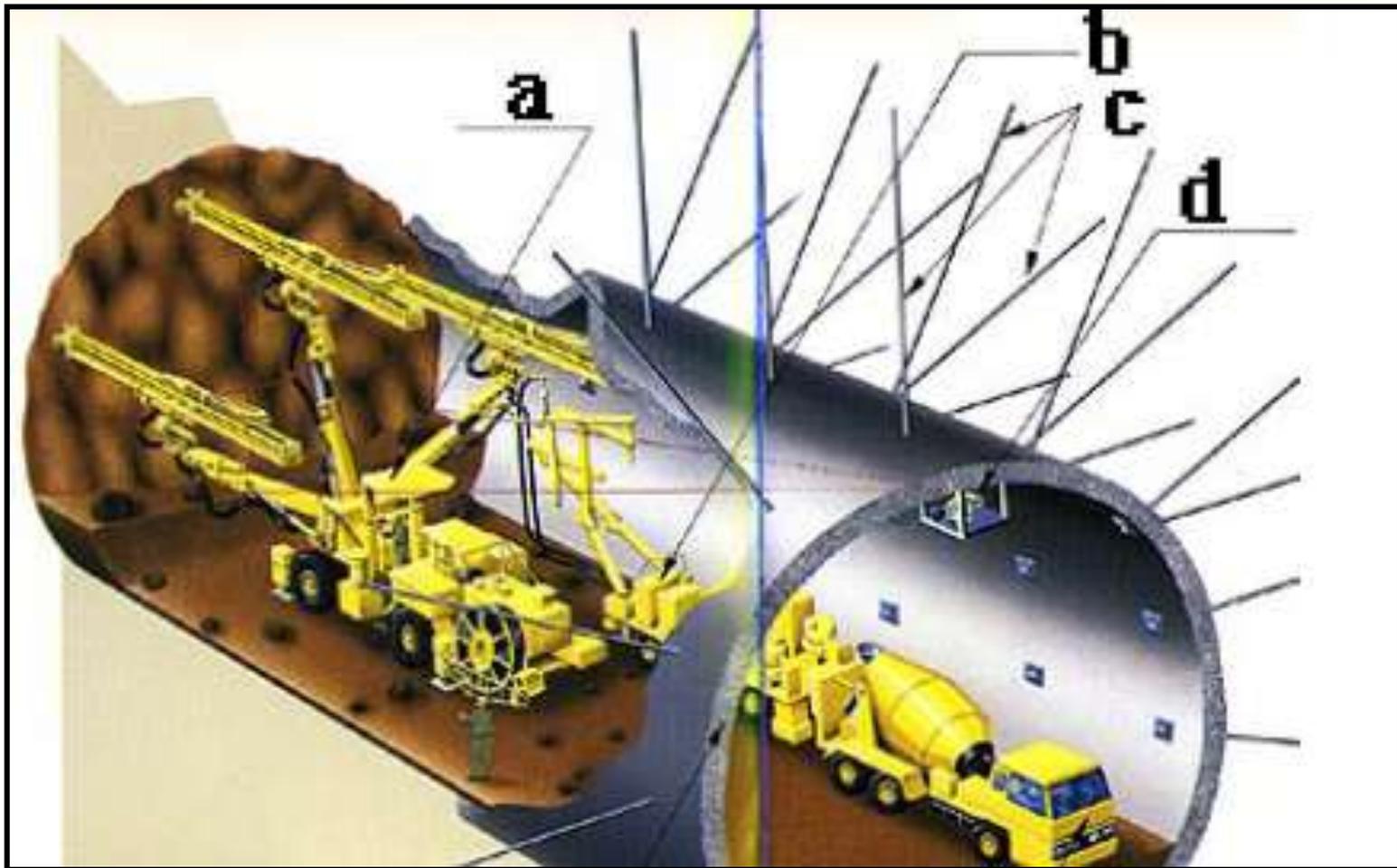


Ibarra. Paraguas en el "cale"



Bulnes. Agua procedente del karst

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



Esquema tridimensional que representa las tareas de colocación de los distintos sostenimientos.

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

RMR	CLASE	BULONADO			HORMIGÓN PROYECTADO			ARMADURA		CERCHAS		MÉTODOS ESPECIALES	
		L (m)	b/m ²	s' (m)	e (cm)	CAPAS	SELLADO	MALLAZO	FIBRAS	TIPO	S (m)		
100	Ia	-	-	-	-	-	-						
90	Ib	2/3	0.10	Ocasional	2	Ocasional	No	SENCILLO OCASIONAL					
80	IIa	3	0.10/0.25	Ocasional	5	1	Ocasional						
70	IIb	3	0.25/0.44	2 x 2/1.5 x 1.5	6-10	1/2	Si	SENCILLO OCASIONAL	FIBRAS	TH-21			
60	IIIa	3/4	0.44/0.66	1.5 x 1.5/1 x 1.5	8-15	2/3	Si						
50	IIIb	4	0.66/1	1 x 1.5/1 x 1	12-20	2/3	Si	SENCILLO OCASIONAL		TH-29			
40	IVa	4/4.5	0.80/1	1 x 1.25/1 x 1	16-24	3	Si						
30	IVb	4.5/5	1	1 x 1	20-30	3	Si	DOBLE		HEB			
20	Va	-	-	-	30-40	3/4	Si						
10	Vb	SISTEMAS ESPECIALES										BERNOLD PARAGUAS	
0													

Recomendaciones para el sostenimiento de túneles de 10-14 m. de ancho.

DISEÑO DE SOSTENIMIENTO SEGÚN BIENIAWSKI, (1984)

Permite determinar:

- Altura de la zona plastificada y/o fracturada (H_p) en las cercanías de la excavación en función del RMR.
- Separación y tensión de trabajo del anclaje.

$$H_p = \frac{100 - RMR}{100} B$$

B = ancho del túnel en metros.

RMR = Clasificación geomecánica de Bieniawski.

$$W_r = \gamma H_p$$

γ = peso específico de la roca.

W_r = la carga de roca.

$$S_1 S_2 \underbrace{\gamma H_p}_{W_r} = \underbrace{0,55 f_y \left(\frac{\pi \phi_b^2}{4} \right)}_{Q_t}$$

$S_1 = S_2$ = separación de los anclajes, Longitudinal y transversal.

f_y = punto de cedencia.

ϕ_b = diámetro de la barra.



$$S = \sqrt{\frac{Q_t}{W_r}}$$

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

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.



MÉTODO DE TEZAGUI:

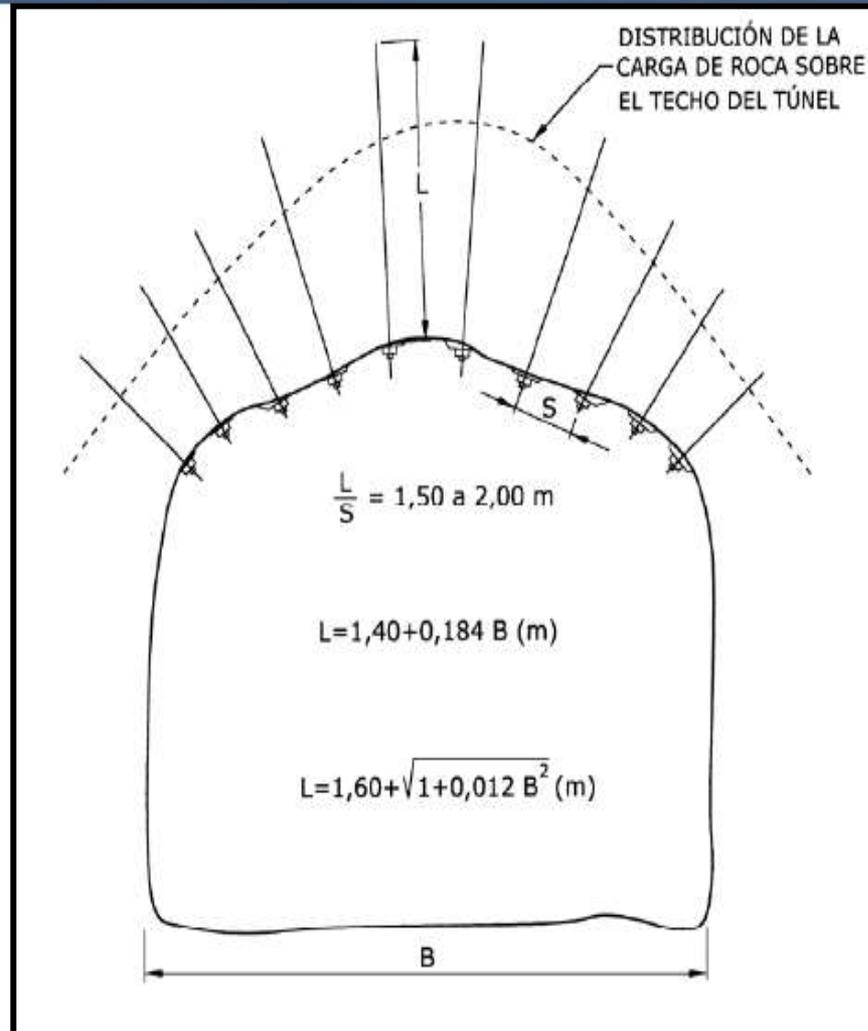
Permite determinar:

- La longitud del anclaje en función del ancho de la excavación.
- La altura de la roca plastificada.

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

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.

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



Relación entre longitud del anclaje y el ancho de la excavación.

SOSTENIMIENTO POR EL MÉTODO DE BARTON:

Diámetro equivalente del túnel = anchura, diámetro o altura (m)

ESR

ESR = factor que depende del tipo de excavación.

	Tipo de excavación	ESR
A	Labores mineras de carácter temporal, etc.	2-5
B	Galerías mineras permanentes, túneles de centrales hidroeléctricas (excluyendo las galerías de alta presión), túneles piloto, galerías de avance en grandes excavaciones, cámaras de compensación hidroeléctrica.	1,6-2,0
C	Cavernas de almacenamiento, plantas de tratamiento de aguas, túneles de carreteras secundarias y de ferrocarril, túneles de acceso.	1,2-1,3
D	Centrales eléctricas subterráneas, túneles de carreteras primarias y de ferrocarril, refugios subterráneos para defensa civil, emboquilles e intersecciones de túneles.	0,9-1,1
E	Centrales nucleares subterráneas, estaciones de ferrocarril, instalaciones públicas y deportivas, fábricas, túneles para tuberías principales de gas.	0,5-0,8

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

Longitud de pase = $2 \text{ ESR } Q^{0,4}$ (m)

Carga de la roca sobre la clave (P_c) (kg/cm^2)

$$P_c = \frac{2\sqrt{J_n}}{3J_r\sqrt[3]{Q}}$$

Para macizos rocosos con menos de tres familias de discontinuidades.

$$P_c = \frac{2}{J_r\sqrt[3]{Q}}$$

Para macizos rocosos con tres o más familias de discontinuidades.

Carga de la roca sobre los Hastiales (P_h) (kg/cm^2)

Para $Q > 10$

$$P_h = 5Q$$

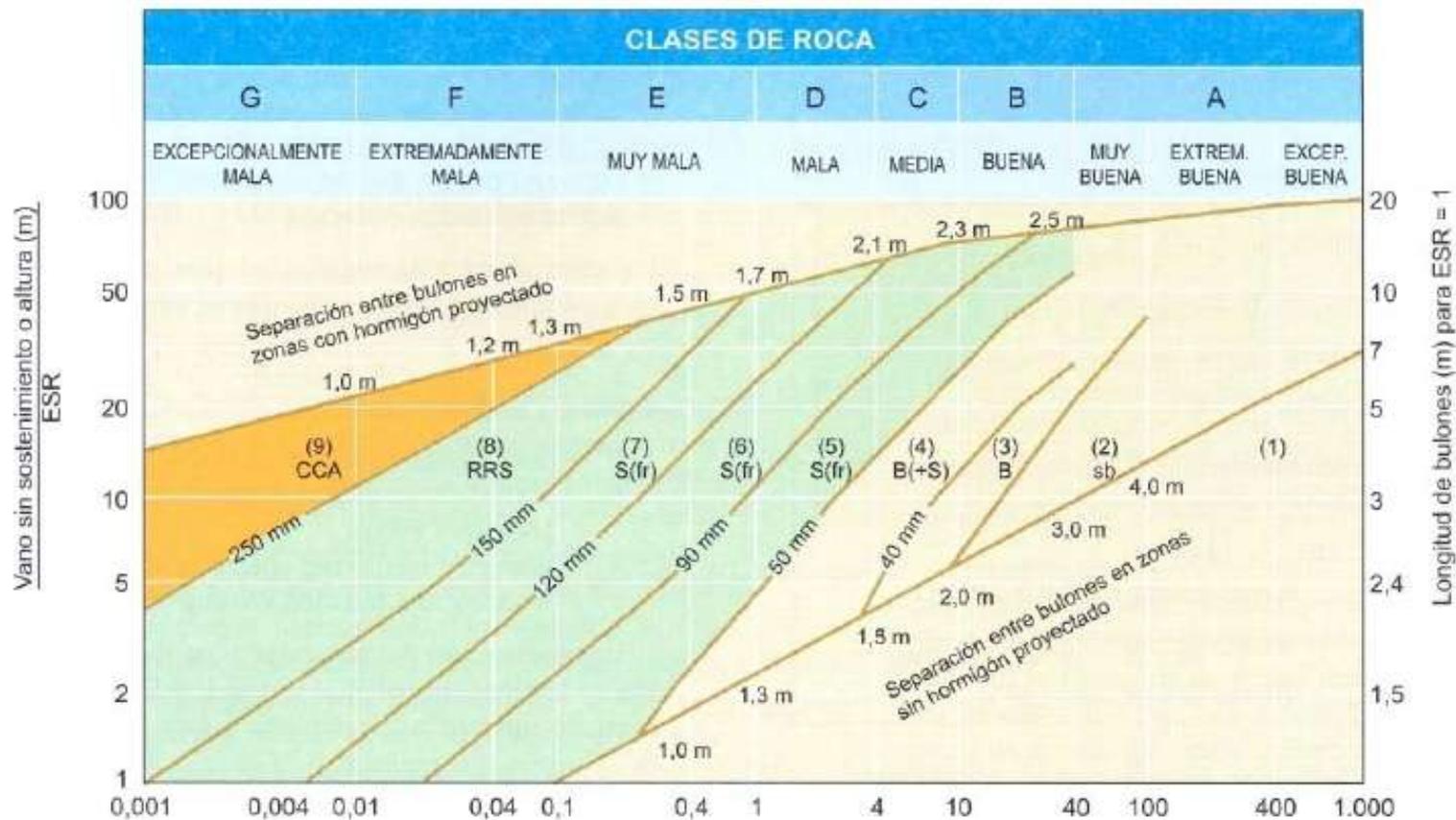
Para $0,1 < Q < 10$

$$P_h = 2,5Q$$

Para $Q < 0,1$

$$P_h = Q$$





CATEGORÍAS DE SOSTENIMIENTO

1. Sin sostenimiento.
2. Bulonado puntual, sb.
3. Bulonado sistemático, B.
4. Bulonado sistemático con hormigón proyectado, 40–100 mm, B+S.
5. Hormigón proyectado con fibras, 50–90 mm y bulonado S(fr)+B.
6. Hormigón proyectado con fibras, 90–120 mm y bulonado, S(fr)+B.
7. Hormigón proyectado con fibras, 120–150 mm y bulonado, S(fr)+B.
8. Hormigón proyectado con fibras, >150 mm con bulonado y arcos armados reforzados con hormigón proyectado, S(fr)+RRS+B.
9. Revestimiento de hormigón, CCA.

SELECCIÓN Y DISEÑO ESTRUCTURAL DEL SOPORTE POR EL MÉTODO DE GSI:

El principal elemento de soporte es el concreto fibro-reforzado, complementado con marcos y pernos metálicos, los cuales podrán ser colocados en diferentes combinaciones.

La Tabla muestra diferentes combinaciones propuestas del soporte primario para un túnel de 10 m de ancho o diámetro equivalente, para los diferentes comportamientos.

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y ESTRUCTURALES DE SOPORTES BÁSICOS

<i>Tipo de Soporte</i>	<i>Concreto Proyectado</i>	<i>Costillas Metálicas</i>	<i>Pernos Metálicos 20 t</i>	<i>Capacidad (Kg/cm²)</i>
SP-a	10 cm	-	-	1,5
SP-b	14 cm	2 IPN140 @ 150 cm	2 x 4 m @ par de costillas	2,5
		o, alternamente 7 pernos x 4m @ 150 cm (sin costillas)		
SP-c	16 cm	2 IPN160 @ 125 cm	4 x 6 m @ par de costillas	3,5
		o, alternamente 11 pernos x 6m @ 125 cm (sin costillas)		
SP-d	20 cm	2 IPN200 @ 100 cm	6 x 6 m @ par de costillas	4,5
		o, alternamente 15 pernos x 6m @ 100 cm (sin costillas)		
SP-e	20 cm	2 IPN200 @ 075 cm	10 x 6 m @ par de costillas	6,5

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

Para la condición geomecánica donde el sistema de soporte es el **(SP-a)**, no es necesario integrar el soporte con marcos metálicos.

Para la condición geomecánica donde el sistema de soporte es el **(SP-e)**, es inevitable integrar el soporte con marcos metálicos.

Para las condiciones geomecánicas intermedias donde el sistema de soporte es el **(SP-b, SP-c, SP-d)**, es posible optar por lo menos entre dos alternativas: Los marcos metálicos para integrar el concreto proyectado y la otra se basa en cambio sobre el uso sistemático y extensivo de pernos metálicos para integrar el concreto proyectado.



La selección depende de:

1. Disponibilidad en obra de los elementos.
2. Disponibilidad de los equipos para la colocación de los elementos.
3. Diferencias de costos.
4. Rendimientos
5. Experiencia y tradición del constructor.

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

PRESELECCIÓN DE SOPORTES BÁSICOS EN FUNCIÓN DE GSI Y COBERTURA

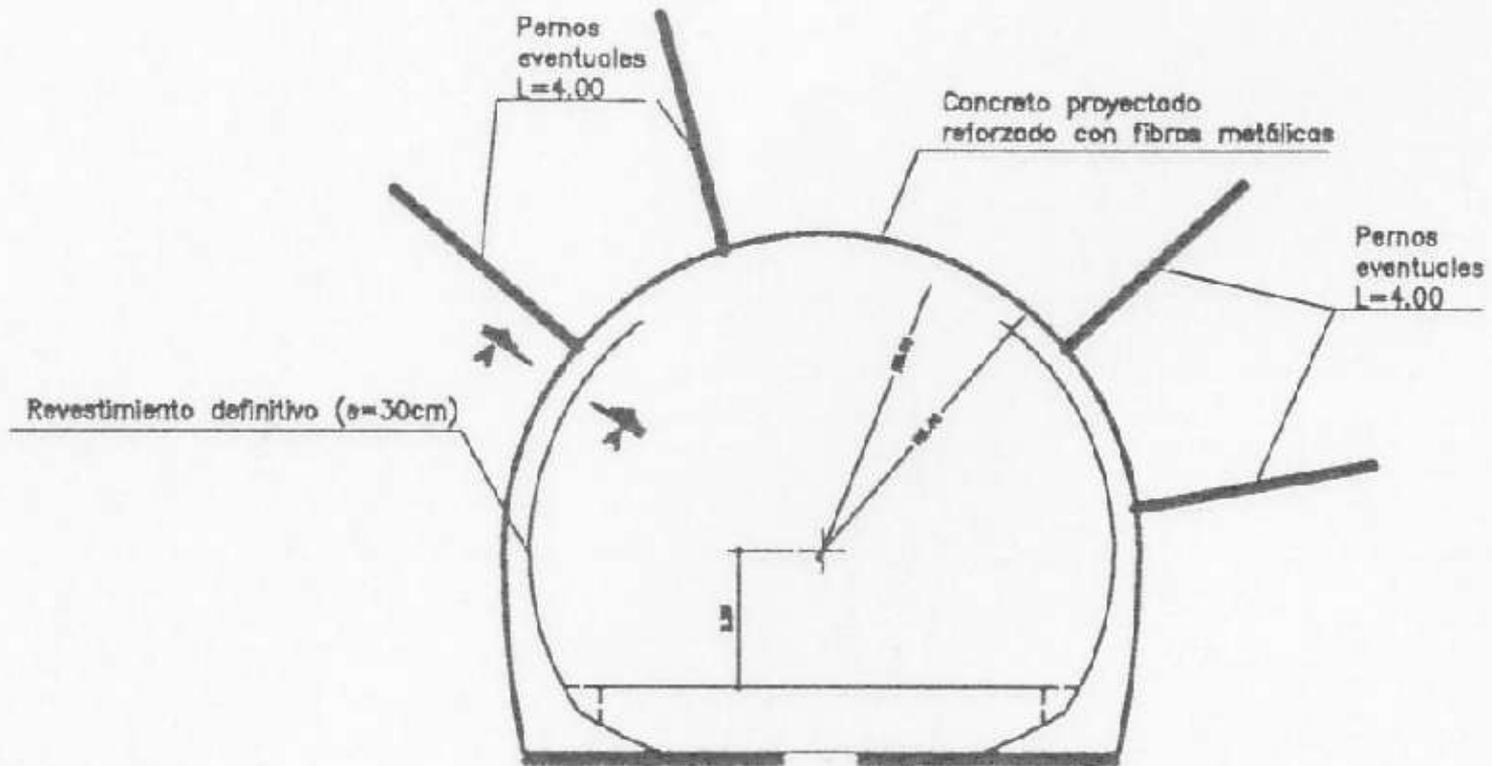
Cobertura: Geomecánica del Terreno:	H (m) 5-10	H (m) 10-20	H (m) 20-100	H (m) 100-150	H (m) 150-250	H (m) 250-500
$GSI \leq 20$	SP-e	SP-e	SP-e	SP-e	SP-e	SP-e
$20 < GSI < 40$	SP-e	SP-d	SP-d	SP-d	SP-d	SP-e
$30 < GSI < 50$	SP-d	SP-c	SP-c	SP-c	SP-c	SP-d
$40 < GSI \leq 60$	SP-c	SP-b	SP-a	SP-a	SP-b	SP-c
$GSI > 60$	SP-c	SP-b	SP-a	SP-a	SP-a	SP-a

La Presión que actúa sobre el soporte dependerá de las coberturas y las posibles condiciones geomecánicas .

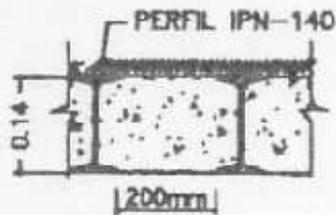
Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

SOSTENIMIENTO POR EL MÉTODO DE GSI:

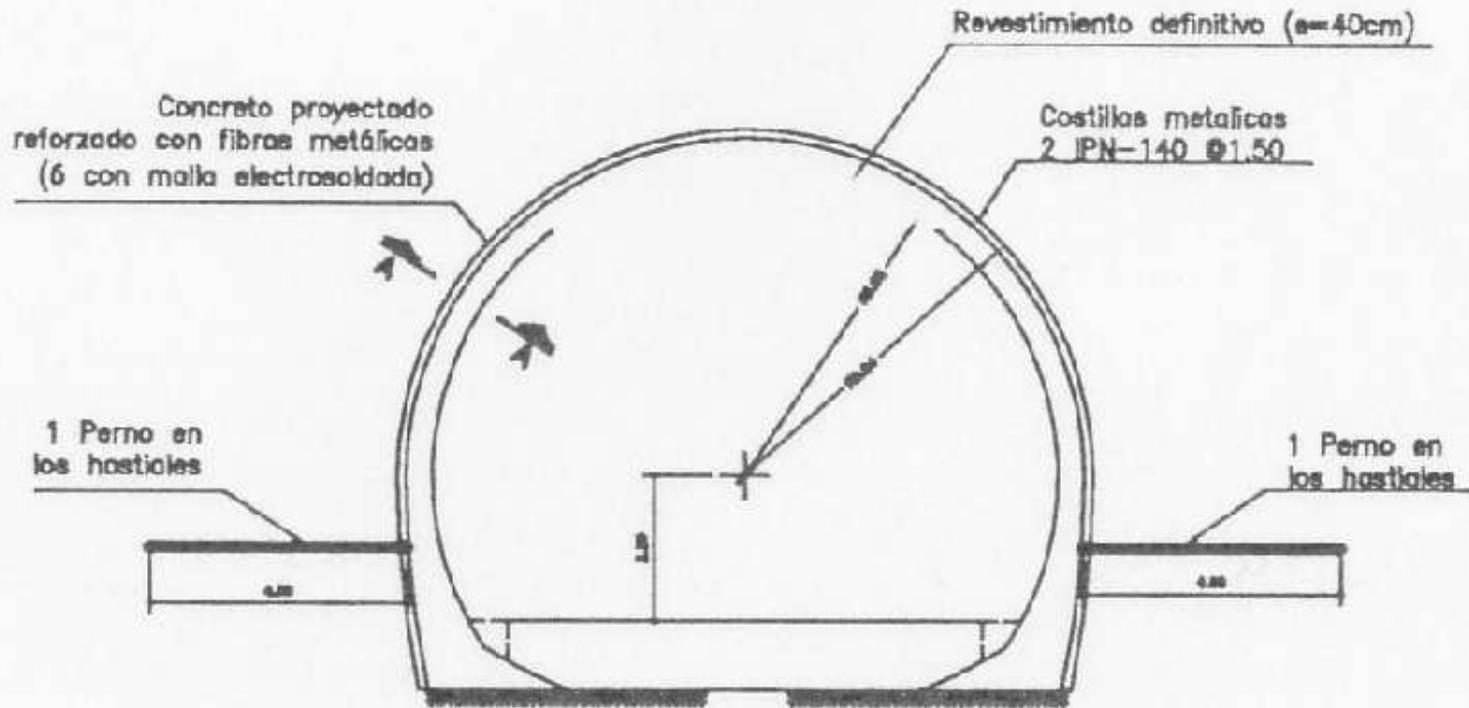
SOPORTE SP-A



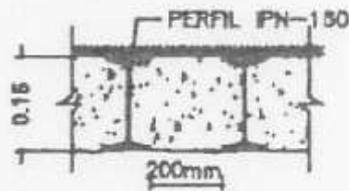
Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



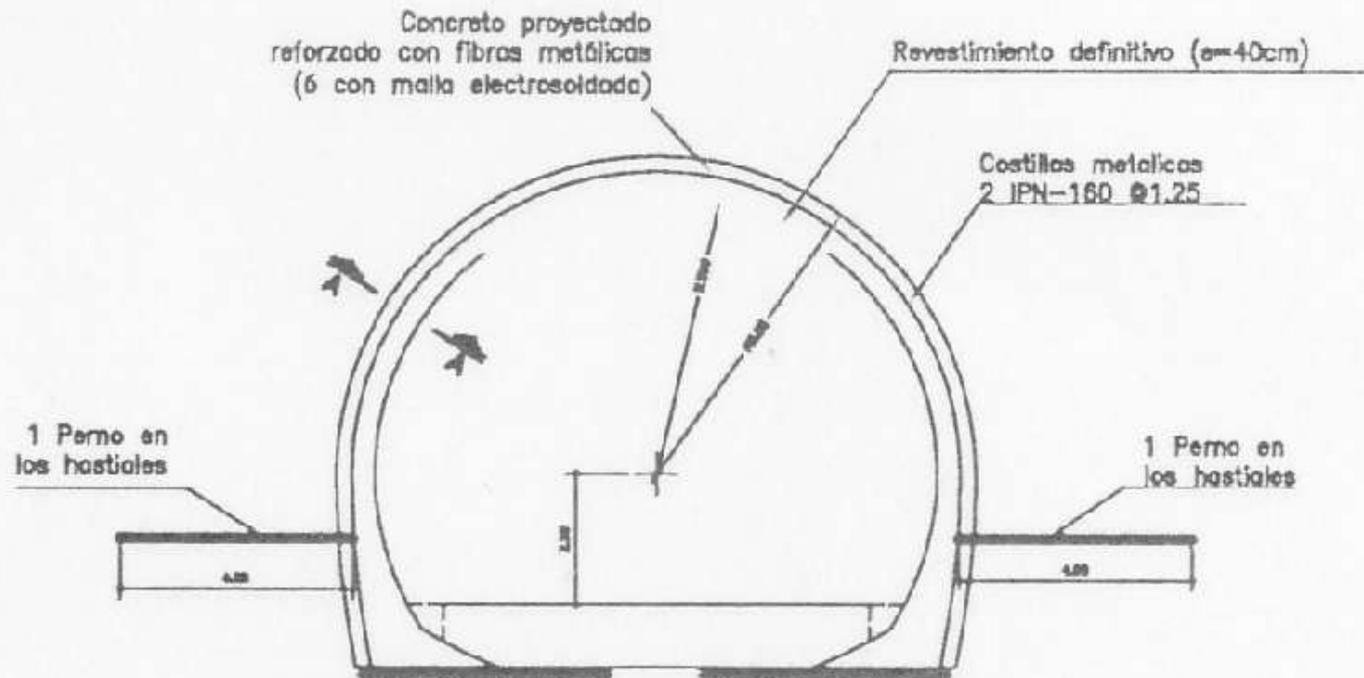
SOPORTE SP-B



Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

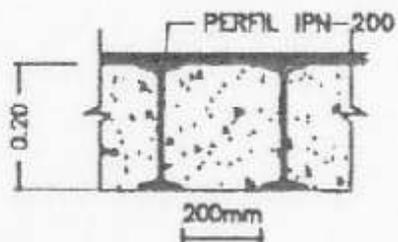


SOPORTE SP-C

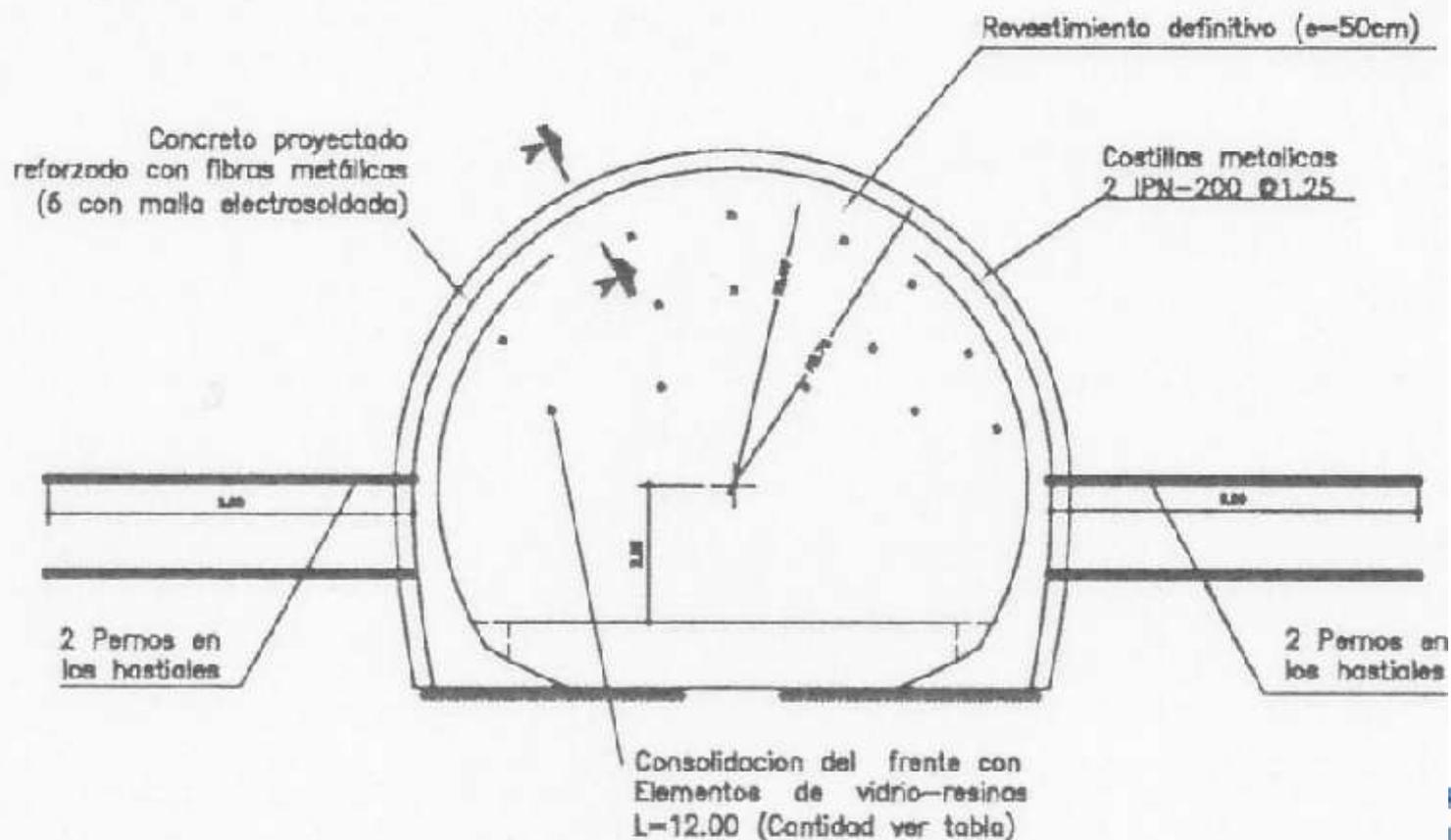


Eventual consolidación del frente con elementos de vidrio-resinas $L=12.00$ Densidad a definir en obra

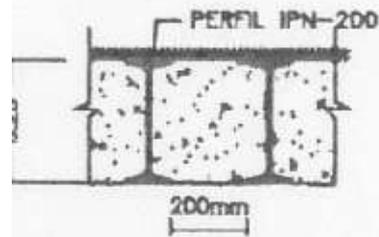
Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



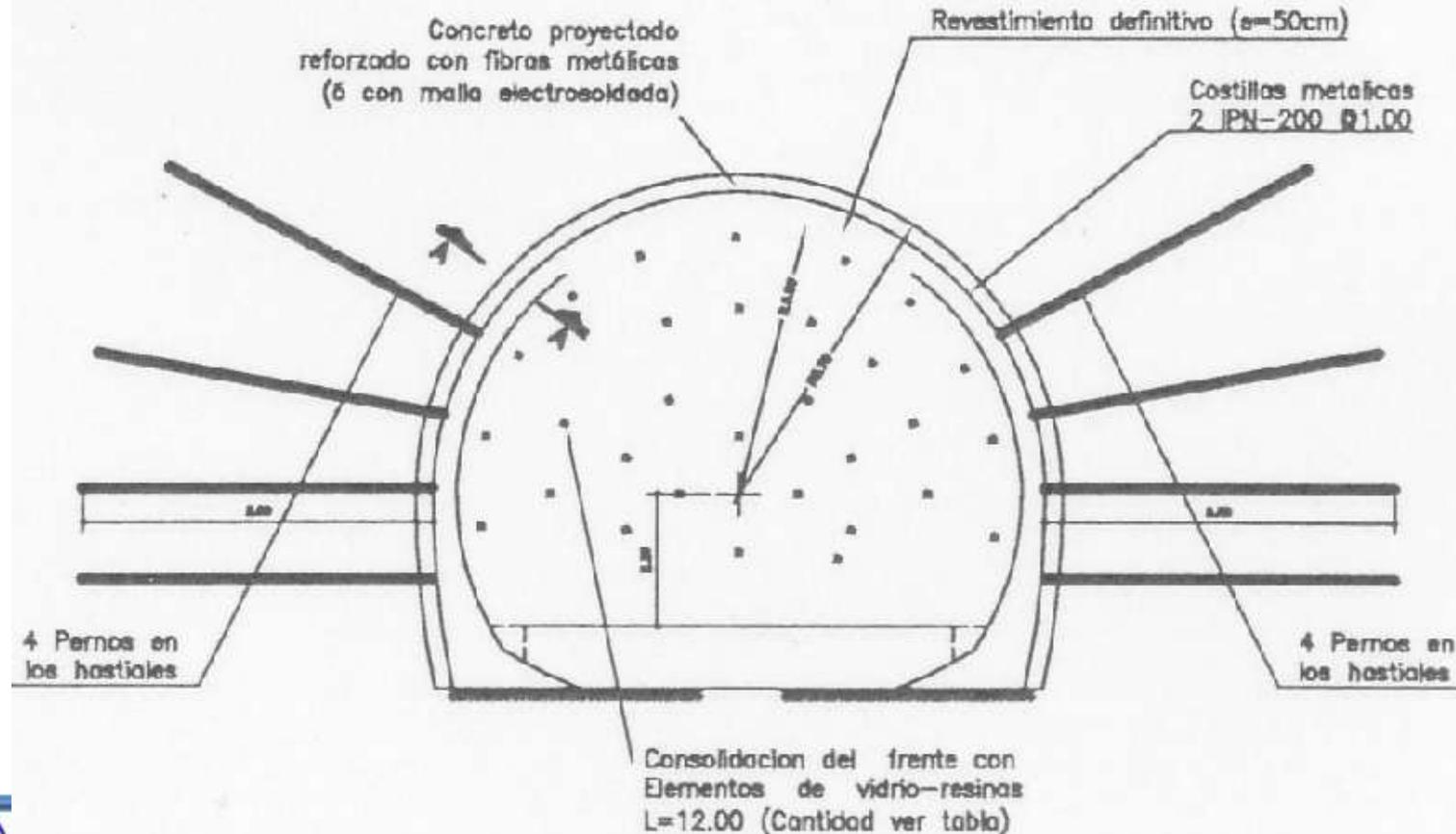
SOPORTE SP-D



Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

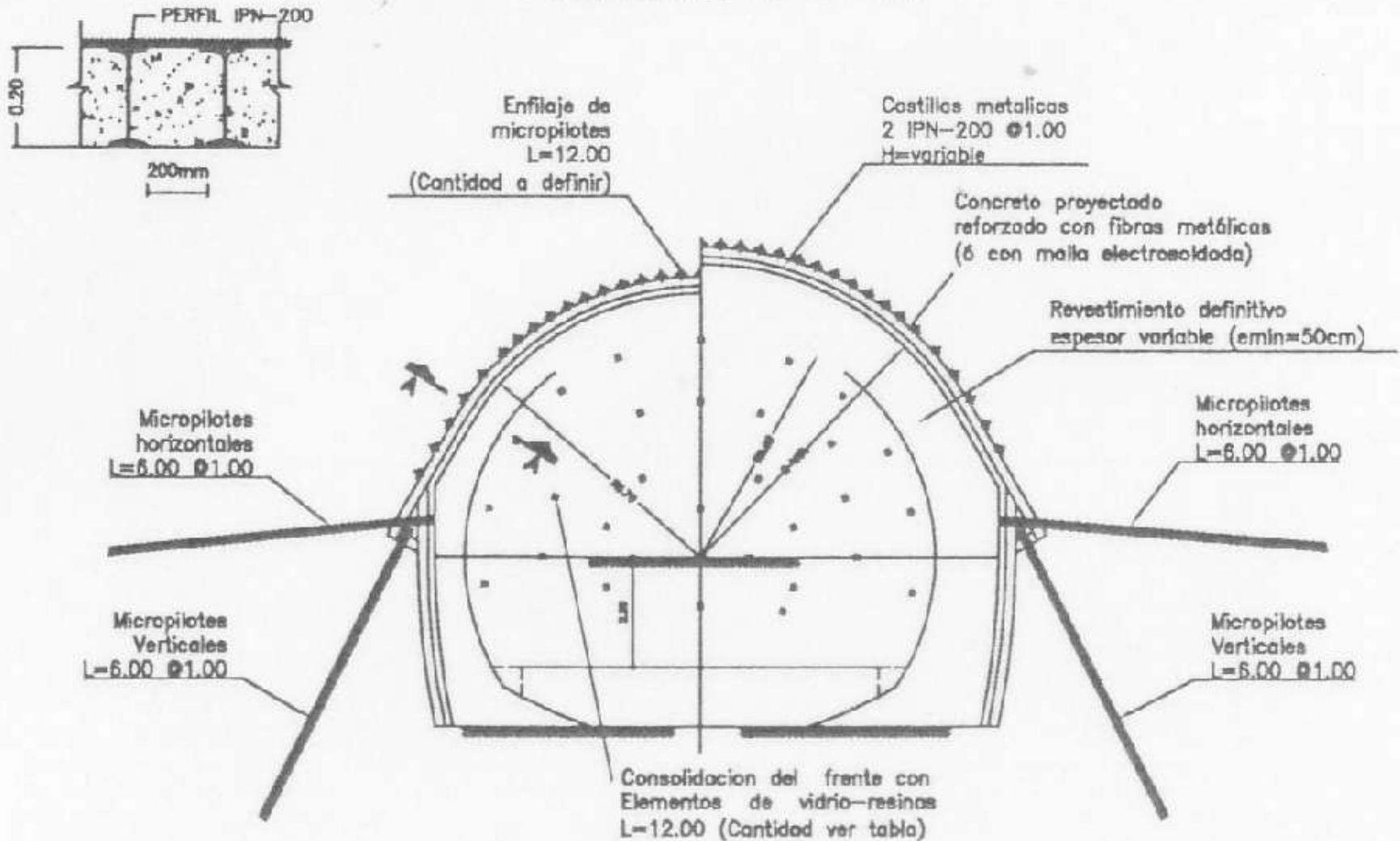


SOPORTE SP-E



Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

SOPORTE SP-F (※)



REVESTIMIENTO



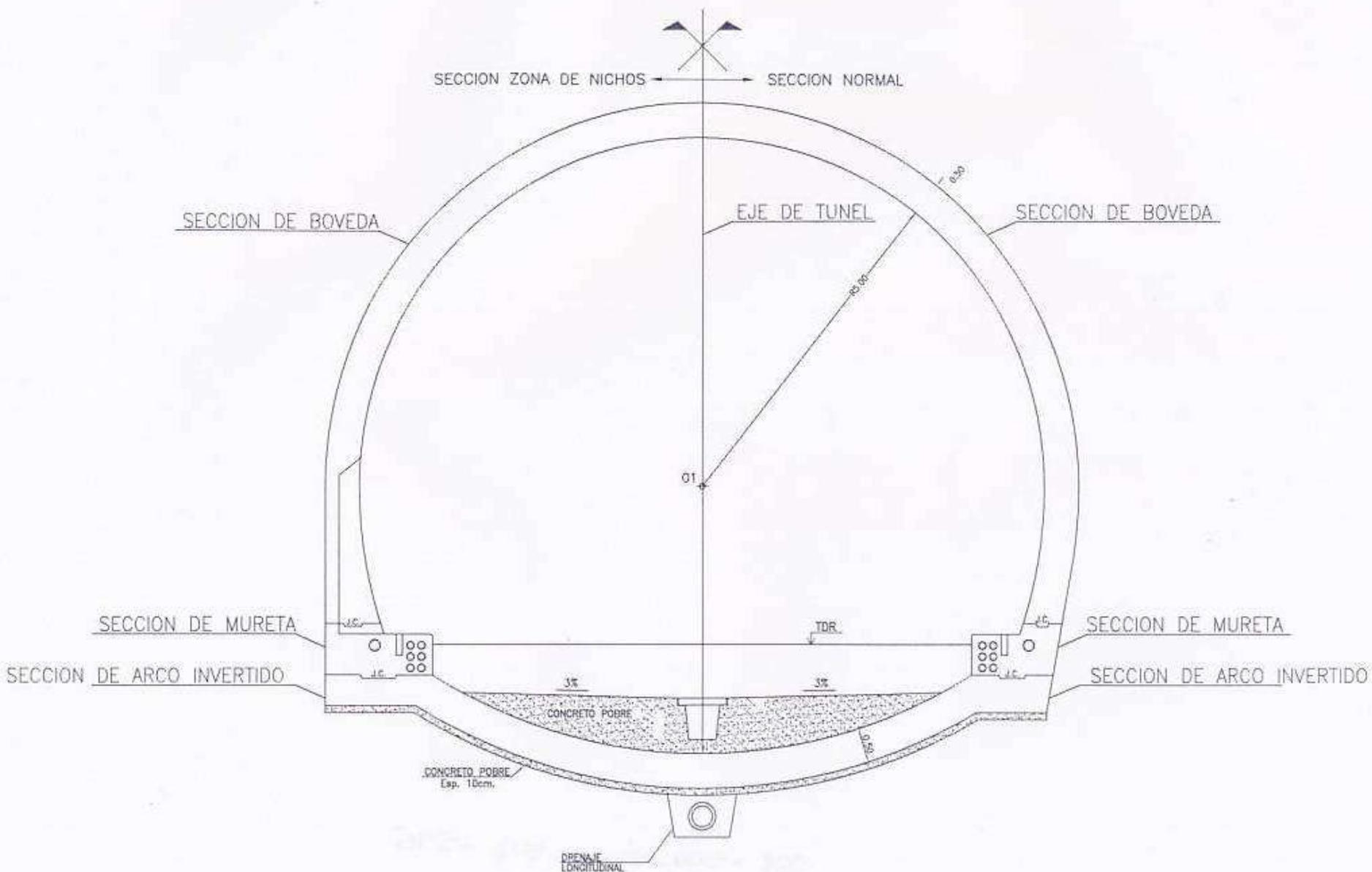
EL REVESTIMIENTO:

Se coloca con posterioridad al sostenimiento.

Consiste en aplicar el dicho sostenimiento una capa de hormigón, u otros elementos estructurales, con el fin de proporcionar resistencia a largo plazo del túnel y un acabado regular, mejorando su funcionalidad:

(condiciones aerodinámicas , impermeabilidad, luminosidad, albergar instalaciones y propiciar la estética de la obra.

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES
1826

Profesora Norly Belandria
Grupo de Investigación en Geología Aplicada (GIGA)
Facultad de Ingeniería, Escuela de Geológica
Departamento Geomecánica



Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles



Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles





Diámetro de corte: 9.544 m
Diámetro de soporte: 9.519 m
Diámetro del escudo: 9.506 m
Long de la TBM = 130 m
Peso de la TBM = 1121 ton

Cabeza cortadora

Cámara que puede ser presurizada:
Máxima presión suelo agua
4 bar en modo operativo
6 bar en modo estático de la TBM

Topa de perforación usada para la construcción del Metro de Valencia

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

- El túnel circular con TBM se realiza con una sucesión de anillos premoldeados de concreto, los cuales están formados por 7 segmentos, unidos entre si por pernos.
- El anillo está conformado por 6 dovelas más una dovela pequeña que permite el cierre, definiendo así el anillo de soporte.
- Su espesor de 0.40 m y longitudes de 1.50 m.



Conjunto de dovelas que conforman el anillo que reviste el túnel

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

Tramo del túnel con su respectivo revestimiento, proporcionado por el sistema TBM.



Vista interna del túnel mostrando el revestimiento definitivo

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

Dovelas que conforman el sistema de soporte del túnel

Los anillos de concreto armado, los cuales están formados por el ensamble de siete dovelas, tal como se ilustra en la fig.

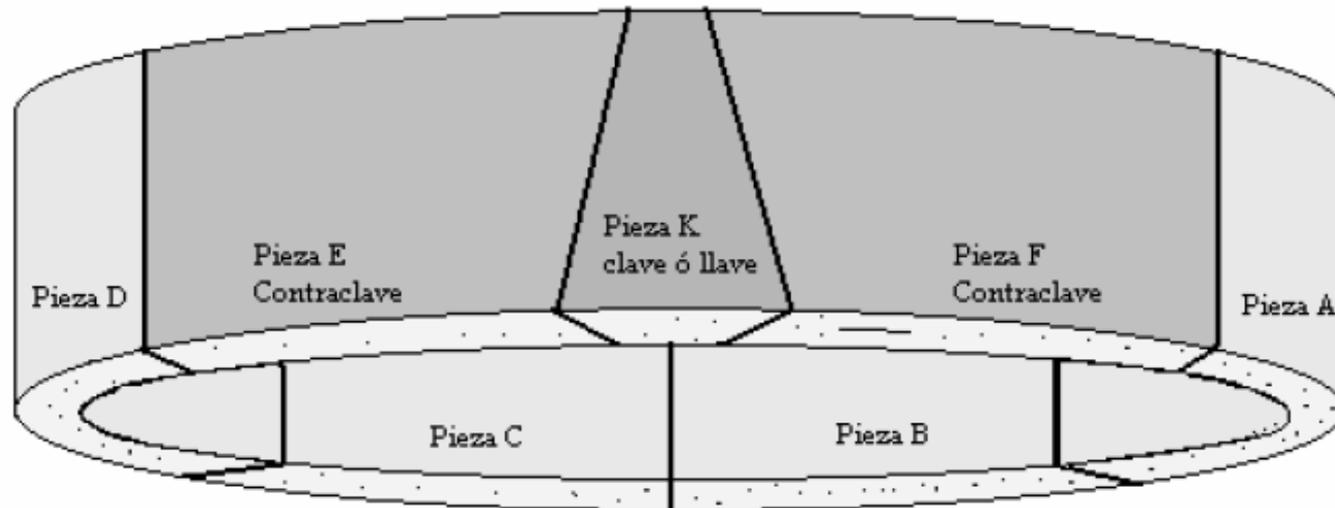


Fig. 46.- Anillo de soporte para el túnel, conformado por siete dovelas.

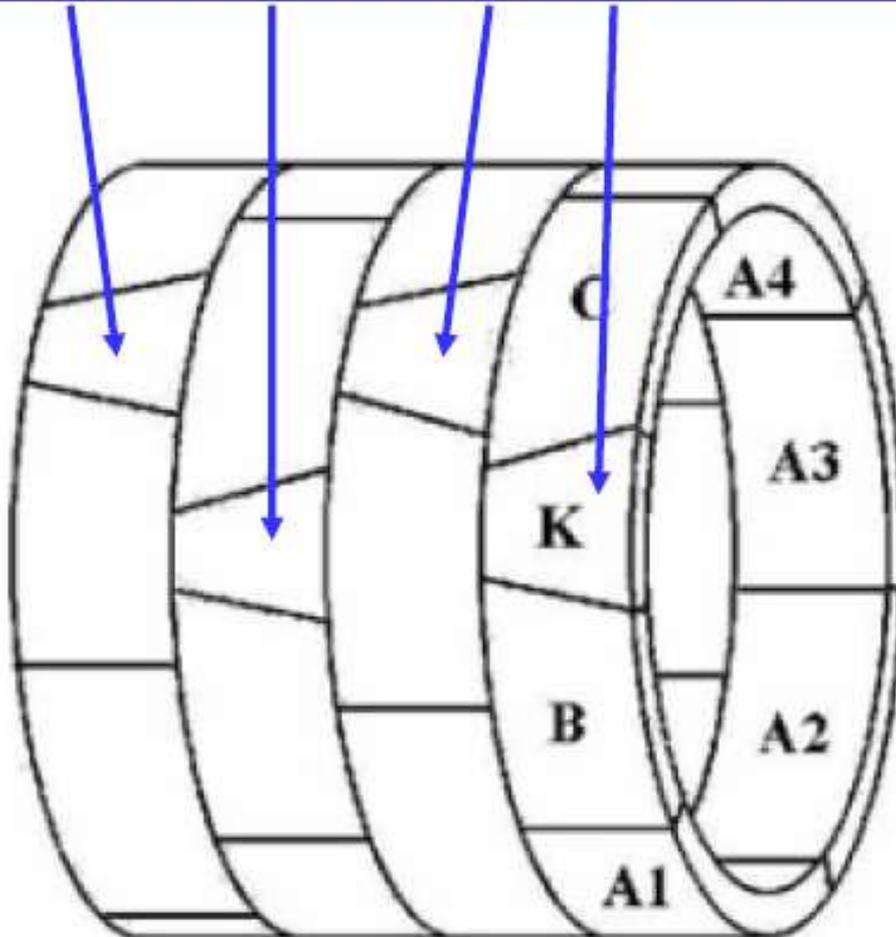
El concreto de las dovelas que se han usado en el primer tramo de la línea 1 del metro de Valencia, es una resistencia nominal de 400 kg/cm² a los 28 días y una resistencia a las 8 horas de 150 kg/cm².

TOMADO DE LA PAG. WEB PROF. SILVIO ROJAS

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

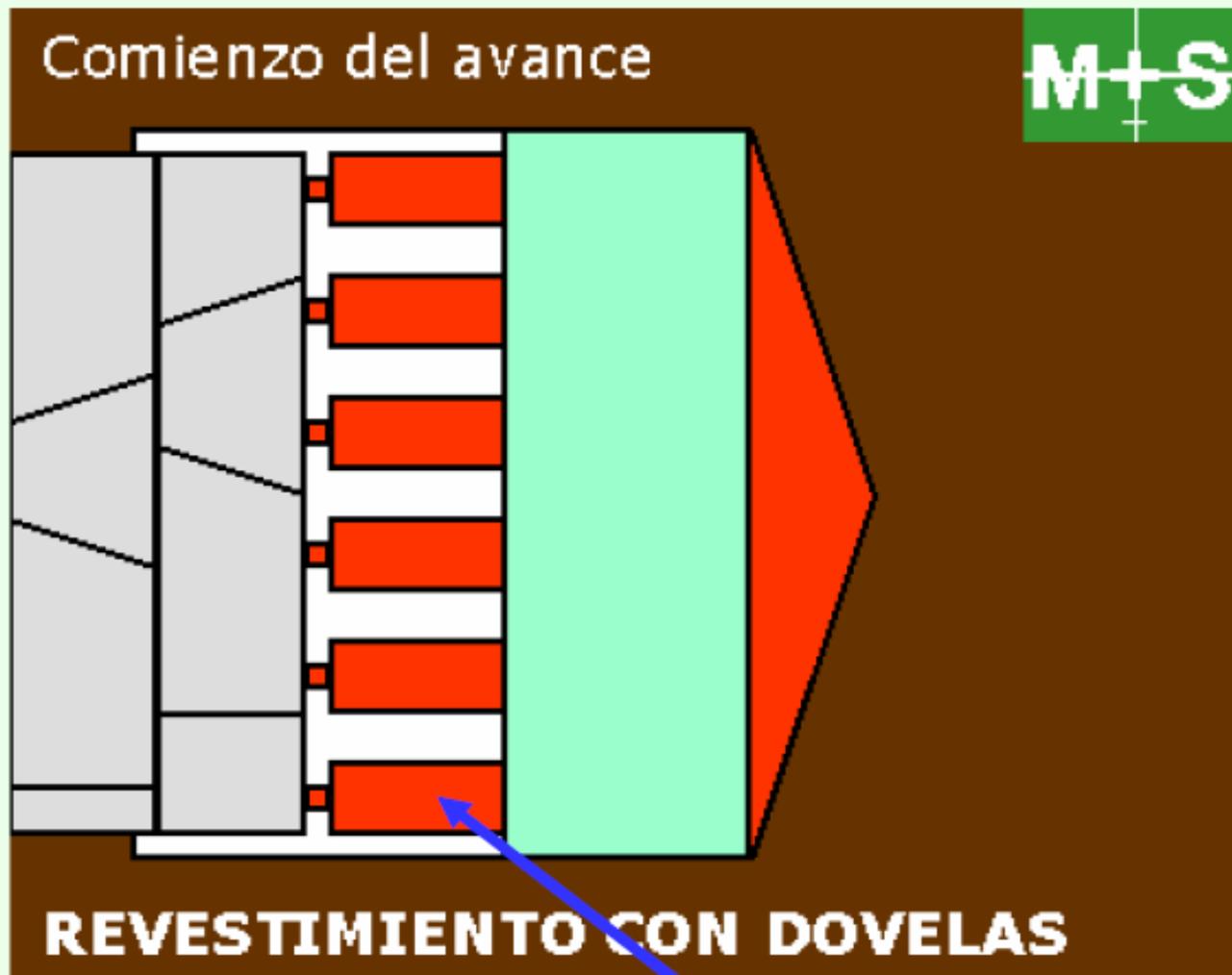
Dovela superior en clave o pieza llave:

dovela de menor tamaño, denominada clave o llave, que es la última pieza a colocar durante la construcción del anillo con el erector.



Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

Animación: Revestimiento por dovelas



Gatos apoyados en dovelas ya colocadas

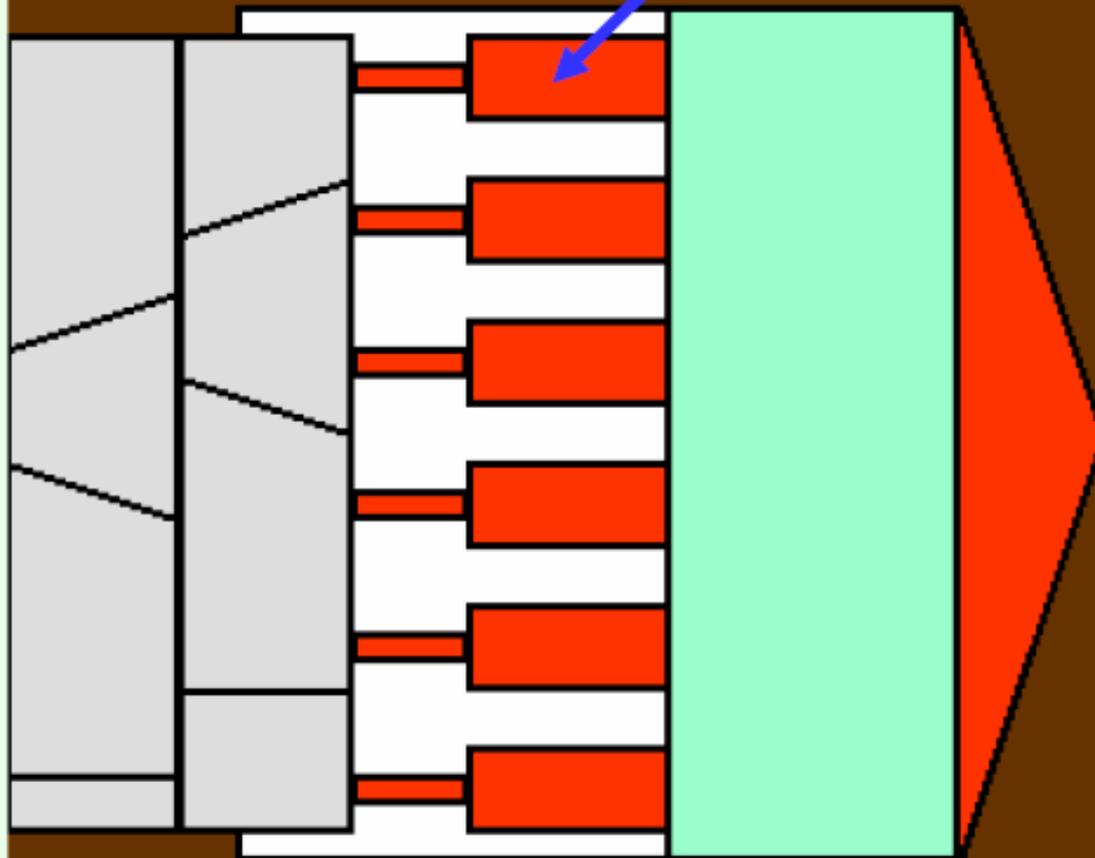
Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

Animación: Revestimiento por dovelas

Mitad del avance

Gatos desplazados

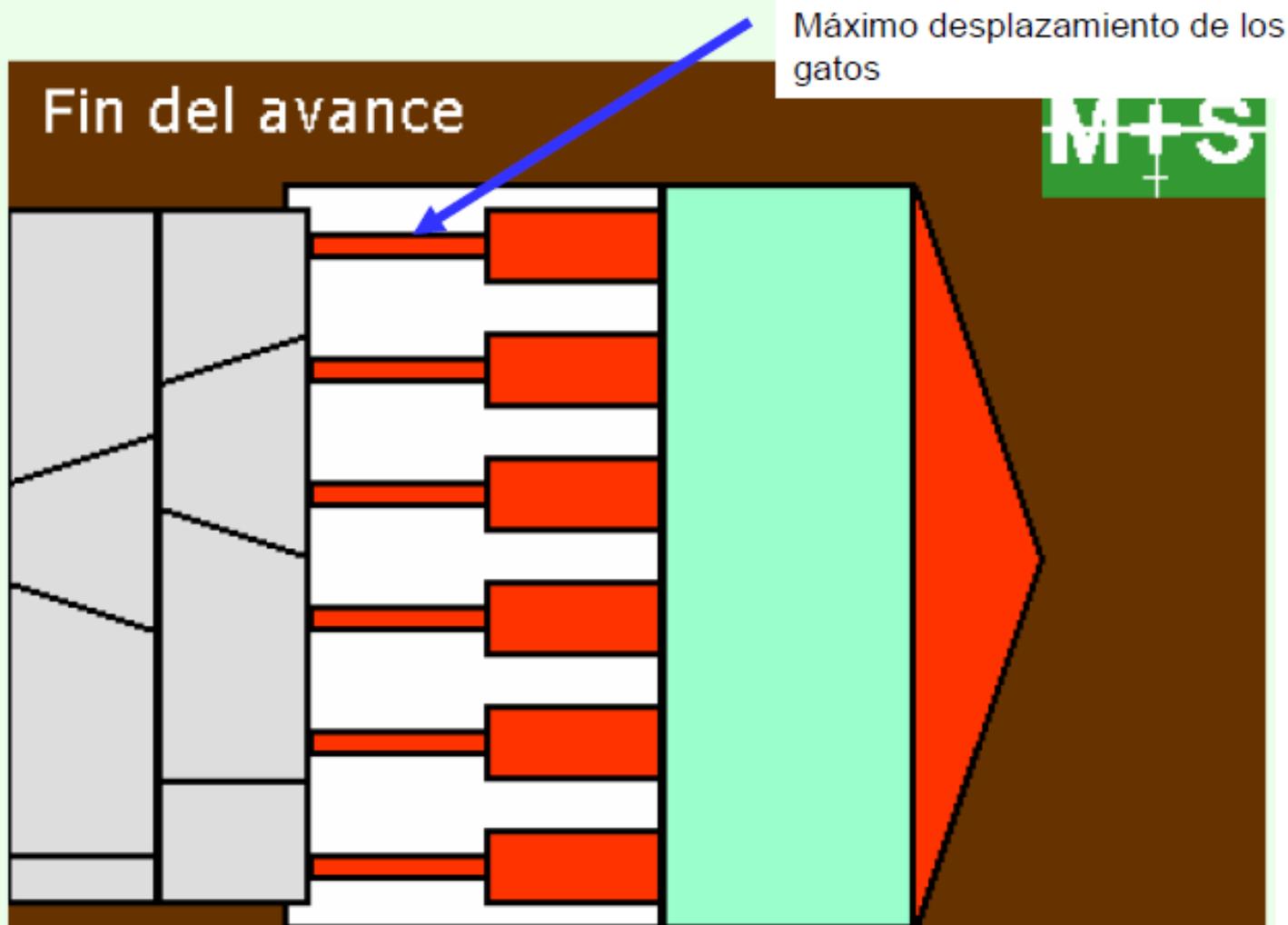
M+S



REVESTIMIENTO CON DOVELAS

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

Animación: Revestimiento por dovelas



REVESTIMIENTO CON DOVELAS

landria
(GIGA)

Facultad de Ingeniería, Escuela de Geológica
Departamento Geomecánica



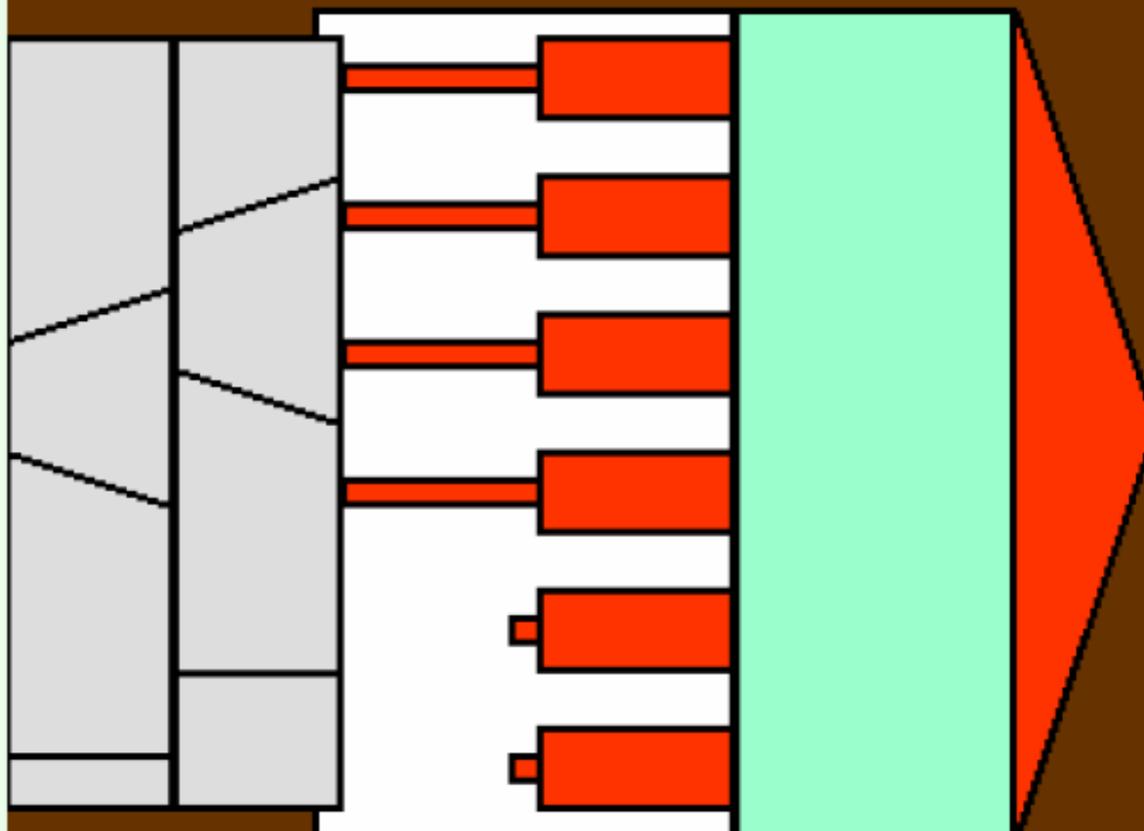
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

Animación: Revestimiento por dovelas

Retirada de cilindros

M+S



REVESTIMIENTO CON DOVELAS

Belandria
da (GIGA)

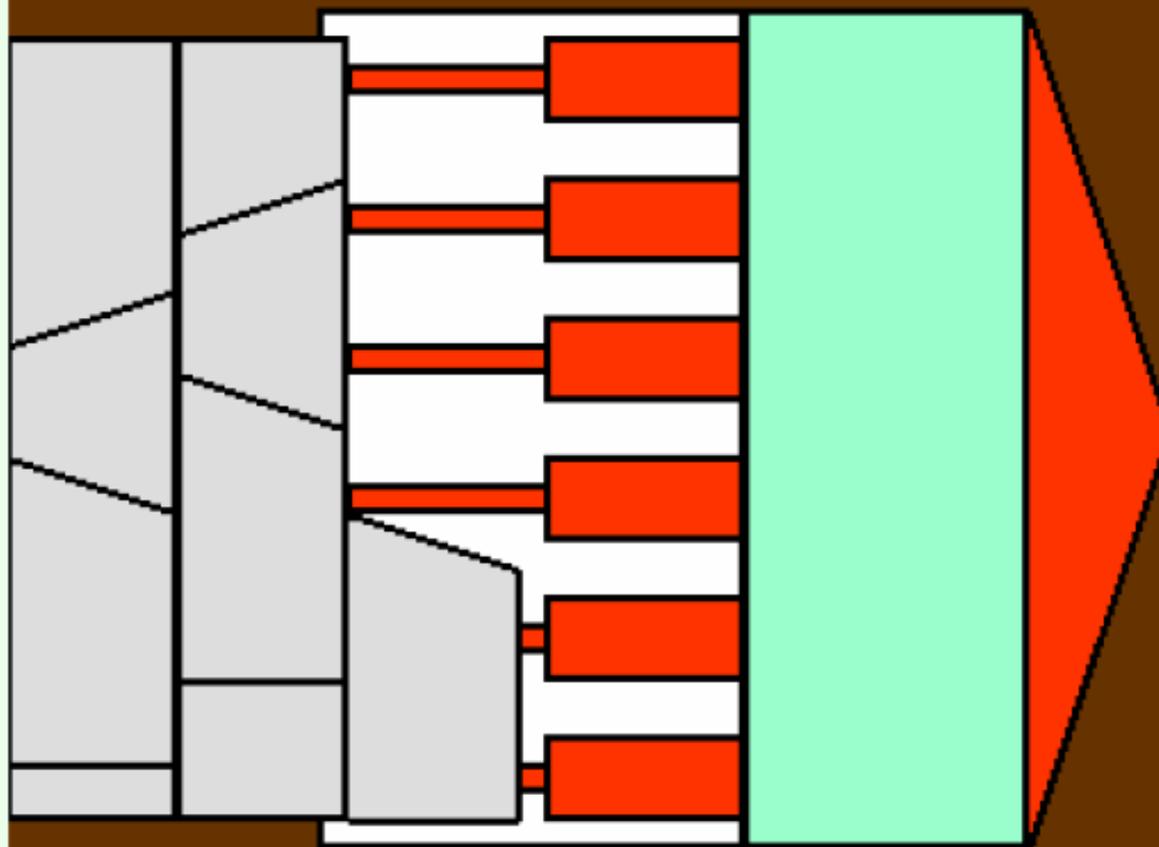
Facultad de Ingeniería, Escuela de Geológica
Departamento Geomecánica



Animación: Revestimiento por dovelas

Colocación de dovela

M+S



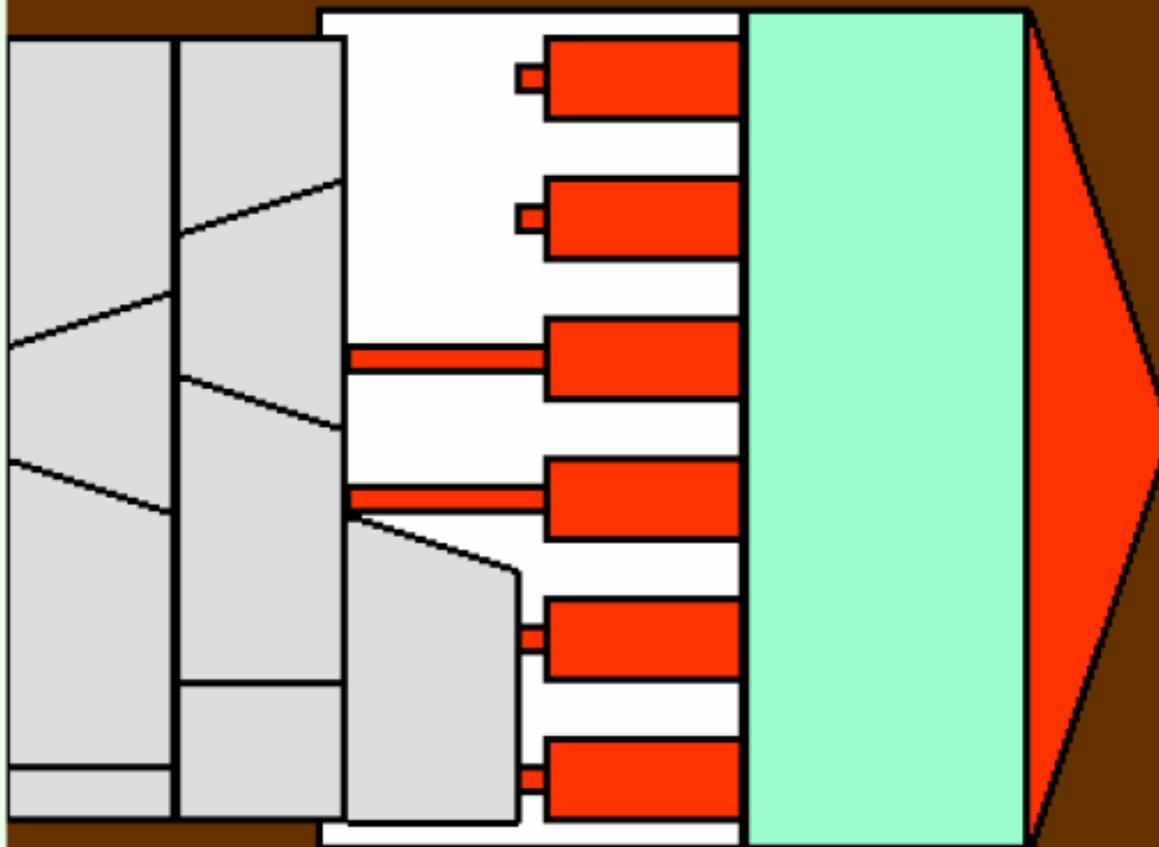
REVESTIMIENTO CON DOVELAS

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

Animación: Revestimiento por dovelas

Retirada de cilindros

M+S



REVESTIMIENTO CON DOVELAS

ndria
(GIGA)
lógica

Departamento Geomecánica



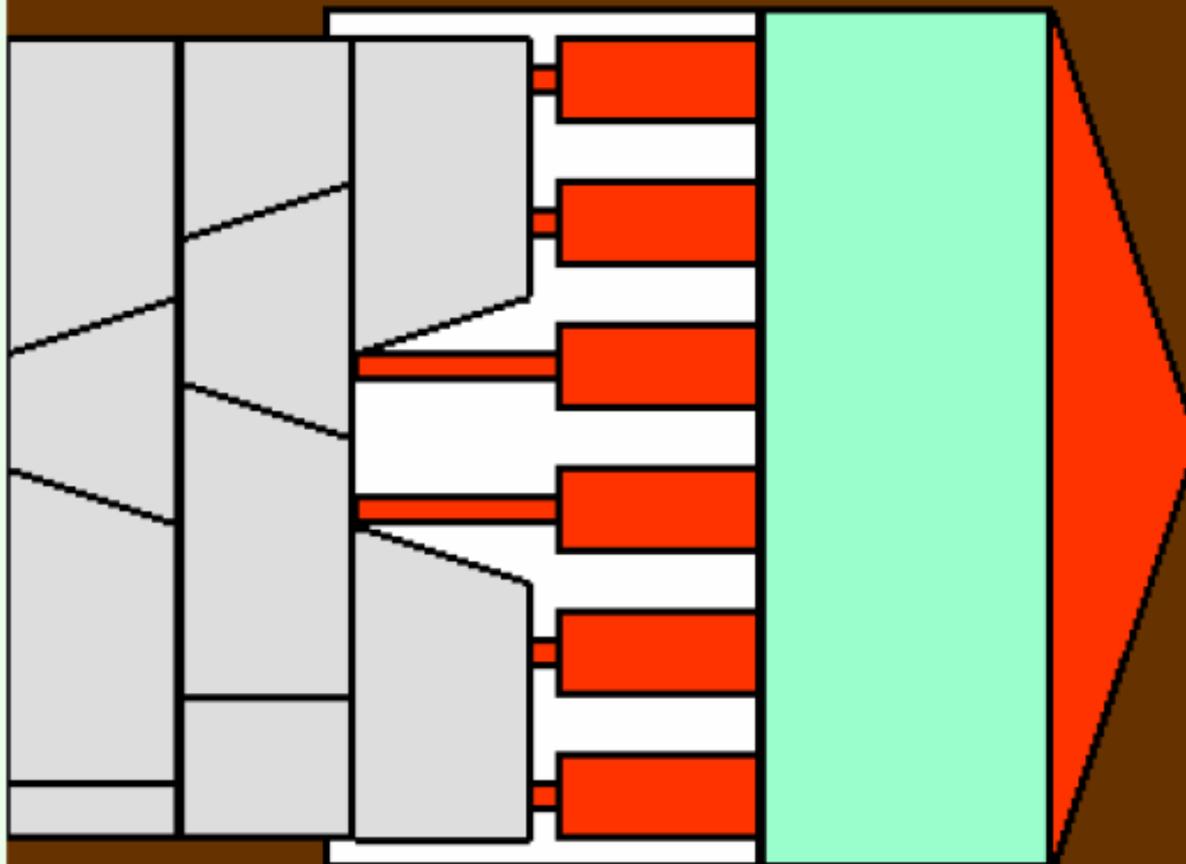
UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES
TRUJILLO VENEZUELA

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

Animación: Revestimiento por dovelas

Colocación de dovela

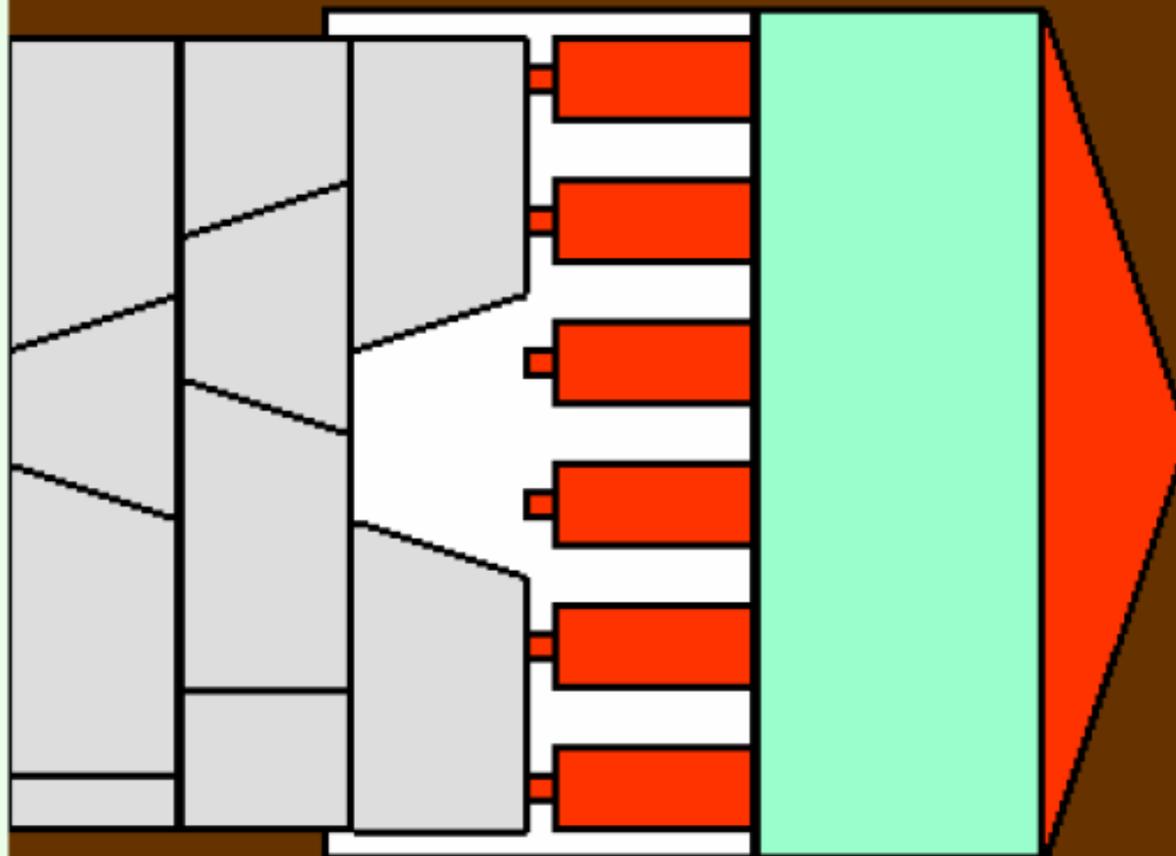
M+S



REVESTIMIENTO CON DOVELAS

Retirada de cilindros

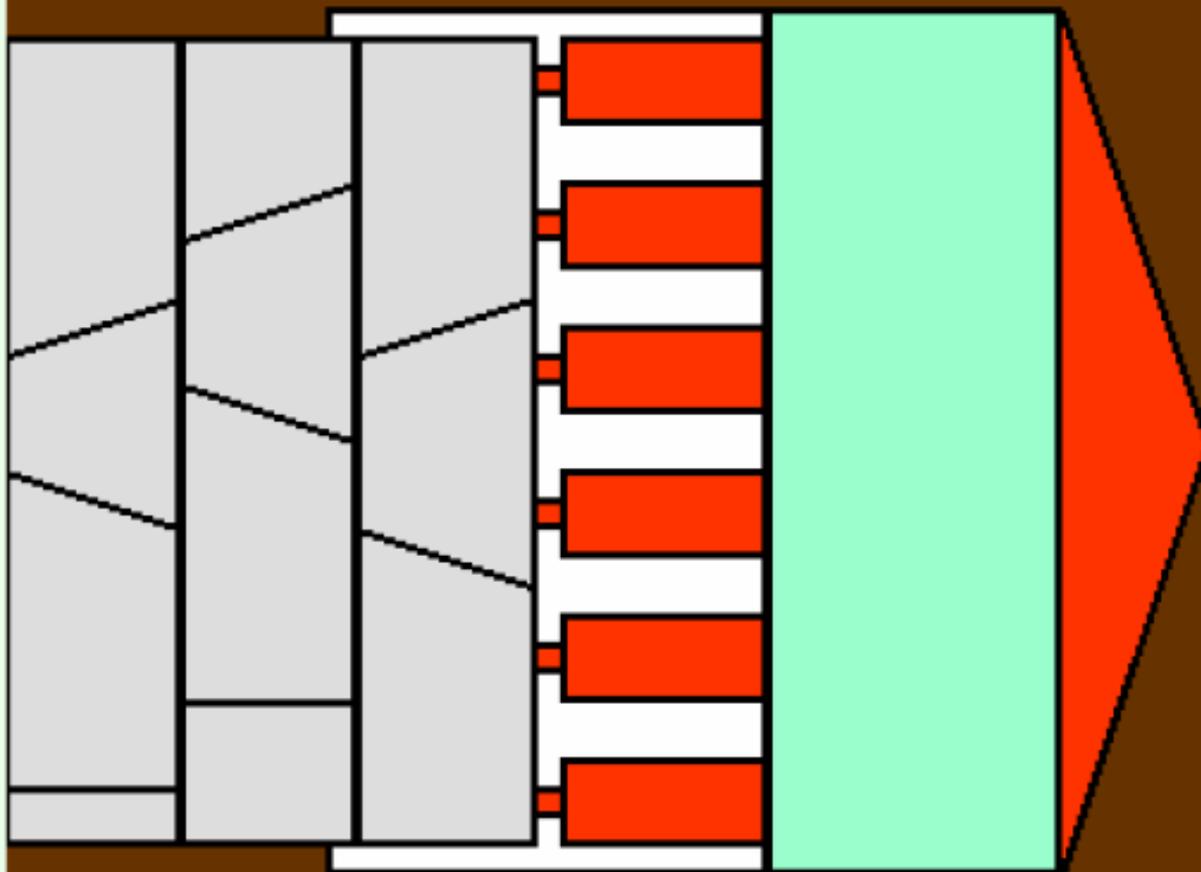
M+S



REVESTIMIENTO CON DOVELAS

Colocación de la clave

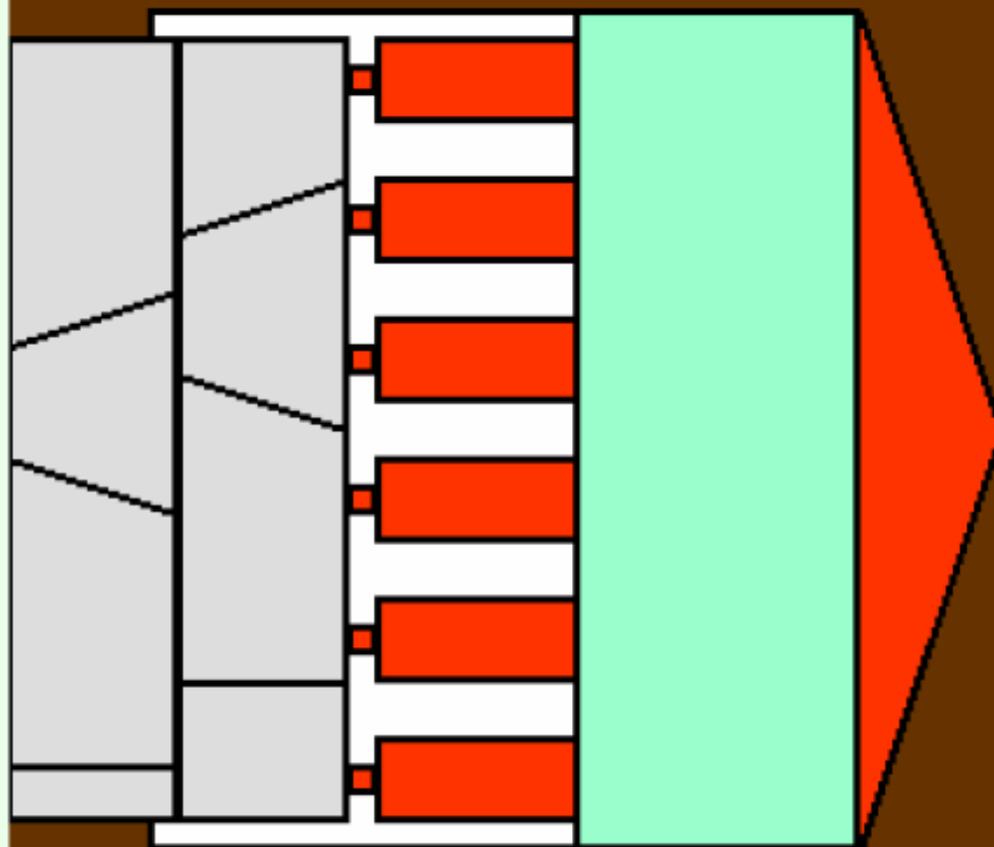
M+S



REVESTIMIENTO CON DOVELAS

Comienzo del avance

M+S



REVESTIMIENTO CON DOVELAS

Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

El anillo cumple la función:

- 1.- De sostenimiento evitando derrumbamiento del material (estabilidad y seguridad), lo cual se consigue con la resistencia a la cual se han diseñado las dovelas y el buen ensamblaje que existe en la definición del anillo
- 2.- Debe cumplir la función de estanqueidad (no permitir filtraciones hacia el túnel) para lo cual el concreto debe ser de baja porosidad.

A continuación se indica, la cantidad de anillos que se han requerido entre los tramos de las estaciones, en la primera fase de la línea 1:

- Entre la estación Las Ferias y la estación Palotal (L=542 m): 362 anillos
- Entre la estación Palotal y la estación Santa Rosa (L=476 m): 318 anillos
- Entre la estación Santa Rosa y la est. Michelena (L=545 m): 364 anillos
- Entre la estación Michelena y la est. Lara (L=555 m): 370 anillos
- Entre la estación Lara y la estación Cedeño (L=981 m): 654 anillos
- Entre la estación Cedeño y la est. Miranda (L=635 m): 424 anillos

TOMADO DE LA PAG. WEB PROF. SILVIO ROJAS



Geotecnia: Tema 5 Diseño de Túneles

El anillo cumple la función:

- 1.- De sostenimiento evitando derrumbamiento del material (estabilidad y seguridad), lo cual se consigue con la resistencia a la cual se han diseñado las dovelas y el buen ensamblaje que existe en la definición del anillo
- 2.-Debe cumplir la función de estanqueidad (no permitir filtraciones hacia el túnel) para lo cual el concreto debe ser de baja porosidad.

TOMADO DE LA PAG. WEB PROF. SILVIO ROJAS



