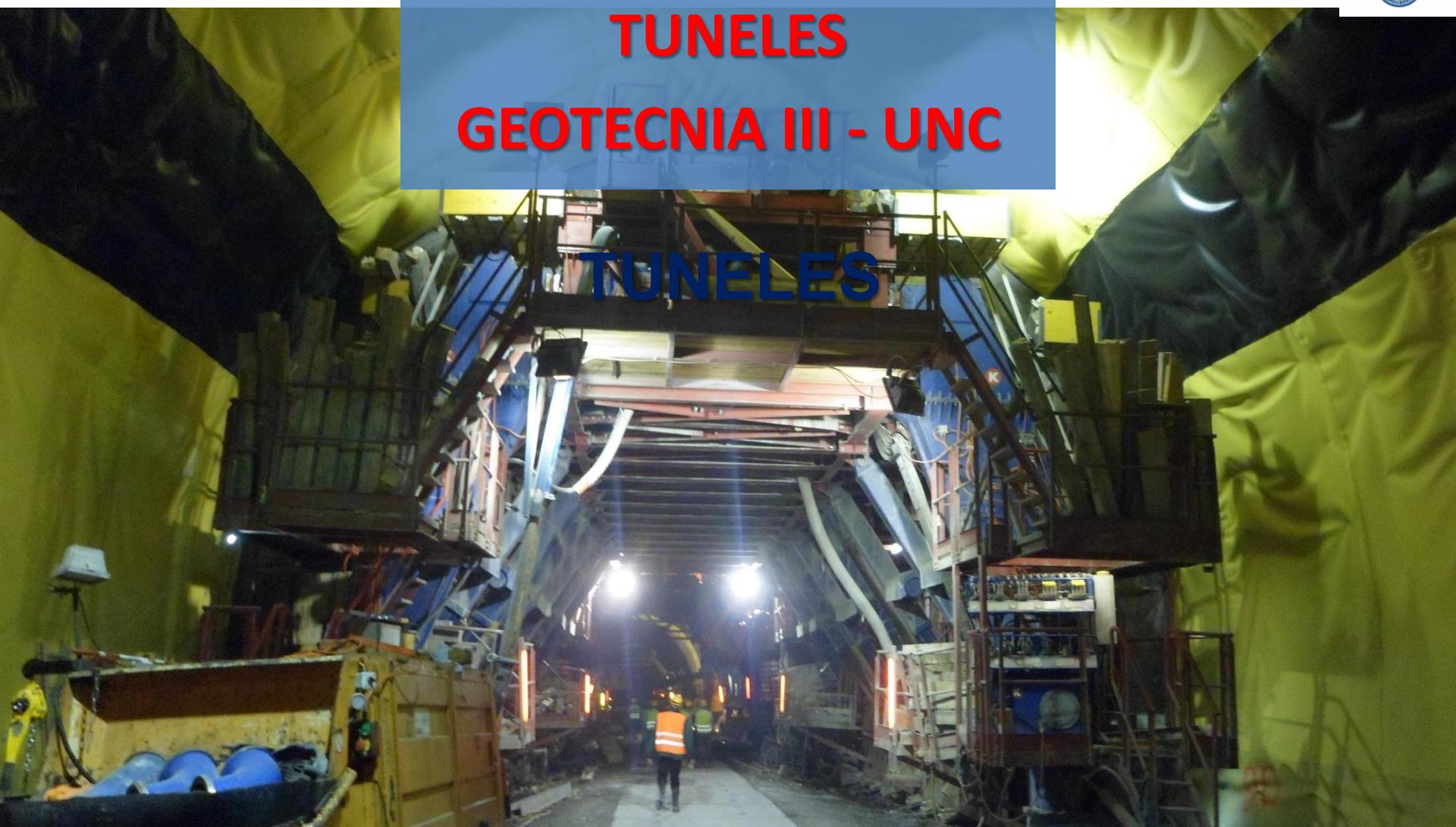




TUNELES

GEOTECNIA III - UNC

TUNELES



Marcelo Zeballos, Roberto Terzariol, Ricardo Rocca



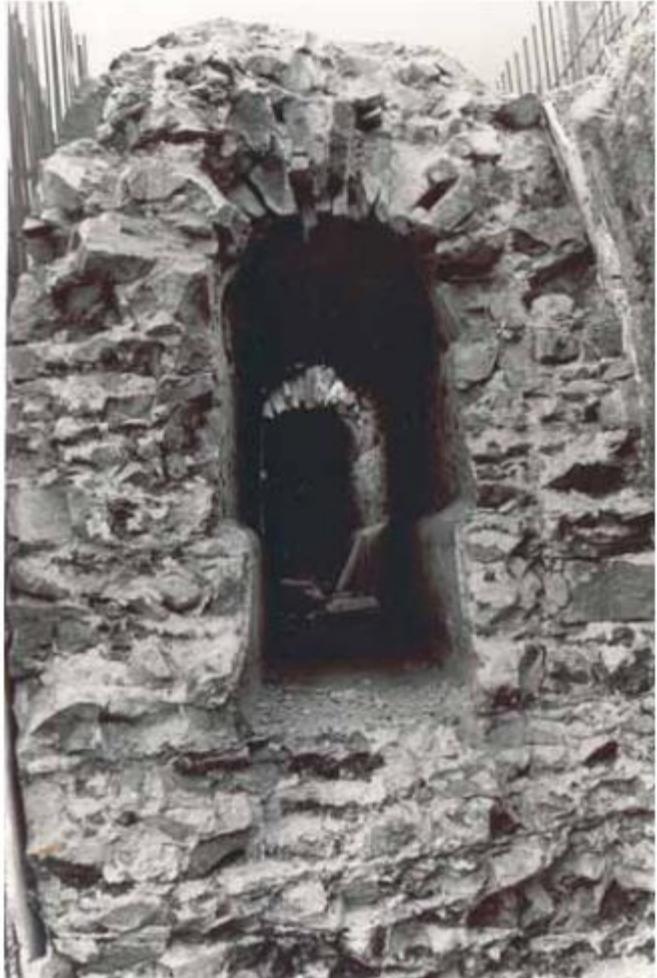
TÚNELES

- **Definiciones.**
 - Secciones transversales y longitudinales típicas.
 - Clasificación de túneles.
- **Diseño.**
 - Proceso de Diseño
 - Caracterización del Terreno.
 - Confinamiento y Convergencia.
 - Asentamientos en superficie.
- **Métodos Constructivos.**
 - Método Construcción Secuencial.
 - Método Construcción con Tuneleras.
- **Referencias Bibliográficas.**
 - Apuntes Curso Geotecnia III. Capítulo Túneles y Conductos.
 - Complementario: Manual de Túneles Carreteros. Méjico. Internet

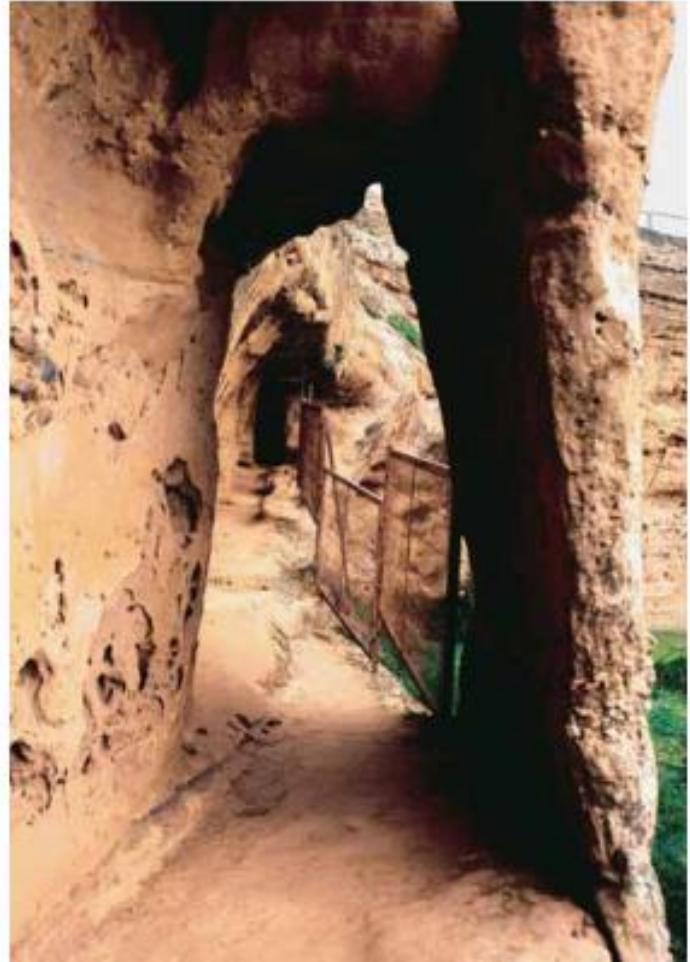


TUNELES

ANTECEDENTES



Acueducto Romano para trasvase de
cuenca, Presa de Cornalvo, España

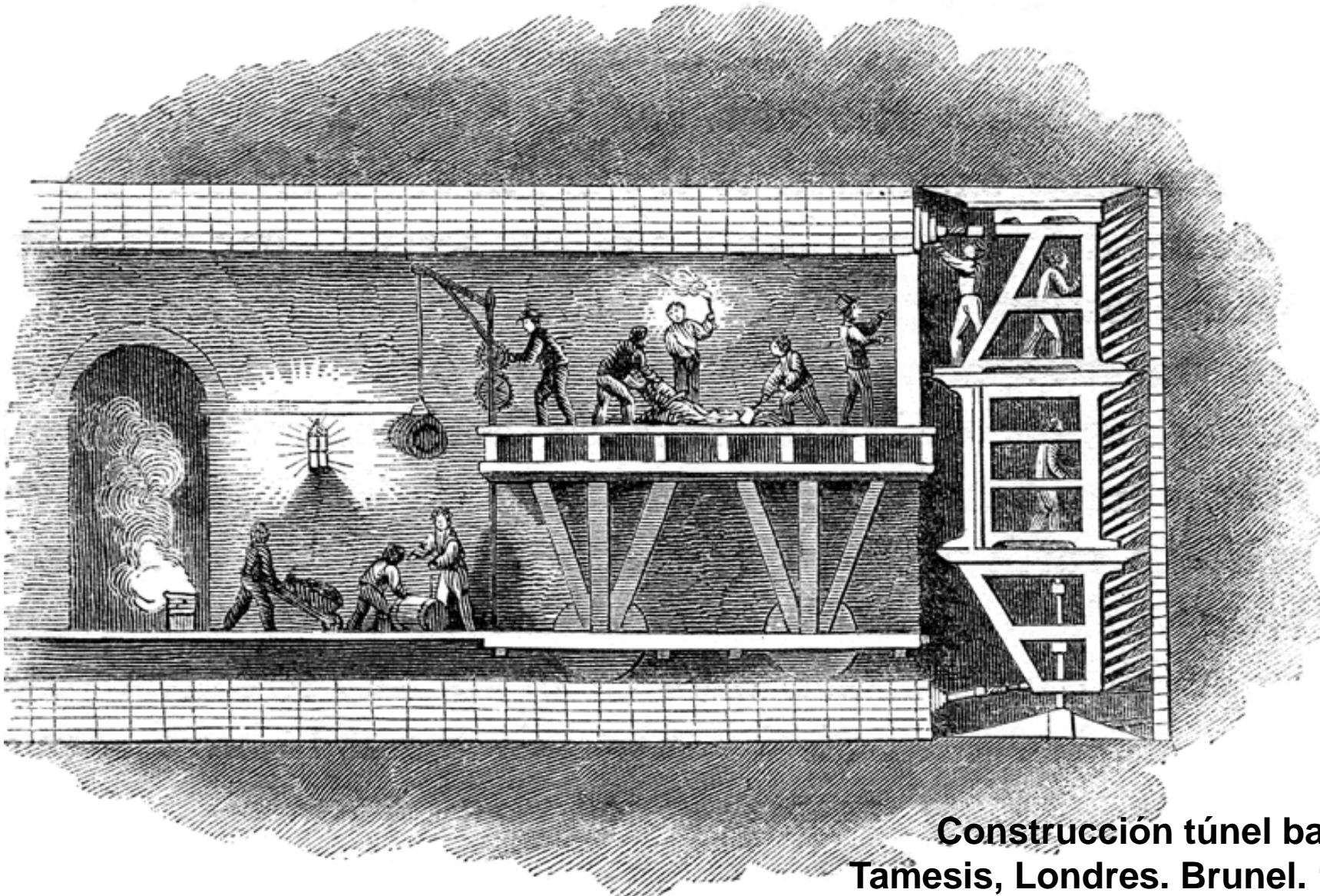


Galería Romana, Tiermes, Soria,
España

TUNELES



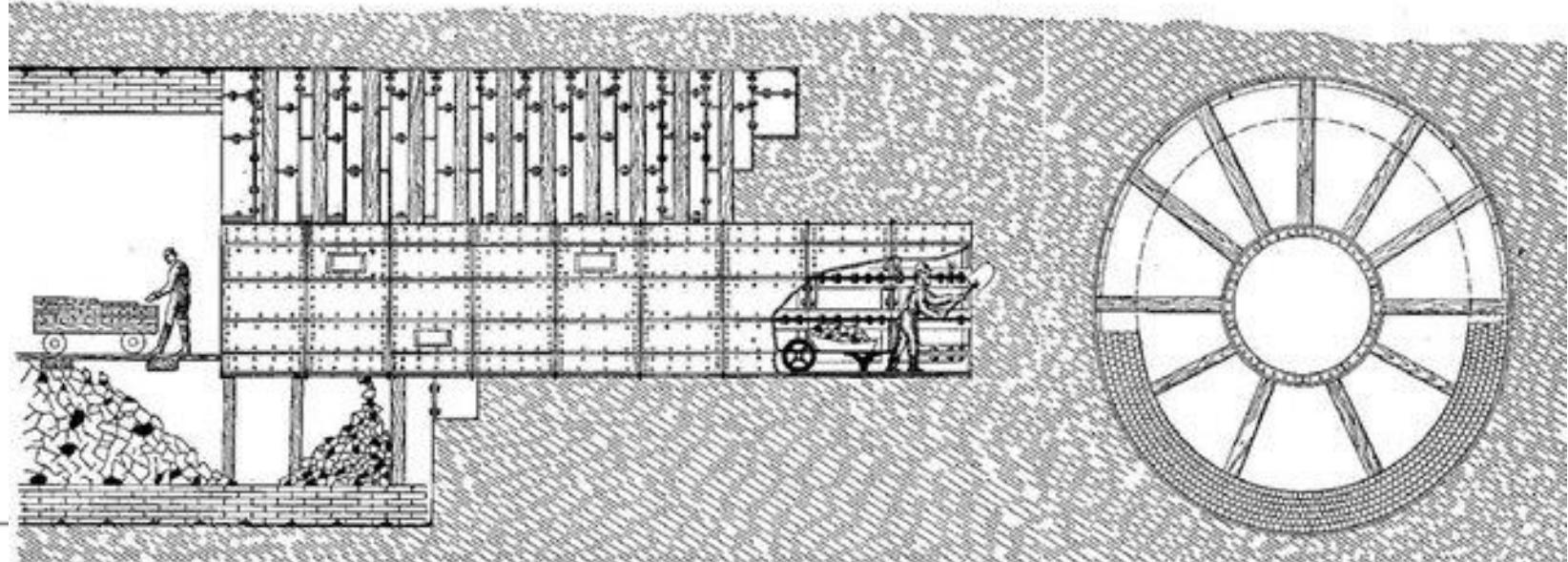
ANTECEDENTES



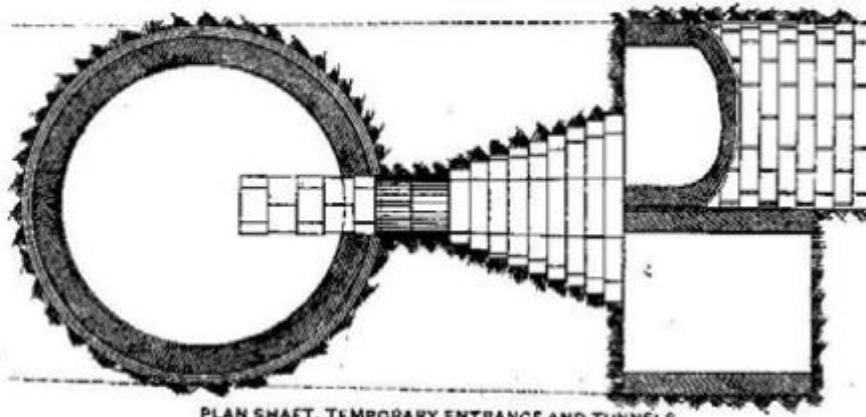
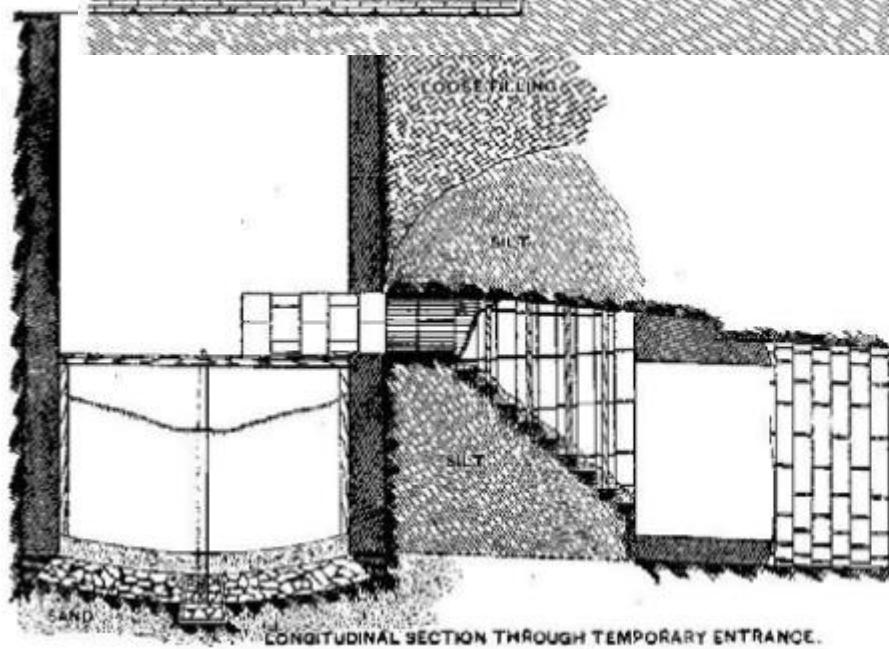
TUNELES



ANTECEDENTES



Túnel ferroviario bajo el río
Hudson, New York, Burr, 1885

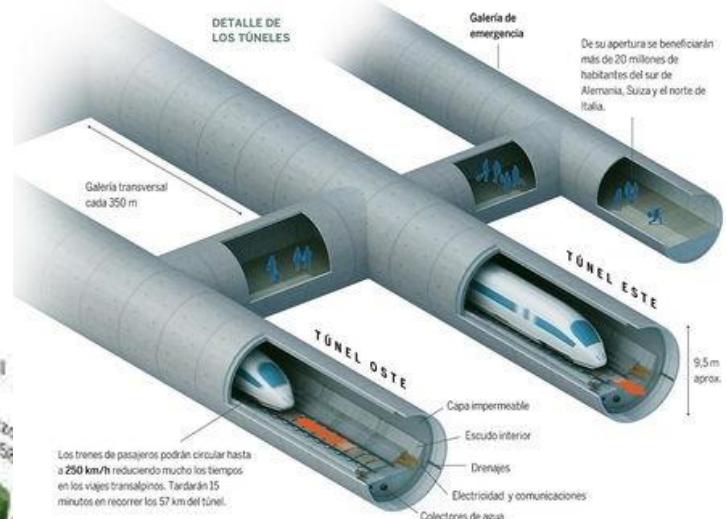
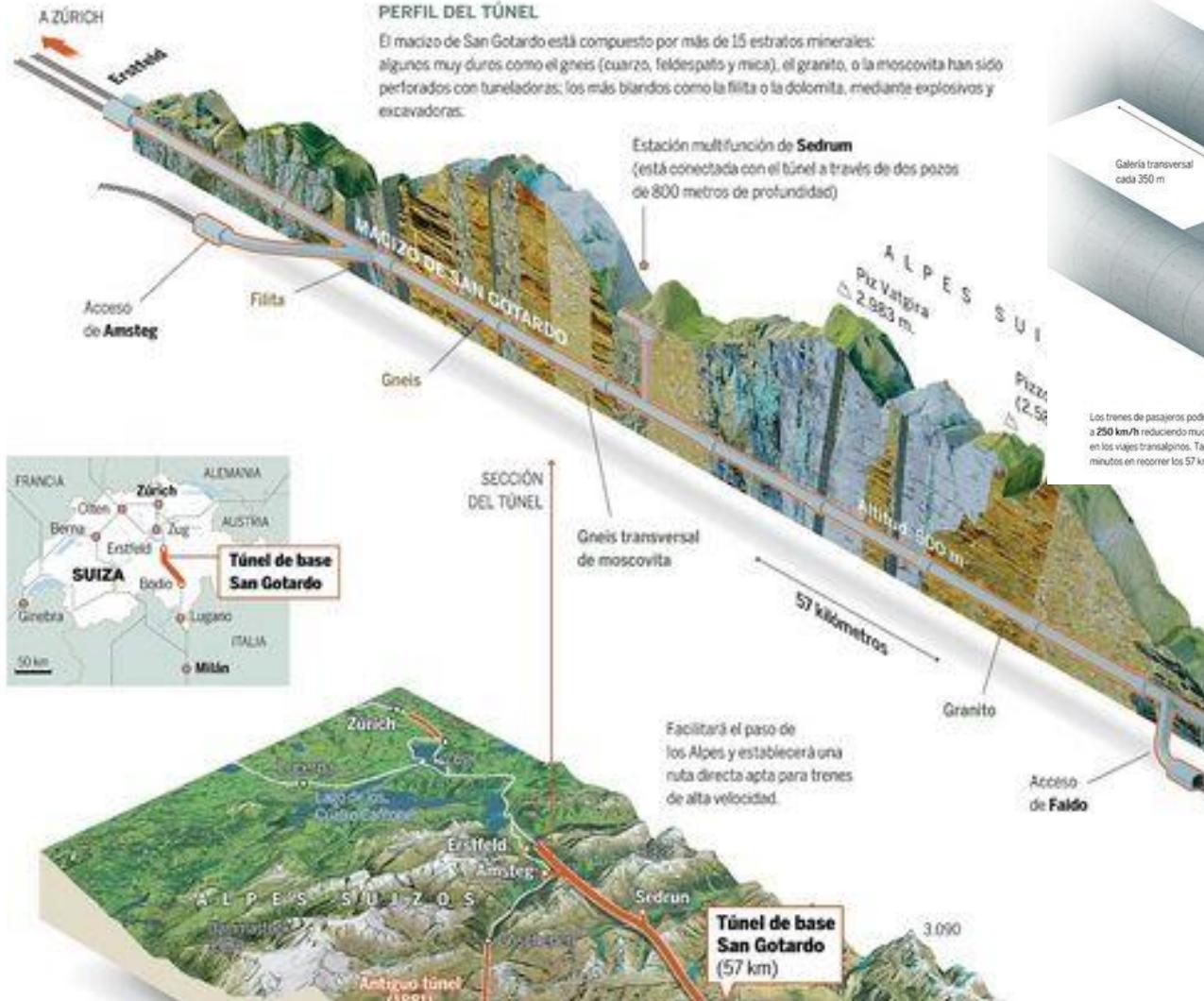




TUNELES

EL TÚNEL DE SAN GOTARDO

El pasado 15 de octubre concluyó la perforación del túnel más largo del mundo. Se trata del túnel ferroviario de alta velocidad que atraviesa el macizo de San Gotardo, en los Alpes Suizos, y que permitirá una ruta directa entre las ciudades de Zúrich y Milán reduciendo el tiempo actual de viaje de cuatro horas a dos horas y media. Está previsto que esté en funcionamiento en 2017.



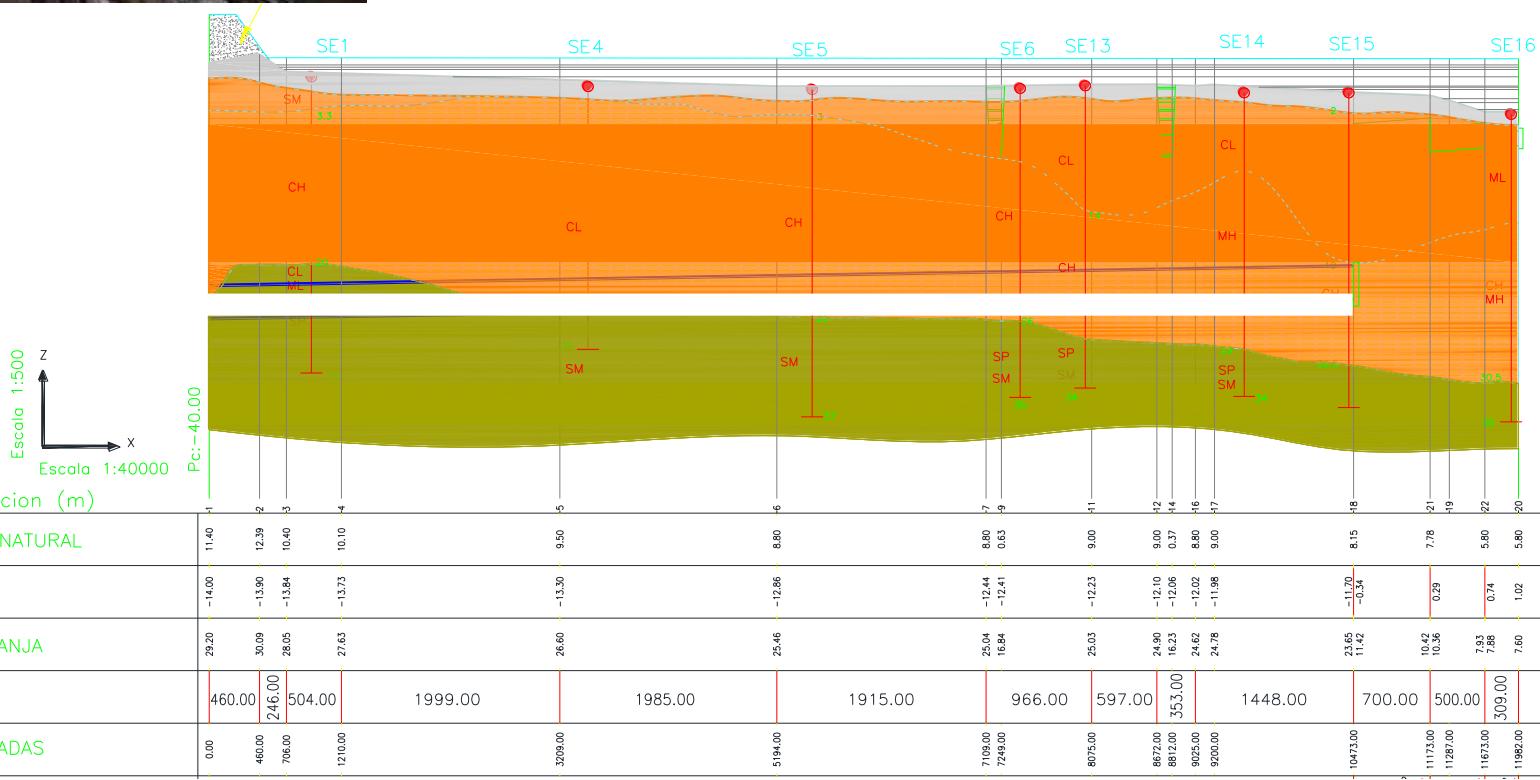
Los trenes de pasajeros podrán circular hasta a 250 km/h reduciendo mucho los tiempos en los viajes transalpinos. Tardarán 15 minutos en recorrer los 57 km del túnel.



ANTECEDENTES



Emisario Río de la Plata, Sistema Riachuelo. Lote 3



TUNELES



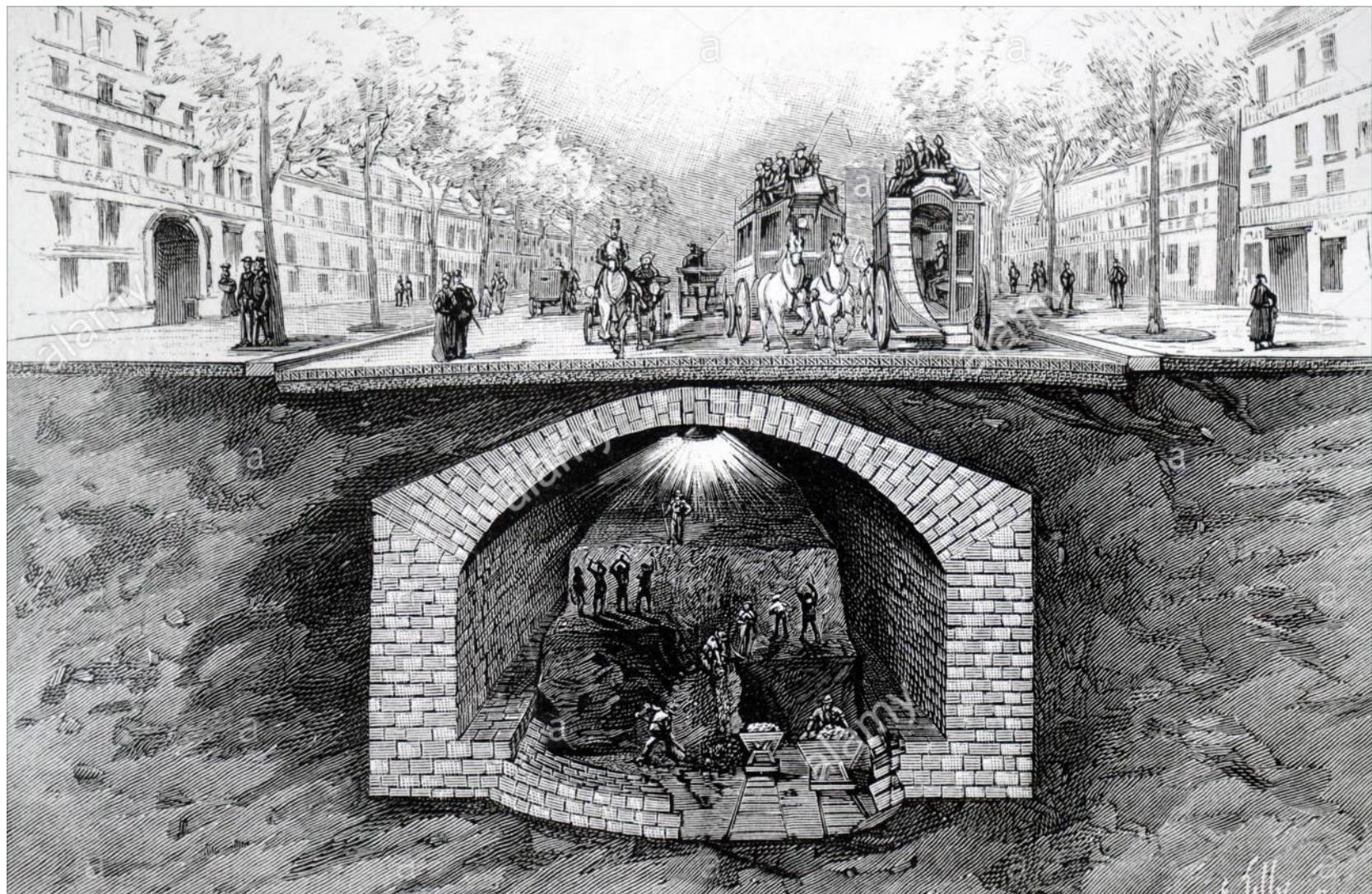
ANTECEDENTES



CUT AND COVER – Metro de Londres - 1861



ANTECEDENTES



CUT AND COVER – Metro de Paris

TUNELES



ANTECEDENTES



TUNELES



ANTECEDENTES



CONSTRUCCION BAJO NIVEL PLAZA ESPAÑA

Dr. Ing. Marcelo ZEBALLOS

TUNELES



ANTECEDENTES

CONSTRUCCION BAJO NIVEL BARCELONA, ESPAÑA

Tunel plaza de las Glories



TUNELES

DESAFIOS



TUNEL FLOTANTE DE NORUEGA

TUNELES

DESAFIOS

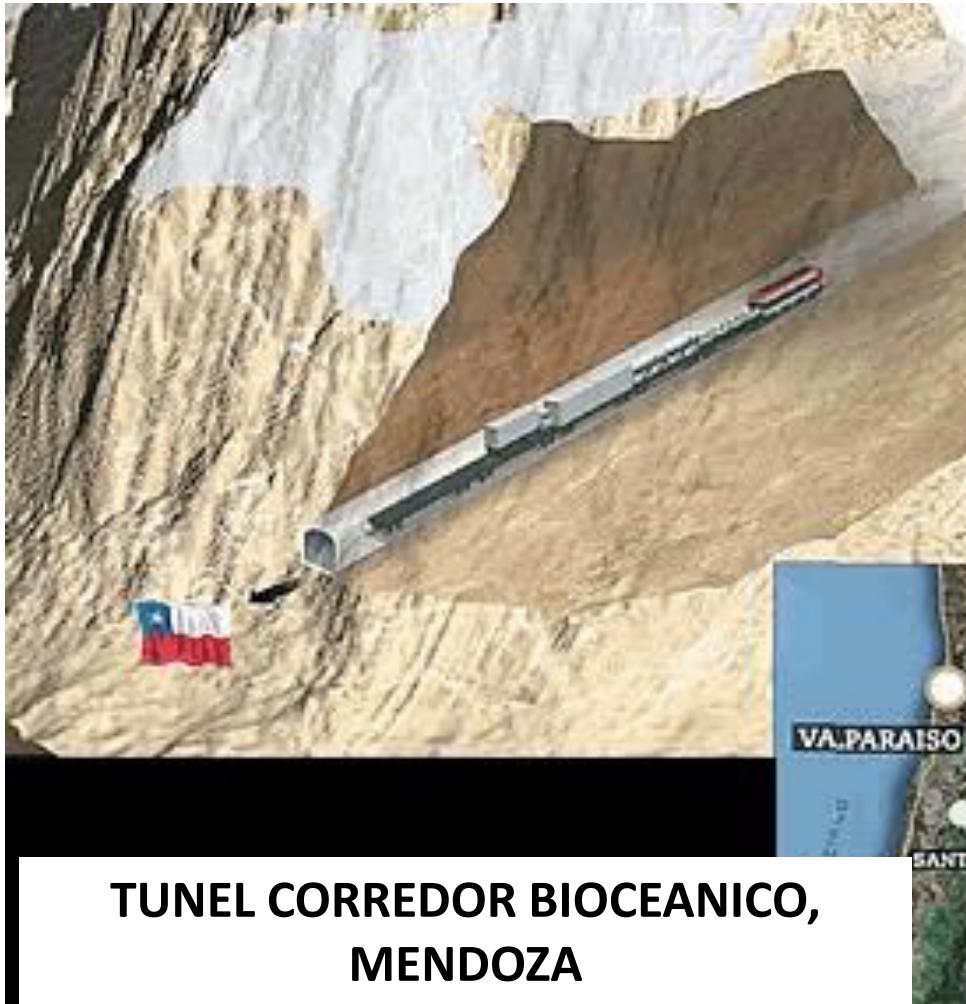


HIPERLOOP

TUNELES



DESAFIOS



**TUNEL CORREDOR BIOCEANICO,
MENDOZA**

**TUNEL INTERNACION AGUA NEGRA,
SAN JUAN**



www.gorecoquimbo.gob.cl

EL TÚNEL AGUA NEGRA EN CIFRAS



LONGITUD 14 KMS.

**INVERSIÓN
US\$ 1.500 MILLONES**

PORTAL CHILENO 28% LÍMITE INTERNACIONAL PORTAL ARGENTINO 72%

TRÁNSITO DIARIO 2.200 VEHICULOS TRANSPORTE DE CARGA 70%

21 MILLONES
CONSUMIDORES POTENCIALES
DEL CORREDOR BIOCEANICO





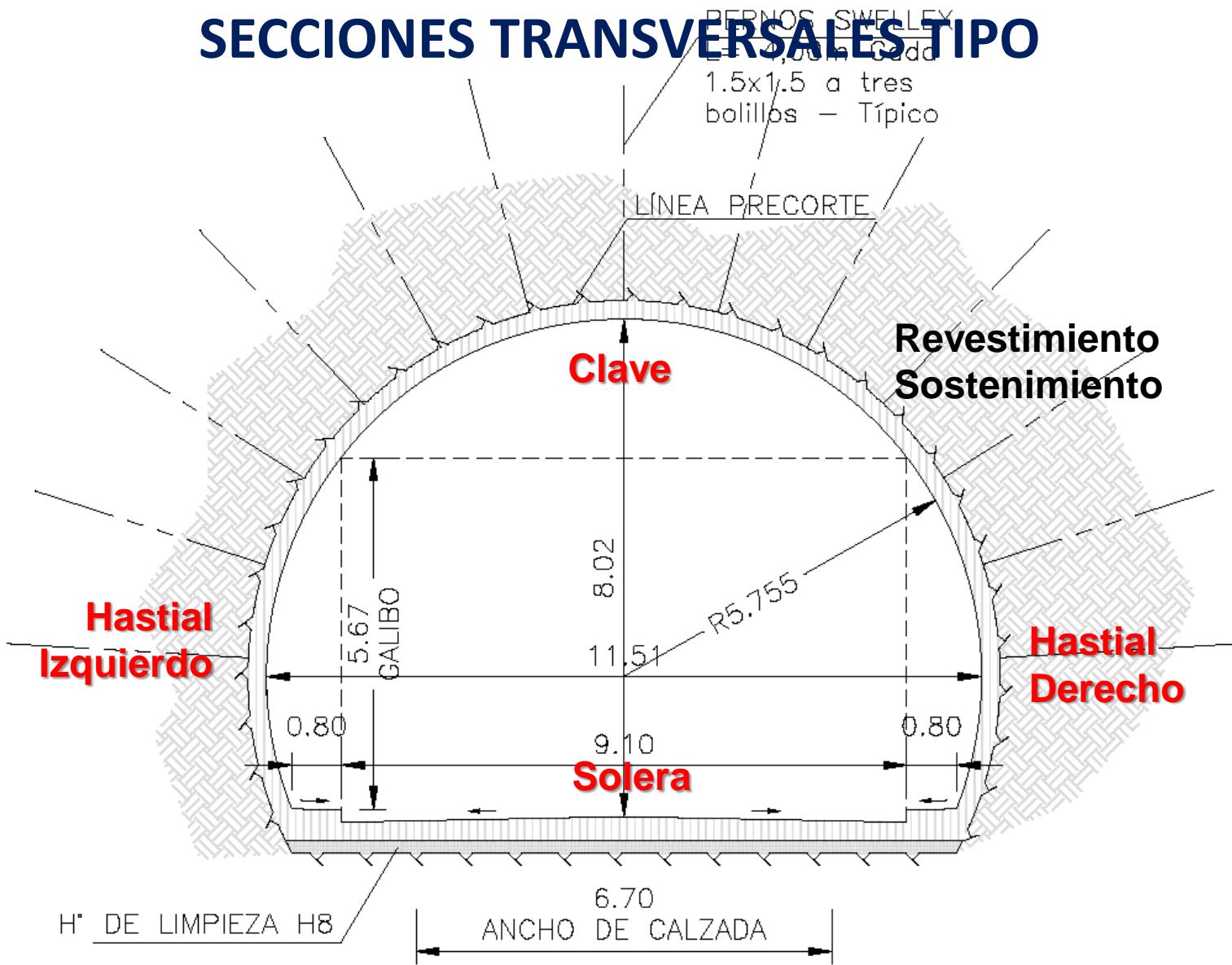
TUNELES - DEFINICIONES

ASPECTOS GENERALES

ASPECTOS GENERALES



SECCIONES TRANSVERSALES TIPO





CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

FACTORES DE CLASIFICACIÓN:

- **Según el uso del túnel**
- **Según la forma y dimensiones de la sección transversal**
- **Según la ubicación del eje respecto del nivel de terreno**
 - **Baja Tapada**
 - **Profundos**
- **Según los materiales afectados**
 - **Suelos**
 - **Rocas**

ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

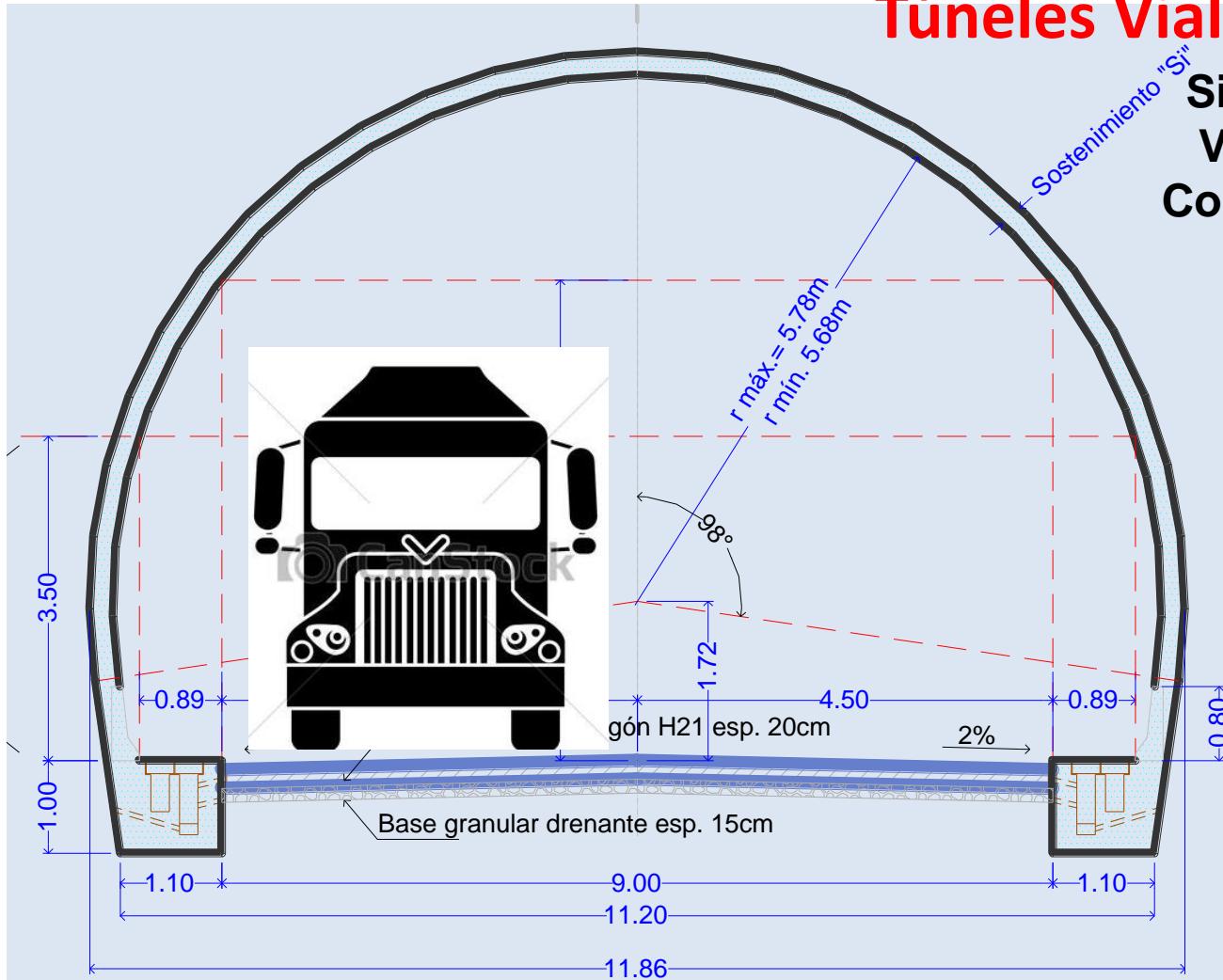
Túneles Viales

Sistemas de Ventilación Conducciones

Nivel de Circulación Vehicular

Señalización Seguridad

Calzada Drenajes



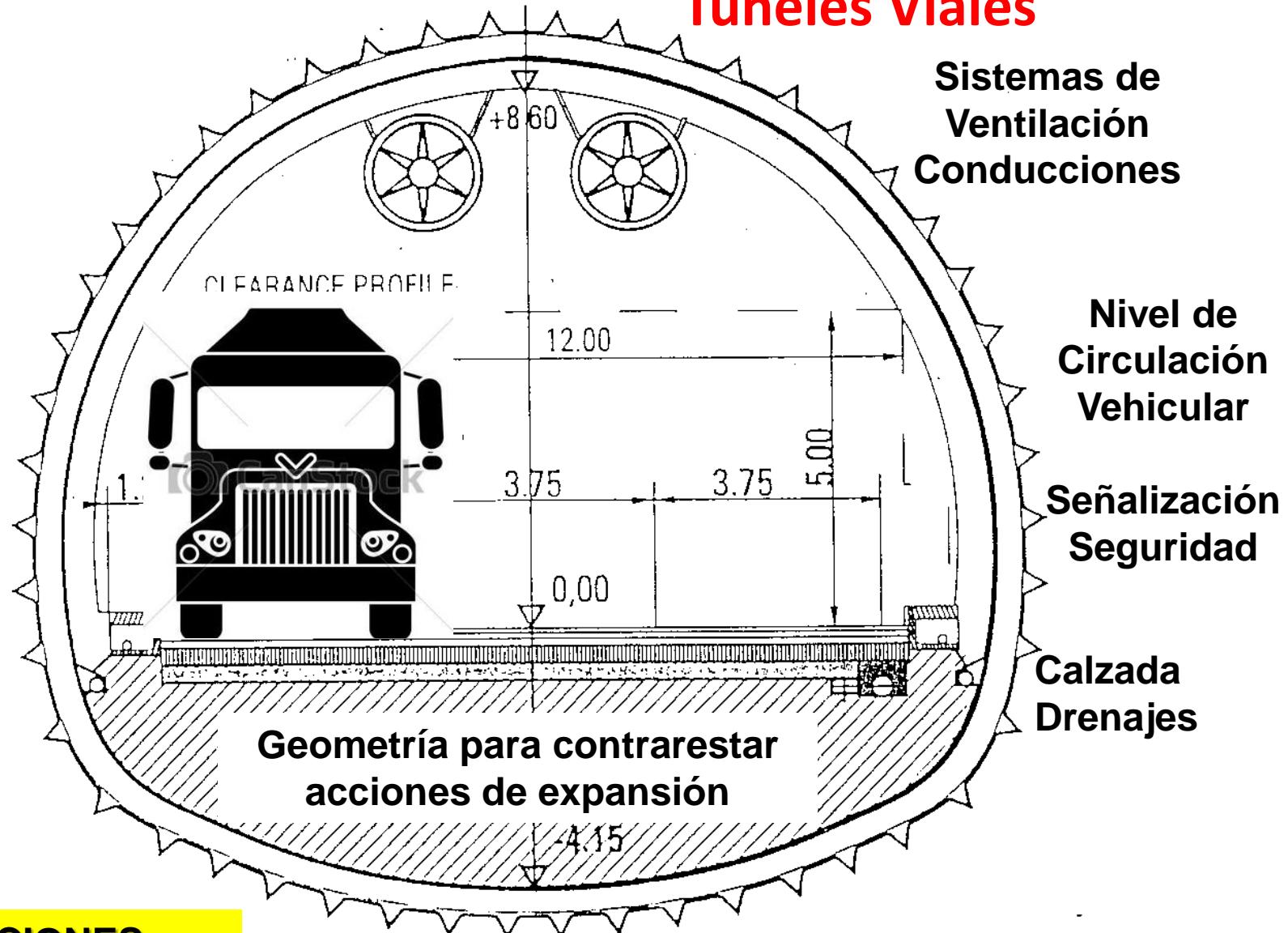
CORTE TRANSVERSAL TÍPICO DE TÚNEL



ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

Túneles Viales



ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES



Túneles Viales



DEFINICIONES

ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

Túneles Viales

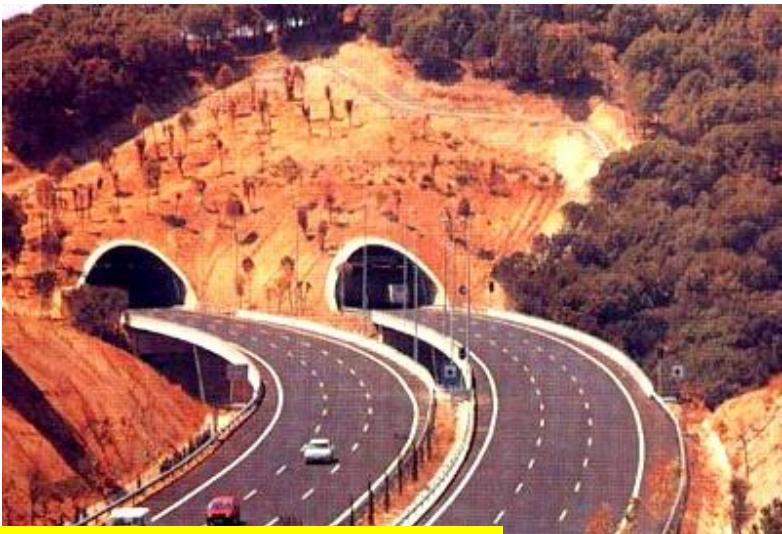




ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

Túneles Viales



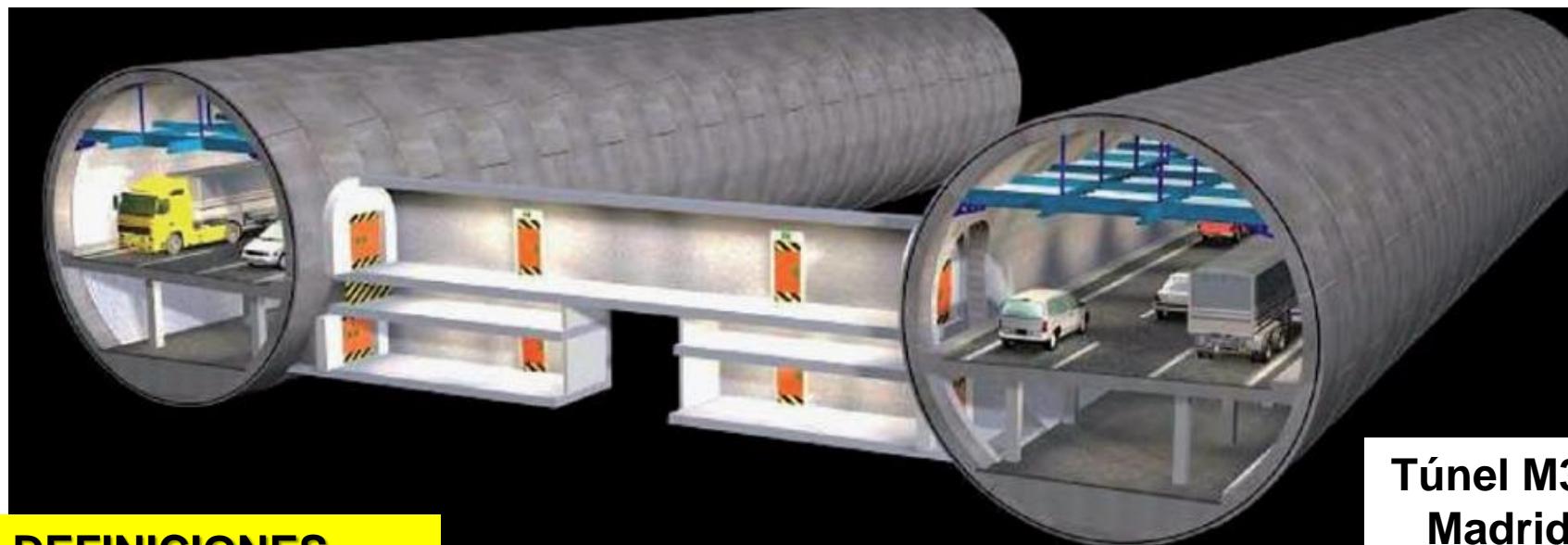
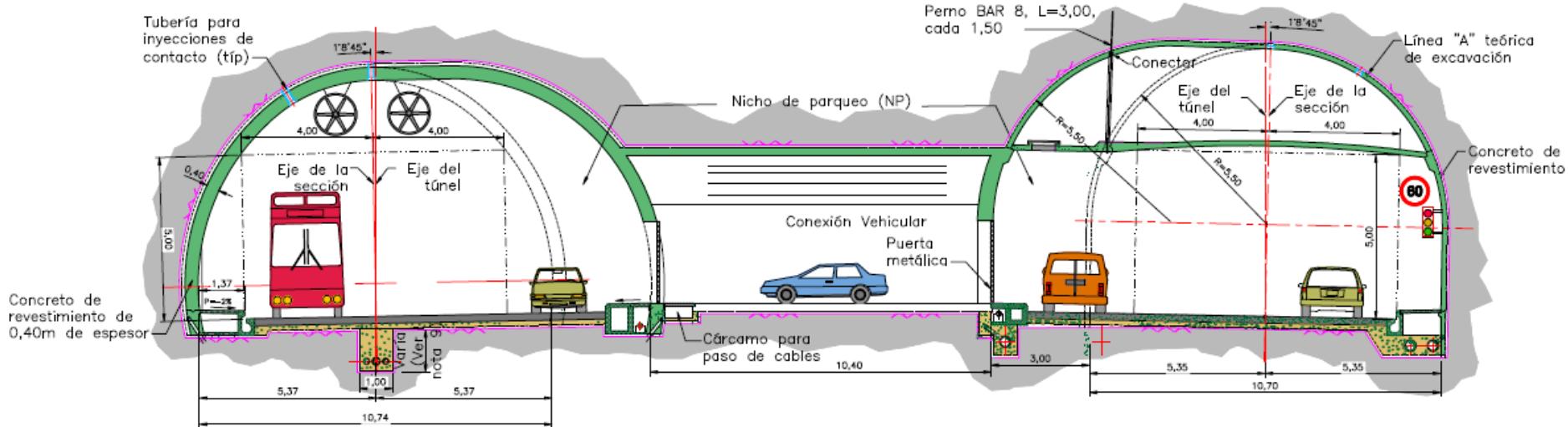
DEFINICIONES





ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

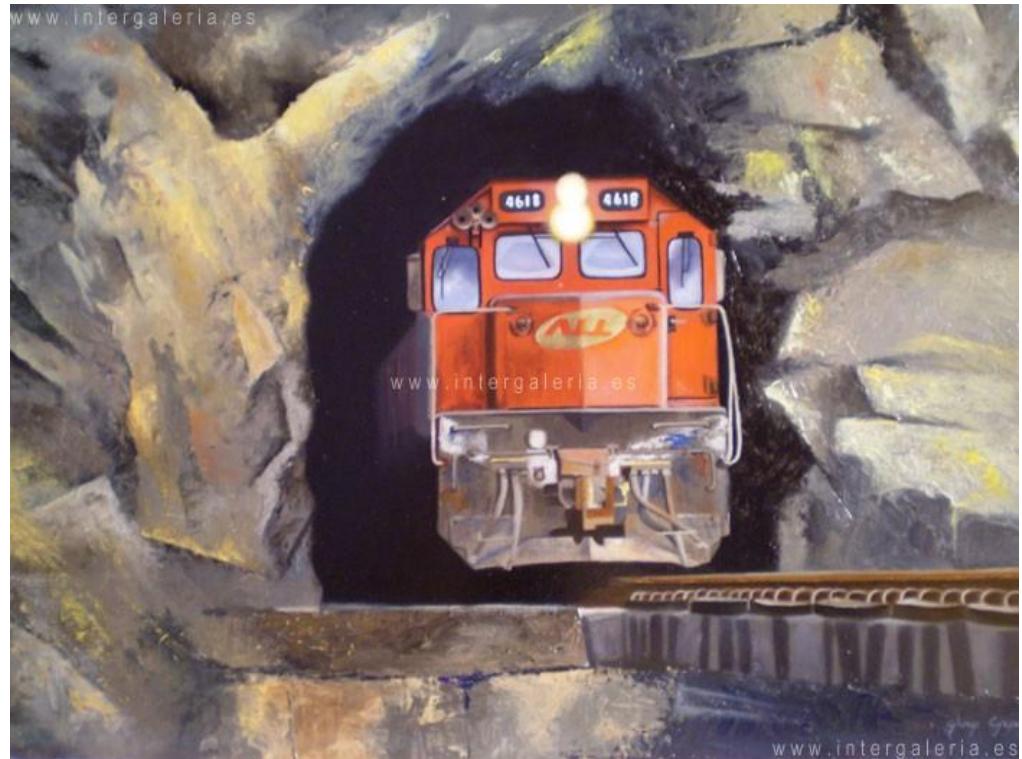
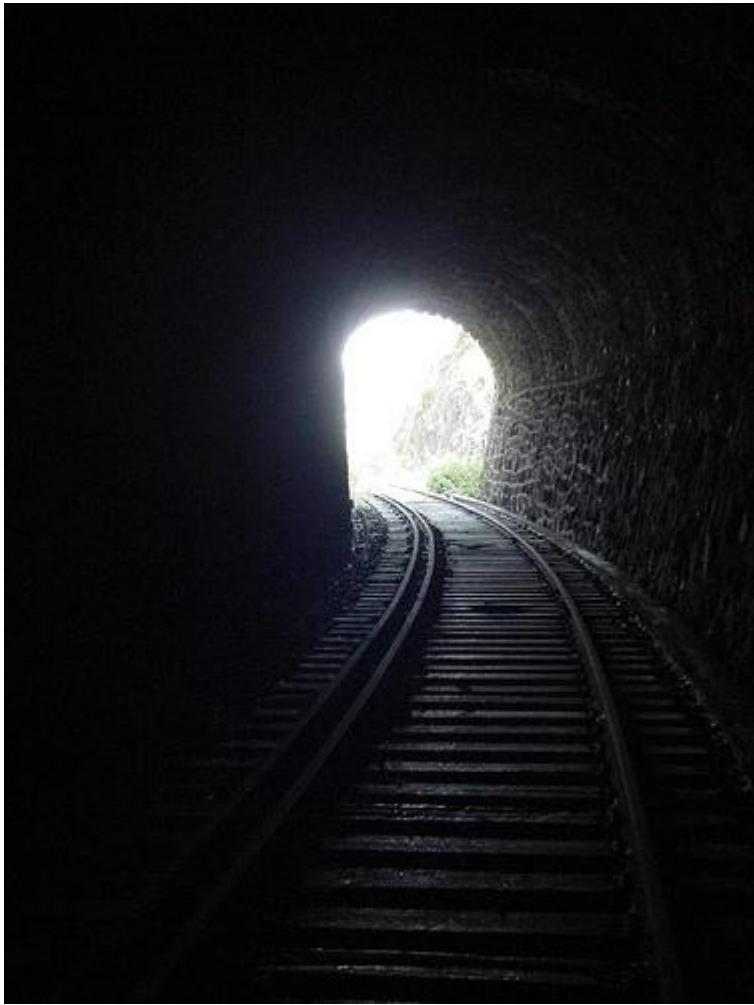


Túnel M30
Madrid

ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

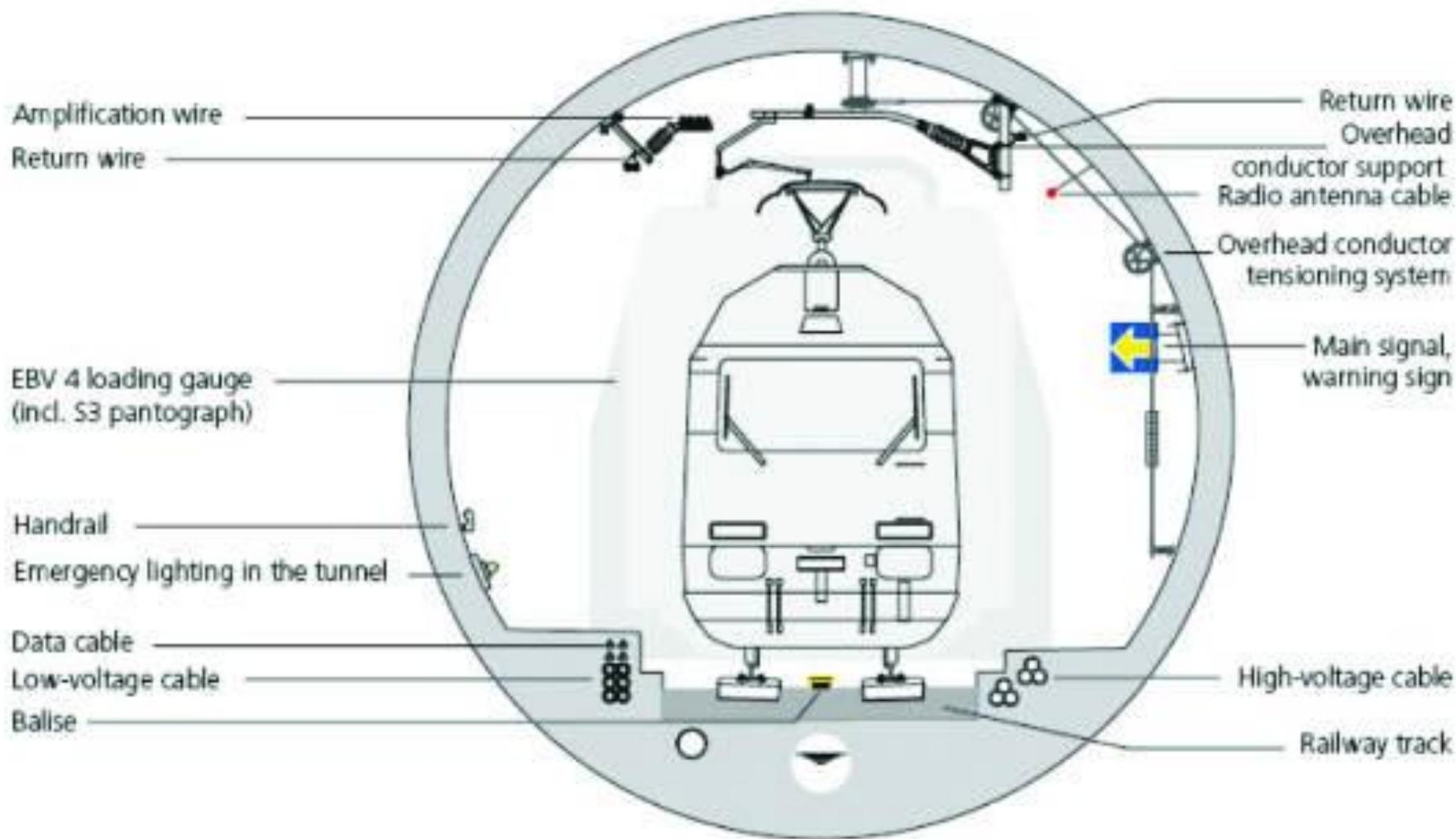
Túneles Ferroviarios



ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

Túneles Ferroviarios

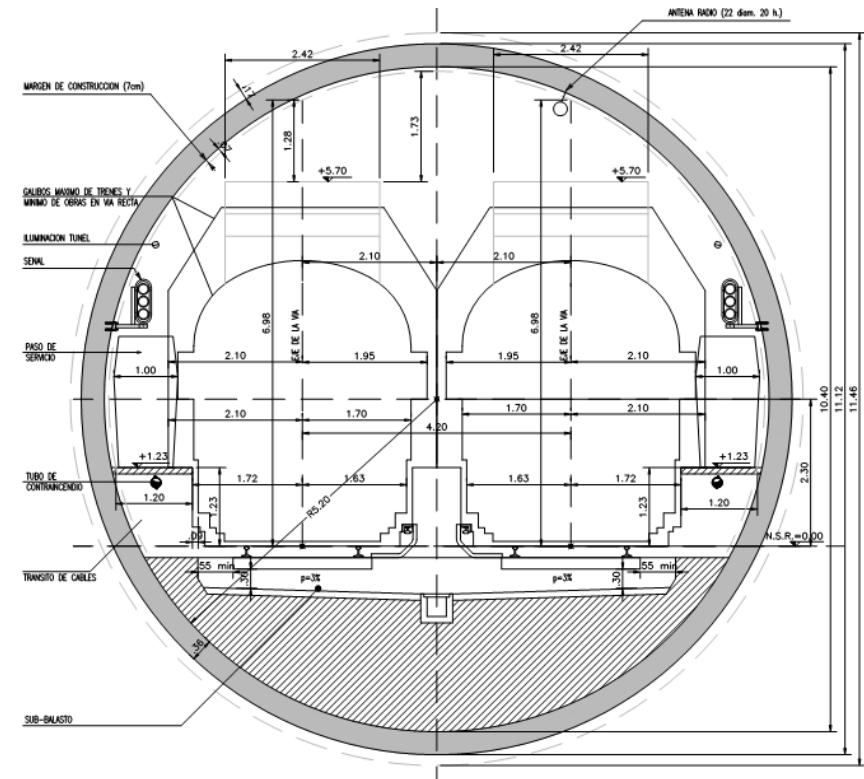
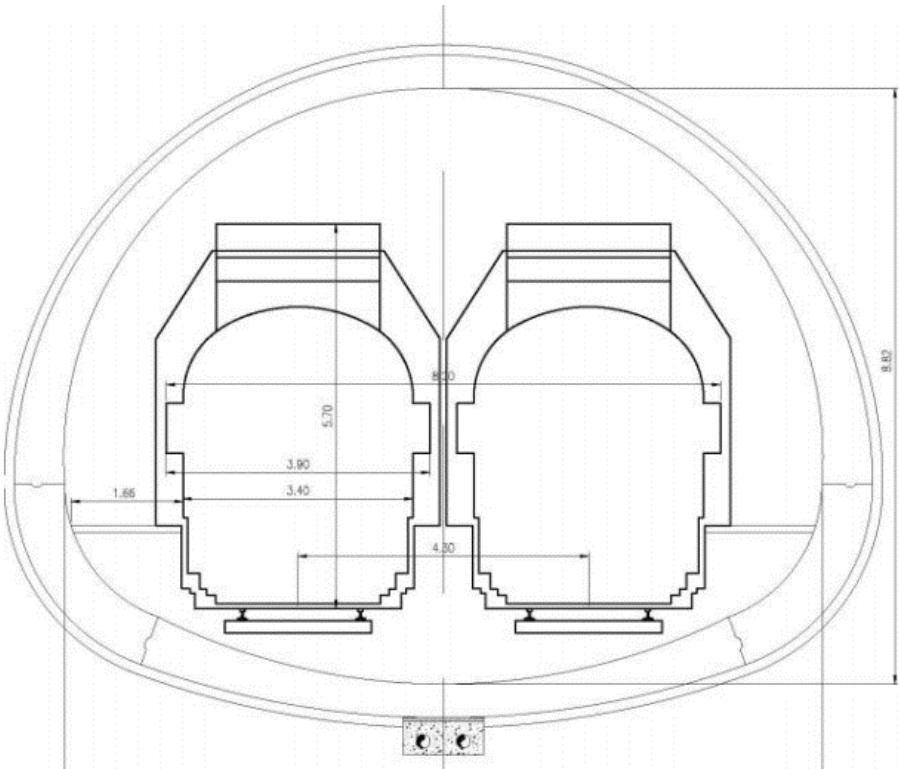




ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

Túneles Ferroviarios

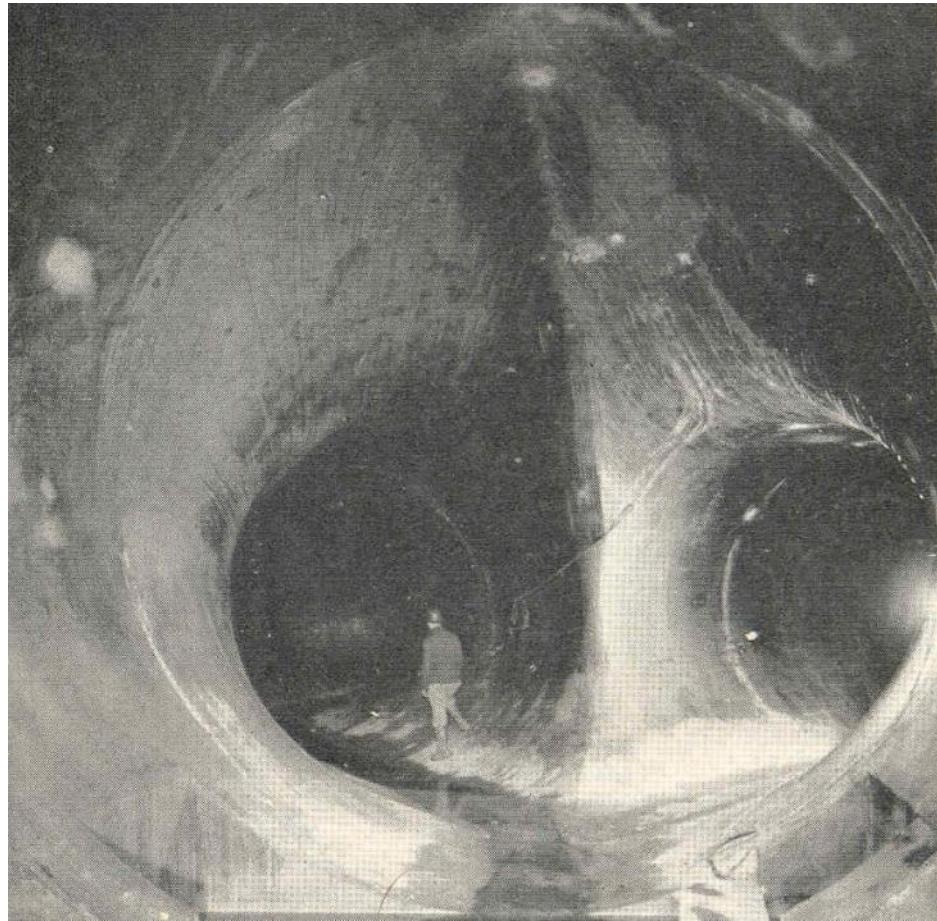
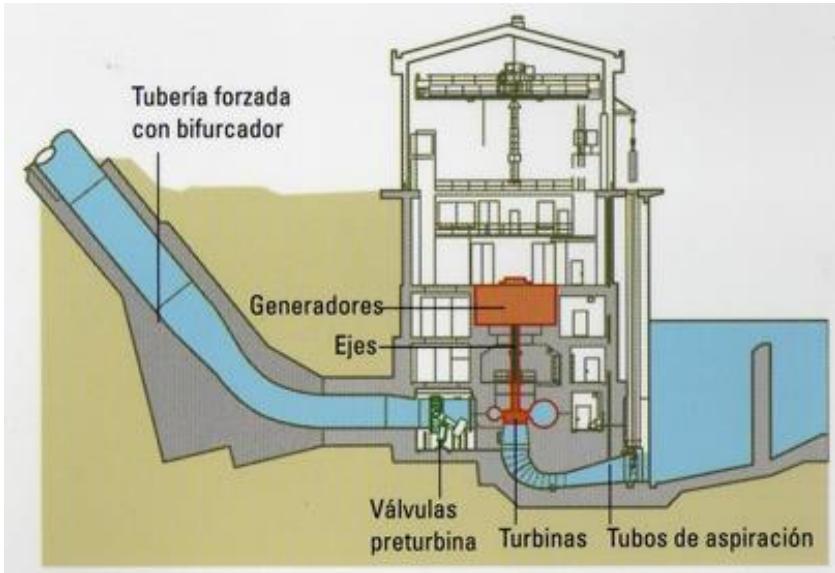


DEFINICIONES

ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

Túneles Hidráulicos

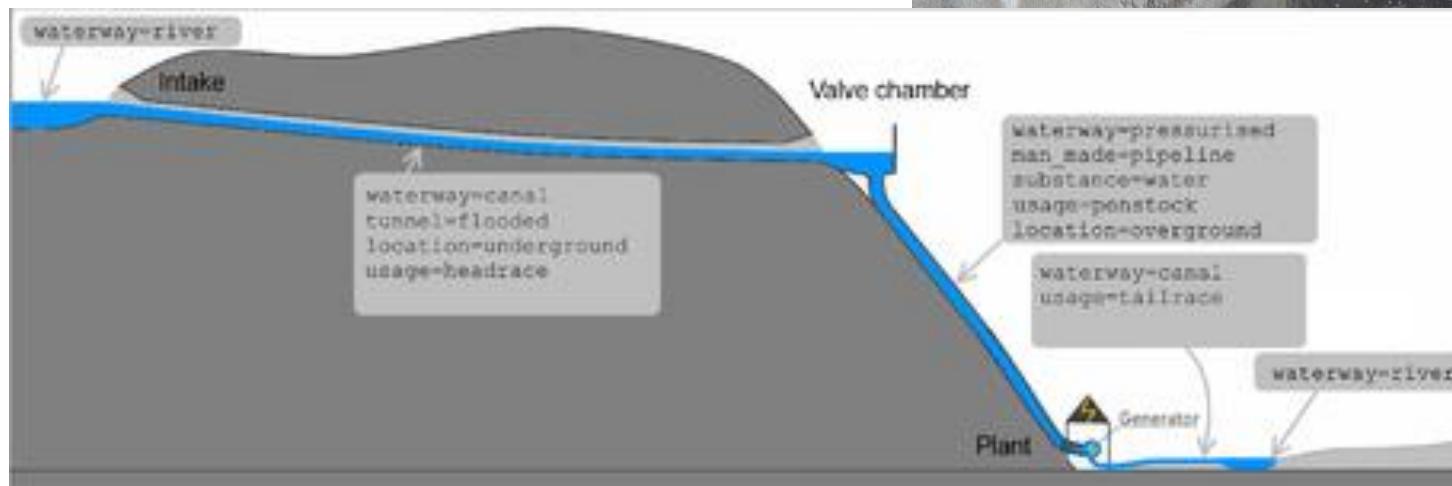


**Túneles Hidráulicos
Galerías Forzada**

ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

Túneles Hidráulicos



Túneles de aducción

ASPECTOS GENERALES CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES



Túneles Hidráulicos

Drenantes



ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES



Túneles Mineros



ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES



SEGÚN FINALIDAD o USO ...

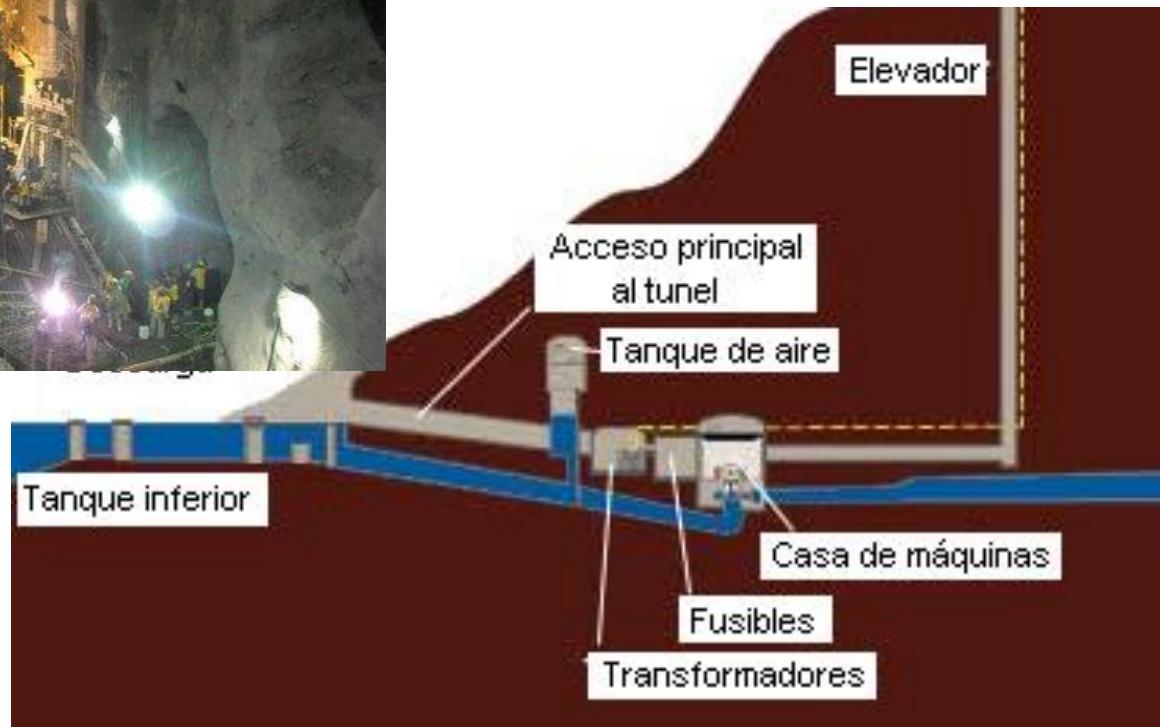
- **Vía de comunicación**
 - Carreteros, Ferroviarios
- **Hidráulicos**
 - Galería o pozo de conducción hidráulica, galería de servicios.
- **Explotación minera**
- **Instalaciones de tipo...**
 - Centrales eléctricas en caverna, depósitos de carburantes, almacenes de alimentos, etc.
- **Instalaciones militares**
 - Hangares, muelles de atraque, etc.

ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES



Centrales
en
Cavernas



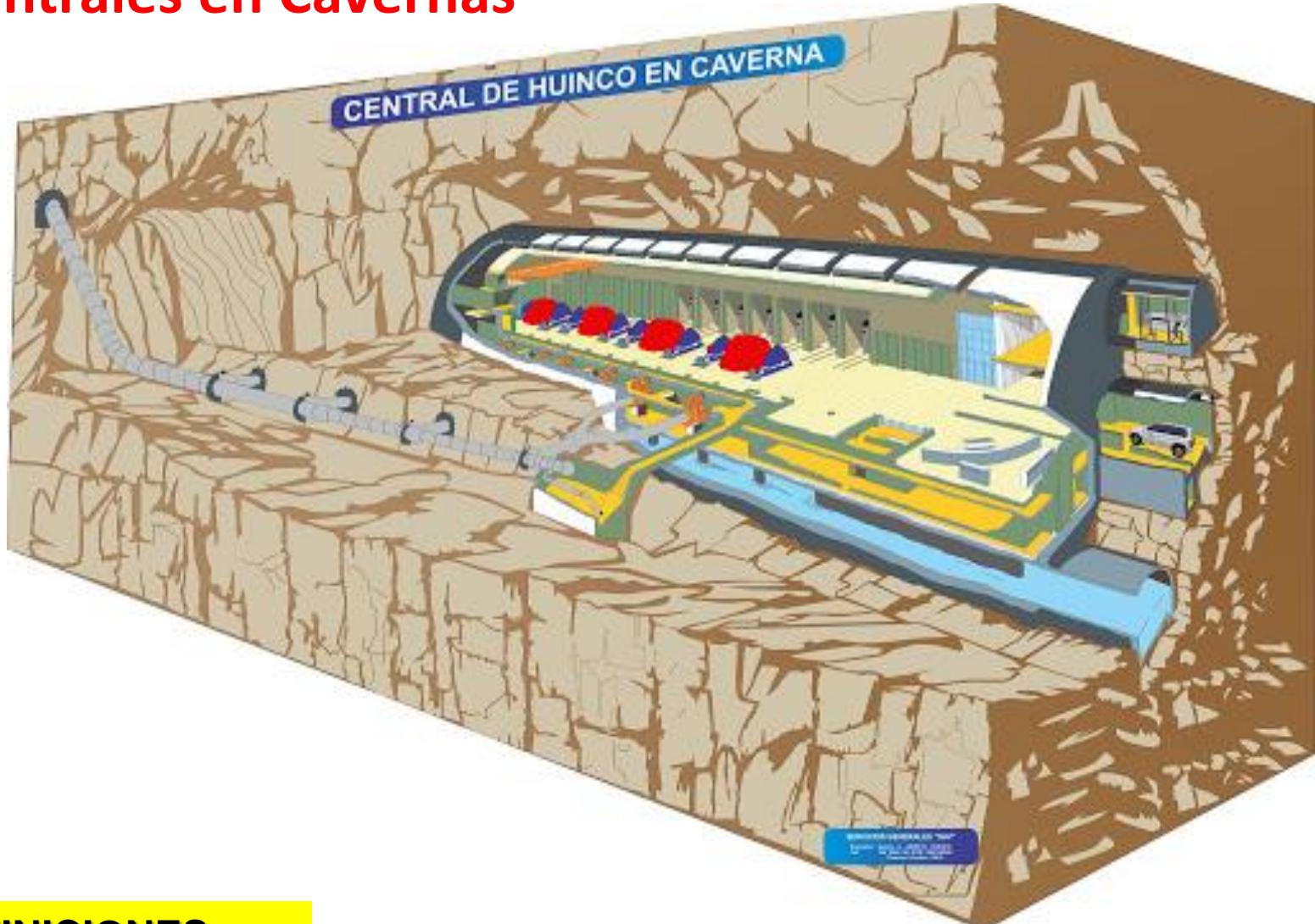
DEFINICIONES

ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES



Centrales en Cavernas

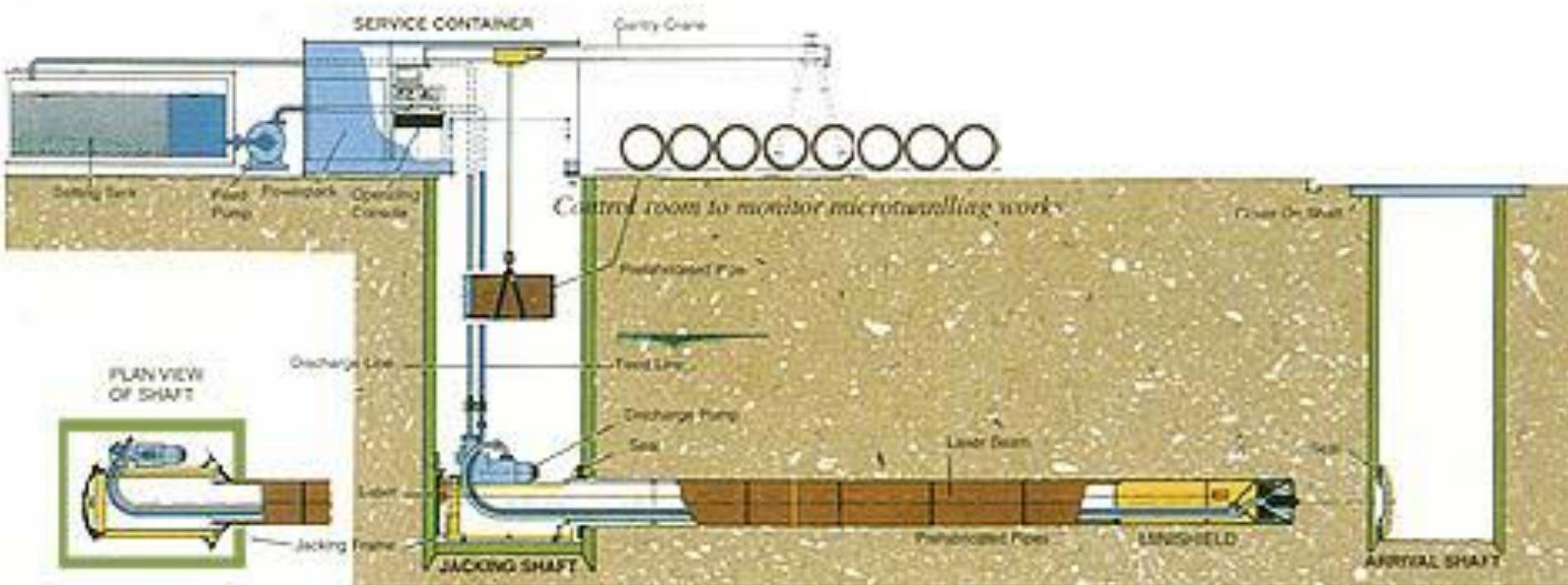


ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES



Micro Túnel (Pipe Jacking)

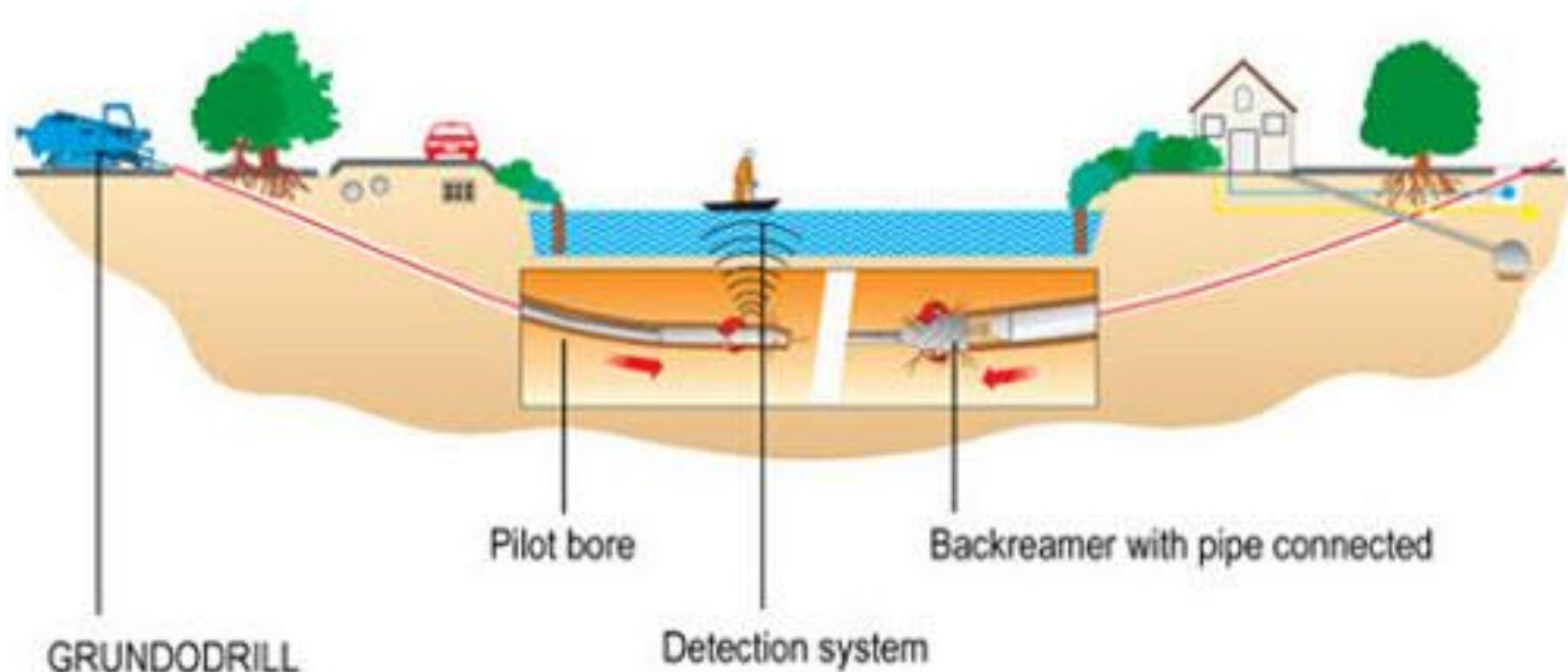


ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES



Túnel Horizontal Dirigido (HDD)





TUNELES - DISEÑO

FASES DE ESTUDIO Y DISEÑO

ETAPAS DE PROYECTO



TUNELES

- **Definiciones.**

- Secciones transversales y longitudinales típicas.
- Clasificación de túneles.

- **Diseño.**

- **Proceso de Diseño**
- **Caracterización del Terreno. Geología y Geotecnia.**
- **Confinamiento y Convergencia.**
- **Asentamientos en superficie.**

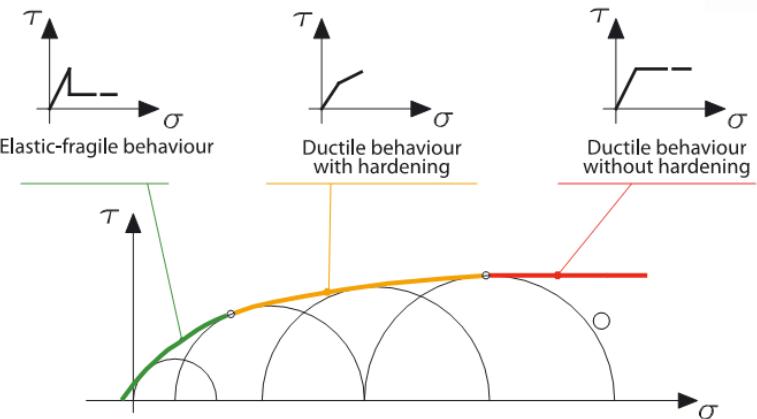
- **Métodos Constructivos.**

- Método Construcción Secuencial.
- Método Construcción con Tuneleras.



Fase de Investigación

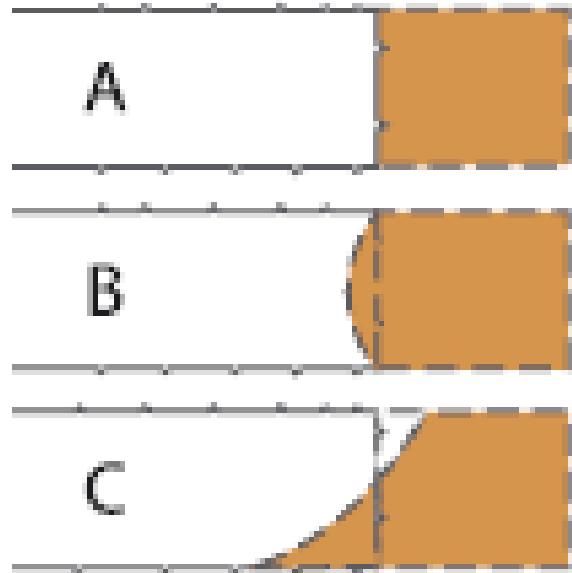
Caracterización del Medio Mecánica de Suelos y Roca



(After Kármán, 1912)

Fase de Diagnóstico

Categorización y Sectorización del Comportamiento (Mat A, B, C, ...)
Predicción de la respuesta del macizo ante la excavación.



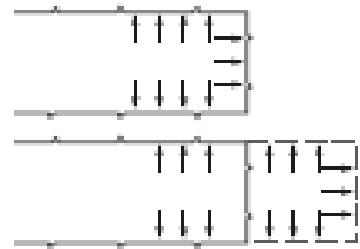


PROCESO DE DISEÑO

Fase de Anteproyecto y Proyecto

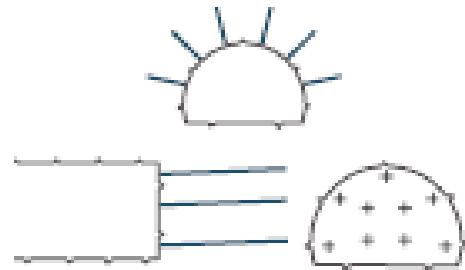
Definición de acciones de sostenimiento aplicables

Identificación de posibilidades de aplicación en cada material.



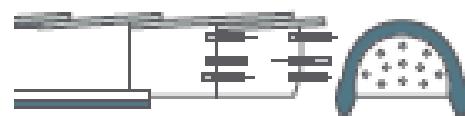
Proposición de acciones de sostenimiento aplicables

Consideración de tecnología.



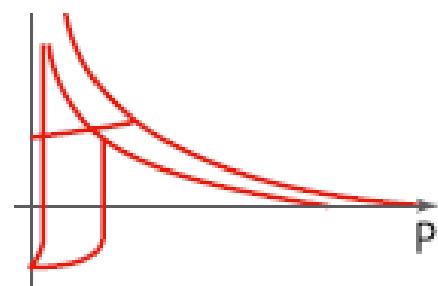
Composición del tunel

Sección transversal y longitudinal.



Diseño y ensayo de secciones tipo

Evaluación de convergencia-confinamiento

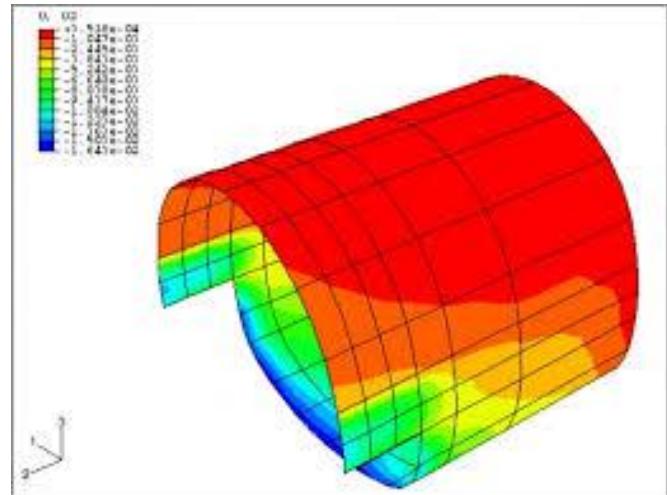
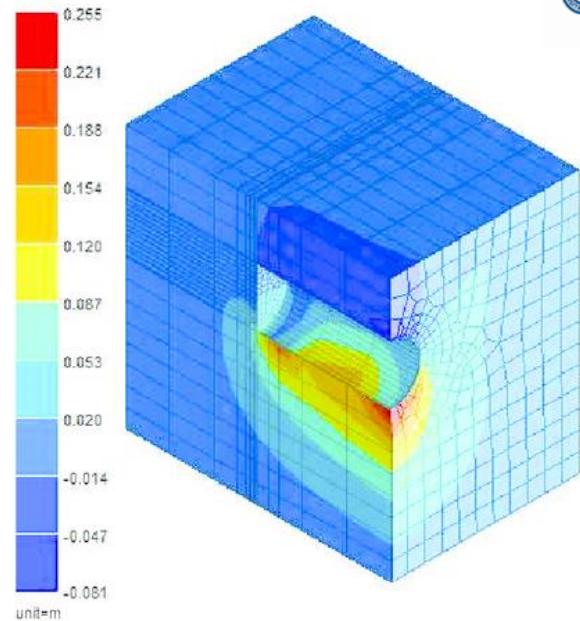




PROCESO DE DISEÑO

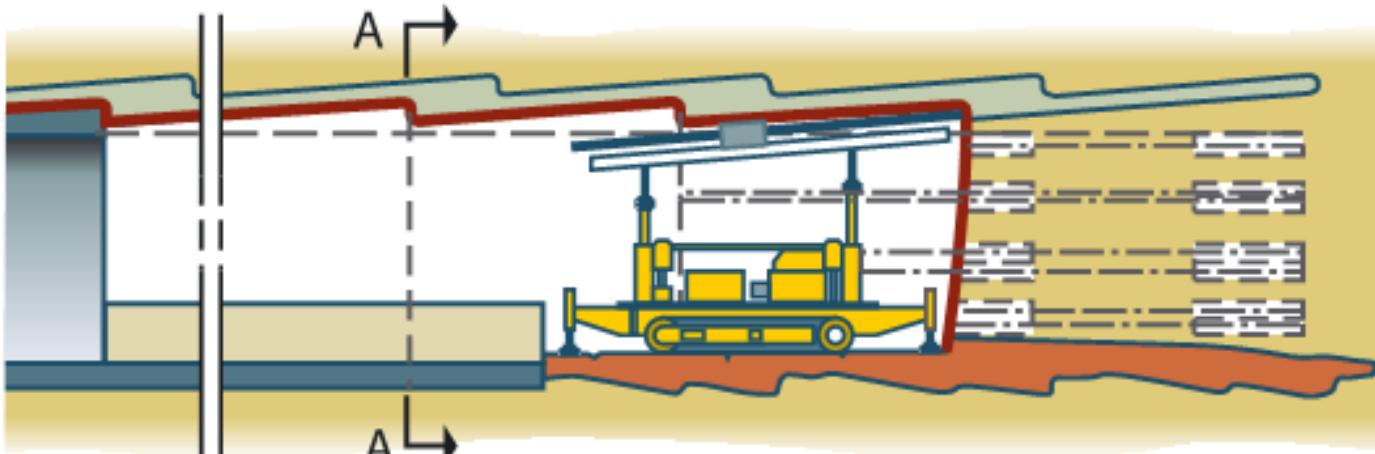
Fase de Anteproyecto y Proyecto

- **Información de Base**
 - Aspectos Geológicos – Geotécnicos
 - Aspectos Hidrológicos
- **Componentes de Diseño**
 - La geometría del proyecto, trazado y secciones tipo
 - Diseño Estructura – Interacción Macizo - Sostenimiento
 - El sistema constructivo
 - Las instalaciones para la explotación



PROCESO DE DISEÑO

Fase de Construcción



Implementación acciones de estabilización

- Reconocimiento del macizo para verificar el sostenimiento y revestimiento.
- Control de la convergencia.
- Ajuste del método constructivo.
- Modificación de sección y/o de sostenimiento.



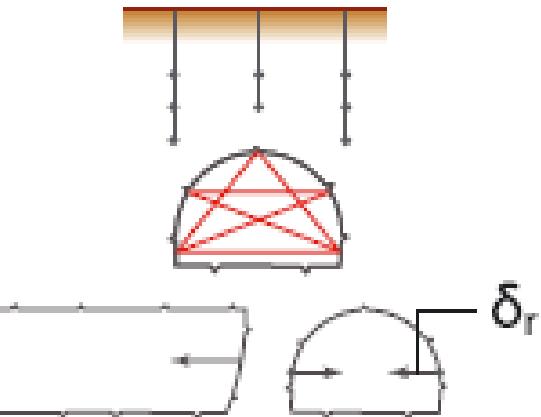
Fase de Monitoreo

Monitoreo del cumplimiento de las predicciones

Interpretación de fenómenos de deformación y respuesta del medio en la excavación

Perfeccionamiento del diseño

Correcciones en el proceso de construcción



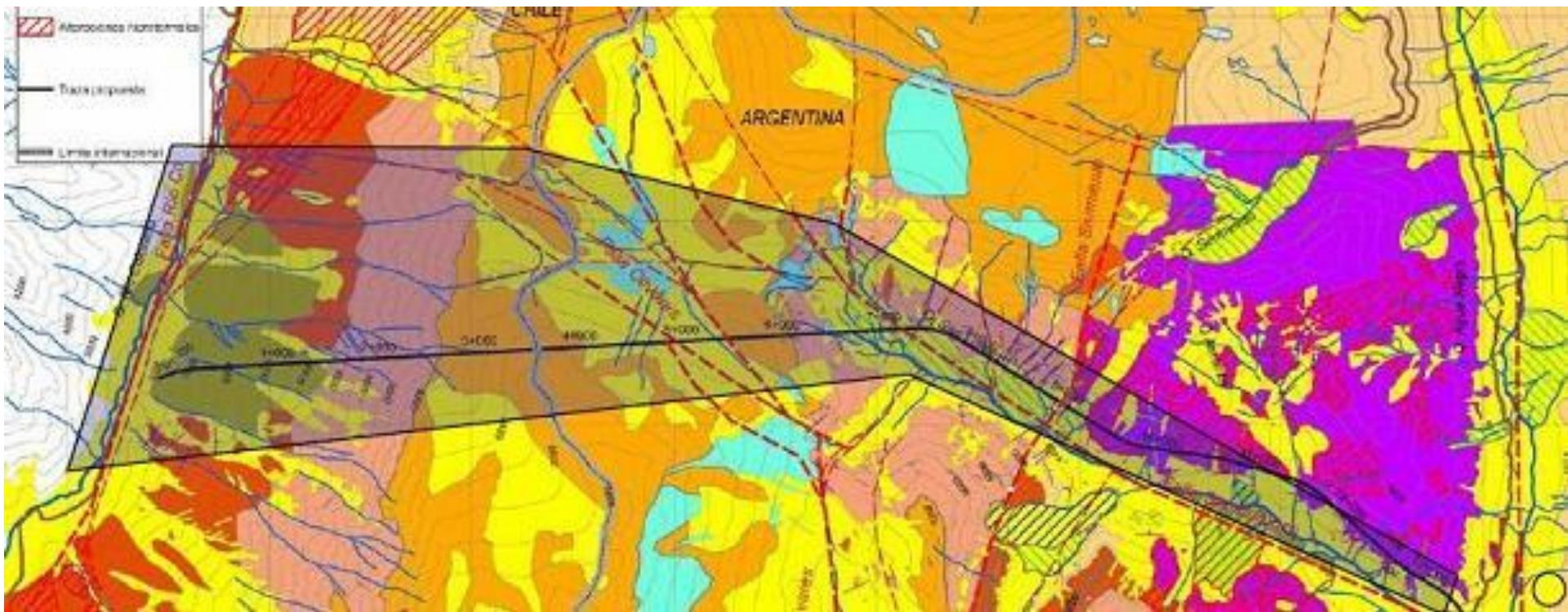
Fase de Operación

Monitoreo en la Vida Util del Túnel

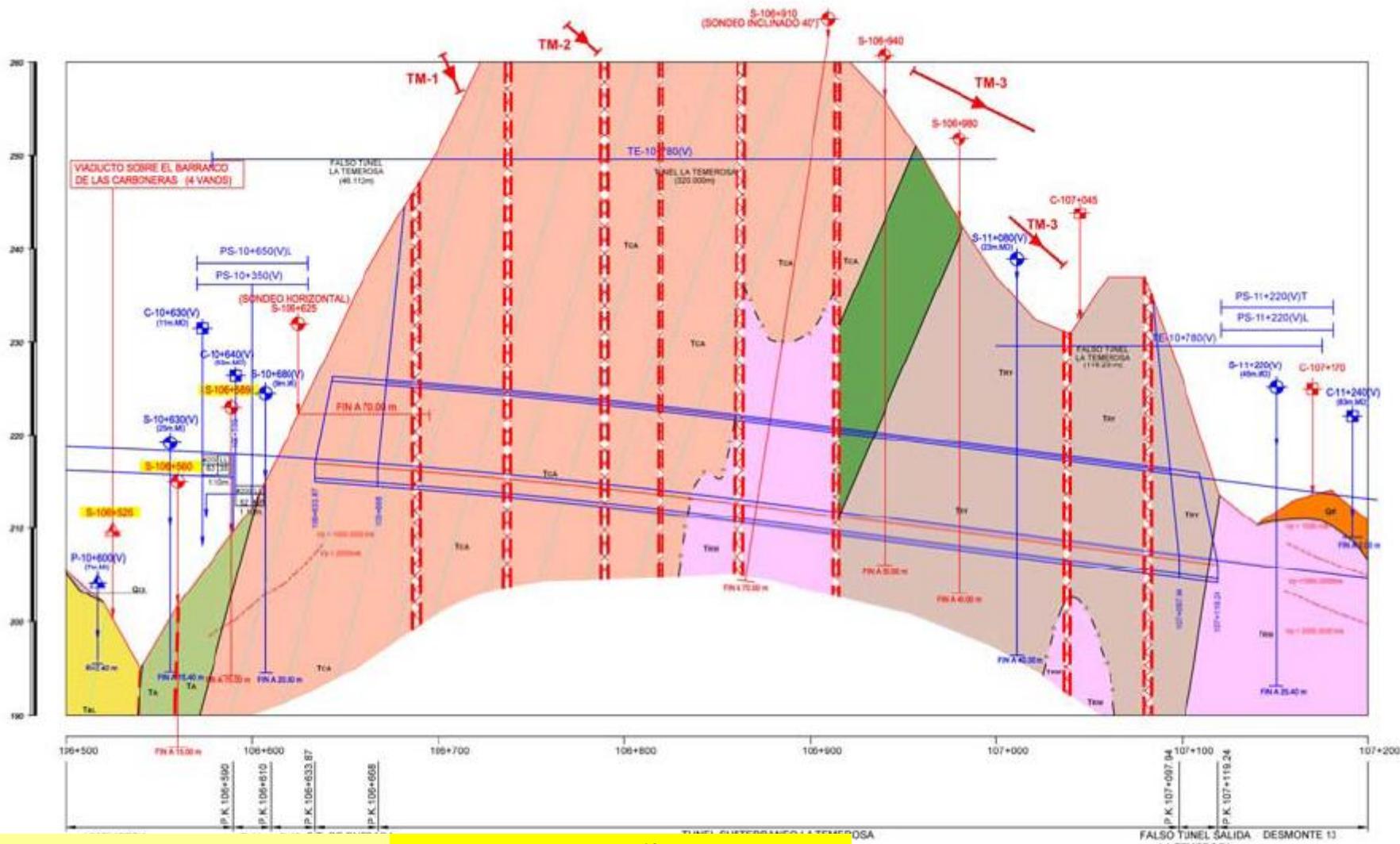


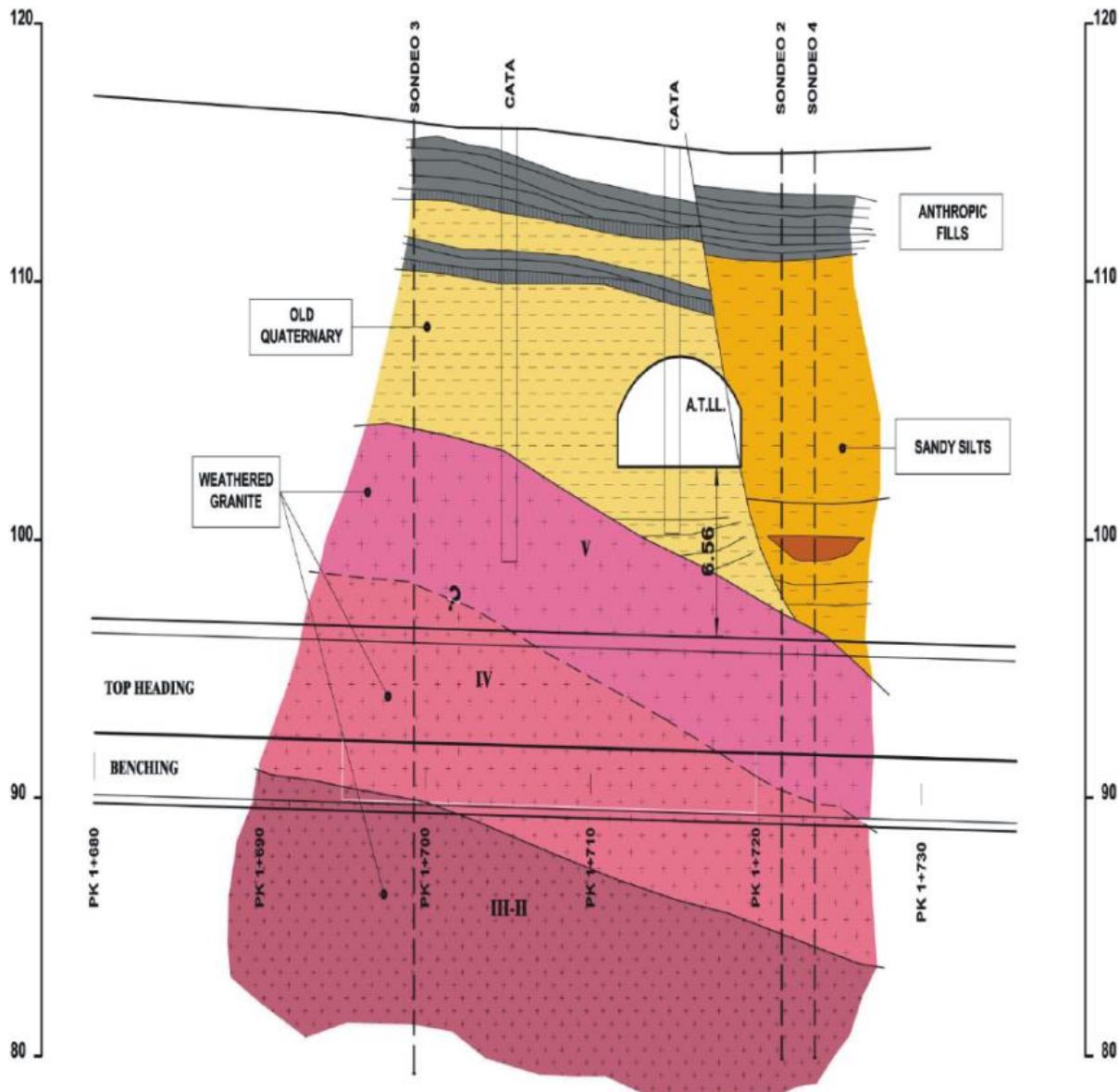
CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA

Mapeo Geostructural



Perfil Geo-estructural (Proyecto)

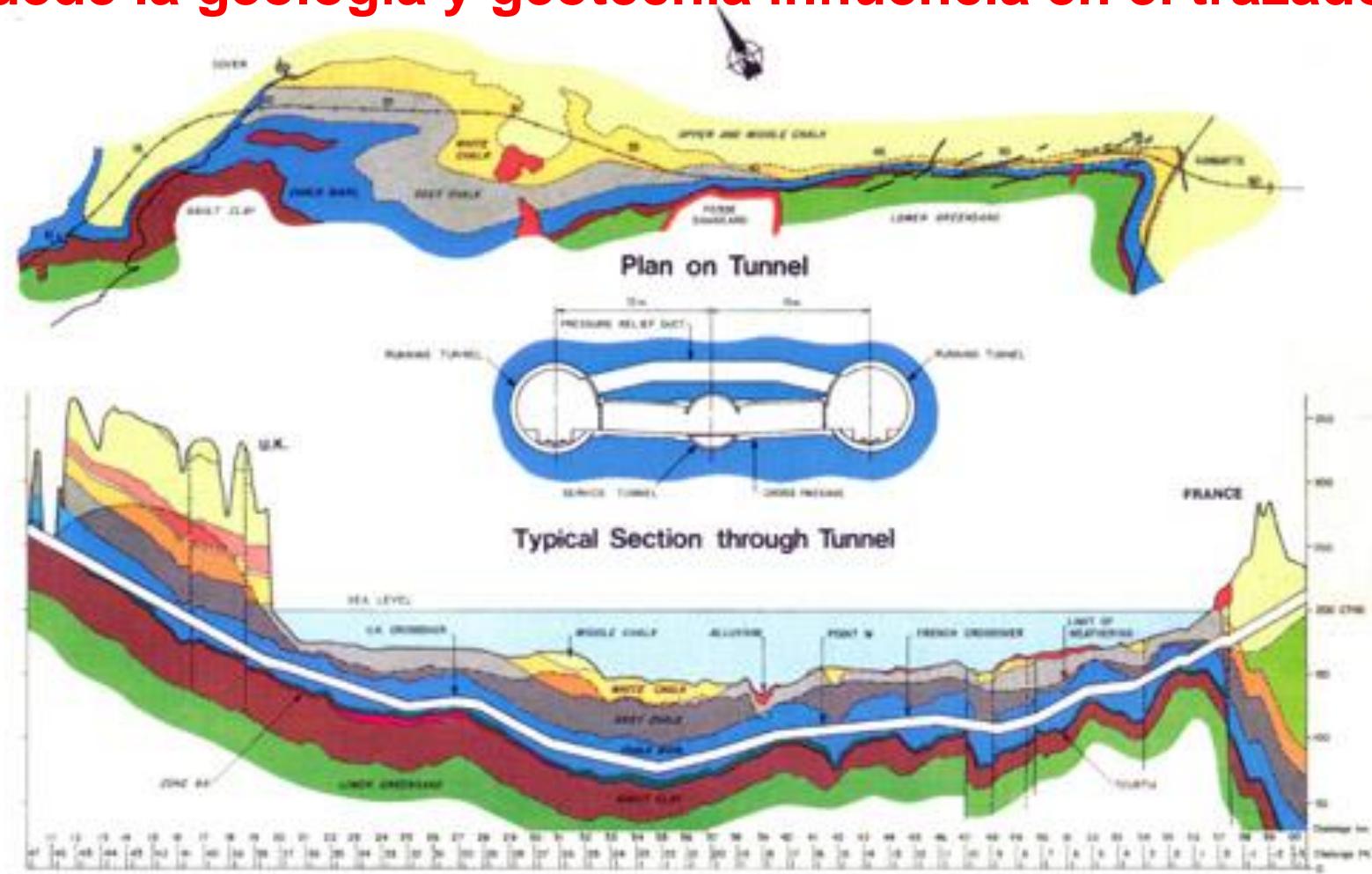






CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA

Puede la geología y geotecnia influencia en el trazado?





CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA

Investigación Antecedentes y geológica

Reconocimientos	Acciones
Estudios de Antecedentes	<ul style="list-style-type: none">• Geología general de la zona• Historia geológica y tectónica• Problemas geotécnicos ocurridos en obras similares• Datos de estudios previos
Fotografías	<ul style="list-style-type: none">• Geomorfología de la zona• Topografía, drenaje superficial, vegetación• Grandes deslizamientos, fallas y pliegues
Geología de Superficie	<ul style="list-style-type: none">• Litología, alteración de la roca, agua• Tectónica de detalle, pliegues y fallas• Análisis de juntas de macizo, orientación, rellenos, separación, etc.



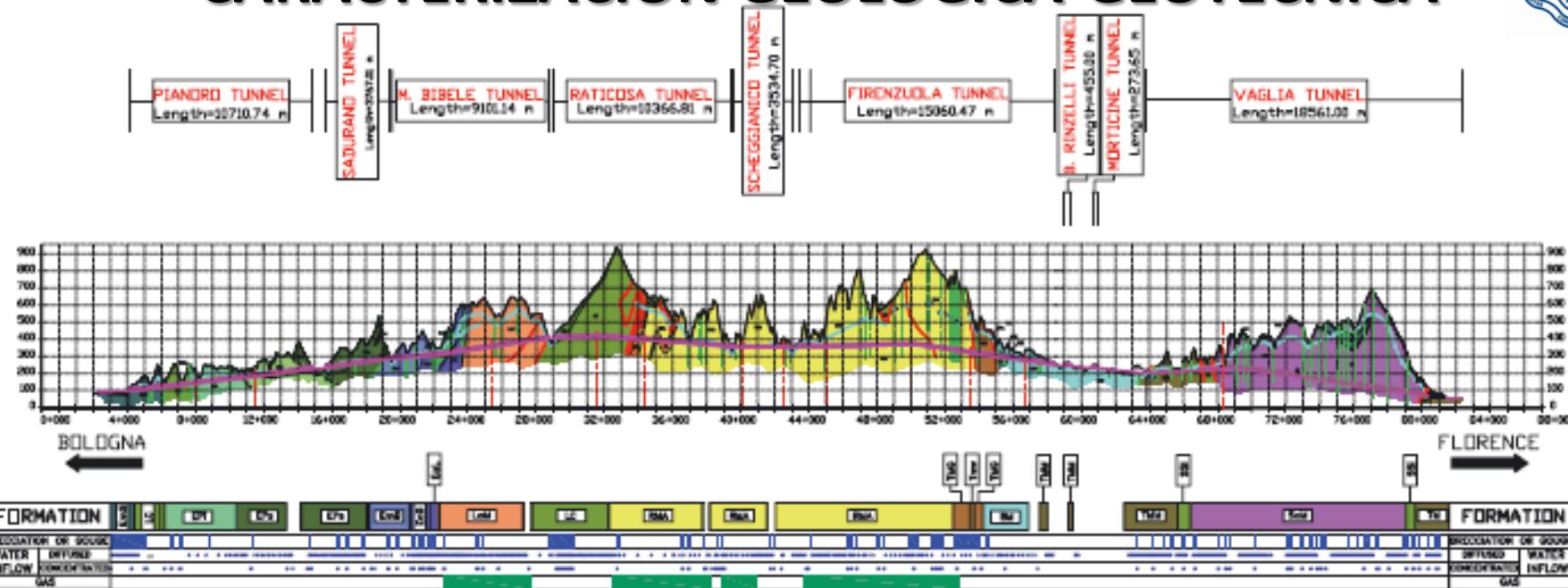
CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA

Perforaciones o sondeos directos

COTA (m)	FECHA BATER Tipo Diam.	REVÉS	Diam. Prof.	N.F.	MANIO. Long. Recup. (%)	GRÁFICA	LITOLO.	DESCRIPCIÓN	R. Q. D.	Fracturas /30 cm.	Grado de Alteración	OBSERVACIONES	TIPO DE MUESTRA	ENSAYO DE CORTE		DENSIDAD		TRIAXAL		OBSERVACIONES						
														C	ϕ	Tipo	D	Tipo	C'	ϕ'						
—	99,5 TUBO PVC	5,8 (100)					CALCOESQUITO	De 47,2 m. hasta 47,3 m. calcoesquito que pasa gradualmente a pizarras arenosas con niveles milimétricos calcáreos. A partir de 48 m. hasta 51,1 se vuelven a encontrar calcoesquitos que pasan a pizarras.	25	50	75	2 4 8 16	I II III IV V													
—																										
—							PIZARRA	Pizarras con grado de alteración IV. De 51,1 hasta 51,6 m. presentan niveles milimétricos arcillosos que se presentan oxidados.																		
—																										
—							PIZARRA	Pizarras arcillosas de color gris. En las juntas presentan calcita y óxidos de alteración. Aparecen filones de calcita de hasta 6 cm. de espesor con cuarzo de cristalización simultánea.																		
—																										
—							PIZARRA	Pizarras arcillosas grises que hacia la base pasan a pizarras arenosas. Presentan filoncillos verticales de cuarzo.																		
—																										
—							CALCOESQUITO	Calcoesquitos con laminaciones pelítico carbonatadas que hacia la base pasan a pizarras. A 61 m. presentan un nivel decímetrico con intensa fracturación y recristalización.																		
—																										
—							MARMÓL	Marmol blanco (gris en la base del tramo) sin impurezas ni vetas.																		
—																										
—							CALIZA	Caliza gris recristalizada de aspecto nacarado.																		
—																										
—							CALCOESQUITO	Calcoesquitos grises con laminación subparalela y alguna junta y/o fractura subvertical. Se rompen predominantemente por la estratificación, (laminación). Todas las juntas presentan óxidos rojizos de hierro. Presentan alguna veta de calcita. Hay algunas intercalaciones delgadas con vetas de calcita.																		
—																										
—							PIZARRA	Pizarras con niveles milimétricos de carbonatos y óxidos. En la base aumentan los filones.																		
70,35																										



CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA

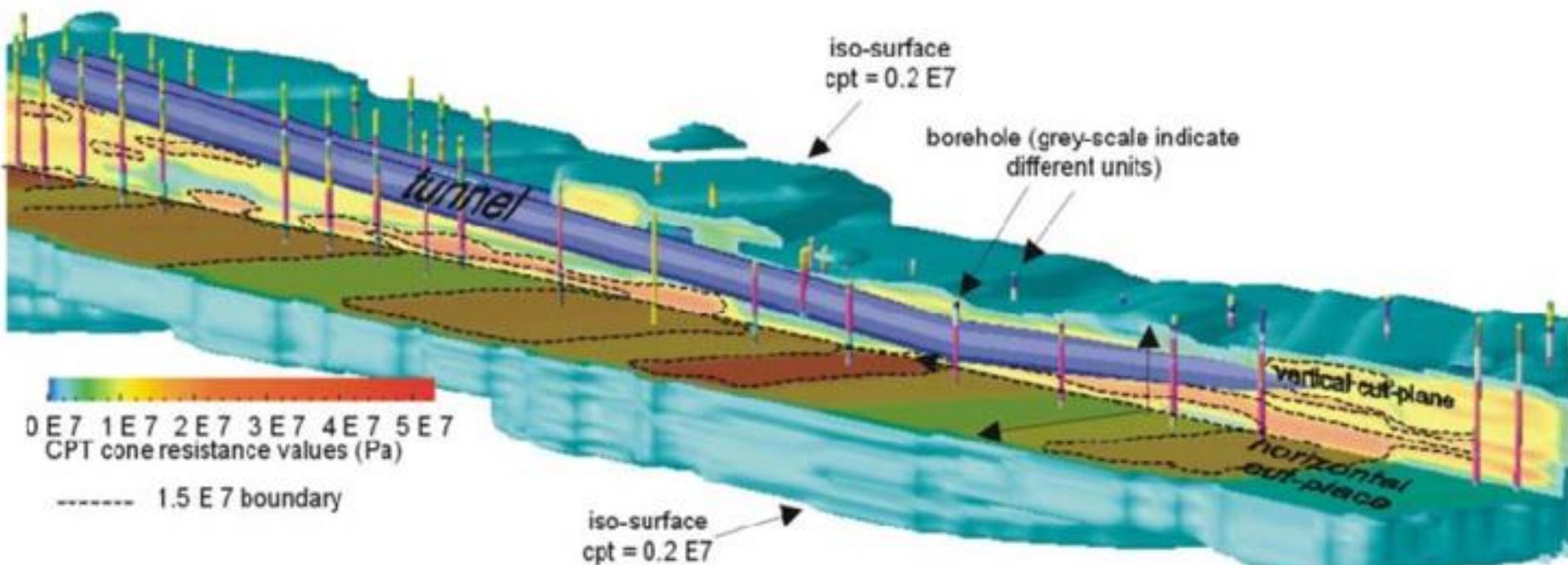


FORMATION	LENGTH [m]	OVERBURDEN [m]	Cohesion [Mpa] Angle of friction [\circ]	Modulus of elasticity [Gpa]
Marne in facies di Schlier (EmS)	2012	0-120 (Pianoro Tunnel)	c = 0.25-0.3 ϕ = 28-30	E = 2.9-3.4
Pliocene Intrappenninico Superiore (EpS)	11445	0-245 (Sadurano Tunnel)	c = 0.5-0.7 ϕ = 28-30	E = 3.0-6.0
Marne di Bismantova	7055	0-140 (Monte Bibele Tunnel)	c = 0.8-1.35 ϕ = 29-33	E = 4.0-6.0
Flysch di Monghidoro (LaM)	9115	0-290 (Monte Bibele Tunnel)	c = 0.12-0.5 ϕ = 23-35	E = 3.0-8.5
Complesso Caotico (LC)	11187	0-520 (Raticosa Tunnel)	c = 0.03-0.7 ϕ = 10-25	E = 0.1-1.8
Marly-Sandstone Formation (RMA)	39961	0-550 (Firenzuola Tunnel)	c = 2.0-2.2 ϕ = 24-38	E = 15-20
Clays of Mugello Basin (aBM)	7404	0-80 (Firenzuola Tunnel)	$c_p = 0.03$ $\phi'_p = 26-28$	E = 0.01-0.3
Monte Morello Formation (ScM)	13861	25-560 (Vaglia Tunnel)	$c = 1.0-1.4$ $\phi = 42-45$	E = 7-15
			$c = 0.18-0.24$ $\phi = 28-33$	E = 2-8

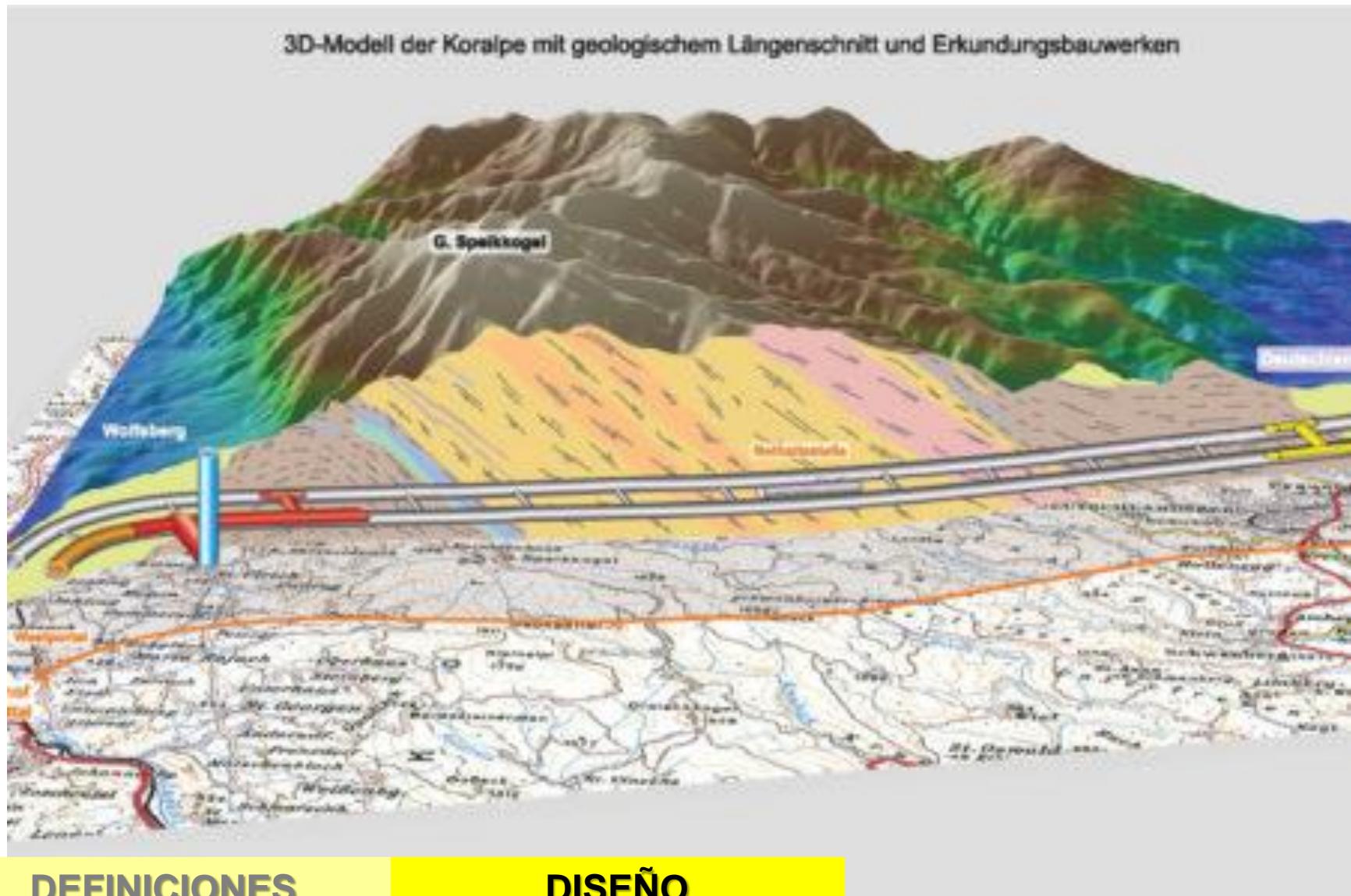
DEFINICIONES

DISEÑO

CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA

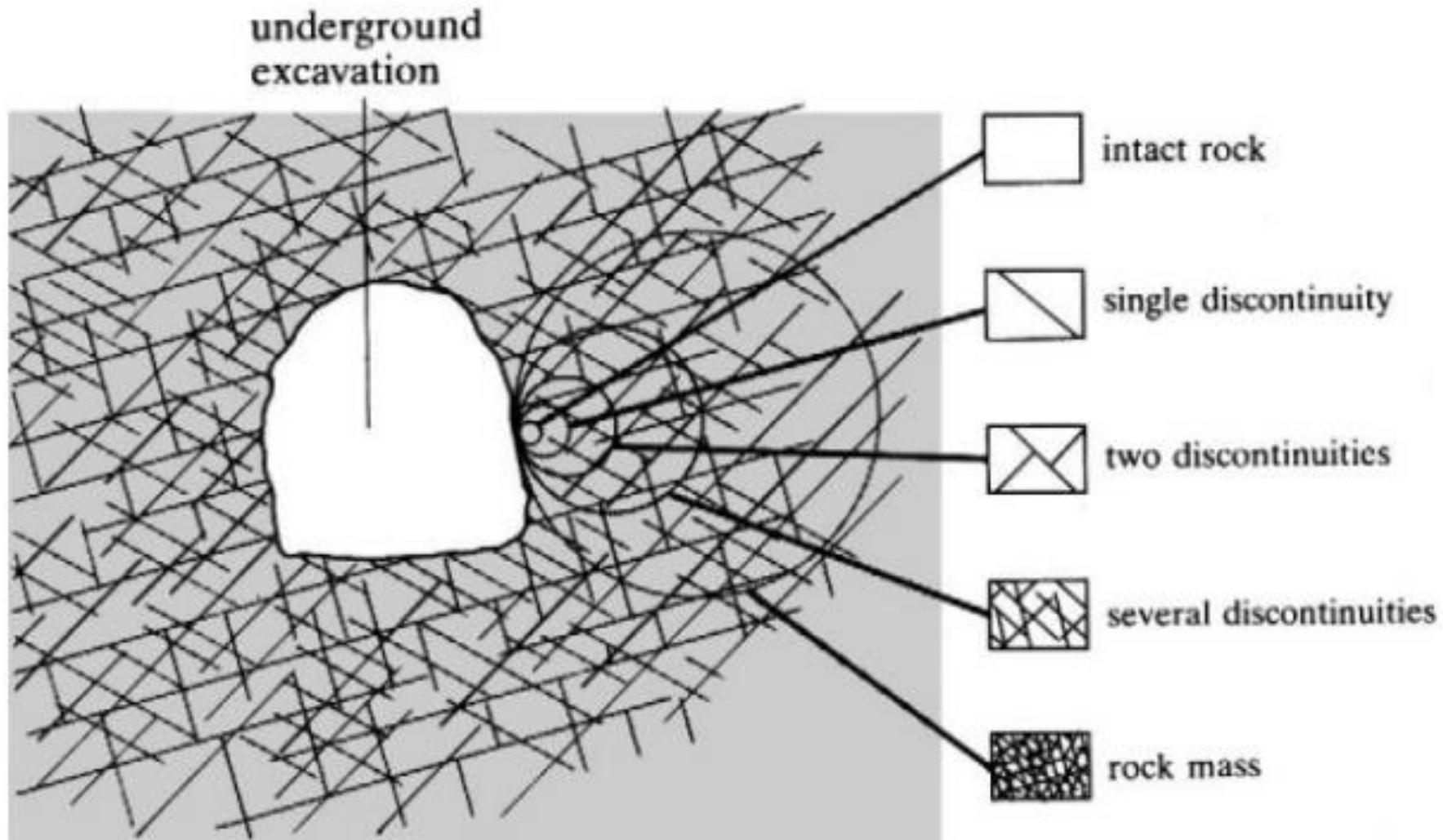


CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA





EFECTO DE ESCALA





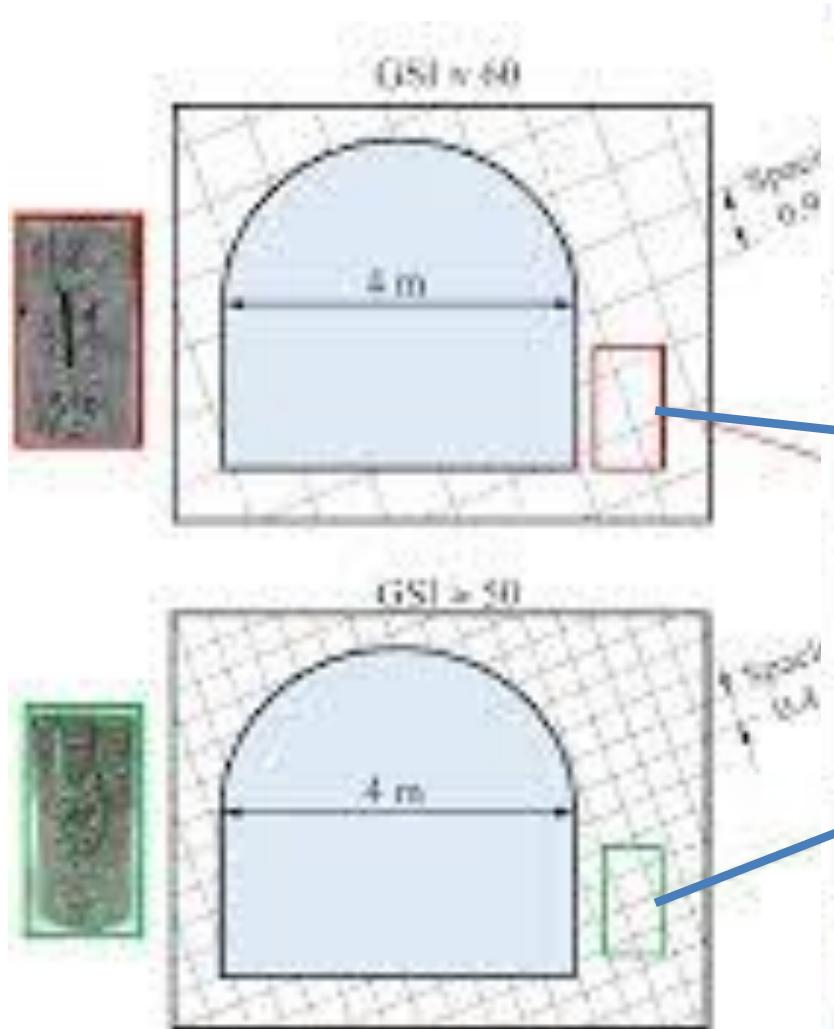
CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS

METODOS CUALITATIVOS:

- Terzaghi (1946)
- Laufer (1958)

METODOS CUANTITATIVOS:

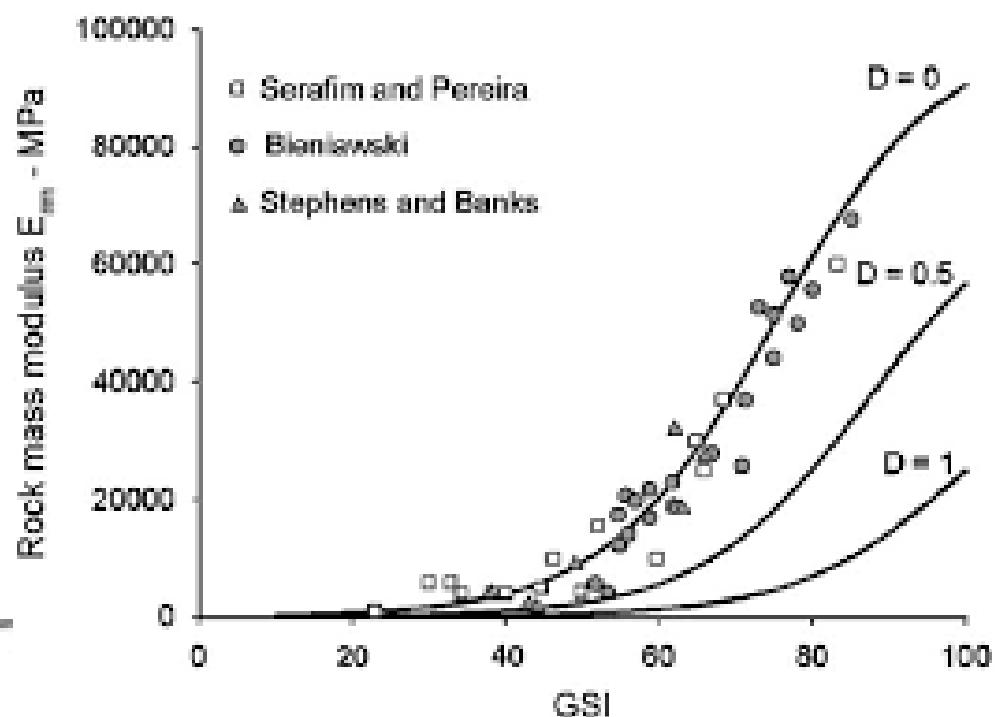
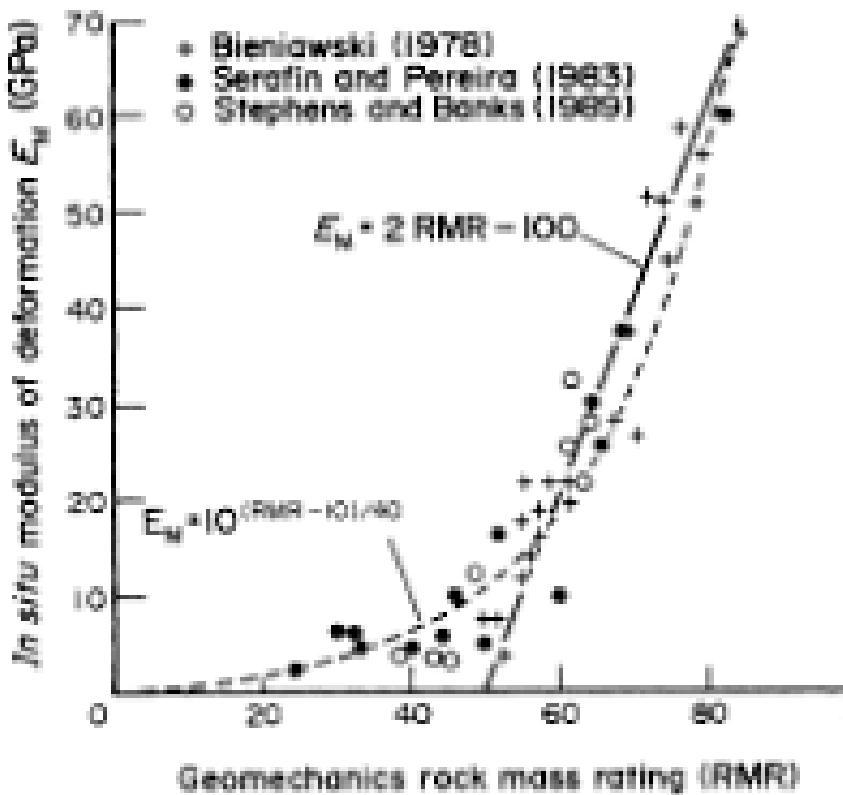
- | | |
|------------------------------|-----|
| - Deere (1964) → | RQD |
| - Wickham et al. (1972) → | RSR |
| - Bieniaswski (1973, 1984) → | RMR |
| - Barton et al. (1974) → | Q |
| - Hoek et al. (1995) → | GSI |
| - Palstrom (2000) → | RMi |

**Sistema de Calificación Macizo - GSI**

REPRESENTATIVE REGION	SELECTED IN DESIGN	SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	Poor	Very Poor
DECREASING SURFACE QUALITY						
INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities		NA	NA	NA	NA	NA
BLOCKY/T - well interlocked, undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets						
BLOCKY/II - interlocked, partially disturbed rock mass consisting of multi-faceted angular blocks bounded by 4 or more joint sets						
BLOCKY/III/TEXTURED/CREVATURE - broken with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or cleavage						
DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with maximum angular size, rounded rock pieces						
LAMINATED/SHARPED - lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes						
DECREASING INTERCLOSURE OF ROCK PIECES						
0-20	11	NA	NA			
20-30	25					
30-50	44					
50-80	67					
DEPTH (m)						
0-20	11	SILT STONE: Very clayey, fine-grained to finely laminated.				
20-30	25	SILT STONE: Very clayey, moderately laminated				
30-50	44	SILT STONE: Clayey, moderately laminated				
50-80	67	SILT STONE: Clayey, highly weathered to dark				

CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA

Grado de fracturación y el estado tensional



Marinos, 2012



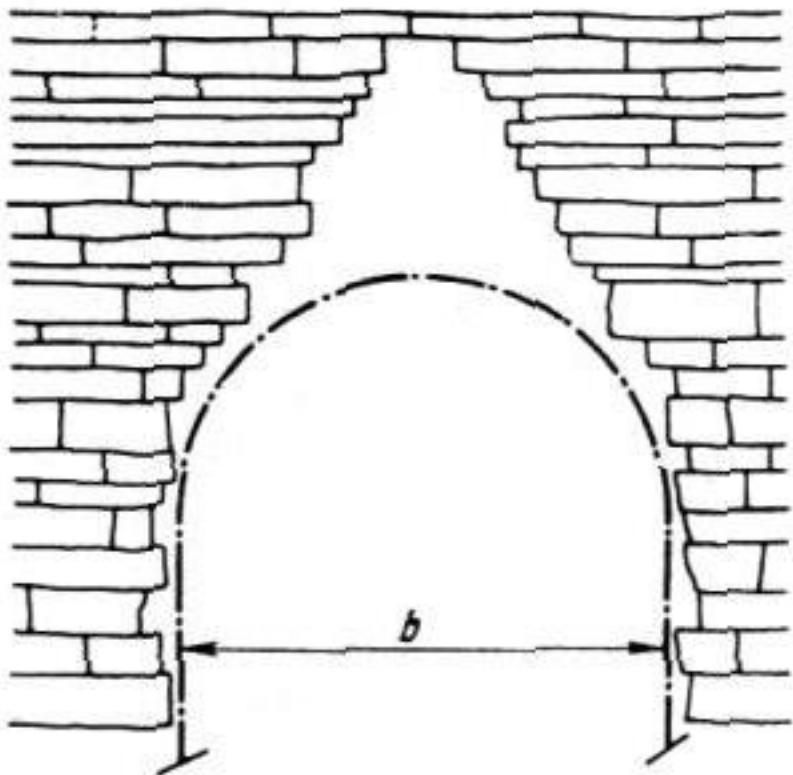
TUNELES - DISEÑO

FASES DE ESTUDIO Y DISEÑO

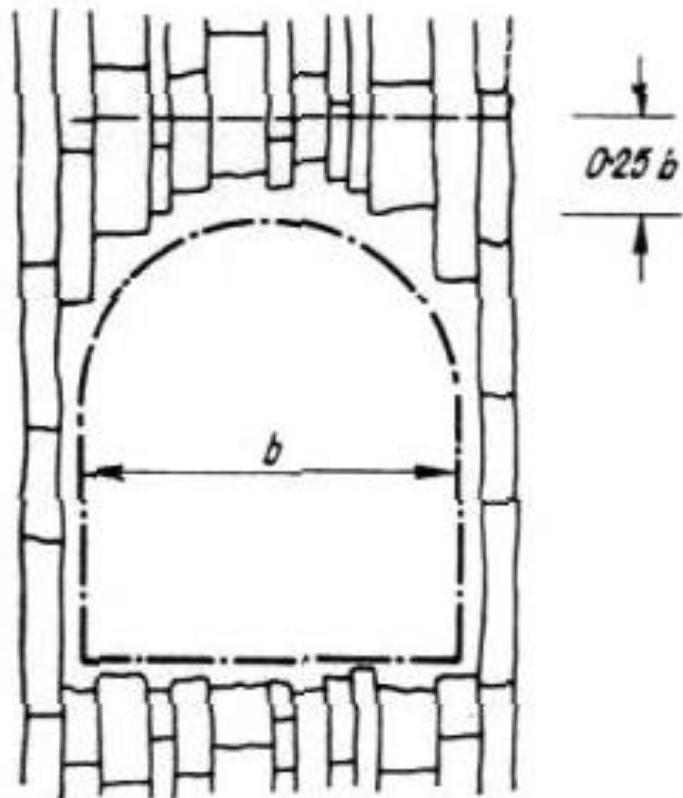
TENSIONES Y DEFORMACIONES

SOLICITACIONES DEL MACIZO

Condición General Terzaghi 1946



0.5b
Probable maximum
breakdown if unsup-
ported



$$h_{\max} = \frac{D}{2 \tan(\alpha / 2)} \cong \frac{D}{2 \sin \phi}$$

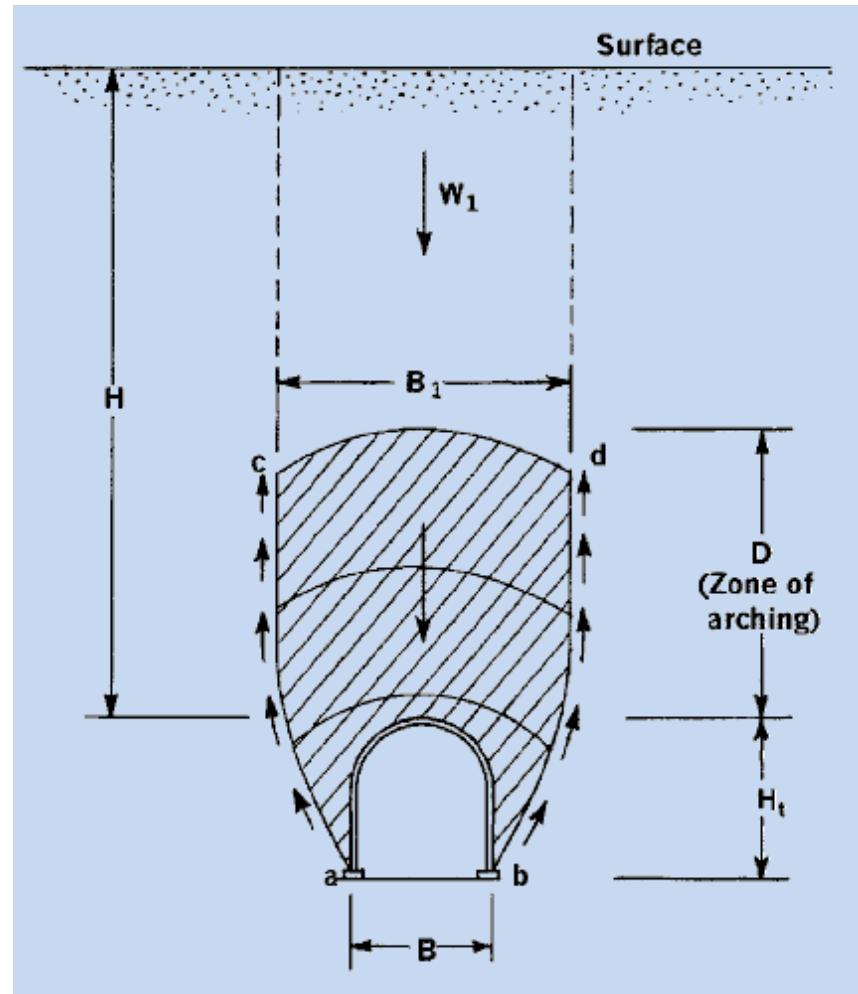
SOLICITACIONES DEL MACIZO

Condición General Terzaghi 1946



- **Terzaghi (1946)**

- **Comportamiento de roca:** Sólo considerado como carga sobre estructuras
- **Sostenimiento:** Cerchas de acero en el trabajo original de Terzaghi
- **Carga:** Tamaño de zona de bloques que actúan como carga en función del tipo y calidad del macizo rocoso



SOLICITACIONES DEL MACIZO

Condición General Terzaghi 1946

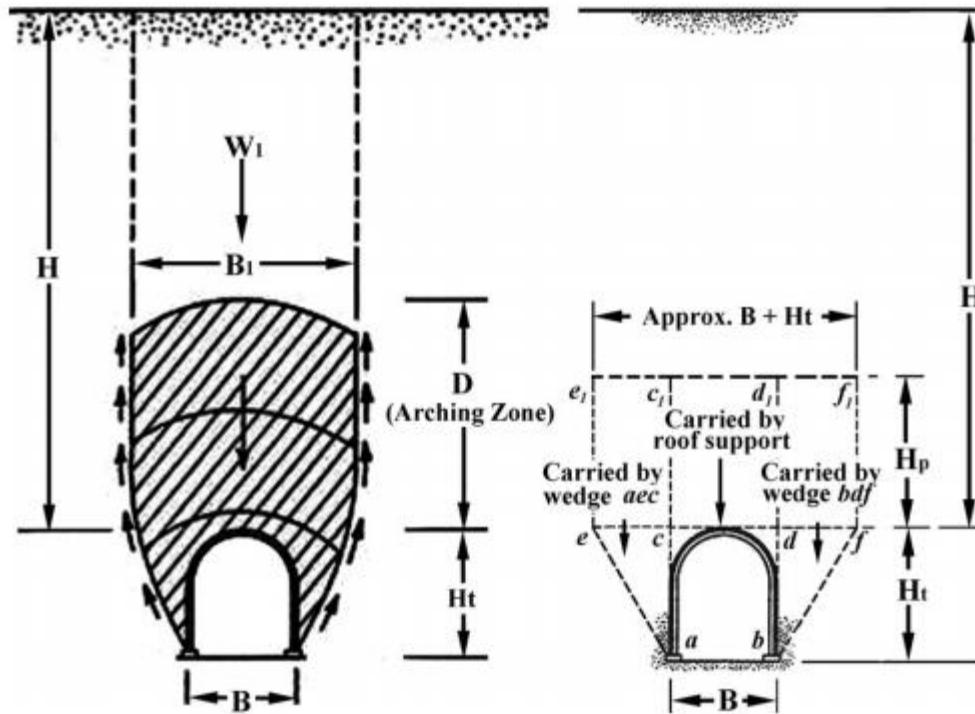
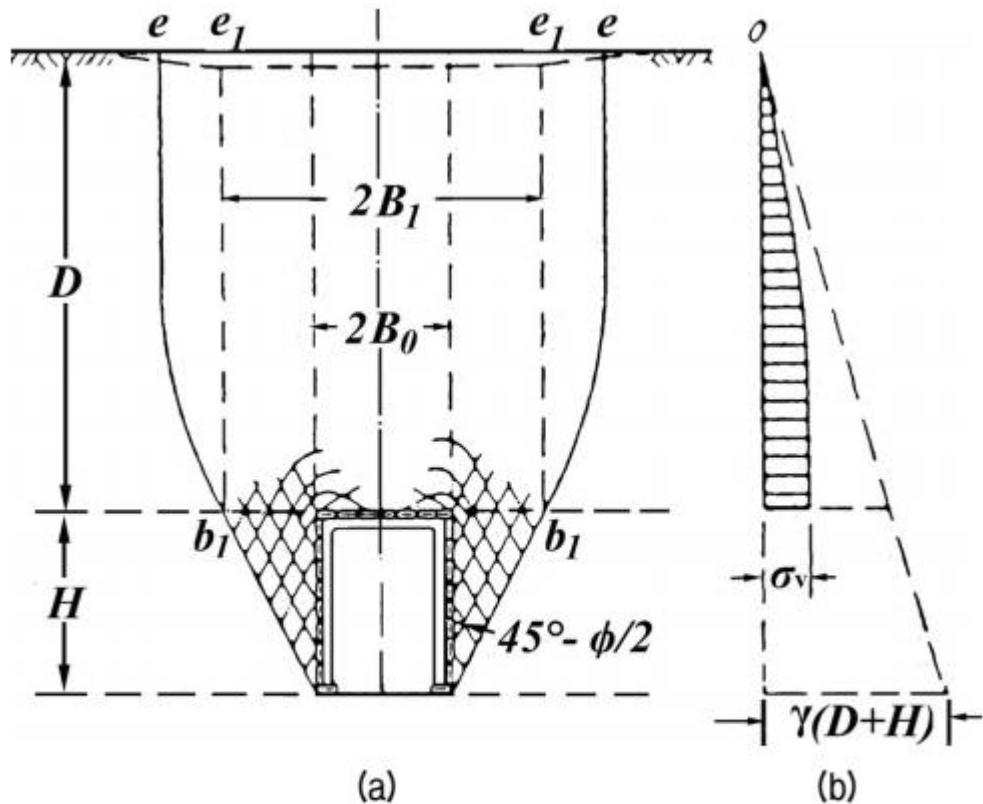


Table 1. Equivalent overburden height in sand (Terzaghi, Proctor and White, 1946)

Materials		Above water level		Below water level	
		H _p min	H _p max	H _p min	H _p max
Dense sand	Initial	0.27(B+H _t)	0.60(B+H _t)	0.54(B+H _t)	1.20(B+H _t)
	Ultimate	0.31(B+H _t)	0.69(B+H _t)	0.62(B+H _t)	1.38(B+H _t)
Loose sand	Initial	0.47(B+H _t)	0.60(B+H _t)	0.94(B+H _t)	1.20(B+H _t)
	Ultimate	0.54(B+H _t)	0.69(B+H _t)	1.08(B+H _t)	1.38(B+H _t)

SOLICITACIONES DEL MACIZO

Condición General Terzaghi 1946



$$B_1 = b/2 + h \operatorname{tg}(45^\circ + \phi/2) \quad k = \sim 1$$

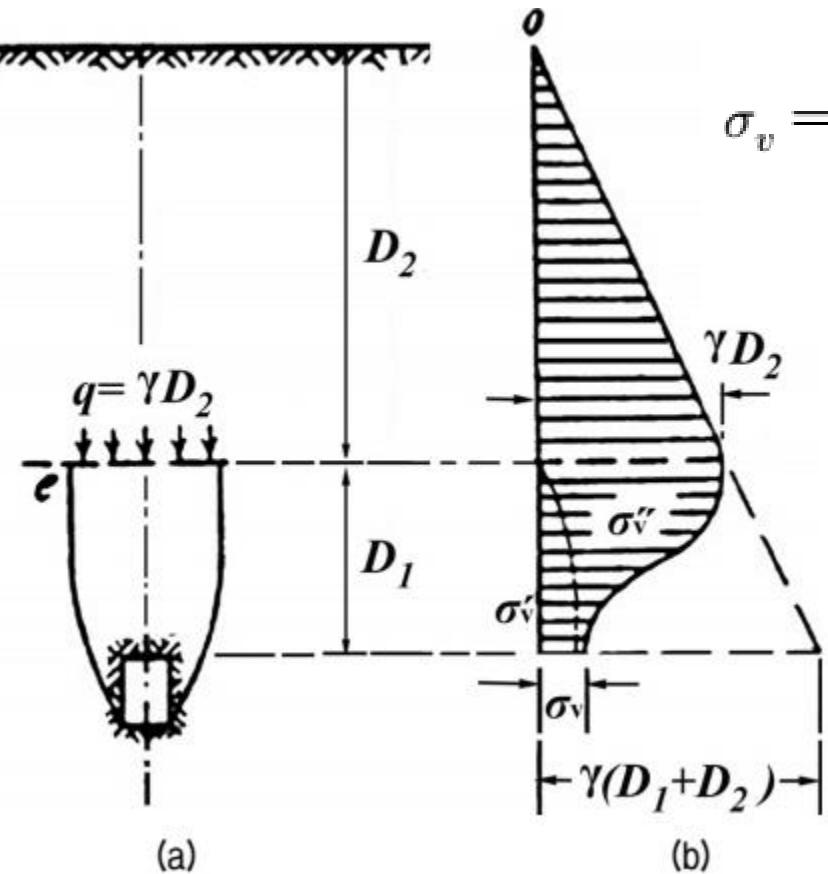
$$p_h = (\gamma z + p_v) \operatorname{tg}^2(45^\circ - \phi/2)$$

$$\sigma_v = \frac{B_1(\gamma - c/B_1)}{K \cdot \tan \phi} (1 - e^{-k \cdot \tan \phi \cdot D/B_1})$$

Fig. 2. Shallow tunnel (a) flow of soil when yielding happened
 (b) vertical stress profile (Terzaghi, 1943)

SOLICITACIONES DEL MACIZO

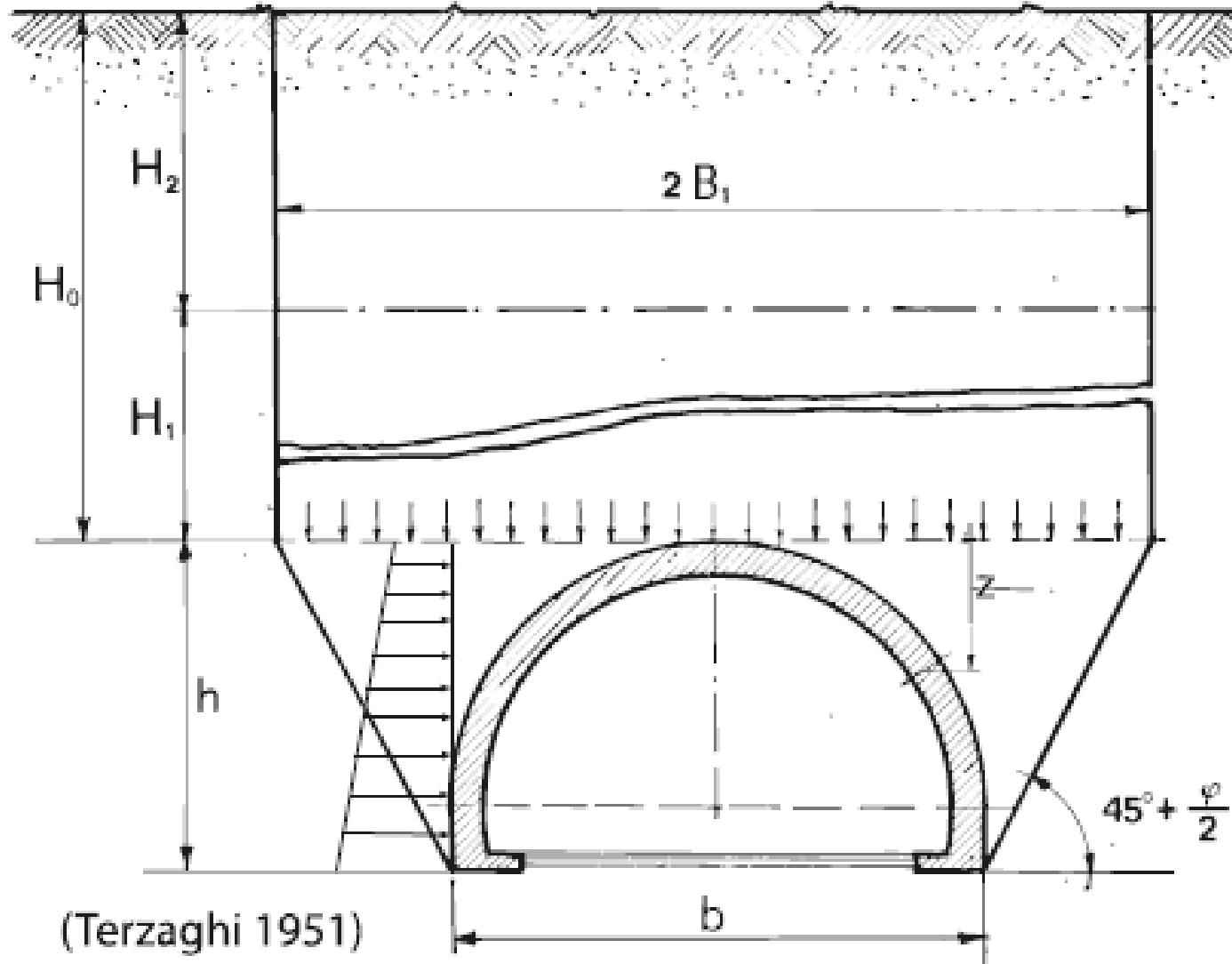
Condición General Terzaghi 1946



$$\sigma_v = \frac{B_1(\gamma - c/B_1)}{K \cdot \tan \phi} (1 - e^{-k \cdot \tan \phi \cdot D_1/B_1}) + \gamma D_2 \cdot e^{-k \cdot \tan \phi \cdot D_1/B_1}$$

SOLICITACIONES DEL MACIZO

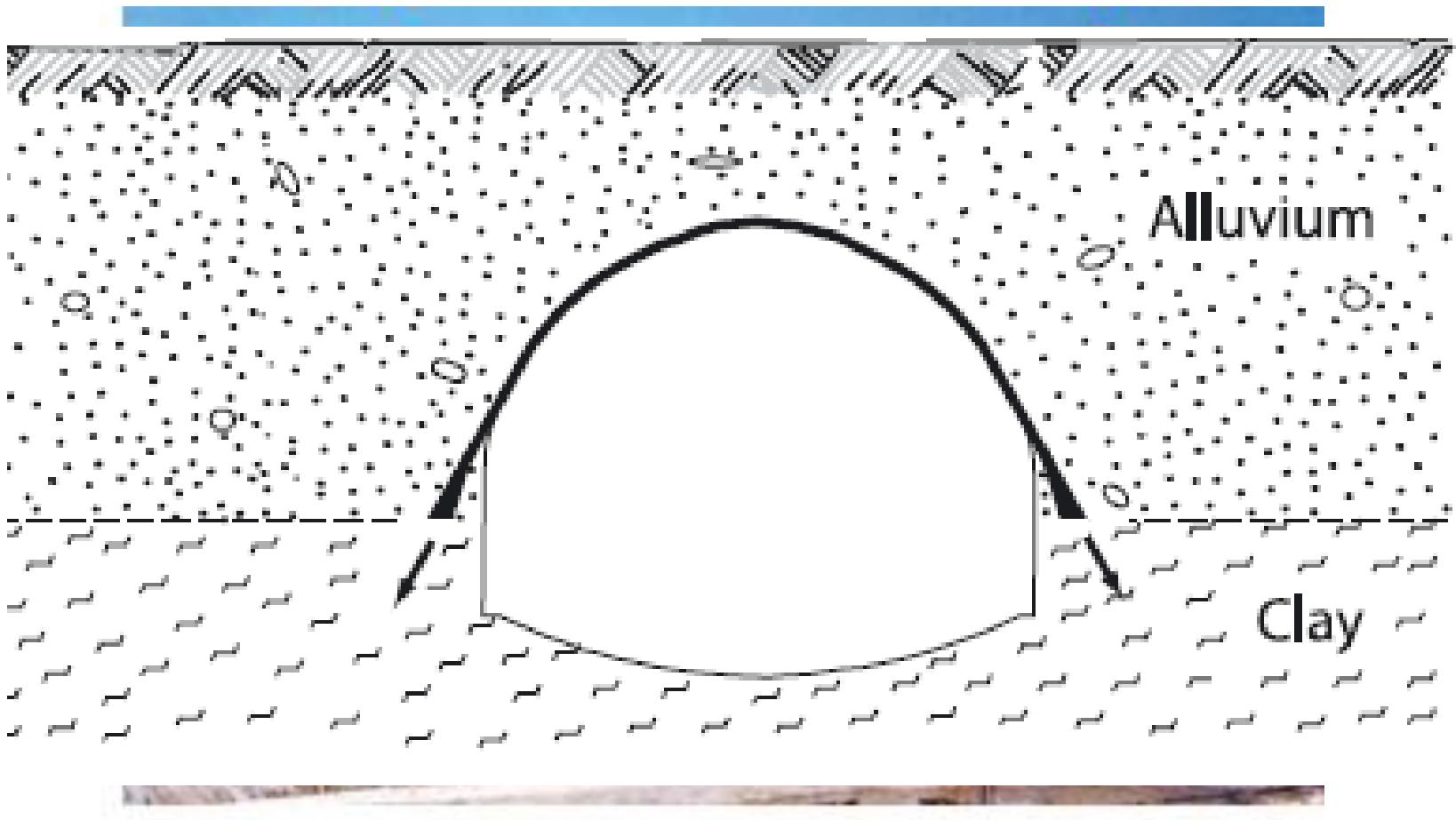
Condición General Terzaghi 1946



DISEÑO

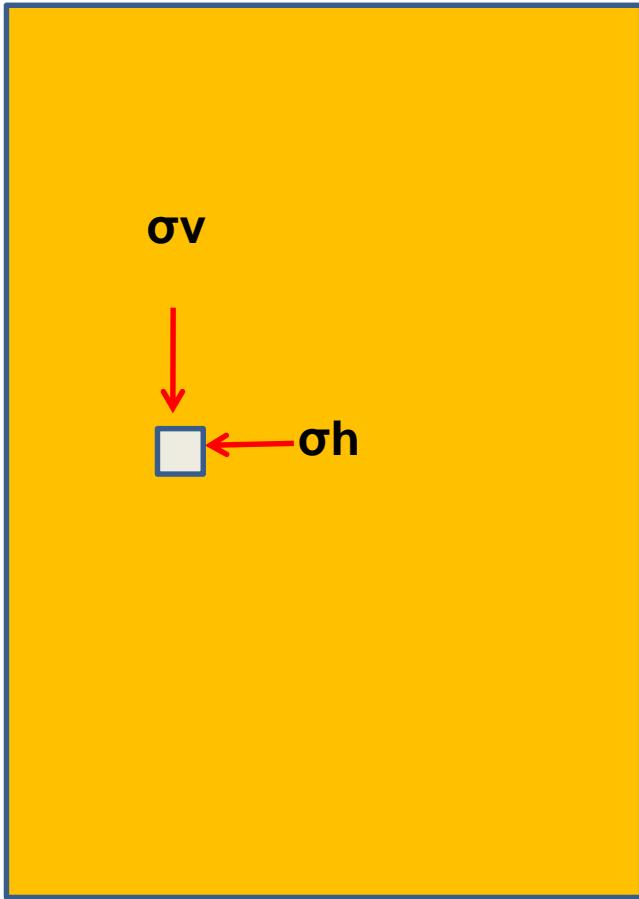
SOLICITACIONES DEL MACIZO

Transferencia de Esfuerzos





Conceptos de Convergencia Aplicación Modelo de Morh-Coulomb



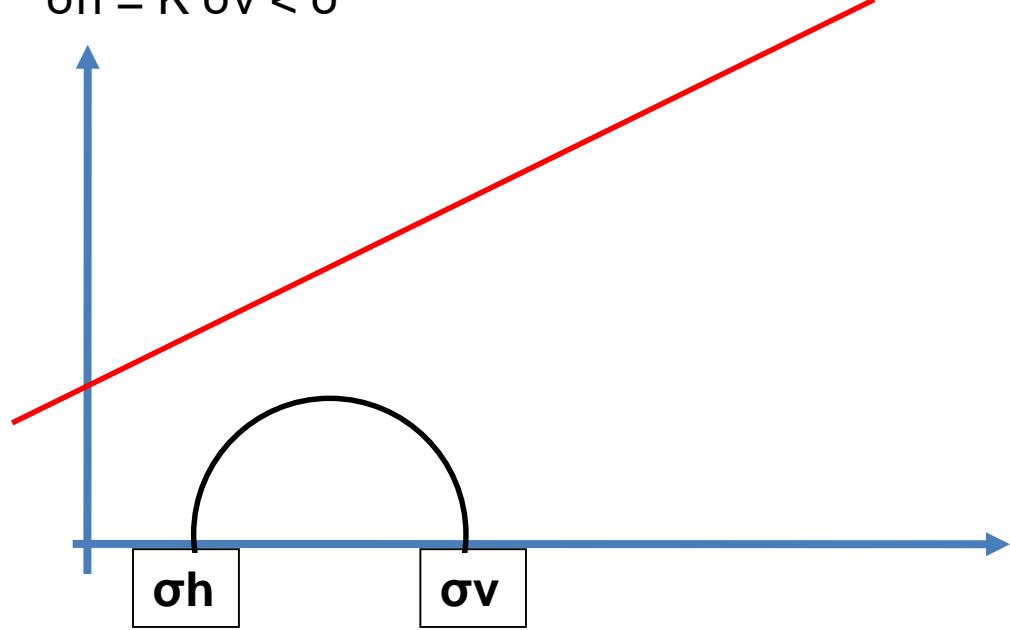
Estado Inicial – SIN TUNEL

Hipótesis

σ_v = Proporcional a la tapada

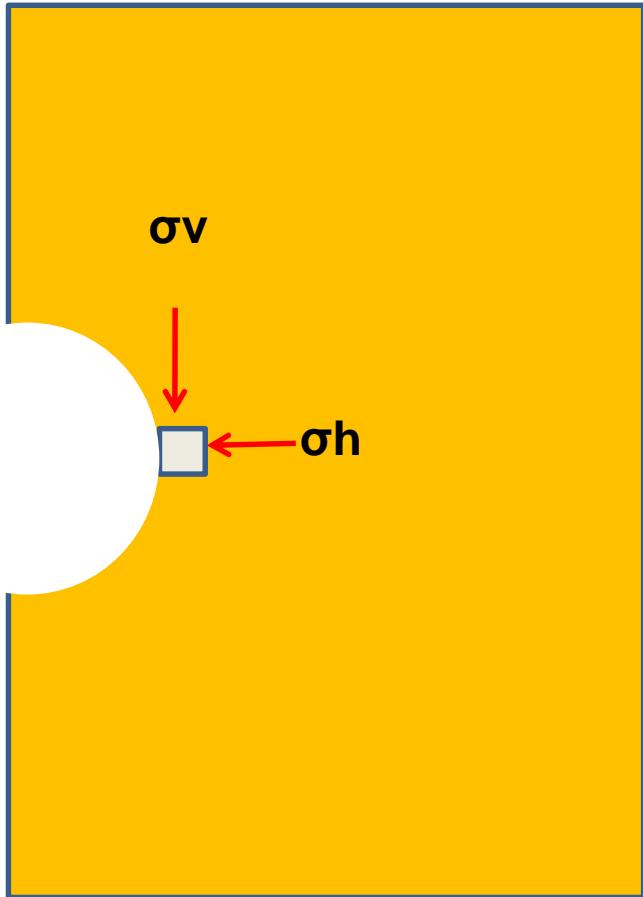
K = menor que 1

$\sigma_h = K \sigma_v < \sigma$





Conceptos de Convergencia Aplicación Modelo de Morh-Coulomb

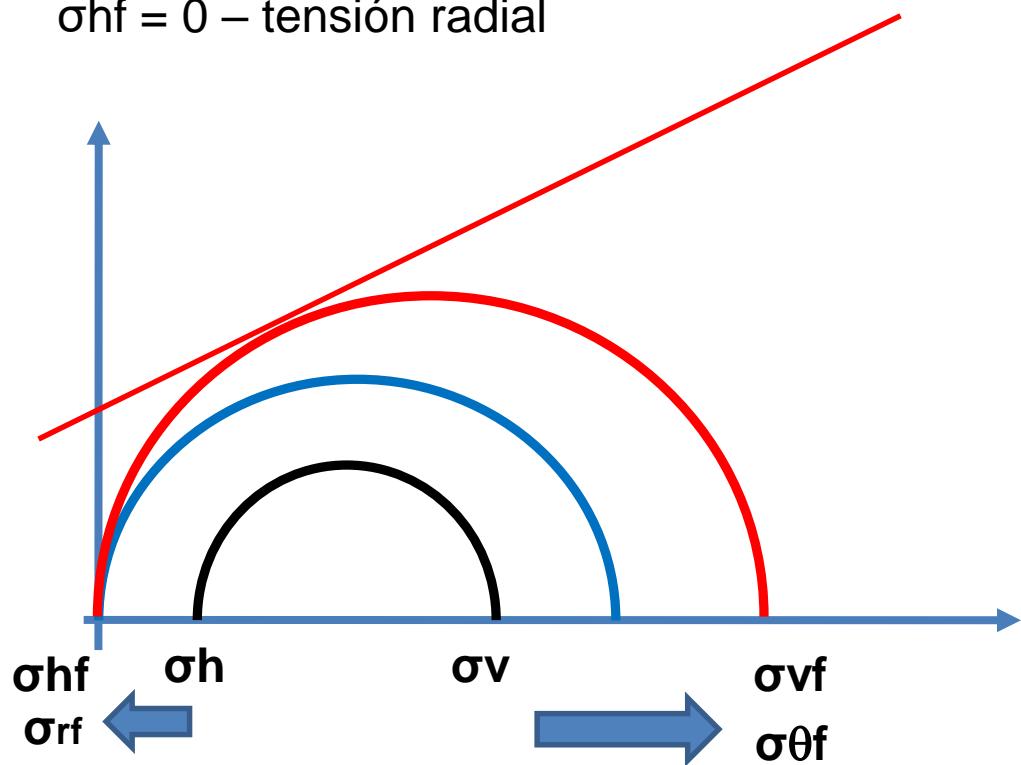


Estado Final – CON TUNEL

Teoría estado tensional

$\sigma_{vf} = 2 \times \sigma_v$ – tensión circular

$\sigma_{hf} = 0$ – tensión radial

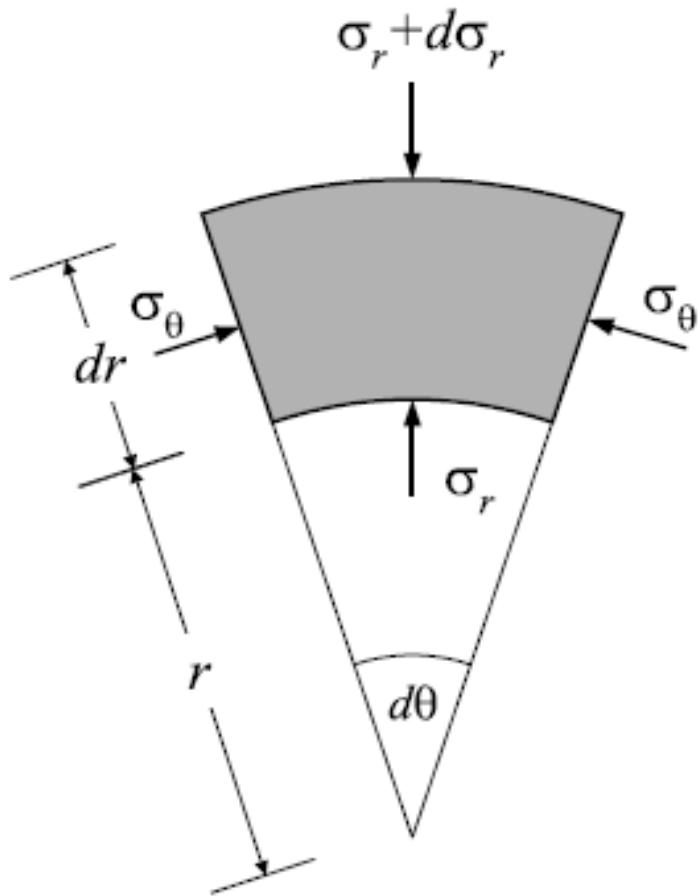




Conceptos de Convergencia

Aplicación Modelo de Mohr-Coulomb

Efecto de Tensiones en Arco



Equilibrio Radial

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0$$

Equilibrio Circular

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} = 0$$



Conceptos de Convergencia Aplicación Modelo de Mohr-Coulomb

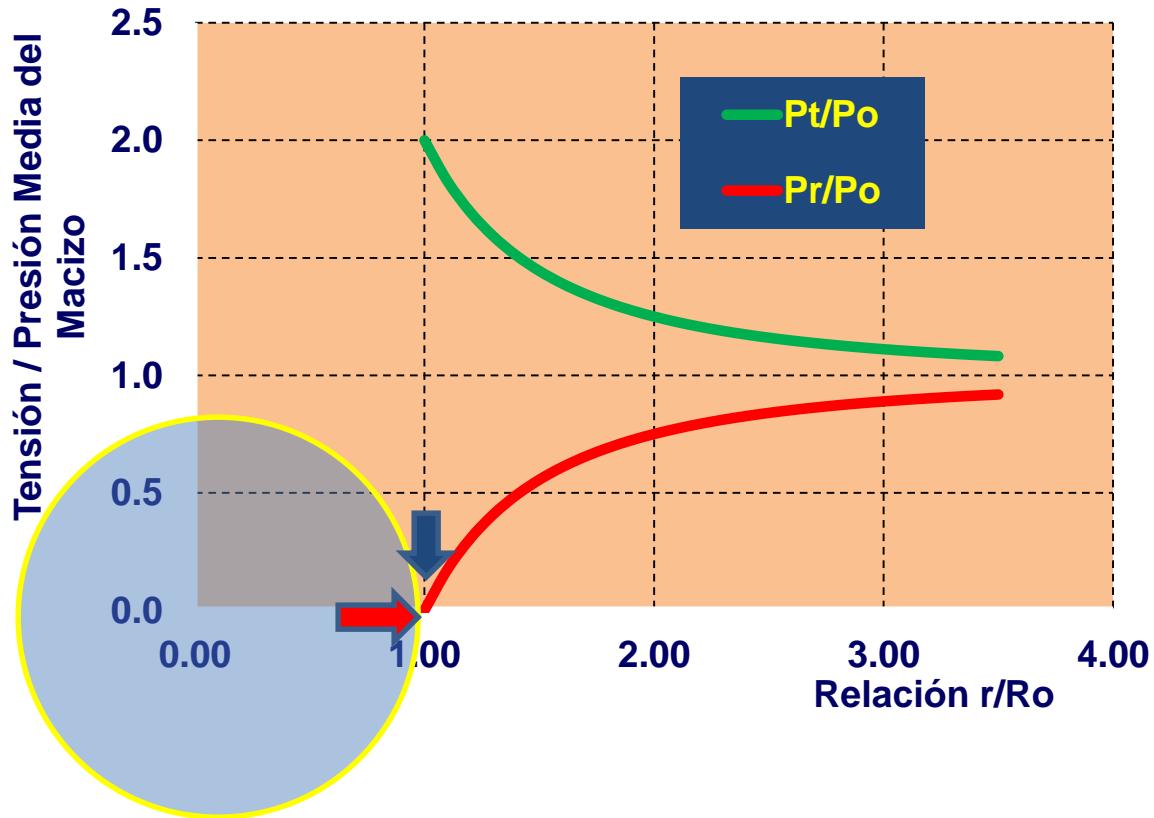
Modelo Hidrostático

$$k = 1$$

Sin presión interna

$$\sigma_r = p_o \cdot \left[1 - \left(\frac{r_o}{r} \right)^2 \right]$$

$$\sigma_\theta = p_o \cdot \left[1 + \left(\frac{r_o}{r} \right)^2 \right]$$





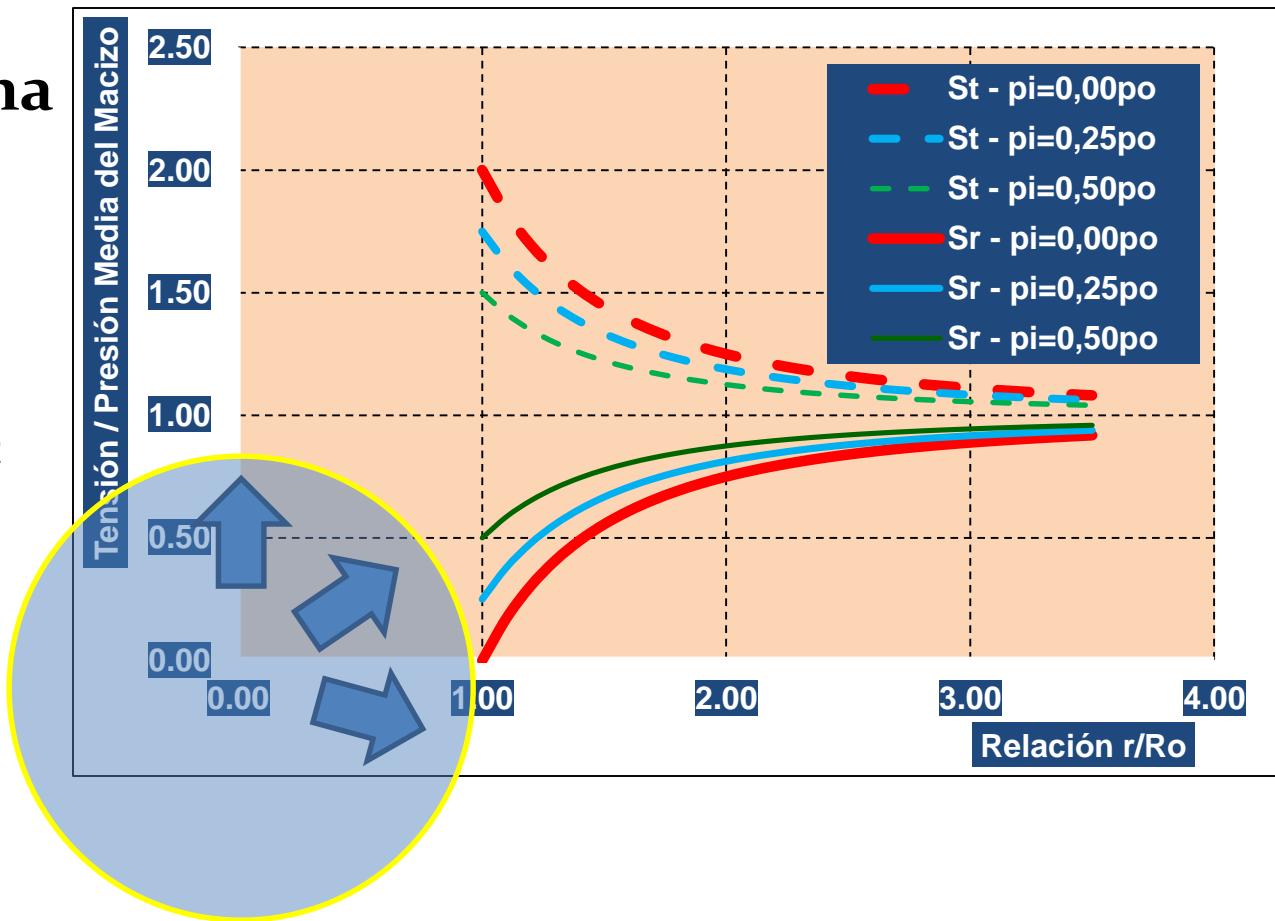
Conceptos de Convergencia Aplicación Modelo de Mohr-Coulomb

Modelo Hidrostático $k = 1$

Con presión interna

$$\sigma_r = p_o \cdot \left[1 - \left(\frac{r_o}{r} \right)^2 \right] + p_i \cdot \left(\frac{r_o}{r} \right)^2$$

$$\sigma_\theta = p_o \cdot \left[1 + \left(\frac{r_o}{r} \right)^2 \right] - p_i \cdot \left(\frac{r_o}{r} \right)^2$$





Conceptos de Convergencia Aplicación Modelo de Mohr-Coulomb

DESPLAZAMIENTOS

Ecuación Básica

$$\frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (ru) \right] = 0$$

Solución elemental

$$u = Ar + \frac{B}{r}$$

Ecuación según ley de Hooke

Expresiones
Genéricas

$$\varepsilon_r = \left(\frac{\nu + 1}{E} \right) \cdot [\sigma_r - \nu \cdot (\sigma_r + \sigma_\theta)]$$

$$\varepsilon_r = \left(\frac{\nu + 1}{E} \right) \cdot \left[(p_i - p_o) \cdot \left(\frac{r_o}{r} \right)^2 \right]$$



Conceptos de Convergencia Aplicación Modelo de Mohr-Coulomb

DESPLAZAMIENTOS

Aplicación a un túnel de 5 m de radio
Presión del Macizo $\rightarrow 50 \text{ tn/m}^2$

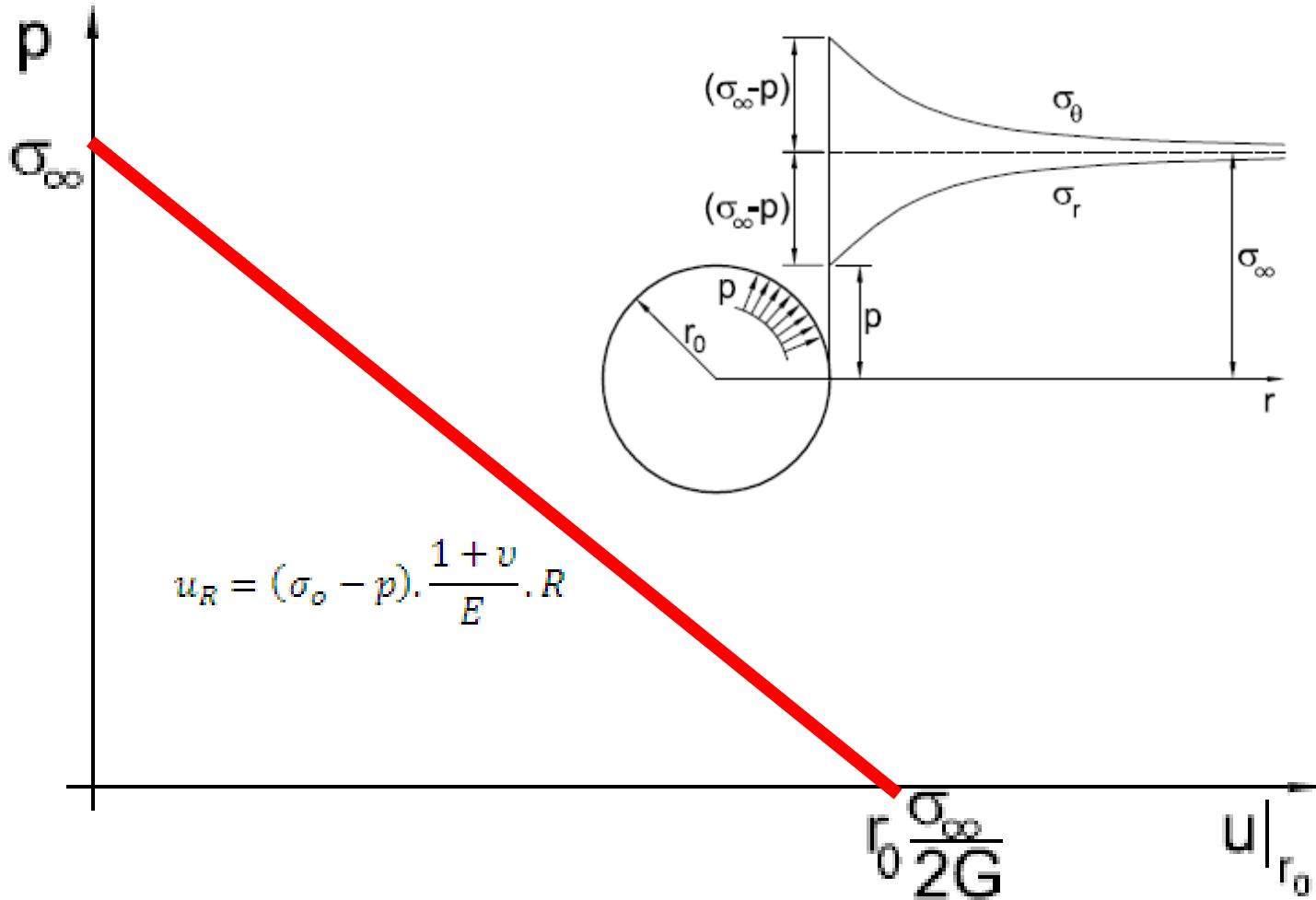
Roca		E medio	po/E	Ur/R	Ur
(tn/m ²)					(mm)
Igneas	Mínima	17000	0.0029	0.397%	22.8
Metamórficas	Media	340000	0.0001	0.020%	1.1
Sedimentarias	Media	450000	0.0001	0.015%	0.9
Igneas	Media	500000	0.0001	0.014%	0.8
Metamórficas	Mínima	590000	0.0001	0.011%	0.7
Sedimentarias	Máximo	4500000	0.0000	0.002%	0.1
Metamórficas	Máximo	4700000	0.0000	0.001%	0.1
Igneas	Máximo	7500000	0.0000	0.001%	0.1

DISEÑO

Conceptos de Convergencia



Curva características elástica Estado Tensional





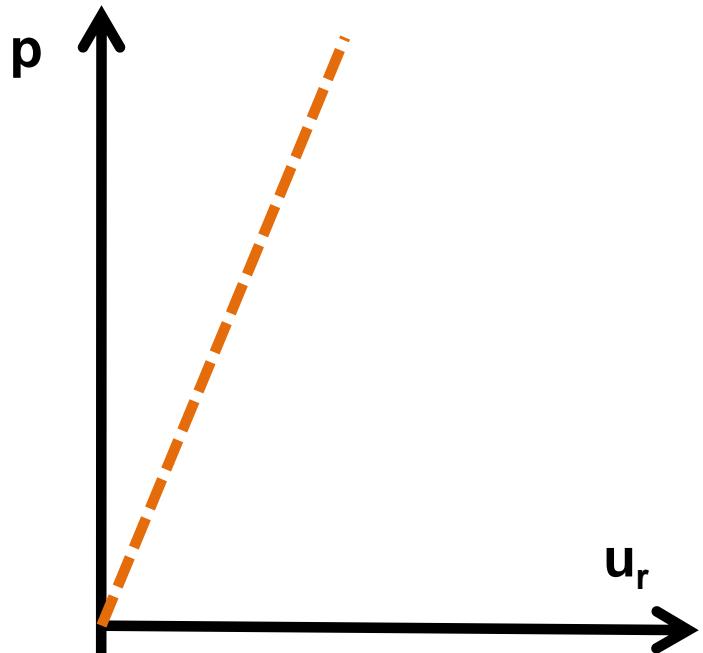
CURVAS CARACTERISTICAS DEL SOSTENIMIENTO

La carga sobre el sostenimiento resulta de la “cooperación” del sistema roca – estructura del sostenimiento

DEFINIDAS POR...

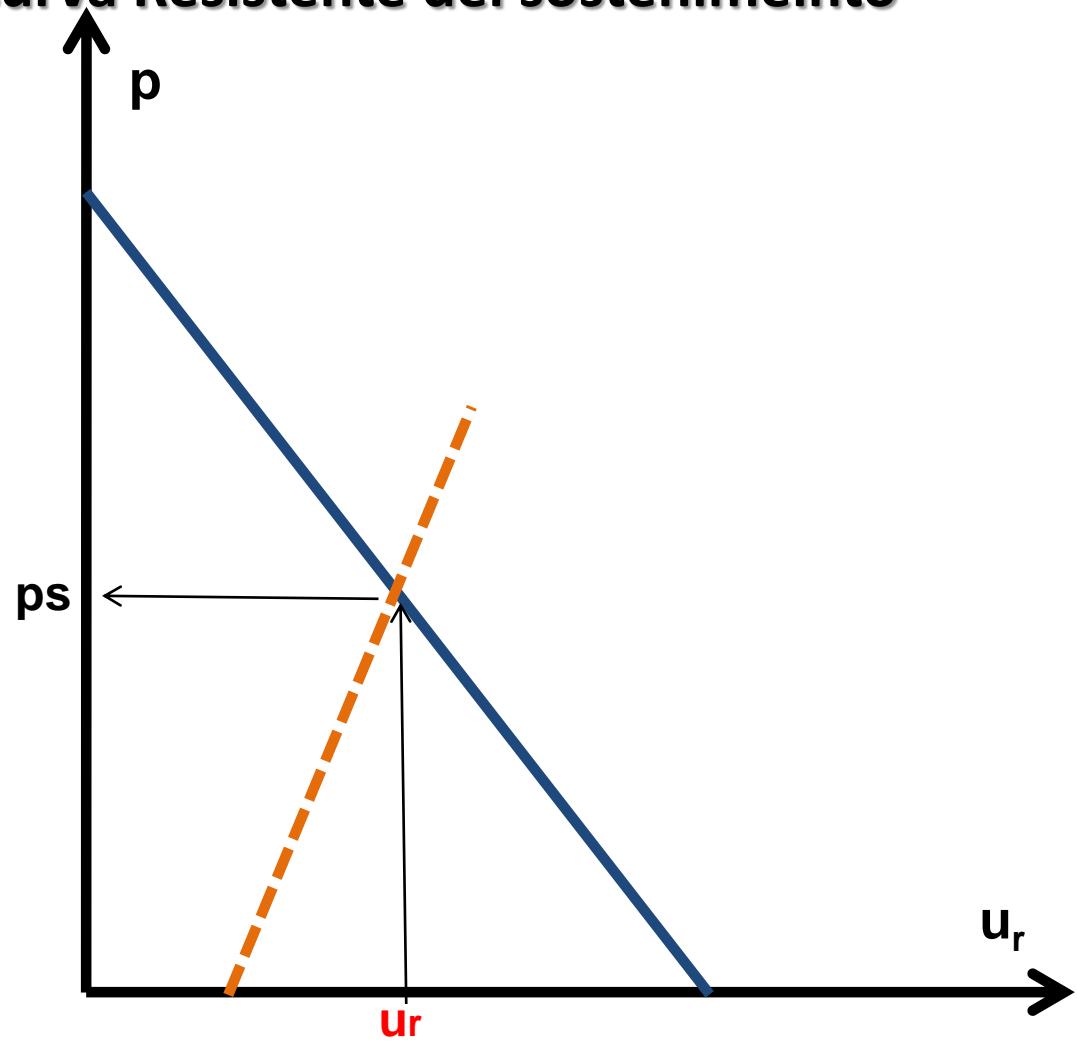
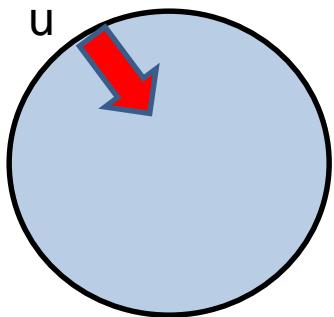
El sostenimiento tiene una curva características definida por:

- Deformación inicial de la excavación.
- Rígidez del sostenimiento
- Presión máxima que es capaz de soportar el sostenimiento



Conceptos de Confinamiento

Curva Característica vs Curva Resistente del sostenimiento



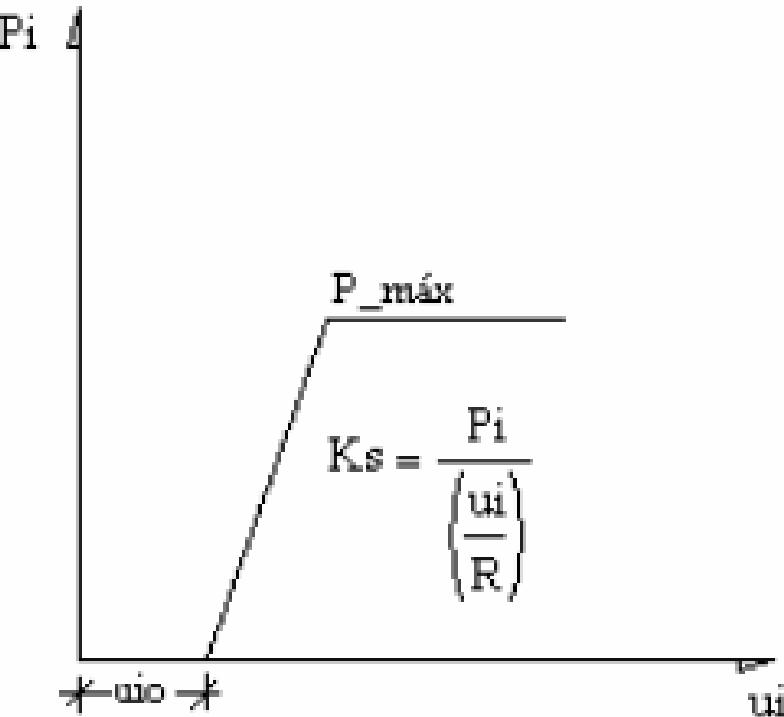
Conceptos de Confinamiento



Deformación Inicial de la Excavación (u_{io})

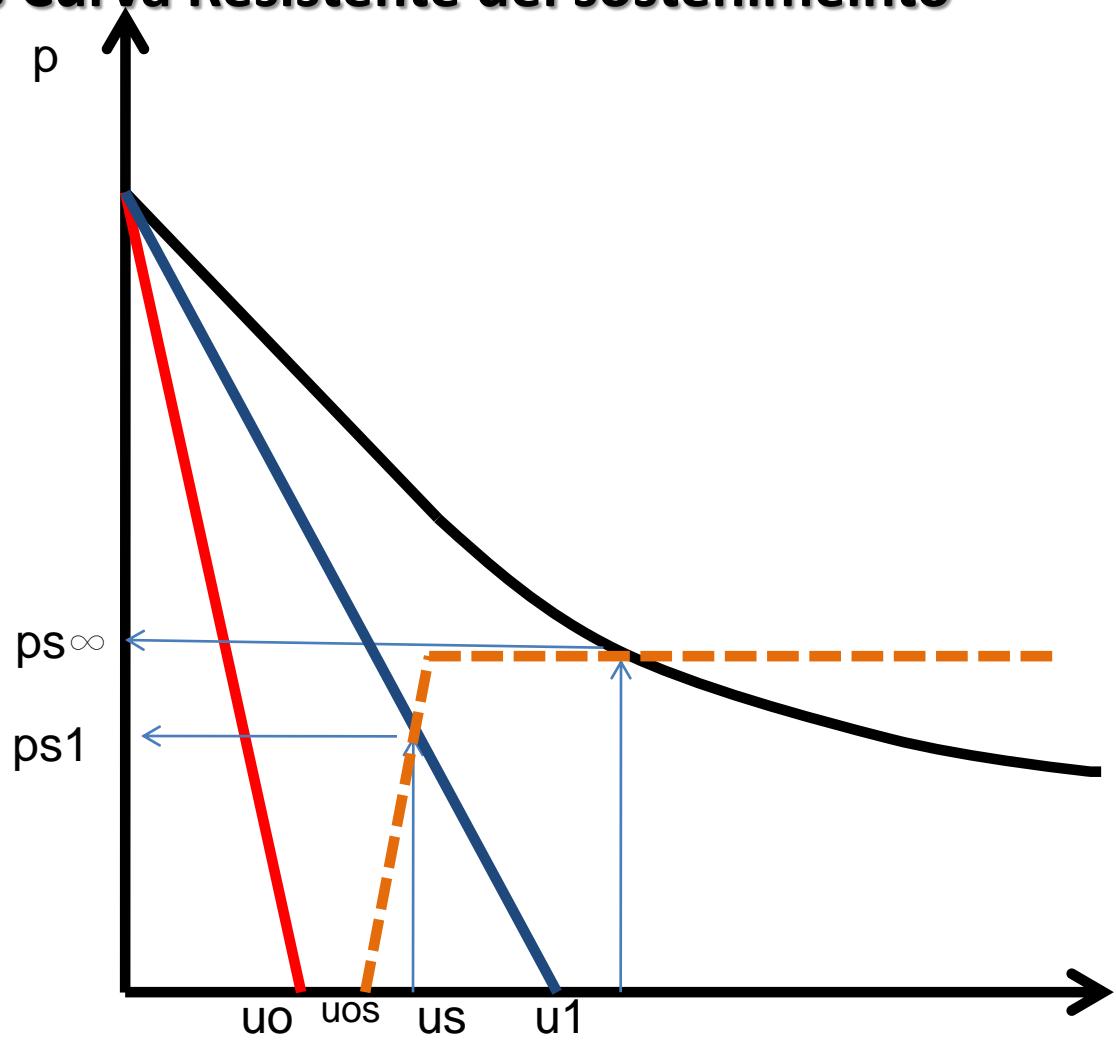
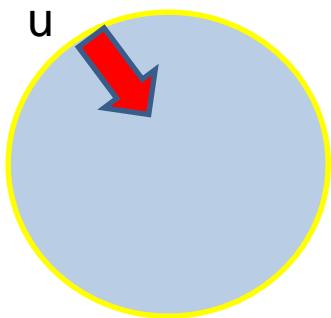
Debe estar relacionado con el tiempo que puede mantenerse estable la excavación **sin tener ningún tipo de sostenimiento**

Es el desplazamiento que ha ocurrido en el perímetro de la excavación **antes de la colocación del sostenimiento**



Conceptos de Confinamiento

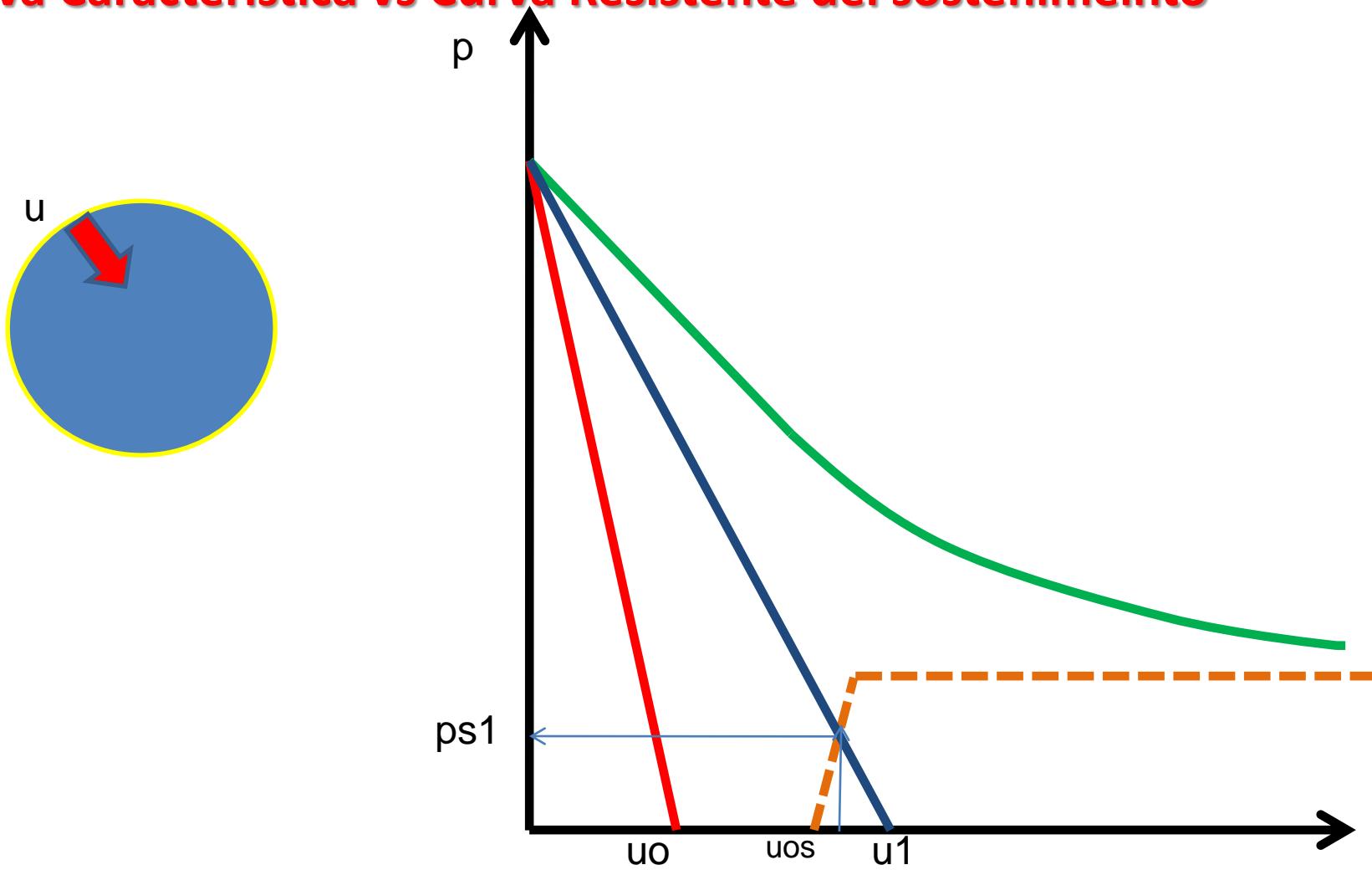
Curva Característica vs Curva Resistente del sostenimiento





Conceptos de Confinamiento

Curva Característica vs Curva Resistente del sostenimiento





TUNELES - DISEÑO

FASES DE ESTUDIO Y DISEÑO

PARADIGMA DE LA PRACTICA

**MODELO PARA SUELOS DE TERZAGHI****CLASIFICACIÓN DE SUELOS DEL TUNELERO***Karl Terzaghi, 1950**Modificado por Ronald E. Heuer, 1974*

Clasificación	Comportamiento	Suelos Típicos
1. FIRME	El túnel puede excavarse sin soporte inicial y el revestimiento definitivo puede construirse antes de que el suelo empiece a moverse.	Lo es arriba del nivel freático, arcillas duras, margas, arenas y gravas cementadas que no estén sobre esforzadas.
2. GRANEO Lento (Raveling)	Se empiezan a desprenderse del techo y paredes, trozos o laminillas de material, cierto tiempo después de que el material quedó expuesto, debido al aflojamiento o al sobre esfuerzo y a la fractura frágil (el suelo se separa o se rompe a lo largo de distintas superficies).	Suelos residuales o arenas con pequeñas cantidades de cementante. Arriba del nivel freático son de graneo lento y bajo el NAF son de graneo rápido.
	Rápido En el graneo rápido, el proceso empieza en pocos minutos.	Arcillas firmes fisuradas pueden presentar graneo lento o rápido, dependiendo del grado de sobre esfuerzo.
3. EXTRUSIVO (Squeezing)	El terreno fluye plásticamente hacia el interior del túnel, sin ninguna fractura o pérdida de continuidad y sin ningún aumento perceptible del contenido de agua. Ductil, fluye debido al sobre esfuerzo.	Suelos sin resistencia friccional. El grado de extrusión depende del grado de sobre esfuerzo. Ocurre en arcillas muy blandas y hasta de consistencia media, a poca y a mediana profundidad. A gran profundidad, arcillas de duras a firmes, pueden presentar una combinación de graneo y extrusión.

**MODELO DE TERZAGHI**

4. DE CORRIDA (Running)	Los materiales granulares sin cohesión, son inestables con una pendiente mayor a su ángulo de reposo ($30 - 35^\circ$). Cuando son expuestos a pendientes mayores, los materiales corren como si fuera azúcar o arena de duna.	Materiales granulares, limpios y secos. Cuando existe una cohesión aparente por la presencia de humedad o una cementación débil, que permite que en un tiempo breve, el material sea estable, a esto, se le conoce como corrida cohesiva.
5. FLUYENTE (Flowing)	Una mezcla viscosa de suelo y agua fluye hacia el túnel. El material puede ingresar al túnel por el frente, el piso, la clave o por las paredes del túnel. Puede fluir grandes distancias y en ocasiones invadir completamente el túnel.	Bajo el nivel freático: Limos, arenas o gravas, que no contengan arcillas que les puedan dar cohesión y plasticidad. Se puede presentar en arcillas altamente sensitivas cuando se rompe su estructura.
6. EXPANSIVO (Swelling)	El suelo absorbe agua, incrementa su volumen y se expande lentamente hacia el túnel.	Arcillas altamente preconsolidadas con índices de plasticidad mayores de 30. Generalmente con contenidos significativos de montmorilonita.



CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA

Grado de fracturación y el estado tensional

St	Stable ground: Stable tunnel section with local gravity failures. Rock mass is compact with limited and isolated discontinuities		
Br	Brittle failure: Brittle failure or rock bursting at great depths		
Wg	Wedge failure: Wedge sliding or gravity driven failures. Insignificant strains. The rock mass is blocky to very blocky, blocks can fall or slide. The stability is controlled by the geometrical and mechanical characteristics of the discontinuities. The ratio of rock mass strength to the in situ stress (α_{cm}/p_o) is high (>0.6-0.7) and there are very small strains ($\epsilon < 1\%$)		
Ch	Chimney type failure: Rock mass is highly fractured, maintaining most of the time its structure (or at least that of the surrounded rock mass). Rock mass does not have good interlocking (open structure) and in combination with low confinement (lateral stress) can tend to block falls which develop to larger overbreaks of chimney type. The overbreaks may be stopped and "bridged" by better quality rock masses, depending on the in situ conditions. This type may be applied also in cases of brecciated and disintegrated rock mass in ground with high confinement (high lateral stress)		

Marinos, 2012



CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA

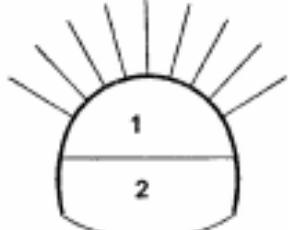
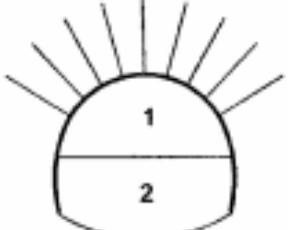
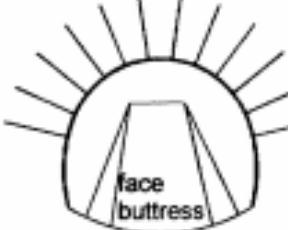
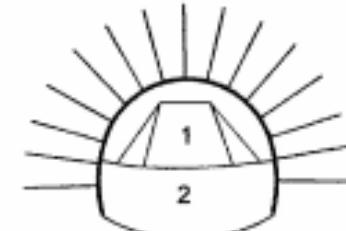
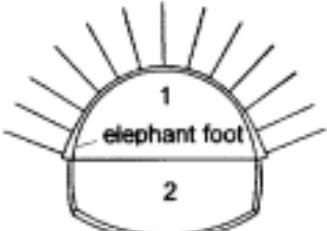
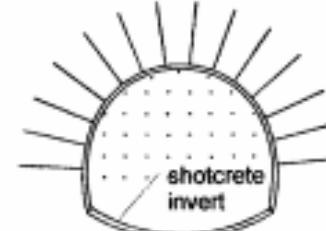
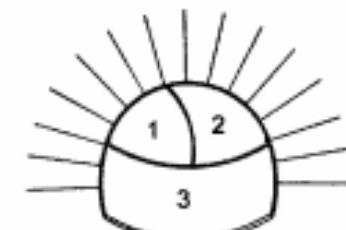
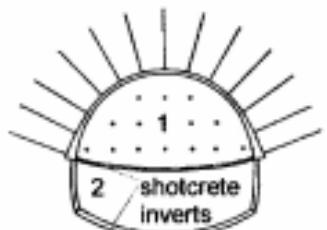
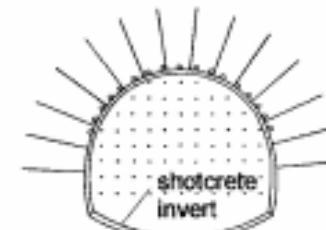
Grado de fracturación y el estado tensional

TUNNEL BEHAVIOUR CHART (TBC) FOR ROCK MASSES (V. Marinos)*											
ROCK MASS STRUCTURE (As in GSI, Hoek & Marinos, 2000)	OVERBURDEN (H) (Rock masses for up to several hundreds metres**)										
	Small overburden			Large overburden							
	INTACT ROCK STRENGTH (σ_c)		INTACT ROCK STRENGTH (σ_c)		Low σ_c		High σ_c		Low σ_c		High σ_c
	INTACT OR MASSIVE Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities										
	BLOCKY Well interlocked undisturbed rock mass consisting of blocks formed by three orthogonal intersecting discontinuity sets			OVERBURDEN (H) LIMIT: ~150 m		OVERBURDEN (H) LIMIT: ~100 m		OVERBURDEN (H) LIMIT: ~100 m		OVERBURDEN (H) LIMIT: ~100 m	
	VERY BLOCKY Interlocked, partially disturbed rock mass with multi-faceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets										



CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA

Grado de fracturación y el estado tensional

	MULTIPLE HEADINGS	TOP HEADING AND BENCH	FULL FACE EXCAVATION
NO SQUEEZING	 <p>Safety rockbolts in crown with 50 mm thick shotcrete</p>	 <p>Safety rockbolts in crown with 50 mm thick shotcrete</p>	 <p>Safety rockbolts, 50 mm thick shotcrete and face buttress</p>
MINOR SQUEEZING	 <p>Rockbolts, 100 mm thick shotcrete and face buttress</p>	 <p>Steel sets in shotcrete with elephant foot and invert lining</p>	 <p>Lattice girders, shotcrete, fiber-glass dowels grouted in face</p>
SEVERE SQUEEZING	 <p>Partial face excavation, 150 mm thick shotcrete lining and invert</p>	 <p>Steel sets in shotcrete, grouted fiberglass dowels in face</p>	 <p>Forepoles, steel sets, grouted fiberglass dowels in face</p>

CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA

Grado de fracturación y el estado tensional



arinos, 2012

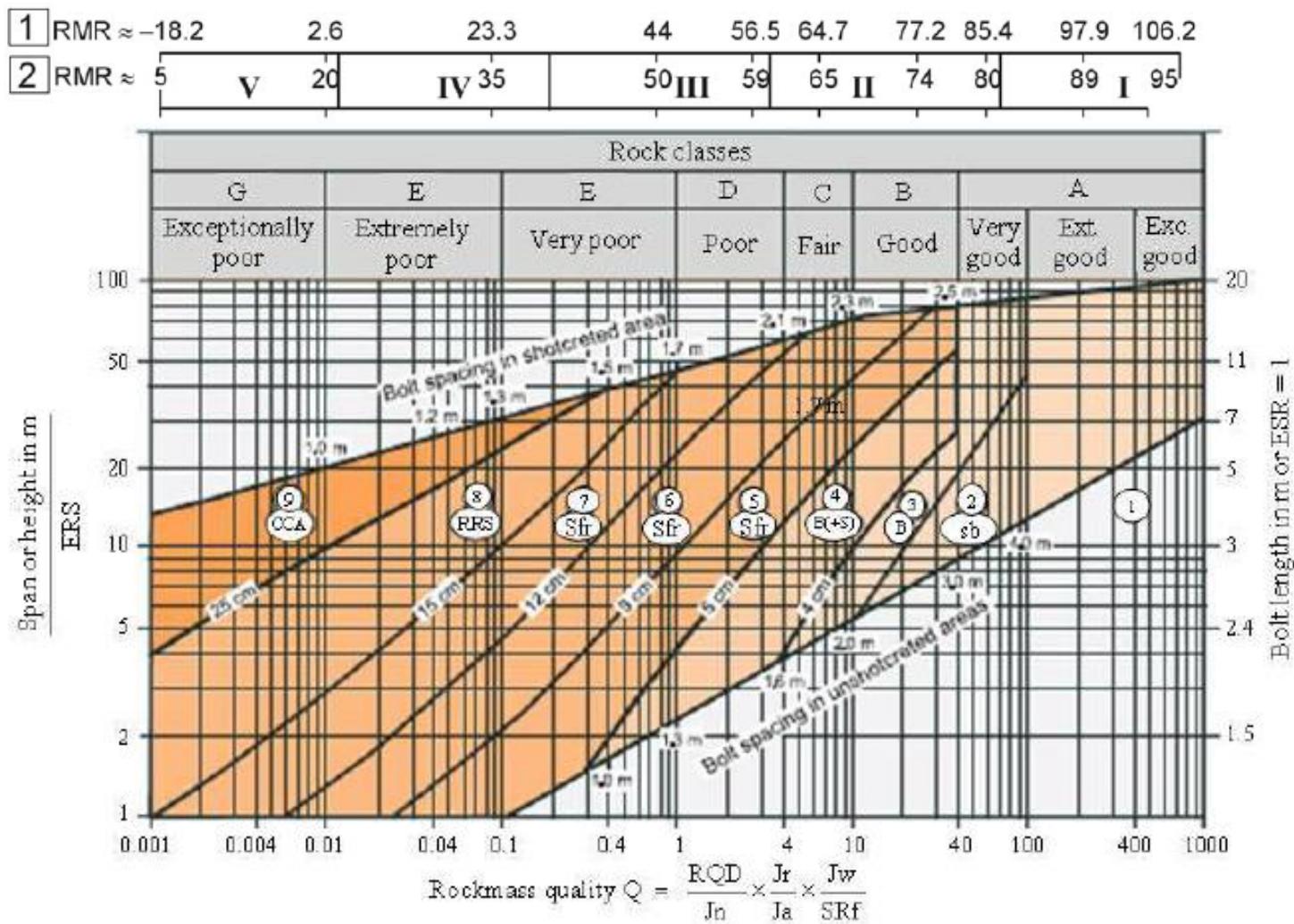
CONVERGENCIA Y CONFINAMIENTO

Comportamiento del Macizo

Aplicaciones del Conocimiento



1. Sin soporte
2. Bolunes aislados
3. Bulones sistemáticos
4. Bulones sistemáticos con shotcrete entre 40 y 100 mm
5. 50 a 90 mm shotcrete con fibra y bulones
6. 90 a 120 mm de shotcrete con fibre y bulones
7. 120 a 150 mm shotcrete con fibre y bulones
8. Shotcrete con fibre de > 120 mm, con refuerzos de shotcrete y bulones
9. Refuerzo de shotcrete como refuerzos



SISTEMAS CONSTRUCTIVOS



Túneles a “cielo abierto” (*cut and cover*)

Túneles subterráneos o en minas

- Secuencial.

Perforación y Voladura

Con Máquinas de Ataque Puntual

- Tuneladora

Sin presurización (Topo)

Con presurización (Escudo)



TUNELES - CONSTRUCCION

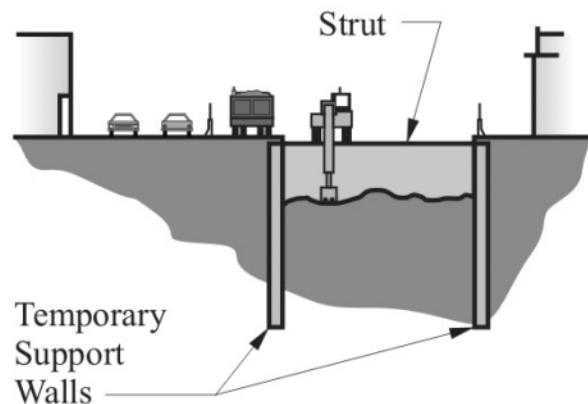
SISTEMAS SUPERFICIALES CUT AND COVER

TUNELES

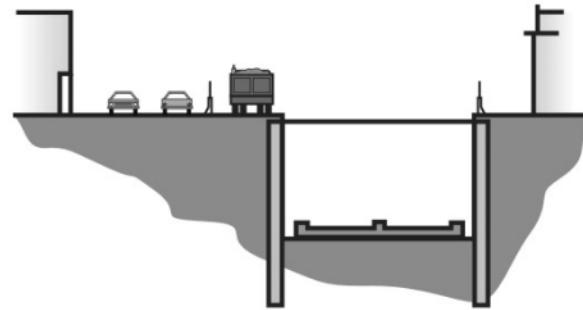
SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

CUT AND COVER

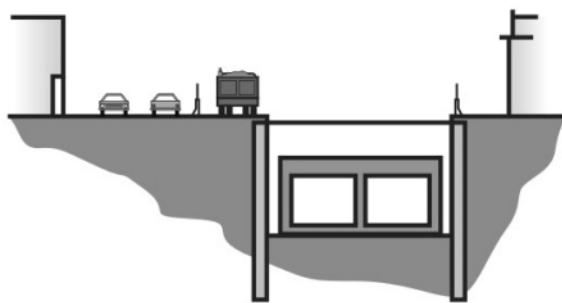
Step 1



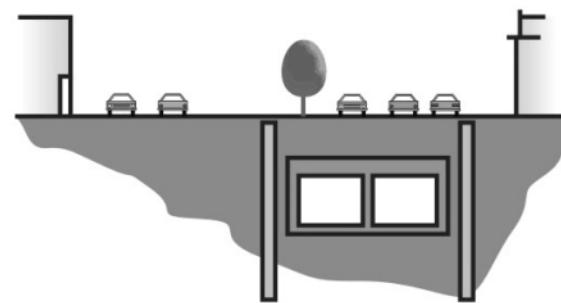
Step 2



Step 3



Step 4

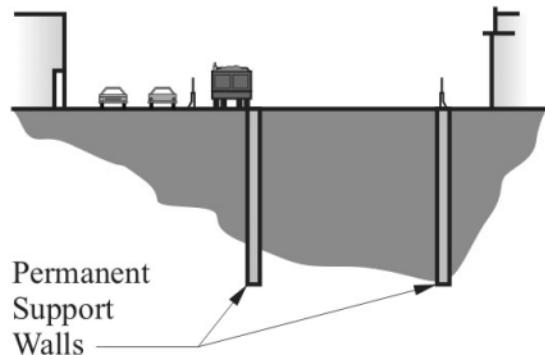


TUNELES

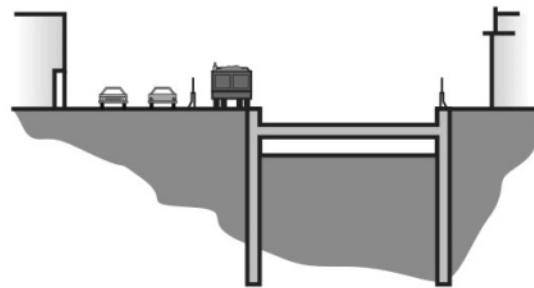
SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

CUT AND COVER

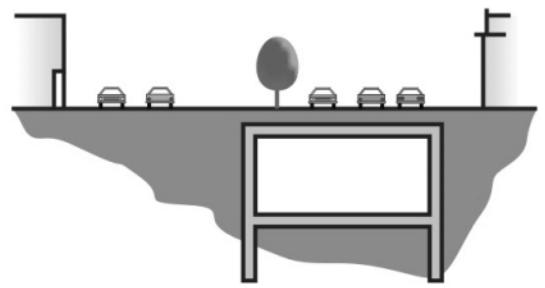
Step 1



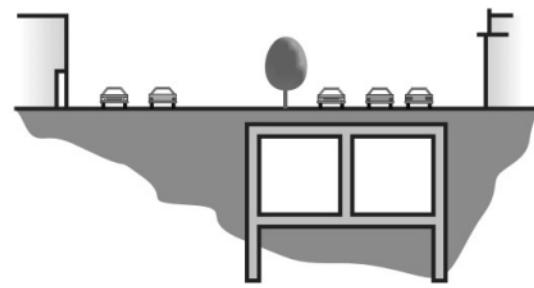
Step 2



Step 3



Step 4



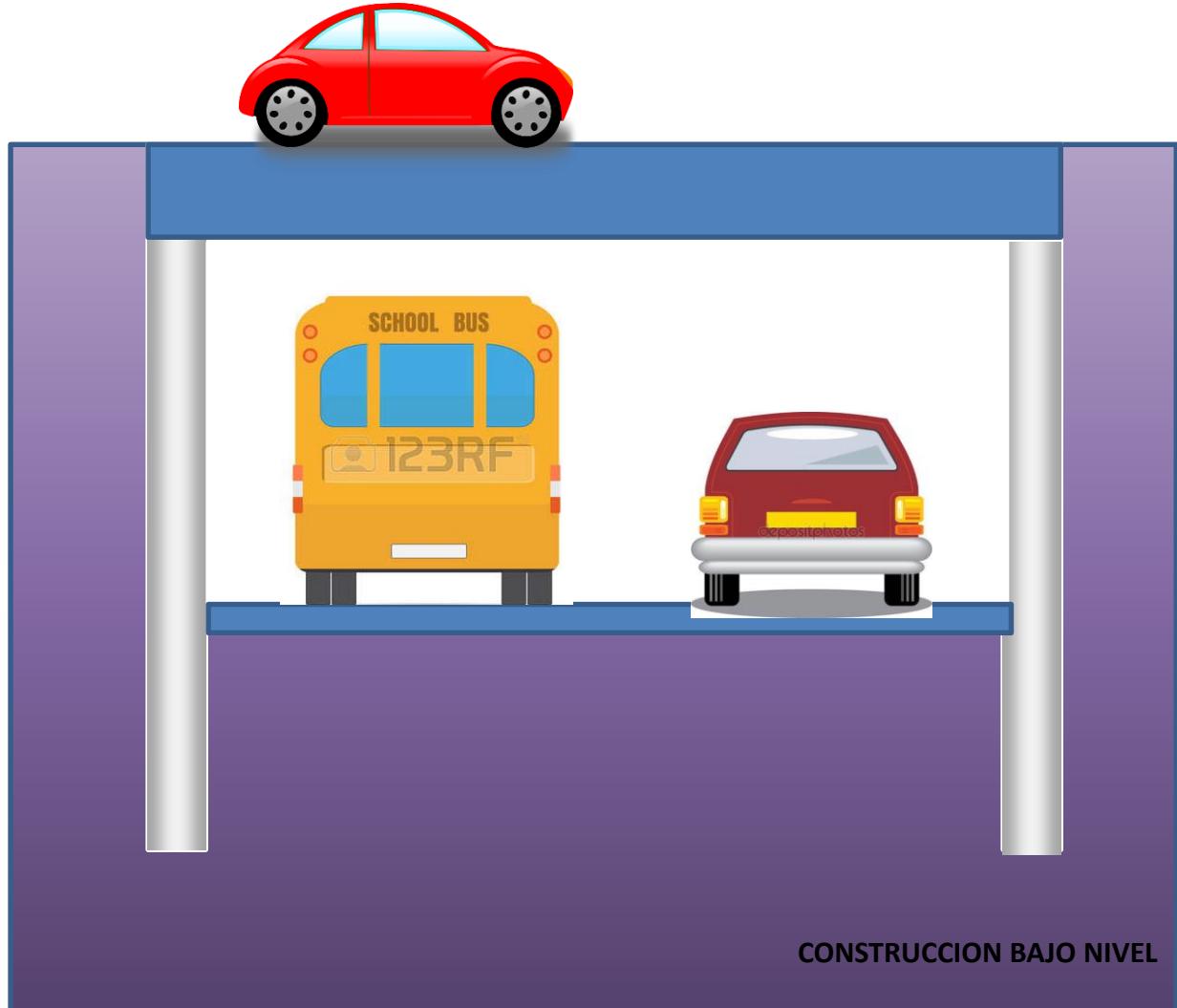
BAJO NIVEL PLAZA ESPAÑA
Proyecto de Licitación

**SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA LA BAJA AFECTACIÓN AL TRÁNSITO
DURANTE LA OBRA**

SISTEMA CUT AND COVER

Permite una mínima
afectación de la superficie de
circulación.

1. Excavación Pilotes
2. Hormigonado Pilotes
3. Excavación para Losa
4. Losa. Habilitación
tránsito superior
5. Excavación interior
6. Losa Inferior y
Terminaciones



CONSTRUCCION BAJO NIVEL



TUNELES - CONSTRUCCION

PERFORACION TUNEL

**EXCAVACION SECUENCIAL
PERFORACIÓN Y VOLADURA**

TUNELES

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Método Secuencial



Acceso al Túnel

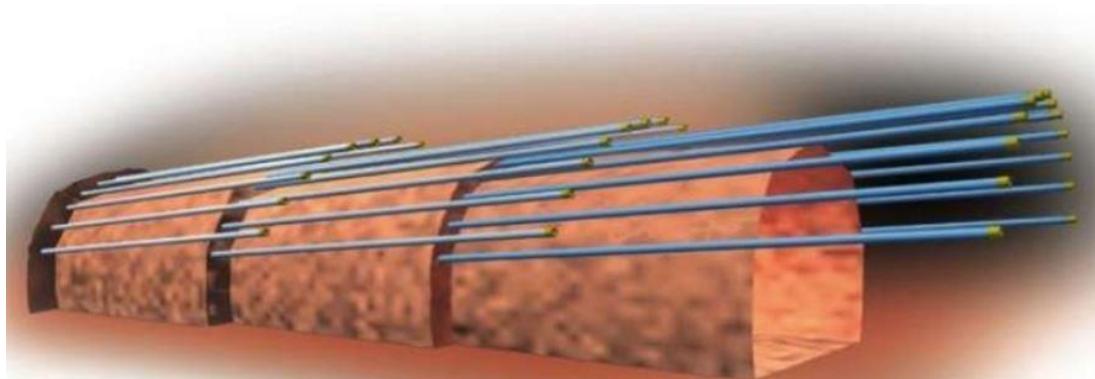


TUNELES

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

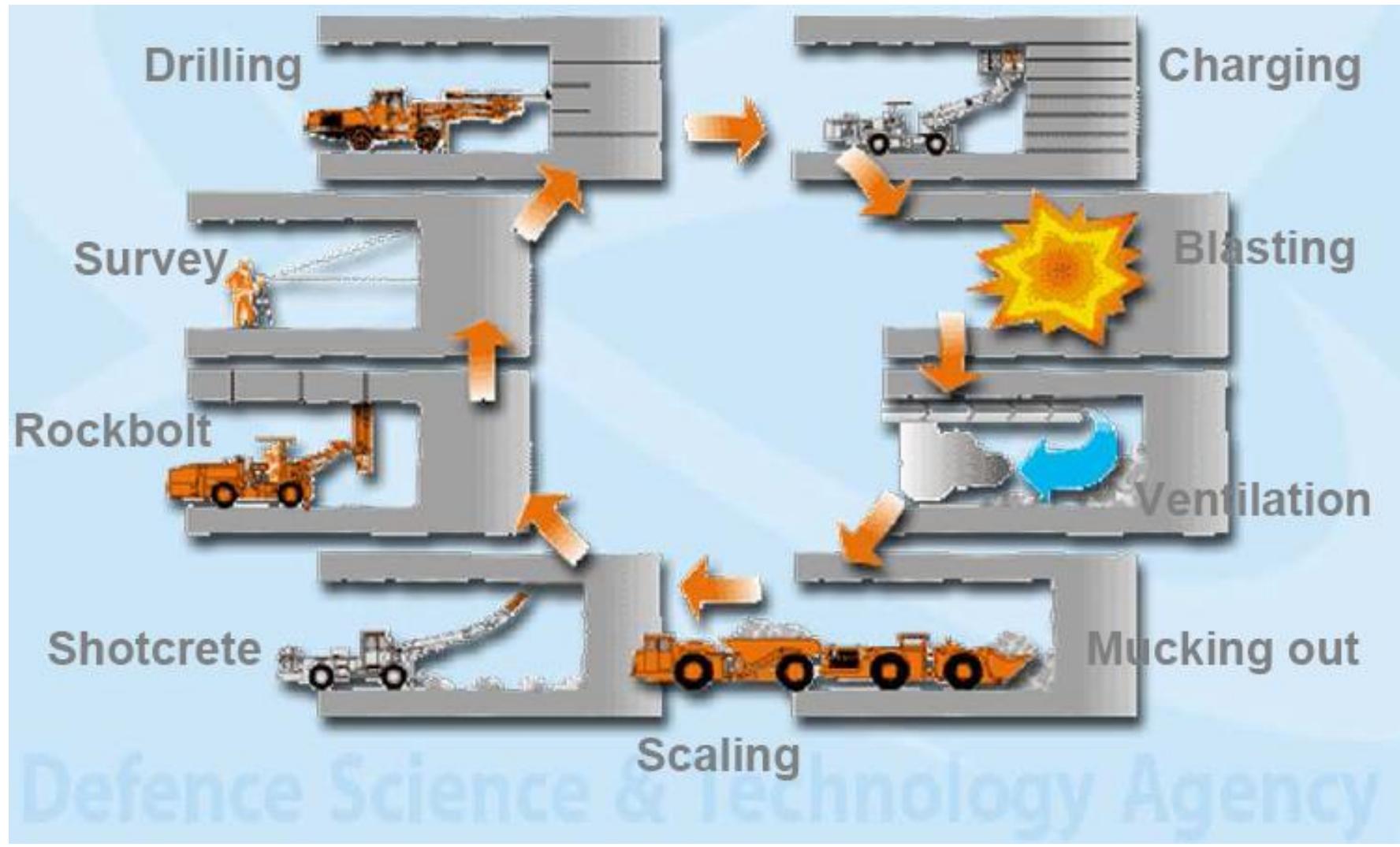
Método Secuencial

Acceso al Túnel





SISTEMAS CONSTRUCTIVOS Ciclo de Excavación con Voladura



TUNELES

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Método Secuencial

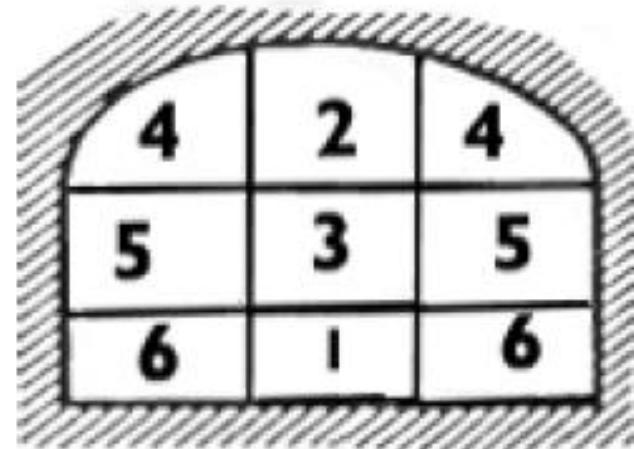
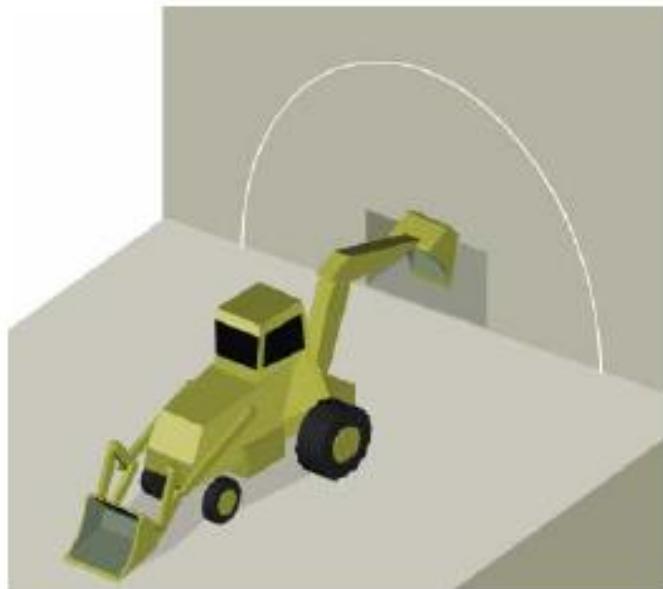
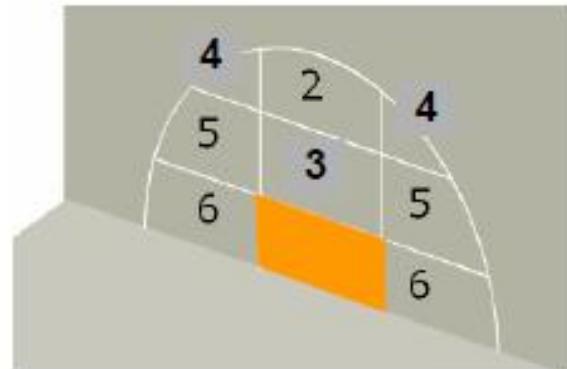


TUNELES

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Excavación a sección parcial

1º- **Abertura de una primera galería**
de avance o reconocimiento en la
solera. Se observa el terreno que se
va a atravesar.



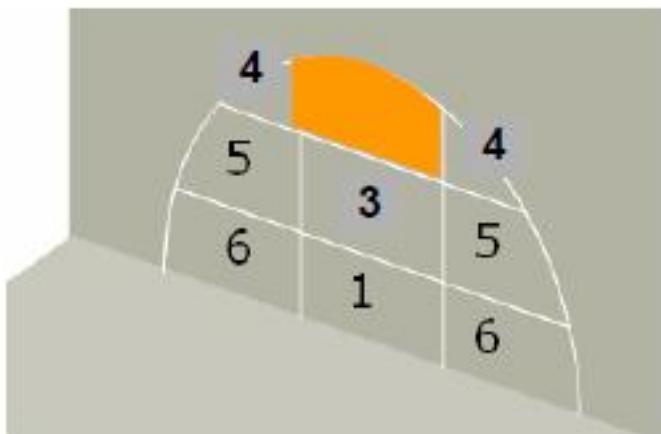
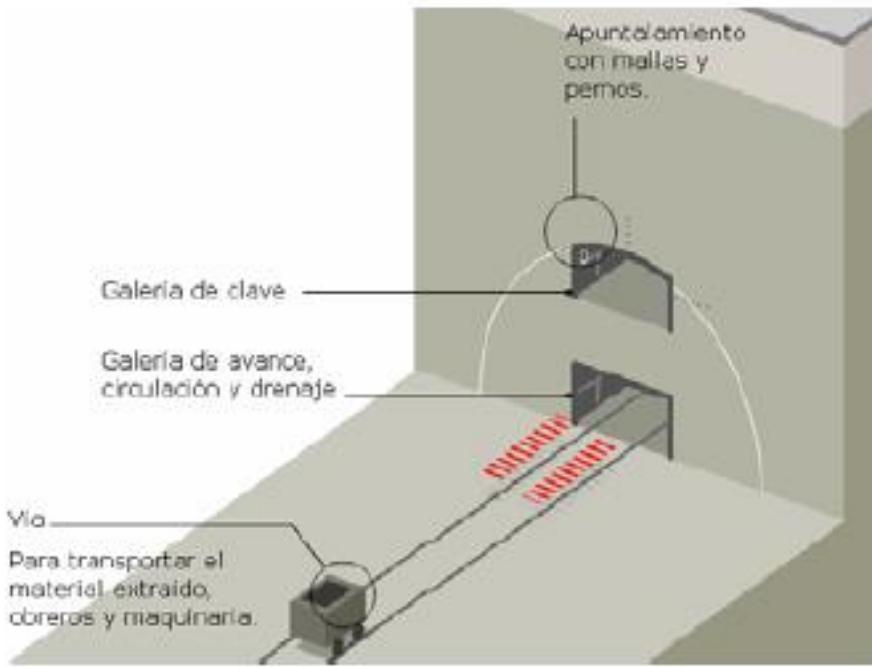
METODO AUSTRIACO

TUNELES

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Excavación a sección parcial

2º- **Abertura de una segunda galería** de avance o reconocimiento en la clave. Se completa la observación del terreno que se va a atravesar.



TUNELLES

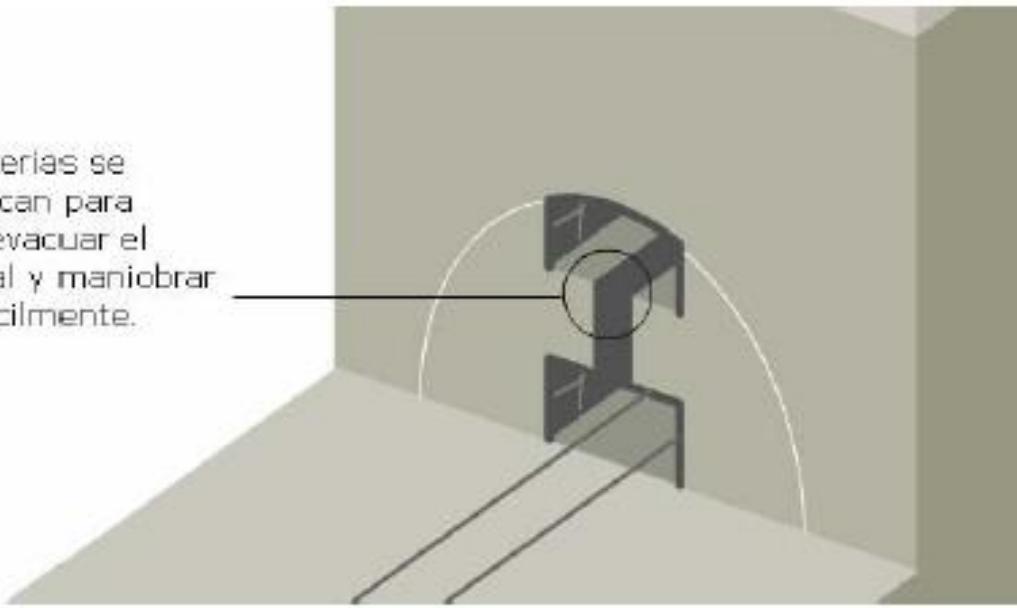
SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Excavación a sección parcial

3º- Extracción de escombros por la galería baja.

La clave se comunica con la galería baja con pozos cada 20 metros aproximadamente.

Las galerías se comunican para poder evacuar el material y maniobrar más fácilmente.



TUNELES

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Excavación a sección parcial

4º - Excavación de hastiales por bataches.

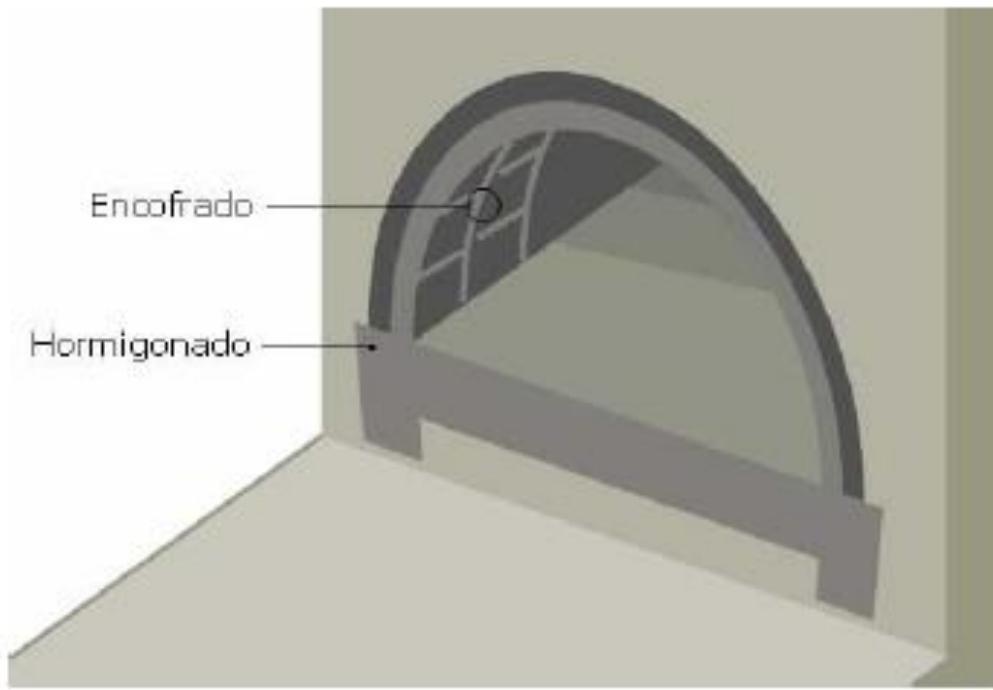


TUNELLES

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Excavación a sección parcial

5º- Colocación del revestimiento (de abajo-arriba)

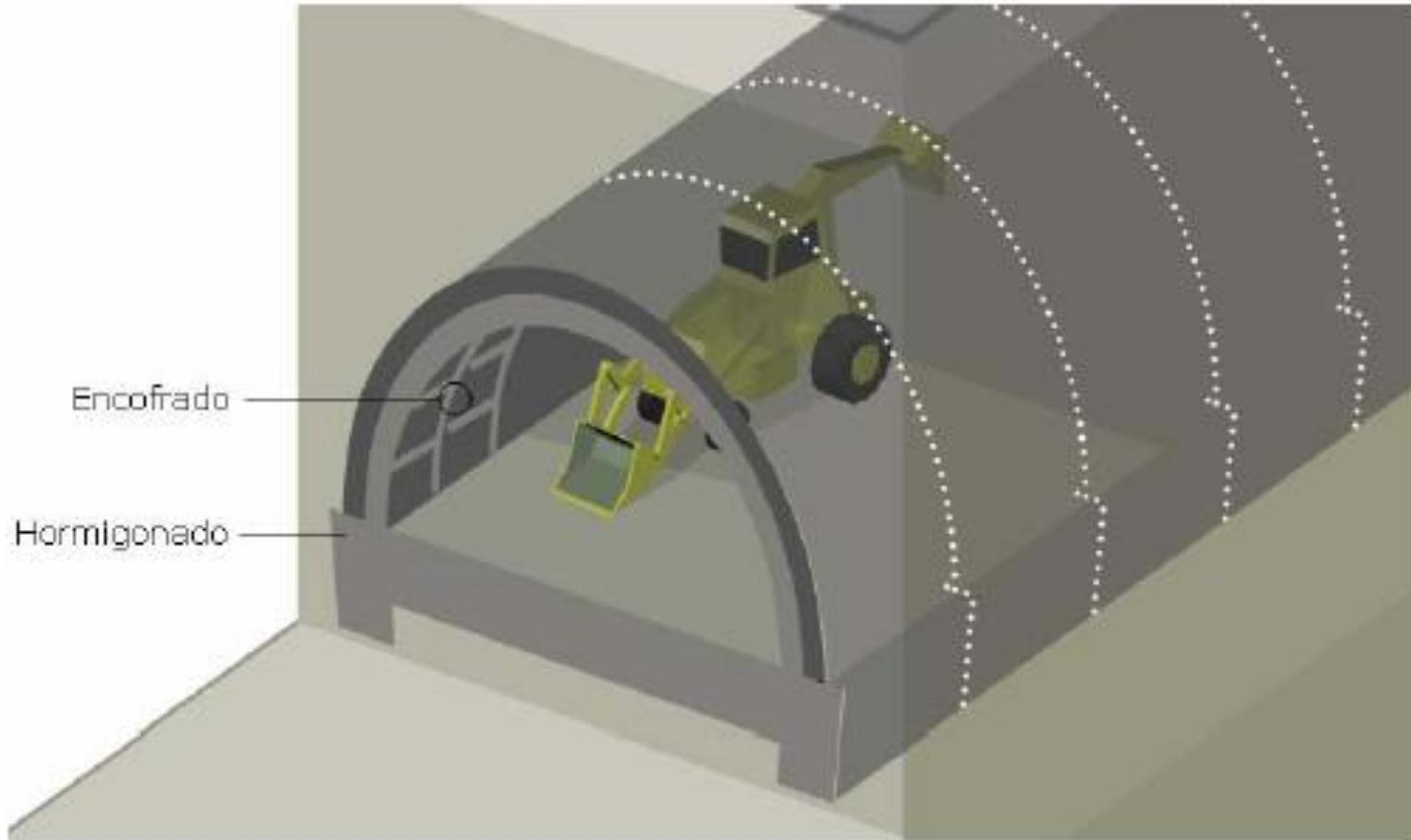


TUNELES

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Excavación a sección parcial

6º- El túnel se va completando en anillos.



TUNELES

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS



Excavación con materiales de rigidez media





TUNELES - CONSTRUCCION

PERFORACION TUNEL

TUNELADORA

TUNELES TUNELADORAS

Los topos, tuneladoras ó TBM (Tunnel Boring Machine): Excavan el túnel, retiran el escombro y aplican el revestimiento

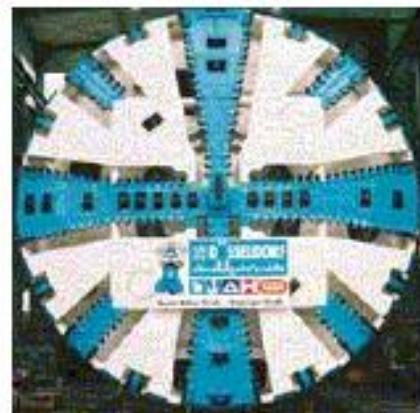
Si se elige la tuneladora apropiada, la geología

Para cada tipo de terreno hay un tipo de tuneladora ideal

Se han diseñado tuneladoras como los dobles escudos que permiten trabajar satisfactoriamente en casi todo tipo de terrenos.



Escudo EPB



Rueda de corte de un mixshield



TOPO

TUNELES TUNELADORAS



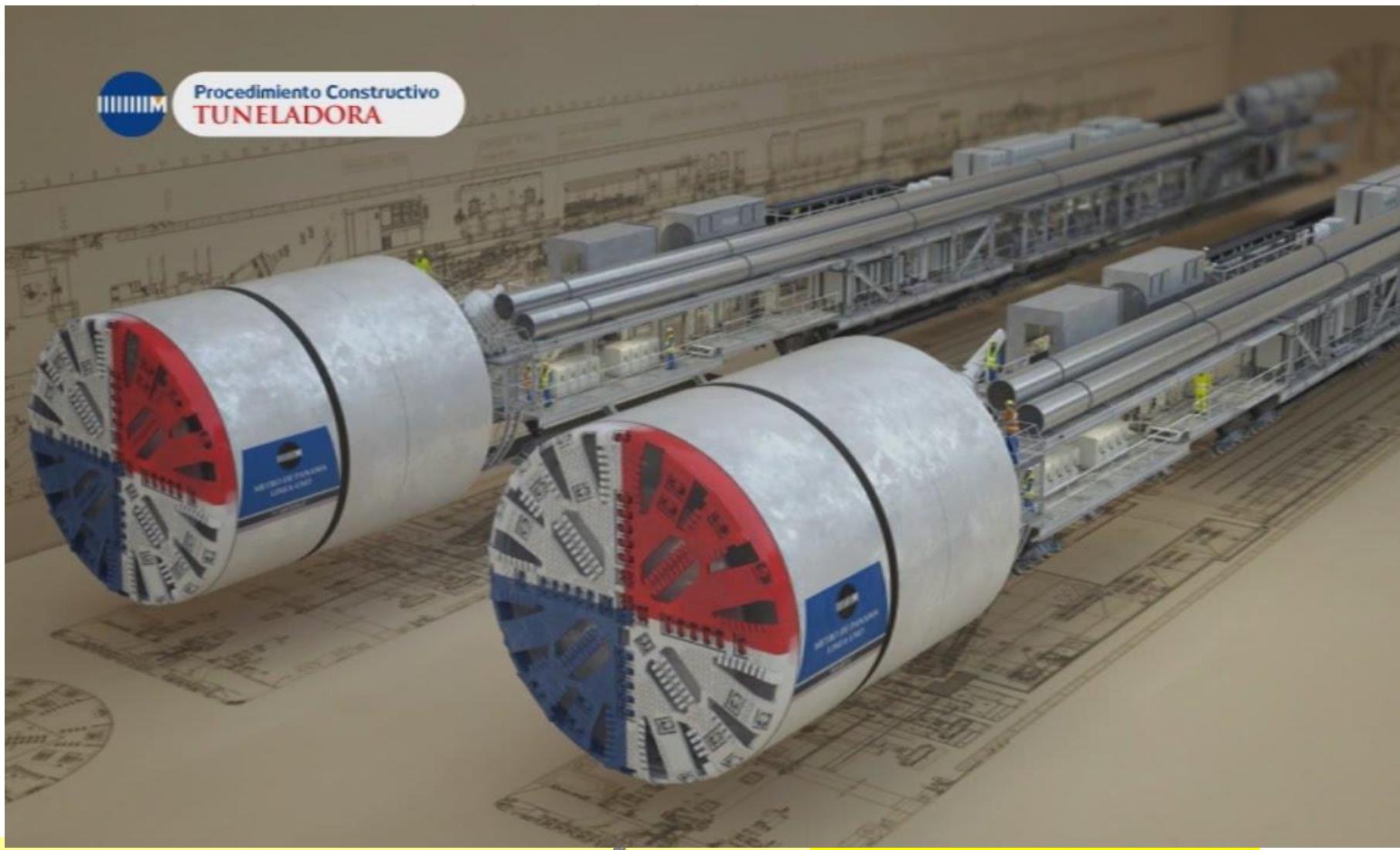
Los topos, tuneladoras ó TBM (Tunnel Boring Machine): Excavan el túnel, retiran el escombro y aplican el revestimiento





TUNELES TUNELADORAS

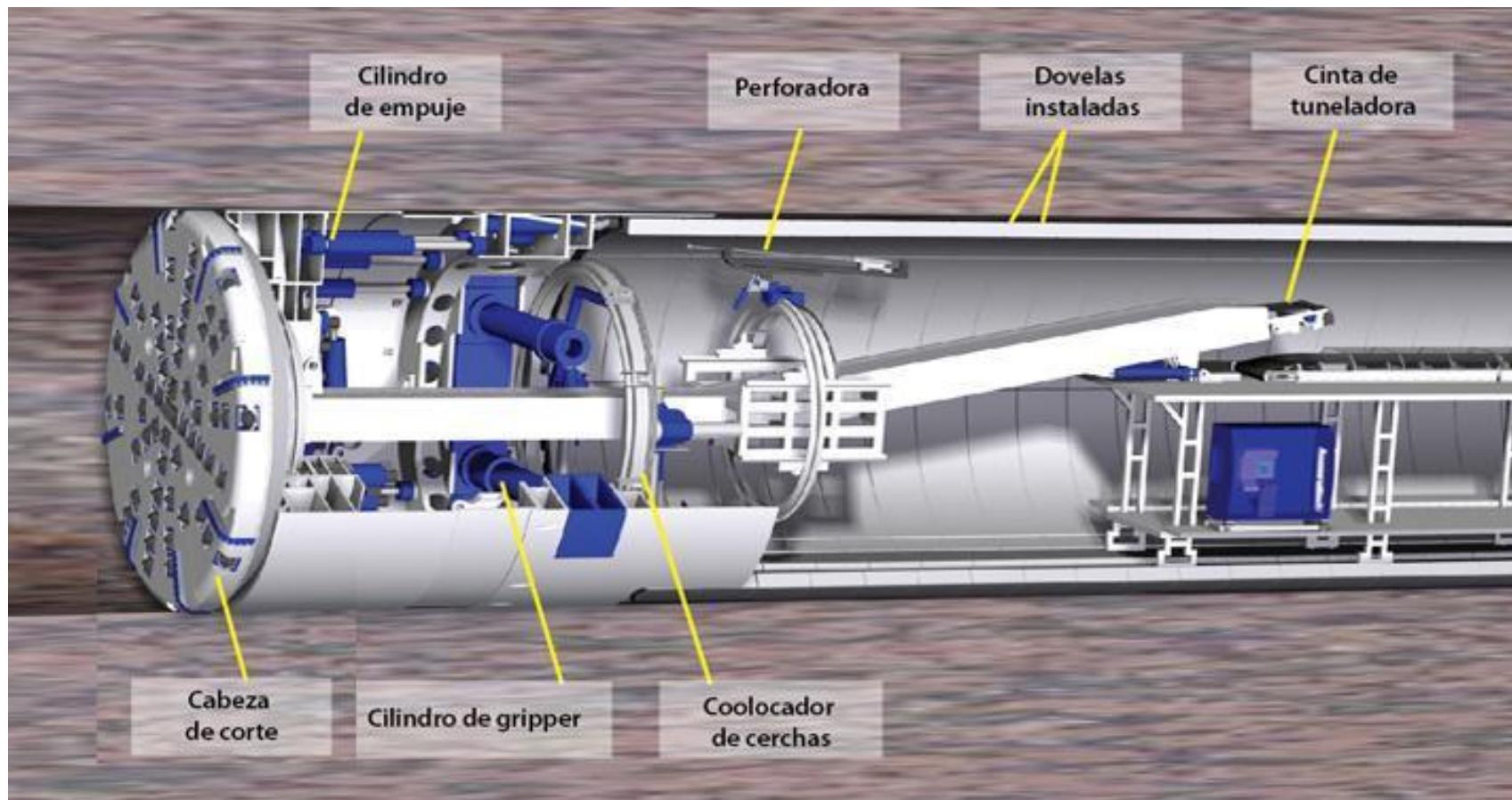
Los topos, tuneladoras ó TBM (Tunnel Boring Machine): Excavan el túnel, retiran el



TUNELES TUNELADORAS



Los topos, tuneladoras ó TBM (Tunnel Boring Machine): Excavan el túnel, retiran el escombro y aplican el revestimiento





TUNELES TUNELADORAS

Los topos, tuneladoras ó TBM (Tunnel Boring Machine): Excavan el túnel, retiran el escombro y aplican el revestimiento



MAQUETA: TBM

ESCALA: 1: 33

maquetasquevedo@yahoo.com

CARACAS- REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

TUNELES TUNELADORAS



Los topos, tuneladoras ó TBM (Tunnel Boring Machine): Excavan el túnel, retiran el escombro y aplican el revestimiento





Selección de Equipo

