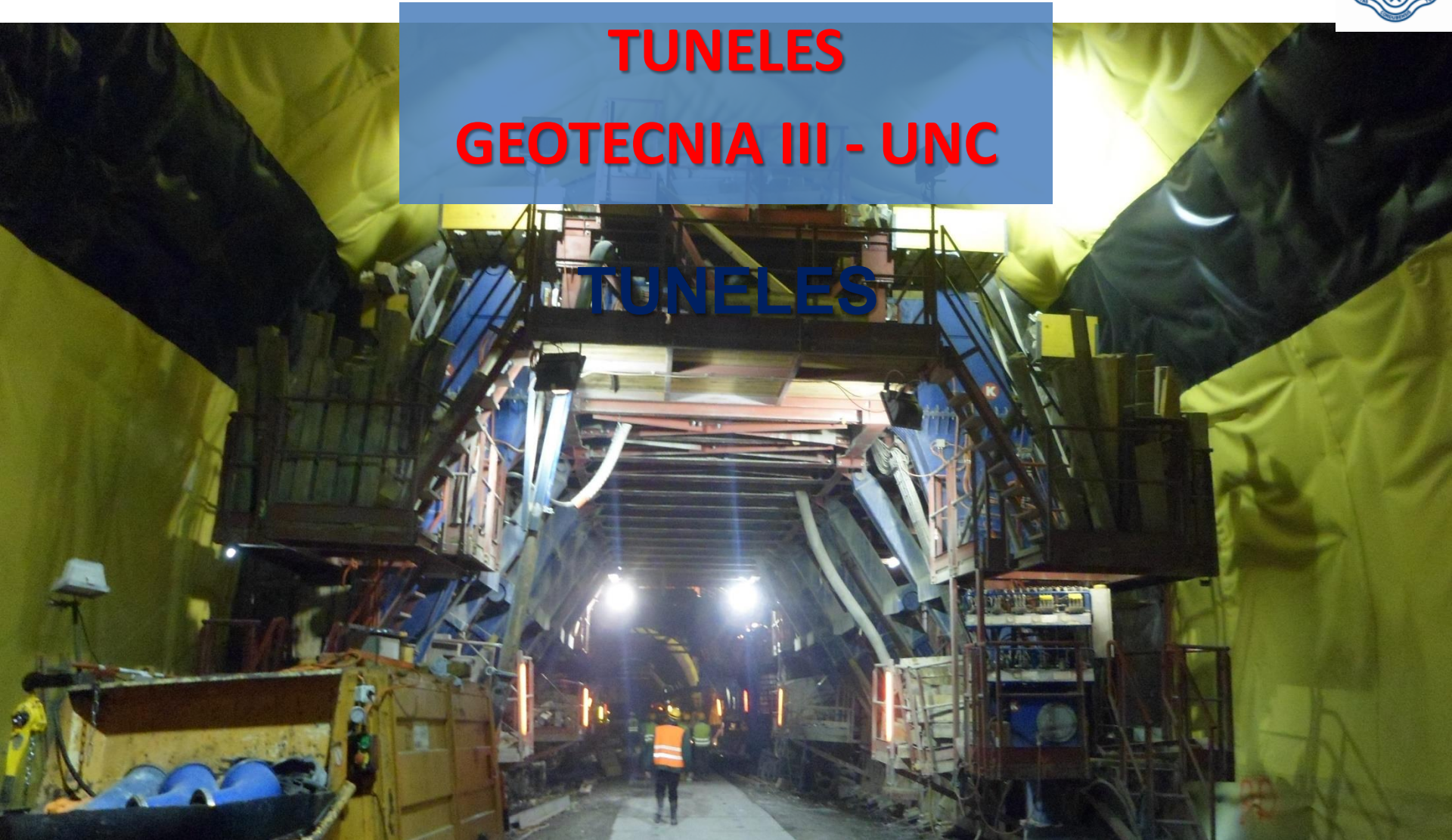


TUNELES

GEOTECNIA III - UNC

TUNELES



Marcelo Zeballos, Roberto Terzariol, Ricardo Rocca



TUNELES

- **Definiciones.**

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

- **Diseño.**

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

- **Métodos Constructivos.**

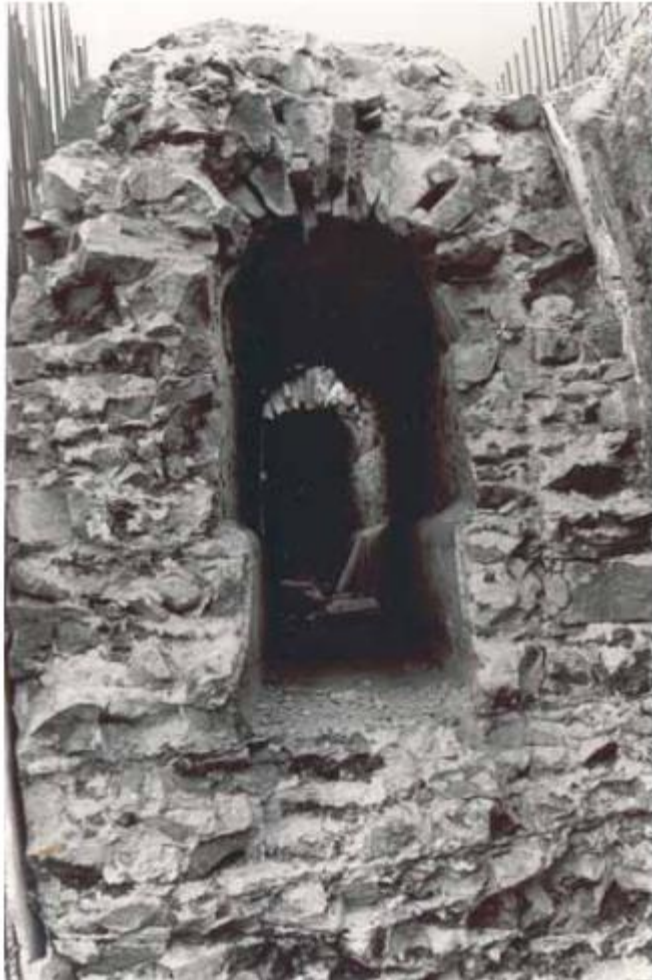
- Método Construcción Secuencial.
- Método Construcción con Tuneleras.

- **Referencias Bibliográficas.**

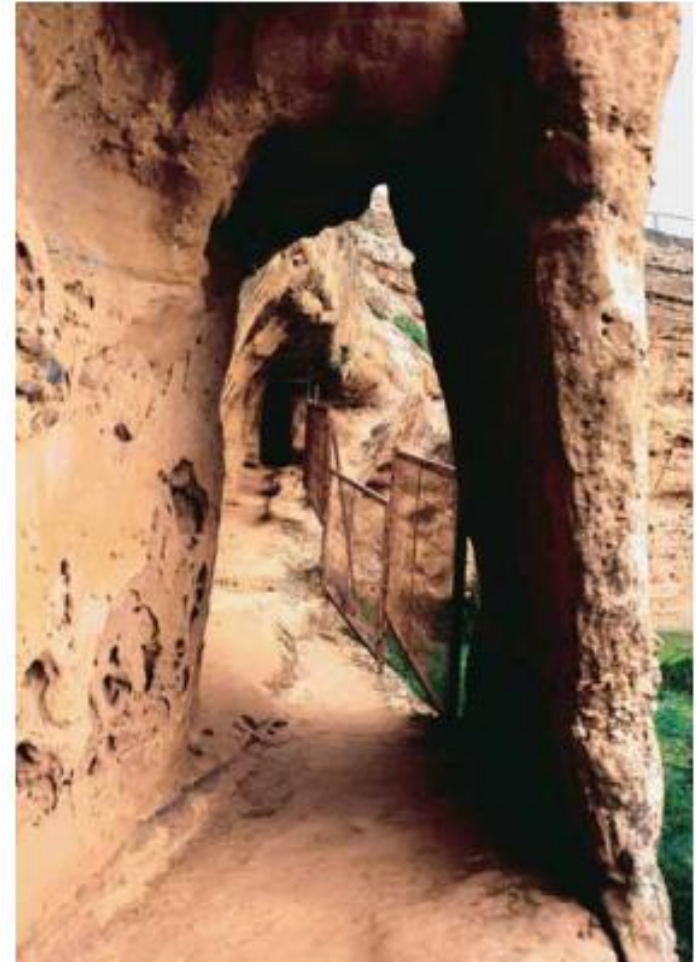
- Apuntes Curso Geotecnia III. Capítulo Túneles y Conductos.
- Complementario: Manual de Túneles Carreteros. Méjico. Inrternet

TUNELES

ANTECEDENTES



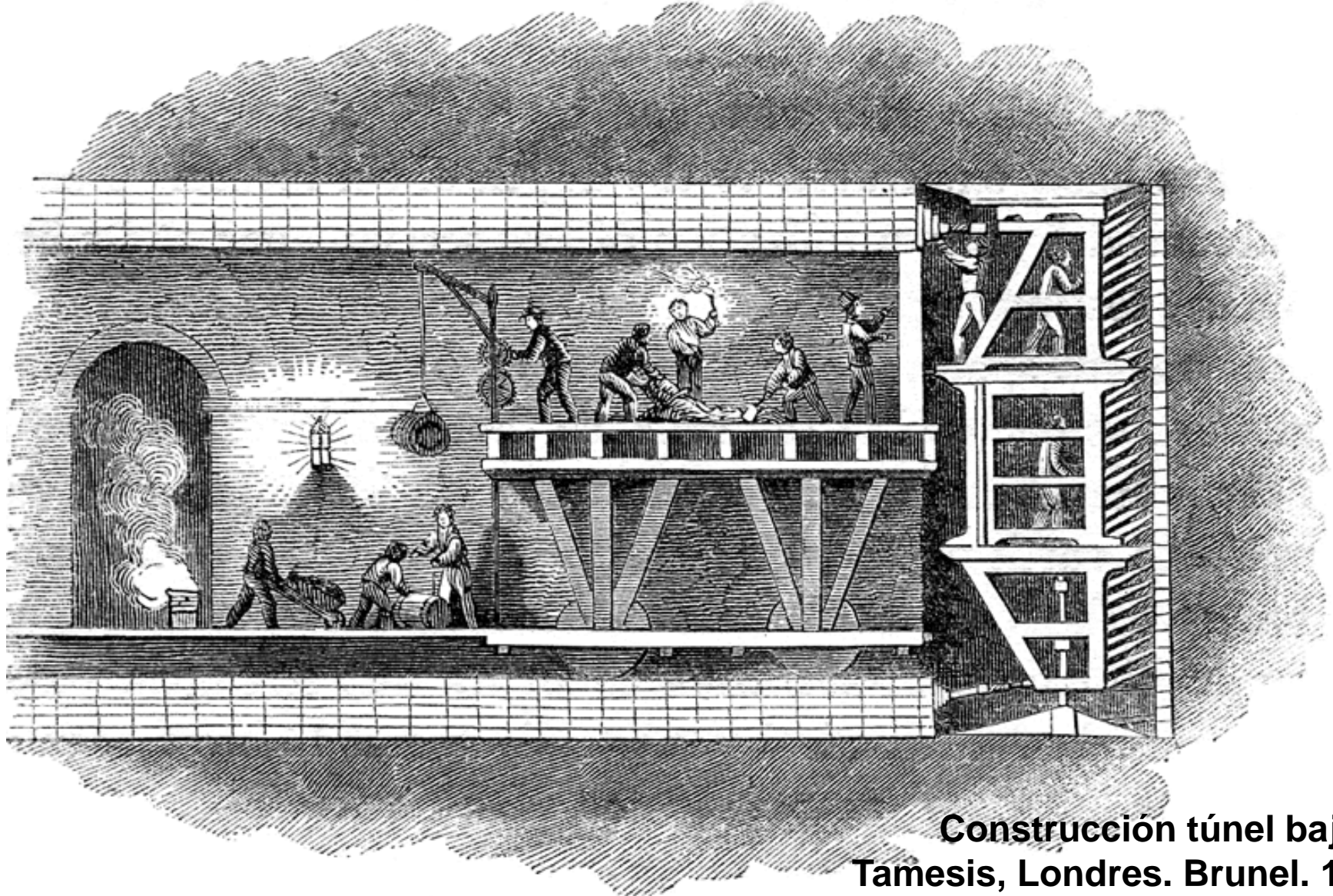
Acueducto Romano para trasvase de cuenca, Presa de Cornalvo, España



Galería Romana, Tiermes, Soria, España

TUNELES

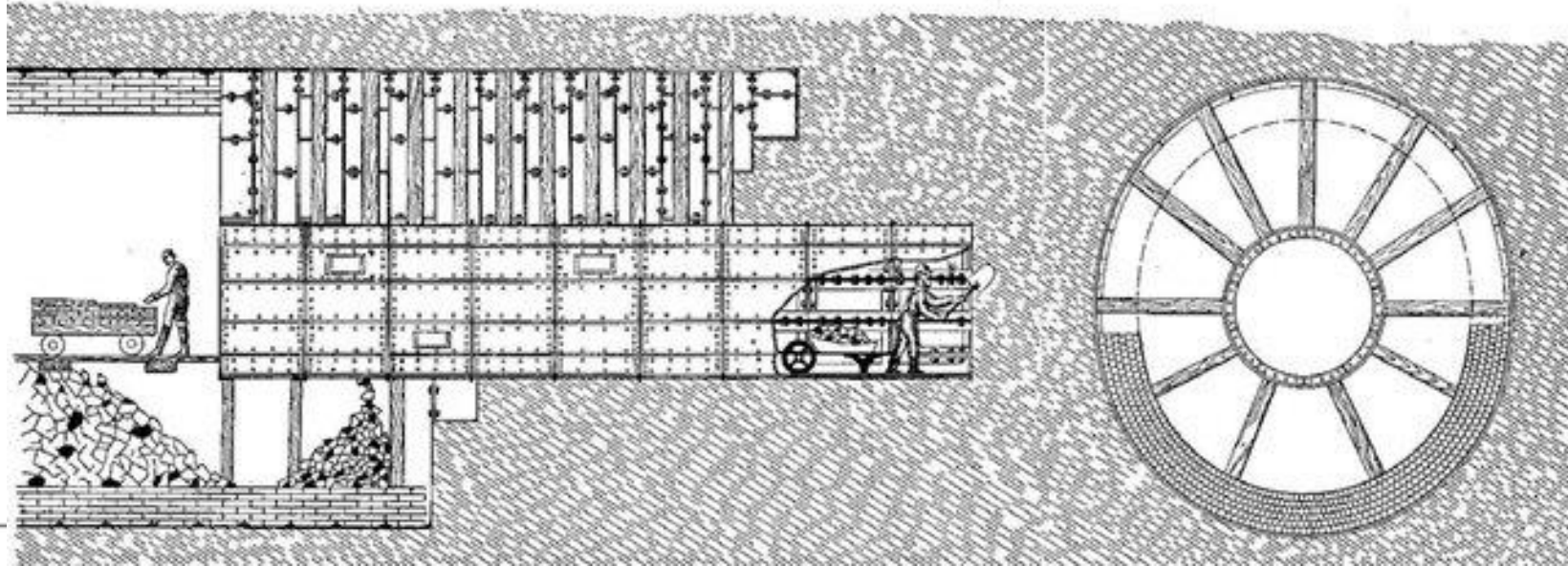
ANTECEDENTES



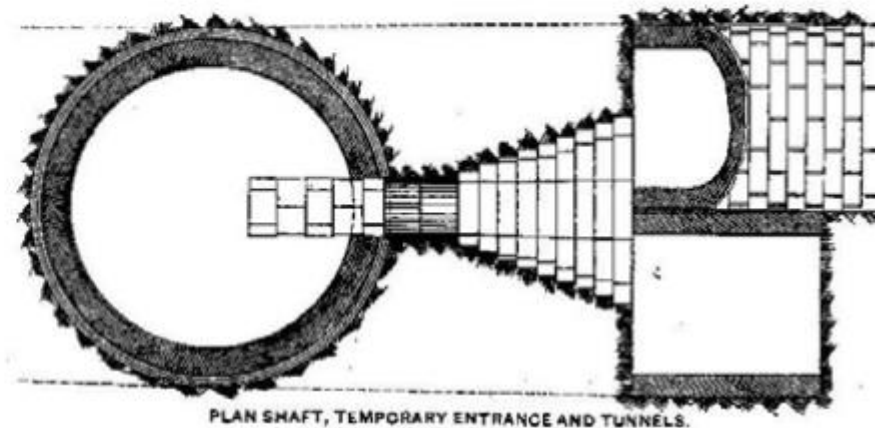
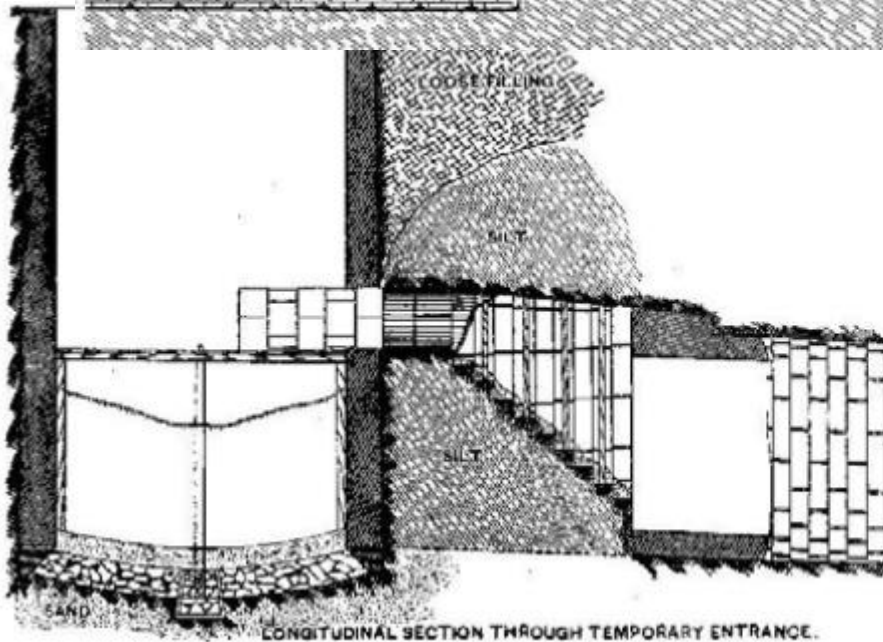
Construcción túnel bajo el
Tamesis, Londres. Brunel. 1869

TUNELES

ANTECEDENTES

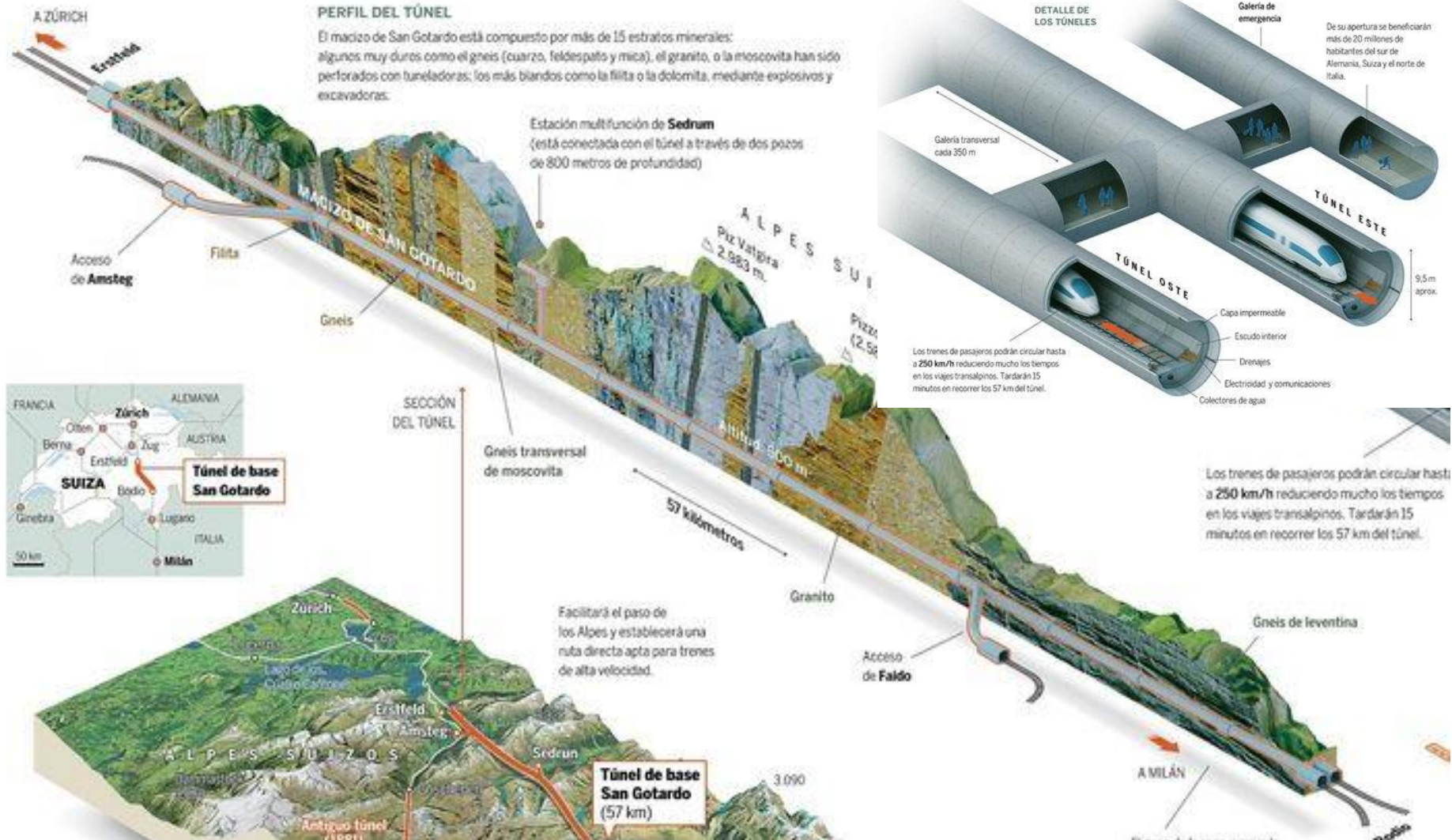


**Túnel ferroviario bajo el río
Hudson, New York, Burr, 1885**



EL TÚNEL DE SAN GOTARDO

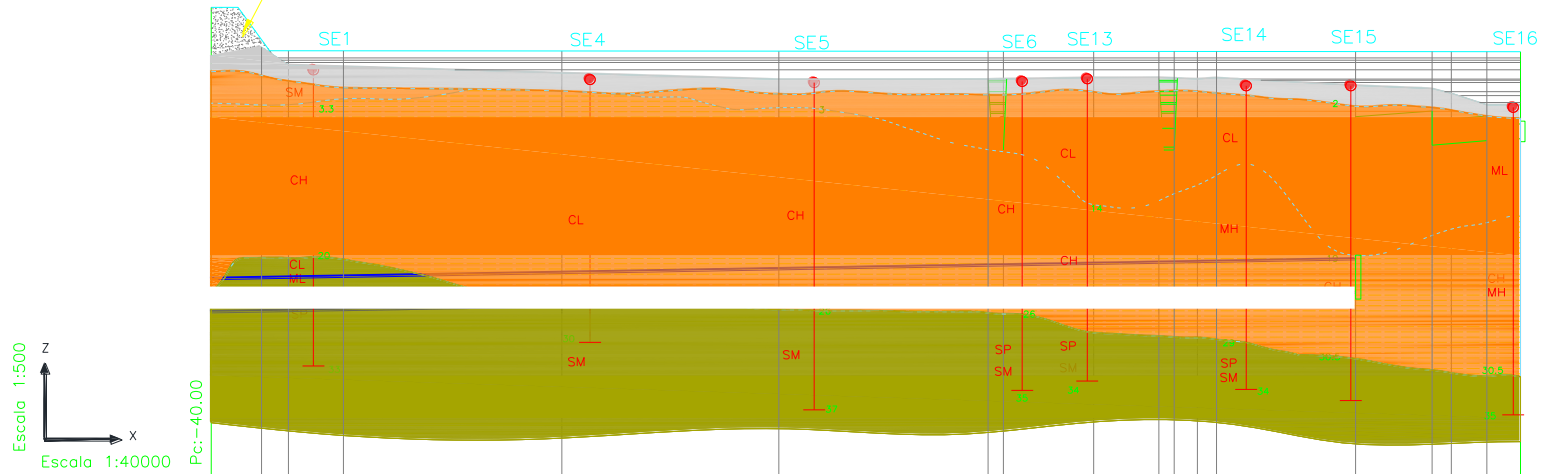
El pasado 15 de octubre concluyó la perforación del túnel más largo del mundo. Se trata del túnel ferroviario de alta velocidad que atraviesa el macizo de San Gotardo, en los Alpes Suizos, y que permitirá una ruta directa entre las ciudades de Zúrich y Milán reduciendo el tiempo actual de viaje de cuatro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



ANTECEDENTES



Emisario Río de la Plata, Sistema Riachuelo. Lote 3



Plano de comparación (m)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
COTA DE TERRENO NATURAL	11.40	12.39	10.40	10.10	9.50	8.80	8.80	0.63	9.00	9.00	9.00	0.37	8.80	9.00	8.15	7.78	5.80	5.80		
COTA INTRADOS	-14.00	-13.90	-13.84	-13.73	-13.30	-12.86	-12.44	-12.41	-12.23	-12.10	-12.06	-12.02	-11.98	-11.70	-11.42	0.29	0.74	1.02		
PROFUNDIDAD DE ZANJA	25.20	30.09	28.05	27.63	26.60	25.46	25.04	16.84	25.03	24.90	16.23	24.62	24.78	23.65	10.42	10.36	7.93	7.60		
DISTANCIA	460.00	246.00	504.00	1999.00	1985.00	1915.00	966.00	597.00	353.00	1448.00	700.00	500.00	309.00							
DISTANCIAS ACUMULADAS	0.00	460.00	706.00	1210.00	3209.00	5194.00	7109.00	7450.00	8075.00	8672.00	8812.00	9025.00	9200.00	10473.00	11173.00	11287.00	11673.00	11982.00		

TUNELES

ANTECEDENTES



CUT AND COVER – Metro de Londres - 1861

TUNELES

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

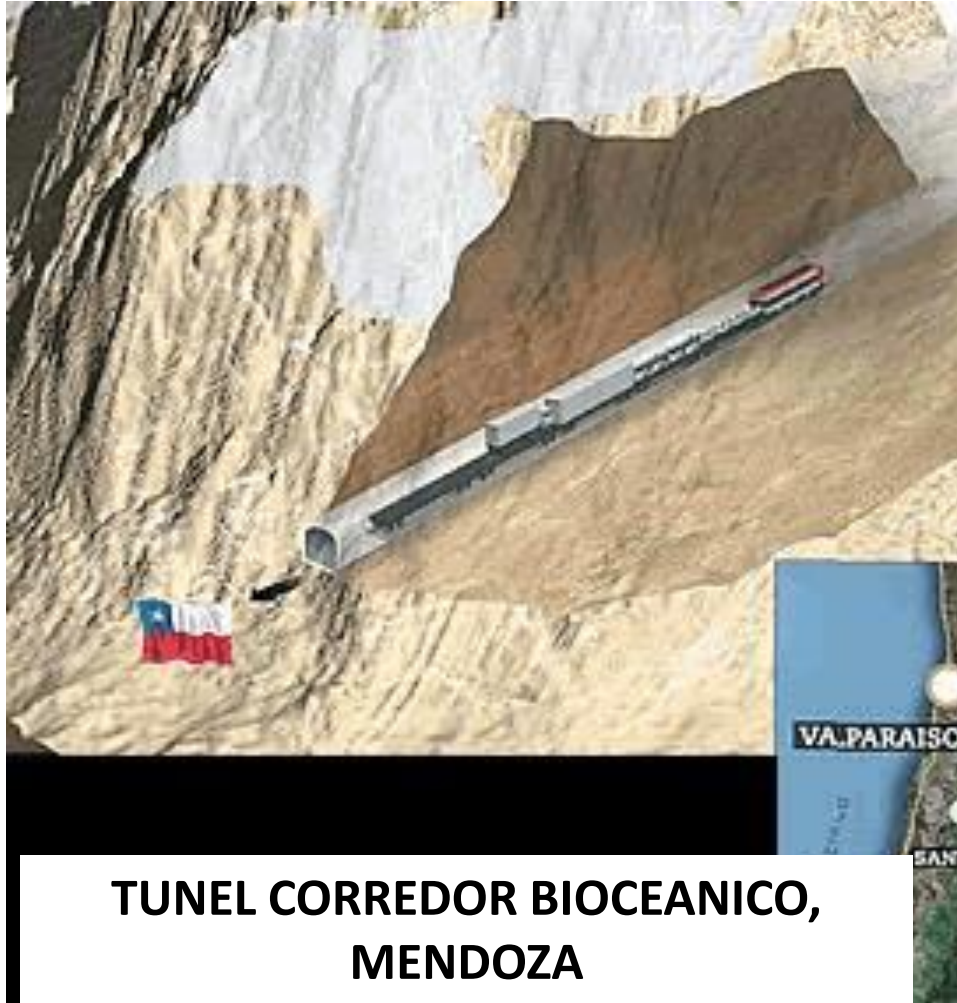


HIPERLOOP

TUNELES



DESAFIOS



**TUNEL CORREDOR BIOCEANICO,
MENDOZA**

**TUNEL INTERNACION AGUA NEGRA,
SAN JUAN**



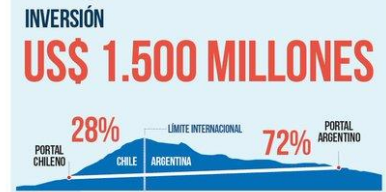
@gorecoquimbo
f t i g y

www.gorecoquimbo.gob.cl

EL TÚNEL AGUA NEGRA EN CIFRAS



LONGITUD 14 KMS.



TRÁNSITO DIARIO
2.200 VEHICULOS

TRANSPORTE DE CARGA **70%**

21 MILLONES
CONSUMIDORES POTENCIALES
DEL CORREDOR BIOCEÁNICO





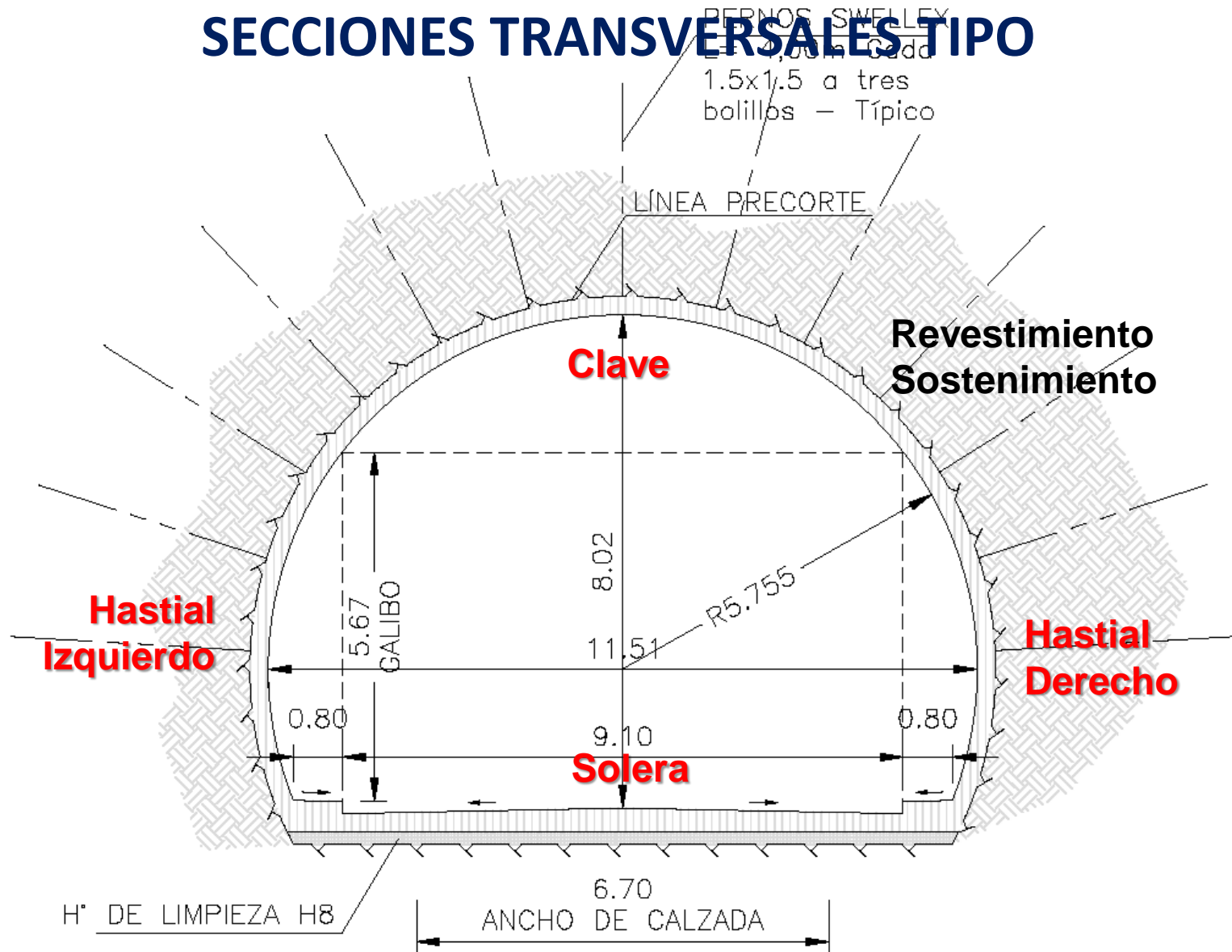
TUNELES - DEFINICIONES

ASPECTOS GENERALES



ASPECTOS GENERALES

SECCIONES TRANSVERSALES TIPO





CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

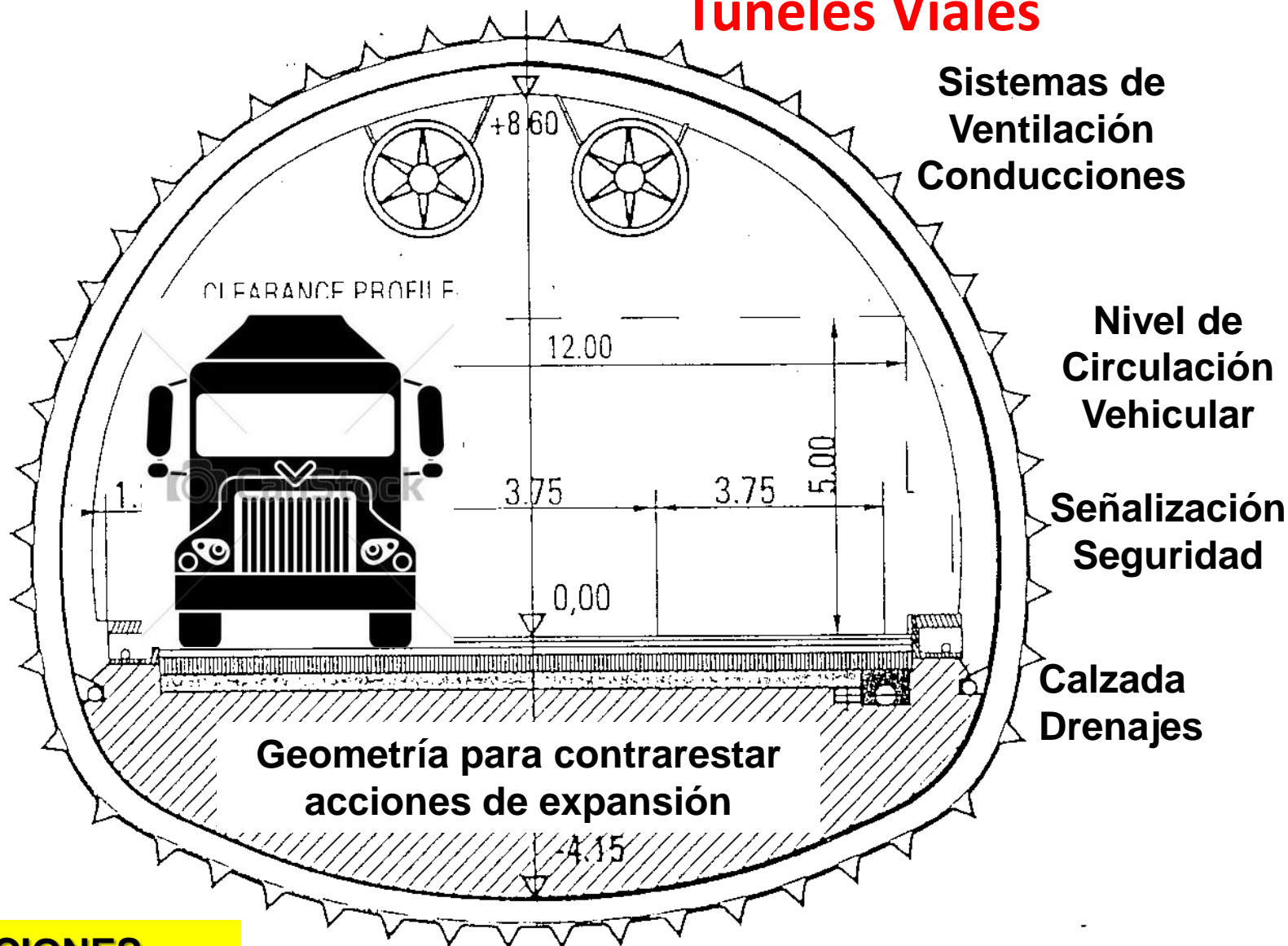
FACTORES DE CLASIFICACIÓN:

- 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



ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

Túneles Viales



ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

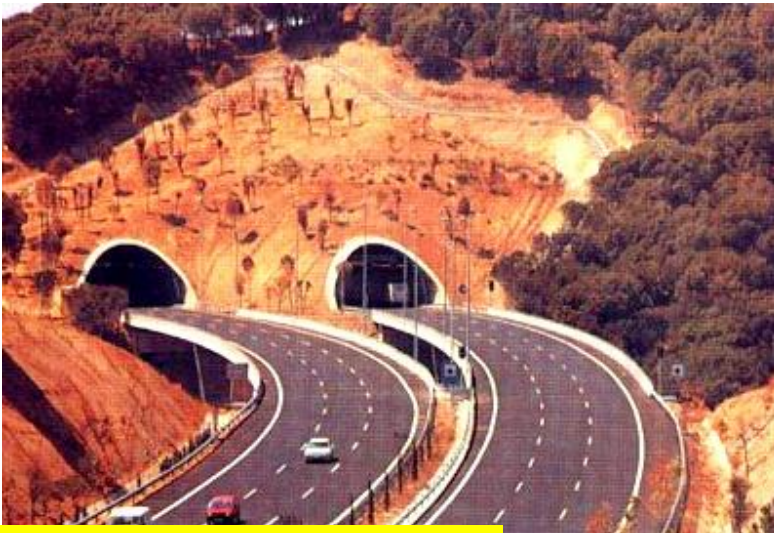
Túneles Viales



ASPECTOS GENERALES

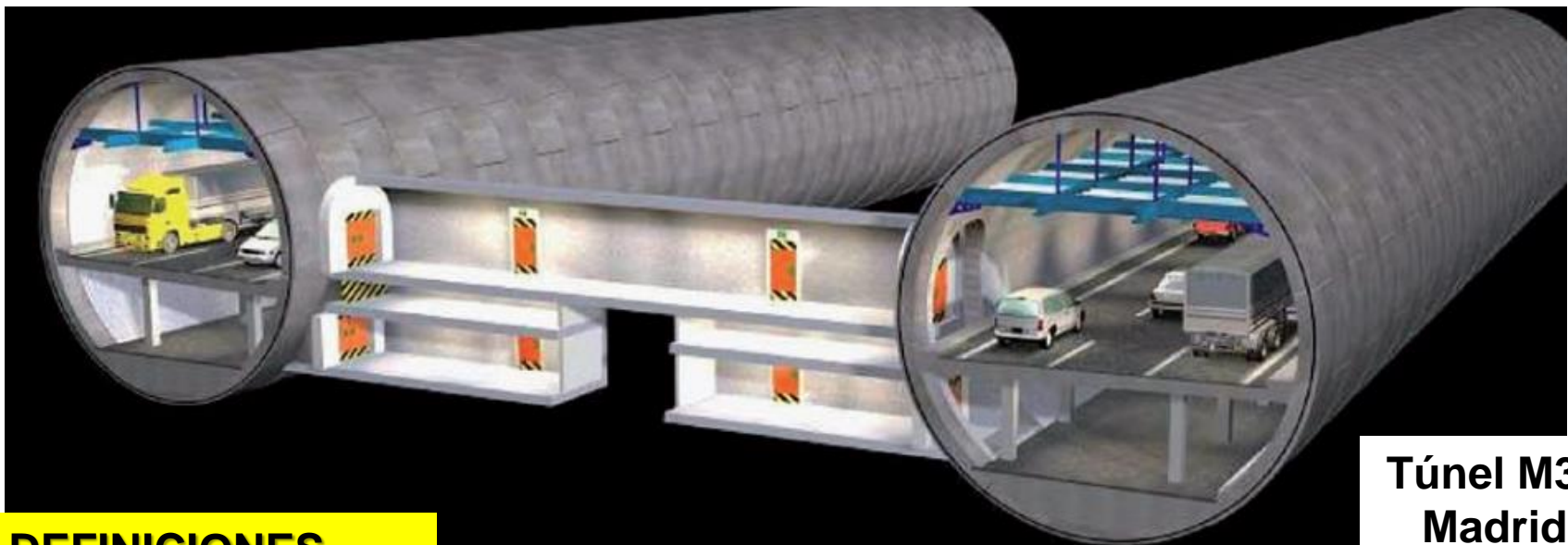
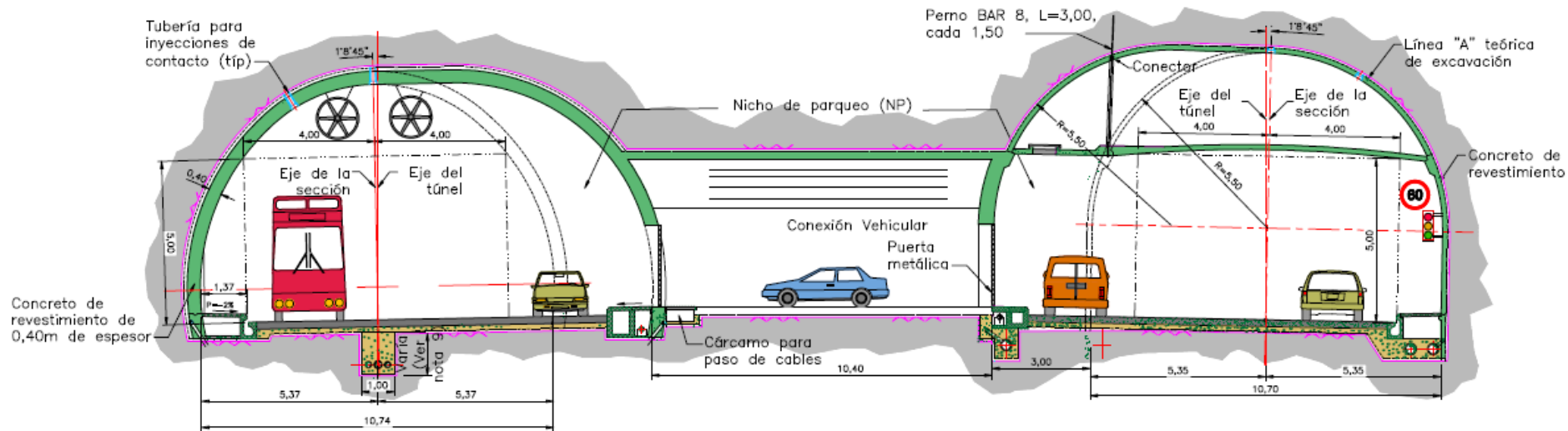
CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

Túneles Viales



DEFINICIONES

GEOTECNIA III - UNC
TUNELES - 2019



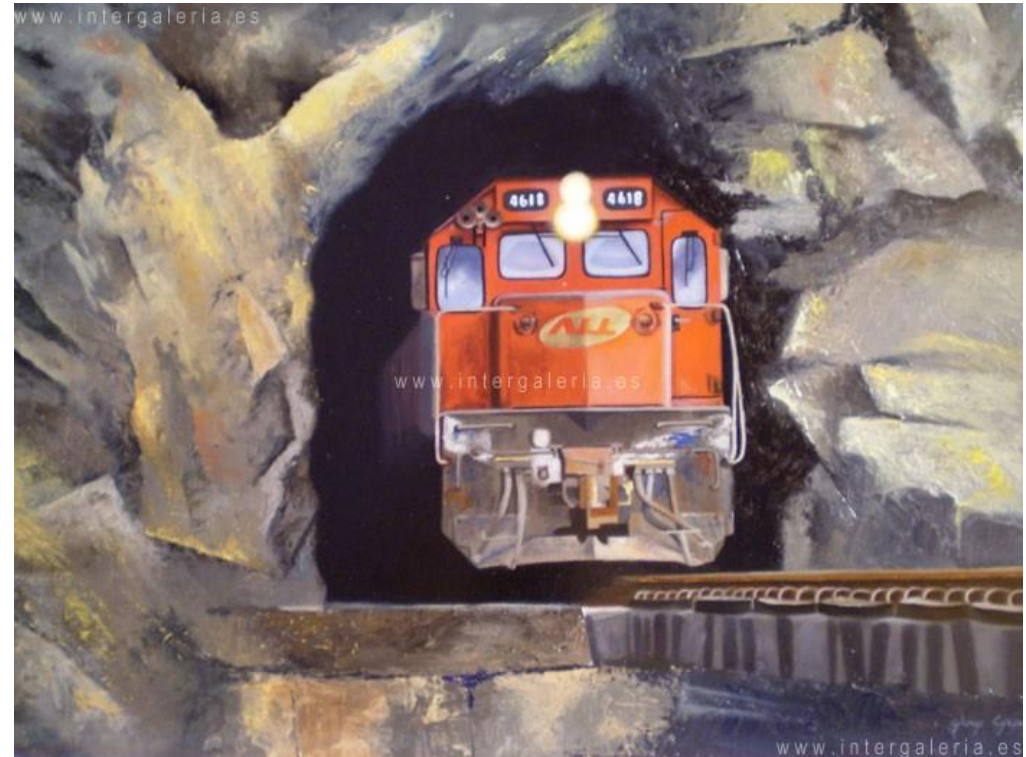
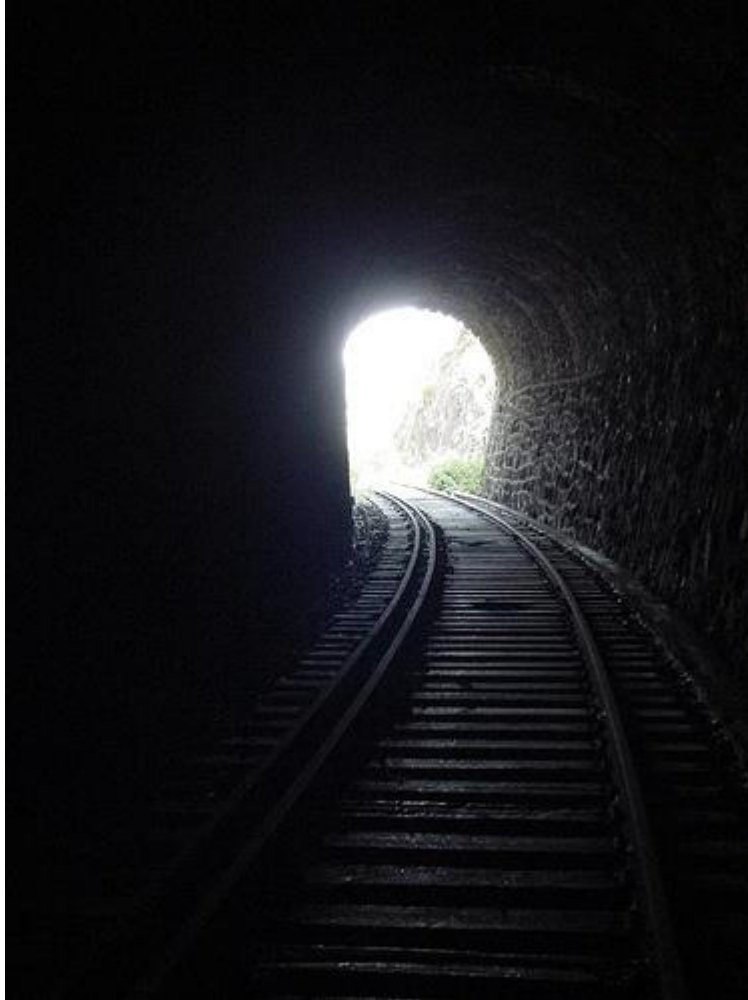
Túnel M30 Madrid

DEFINICIONES

ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

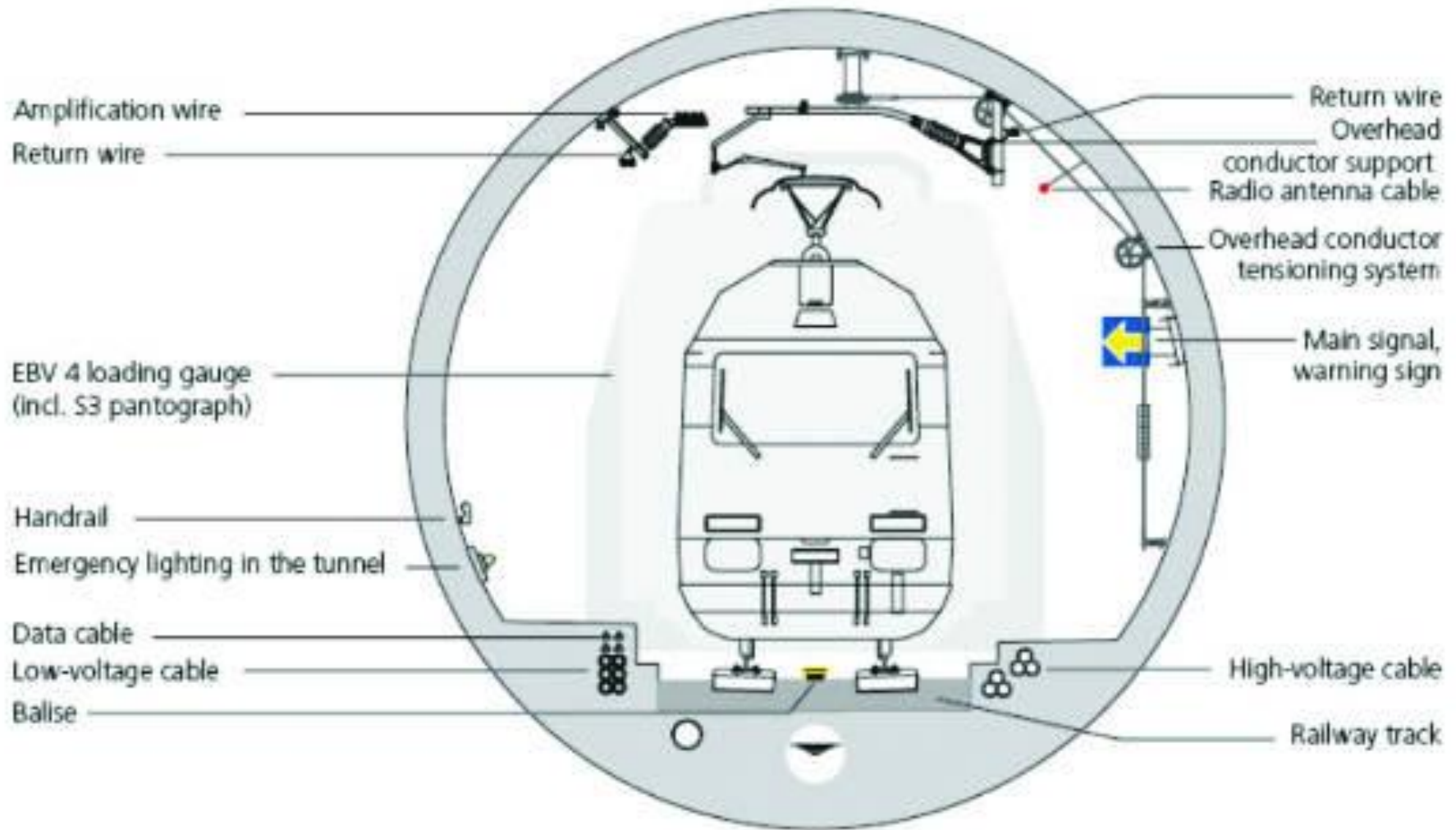
Túneles Ferroviarios



ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

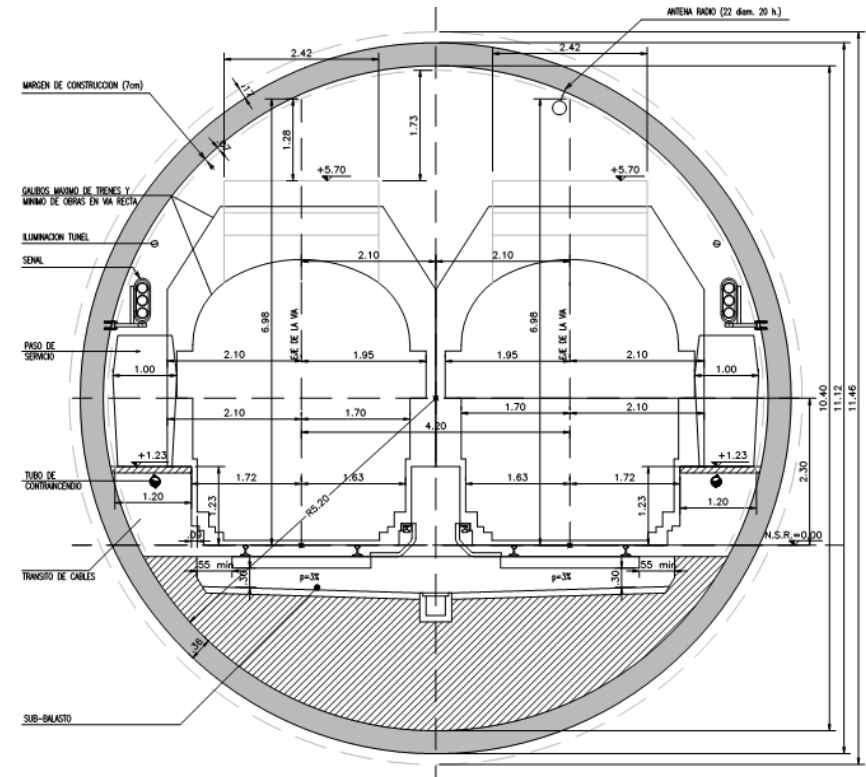
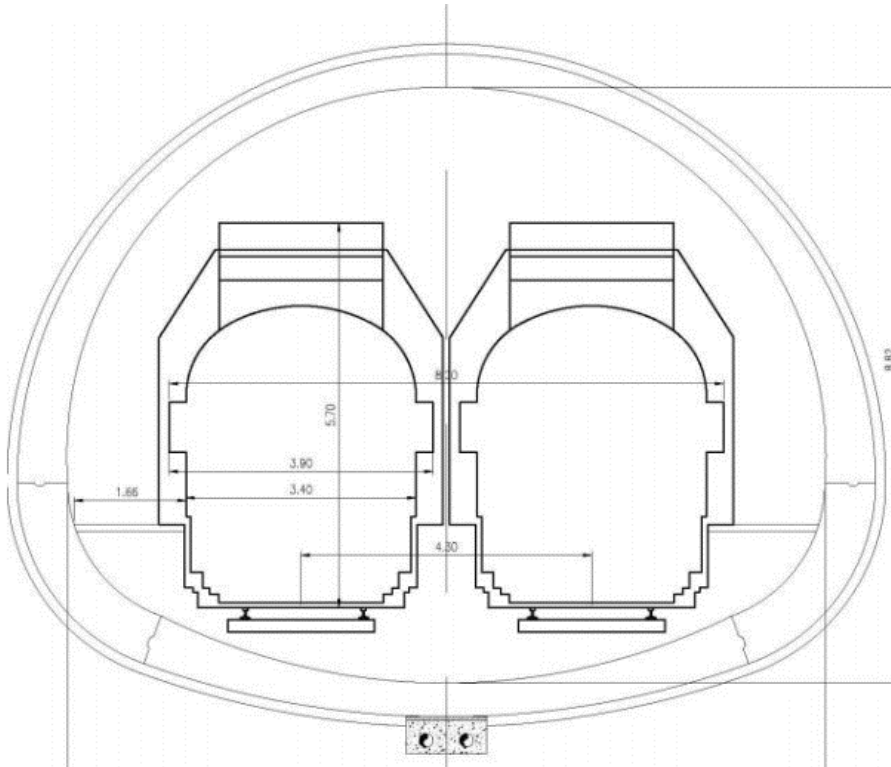
Túneles Ferroviarios



ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

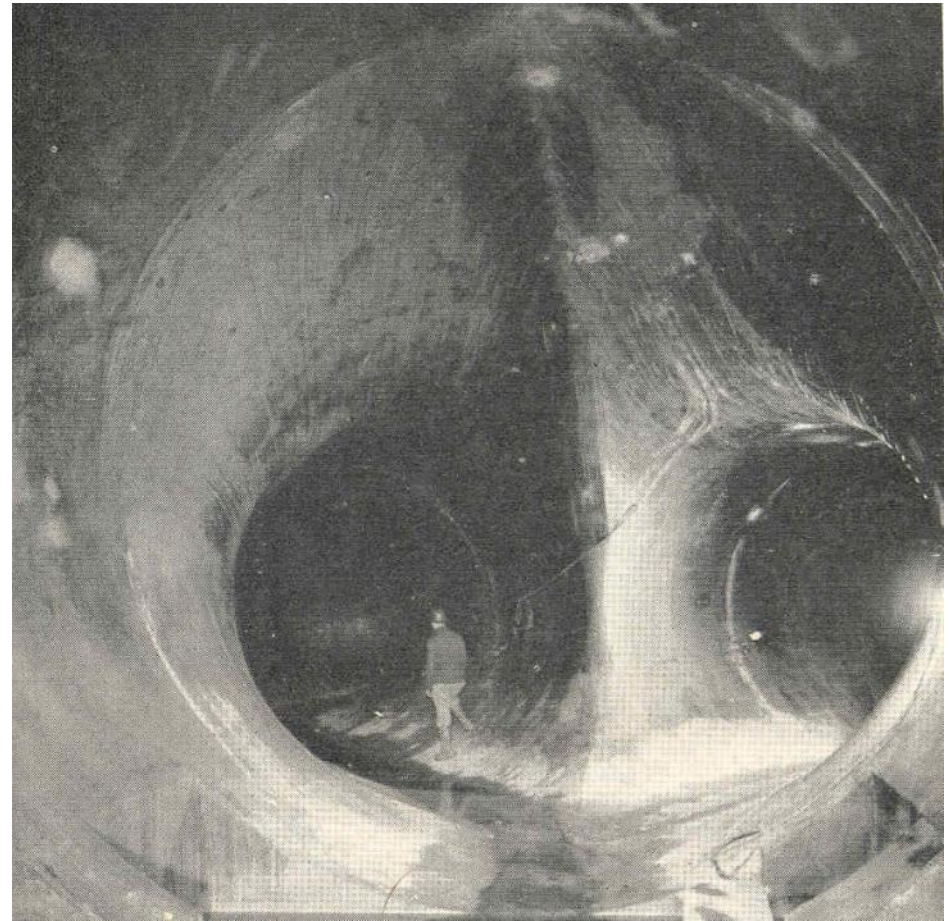
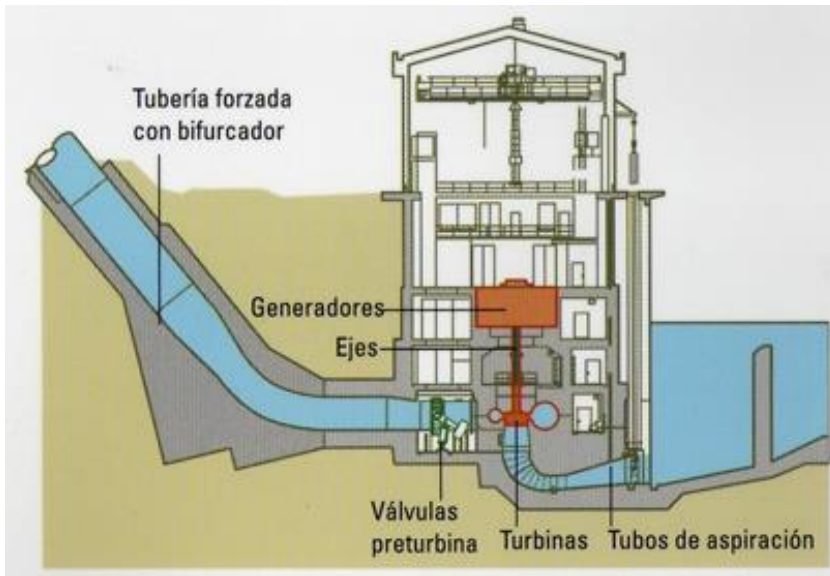
Túneles Ferroviarios



ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

Túneles Hidráulicos



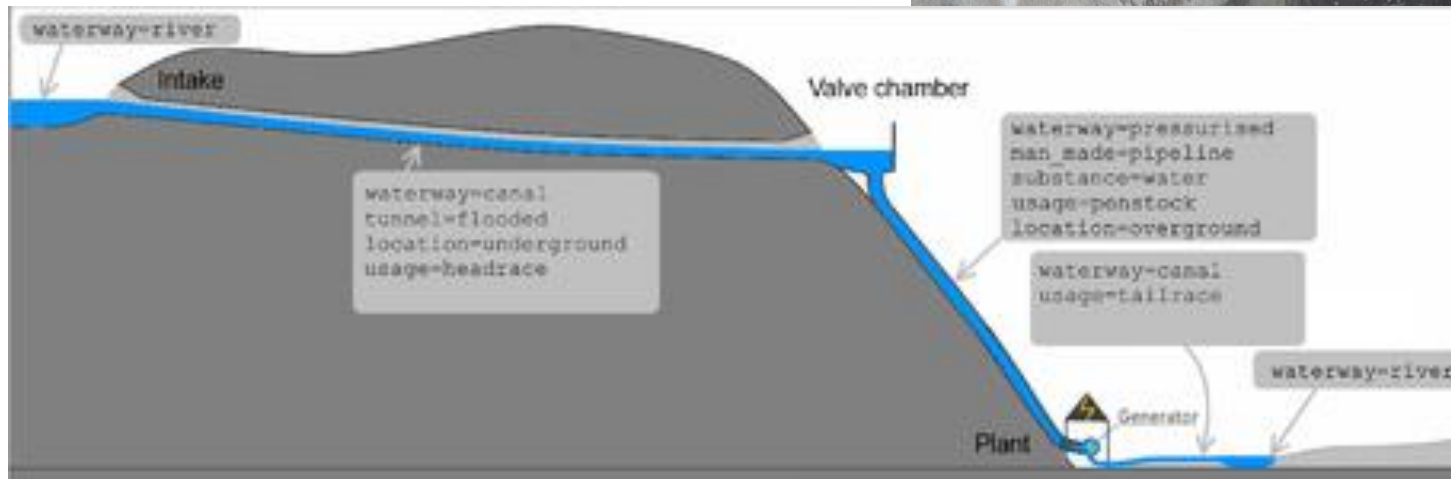
Túneles Hidráulicos

Galerías Forzada

ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

Túneles Hidráulicos



DEFINICIONES

Túneles de aducción

ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

Túneles Hidráulicos

Drenantes



ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES



Colección particular
Concepción Cantero García-Arenal

Túneles Mineros



DEFINICIONES

ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES



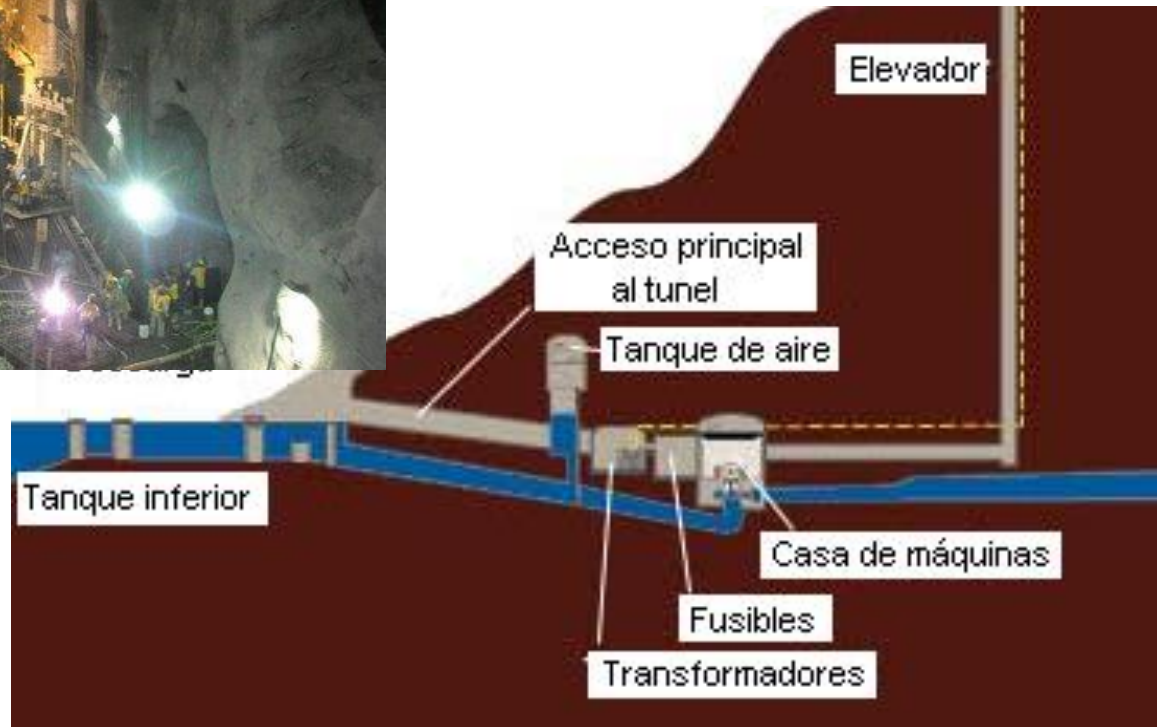
SEGÚN FINALIDAD o USO ...

- **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

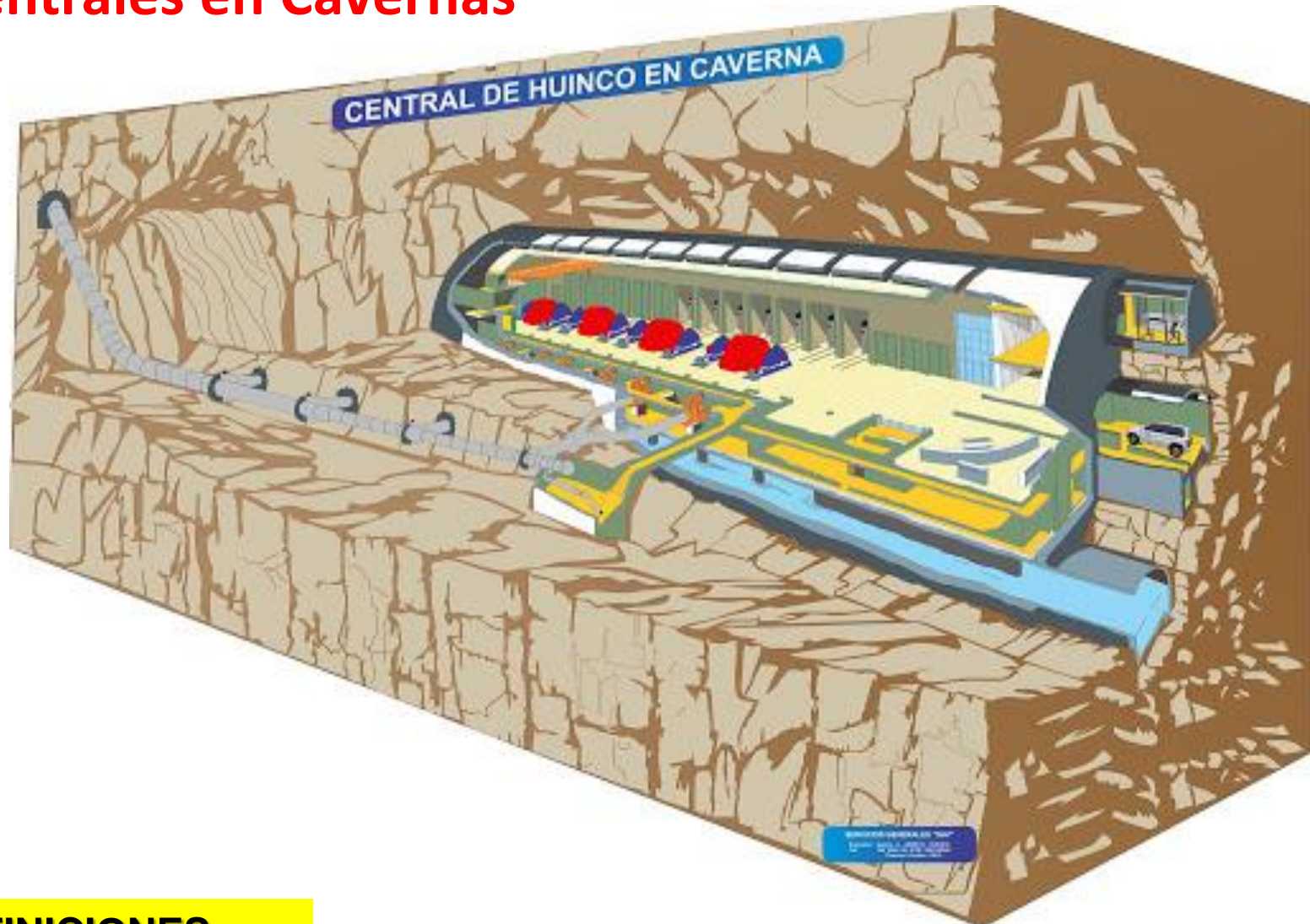
Centrales en Cavernas



ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

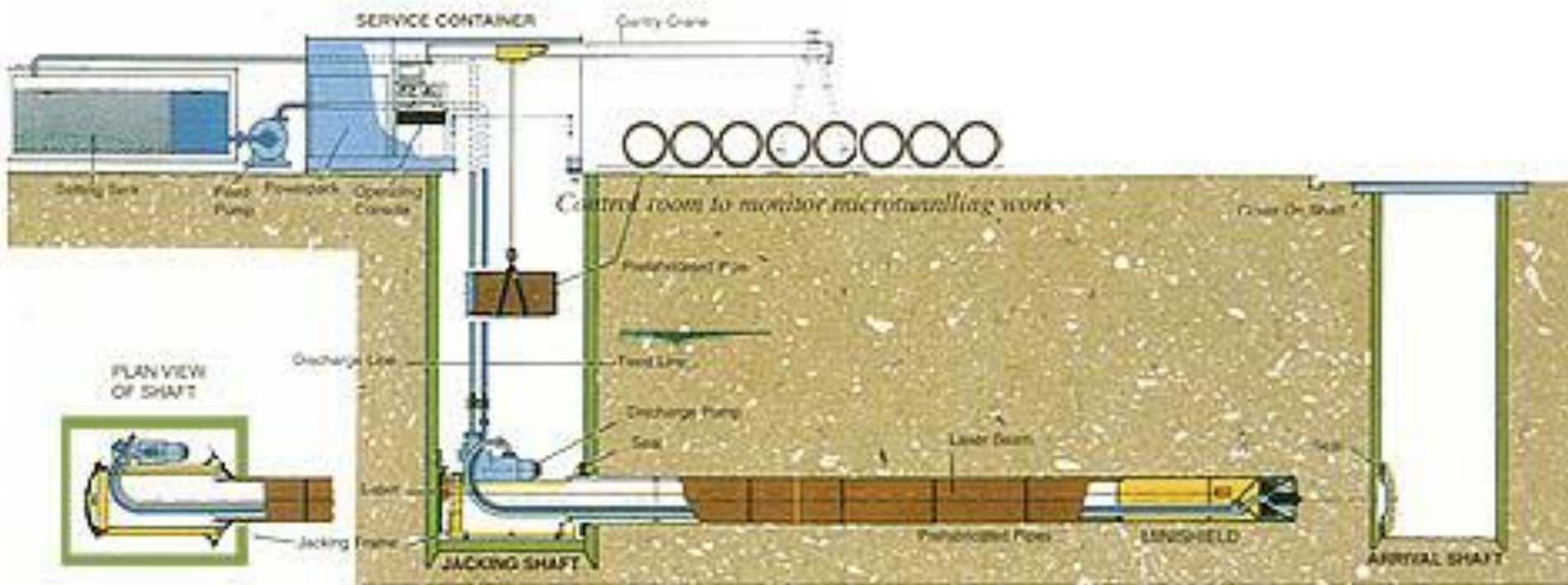
Centrales en Cavernas



ASPECTOS GENERALES

CLASIFICACIÓN DE LOS TÚNELES

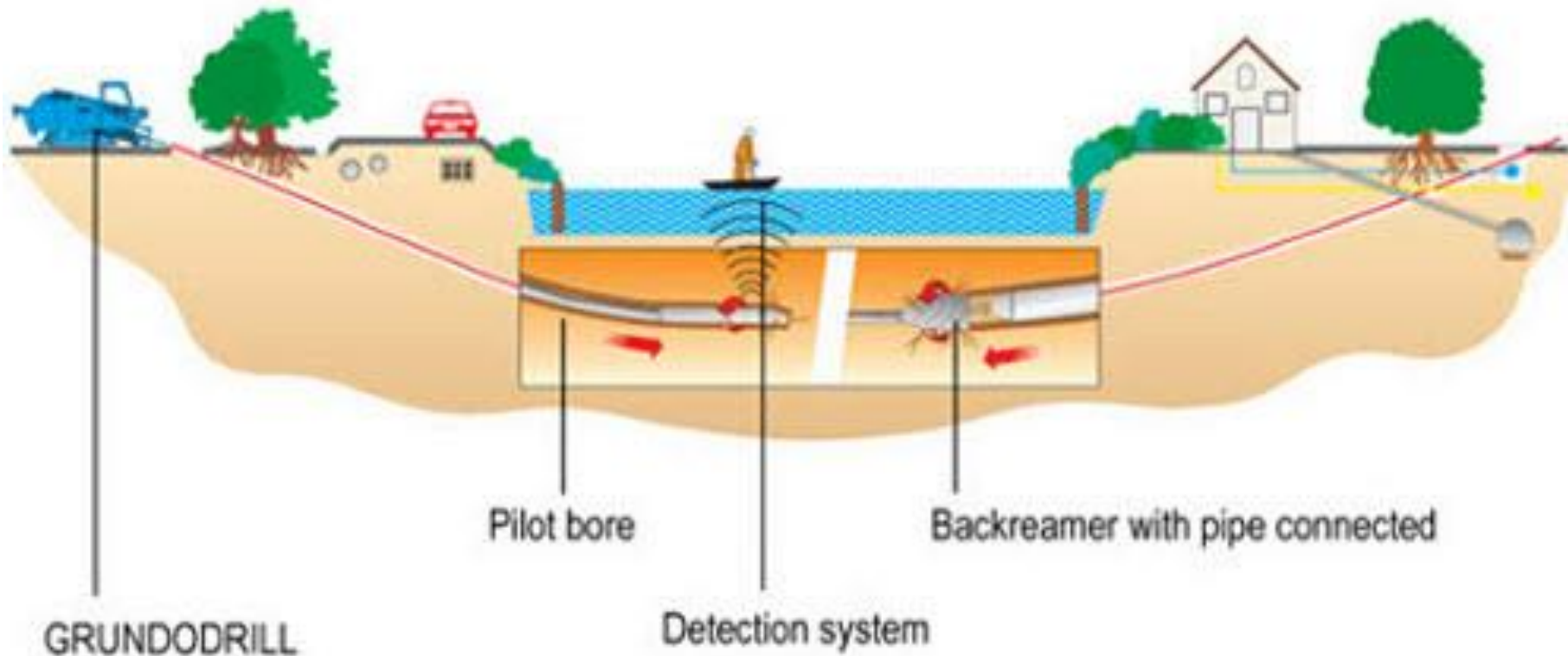
Micro Túnel (Pipe Jacking)



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.**

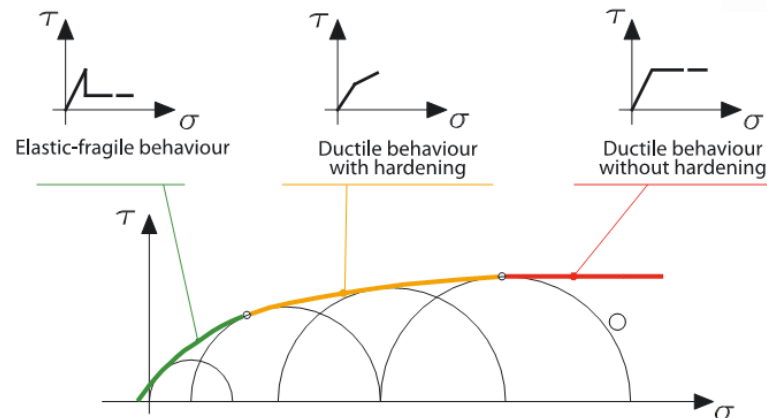
- Métodos Constructivos.

- Método Construcción Secuencial.
- Método Construcción con Tuneleras.



Fase de Investigación

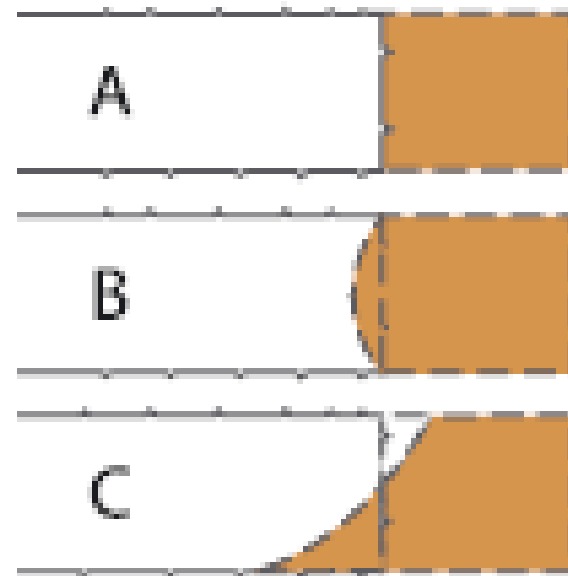
Caracterización del Medio
Mecánica de Suelos y Roca



(After Kármán, 1912)

Fase de Diagnóstico

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



Design instrument



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

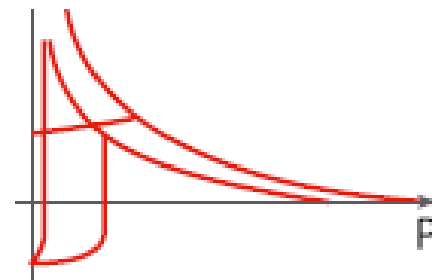
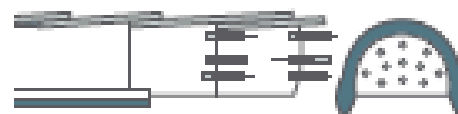
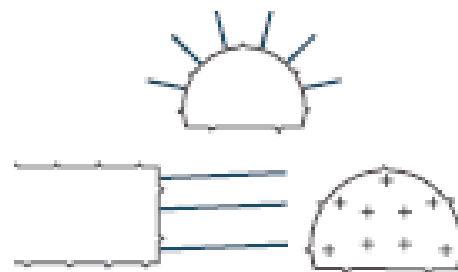
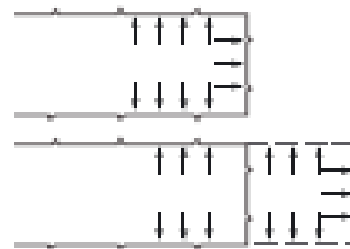
Consideración de tecnología.

Composición del tunel

Sección transversal y longitudinal.

Diseño y ensayo de secciones tipo

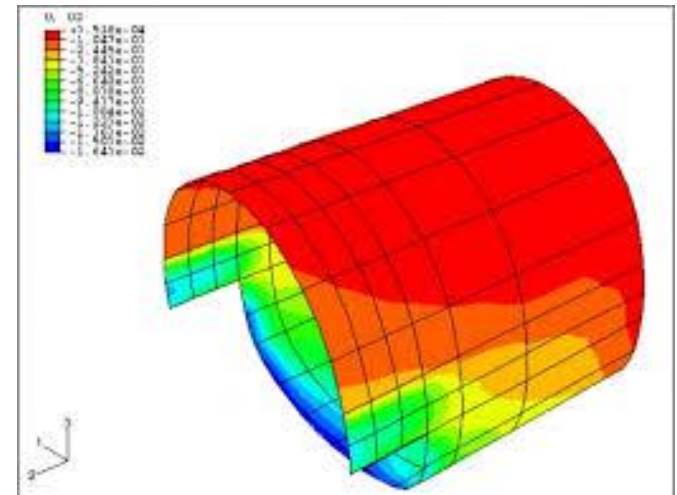
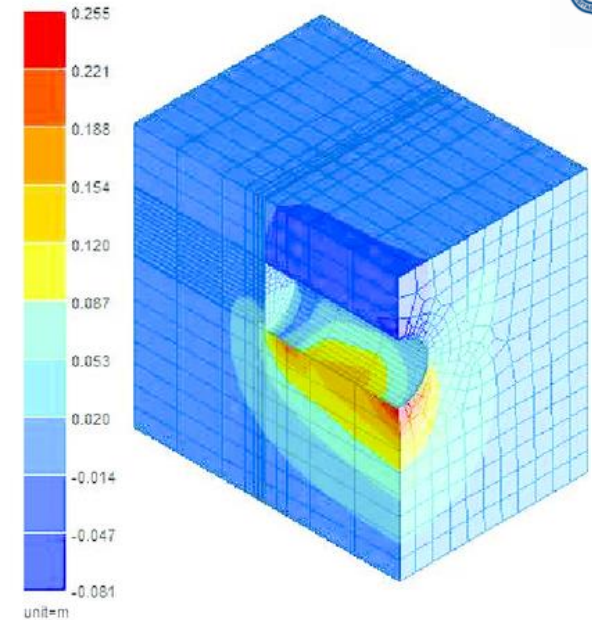
Evaluación de convergencia-confinamiento



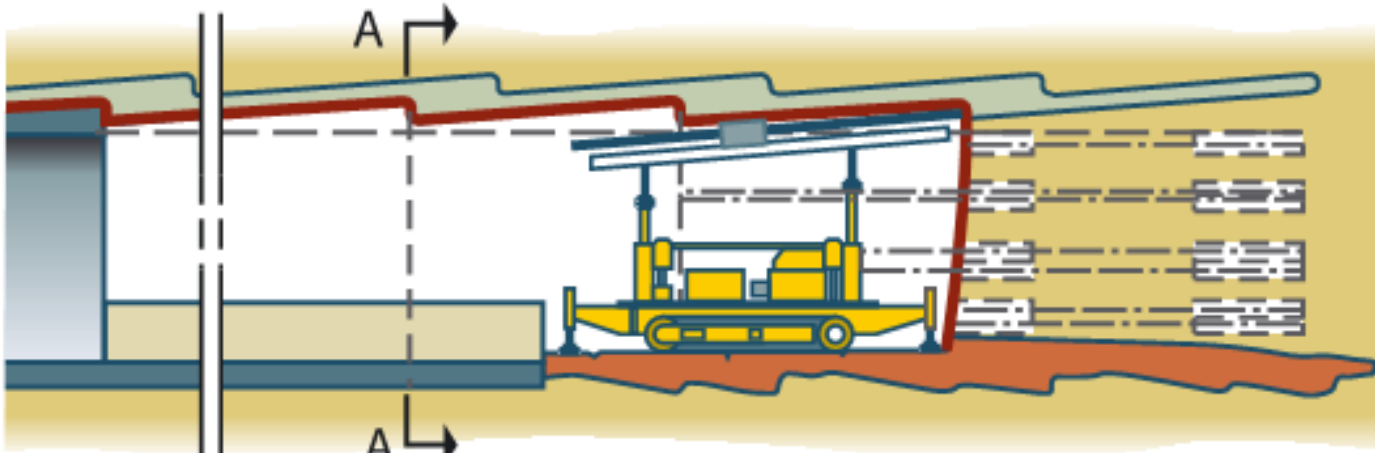


Fase de Anteproyecto y Proyecto

- **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



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.



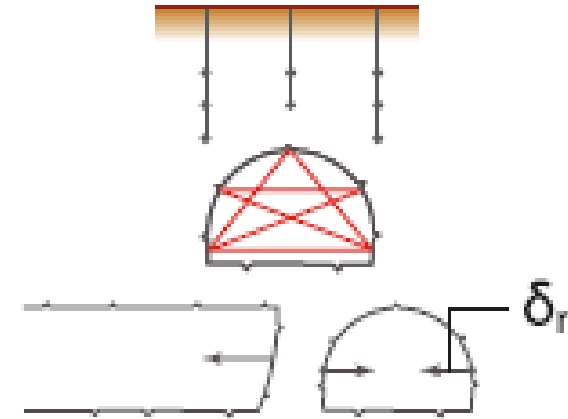
Fase de Monitoreo

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

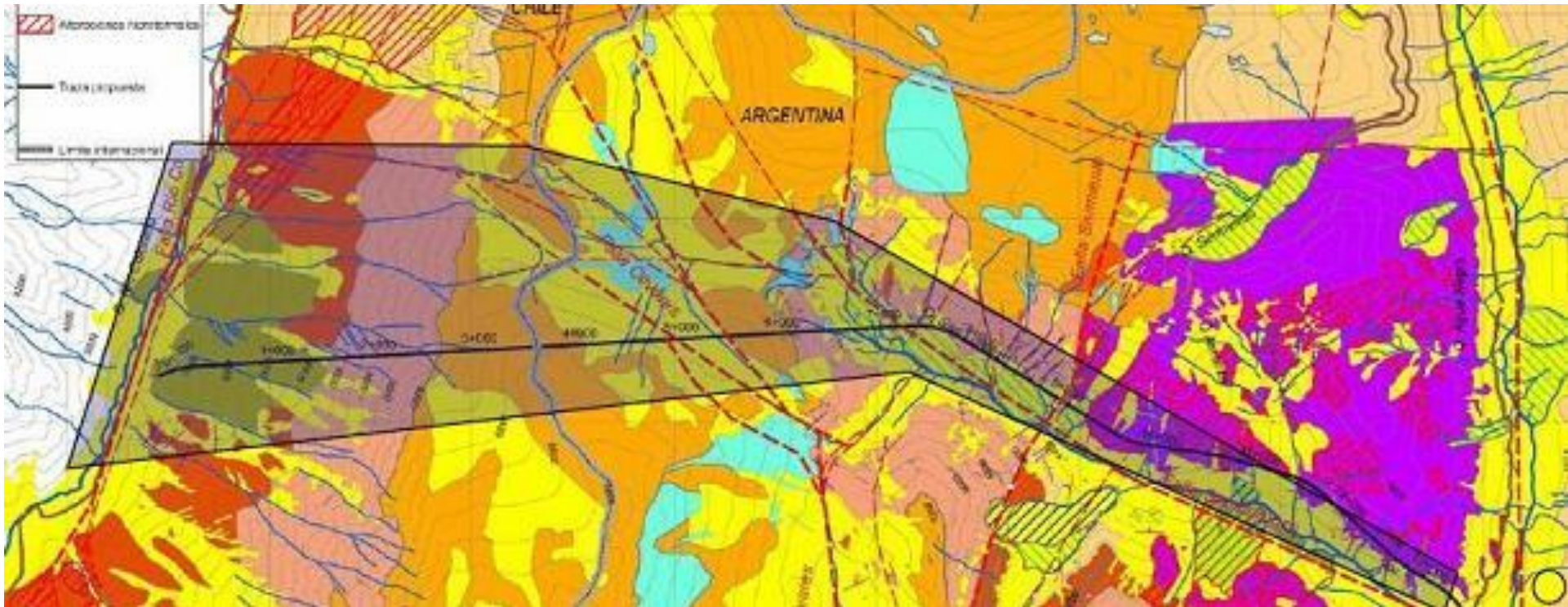


Fase de Operación

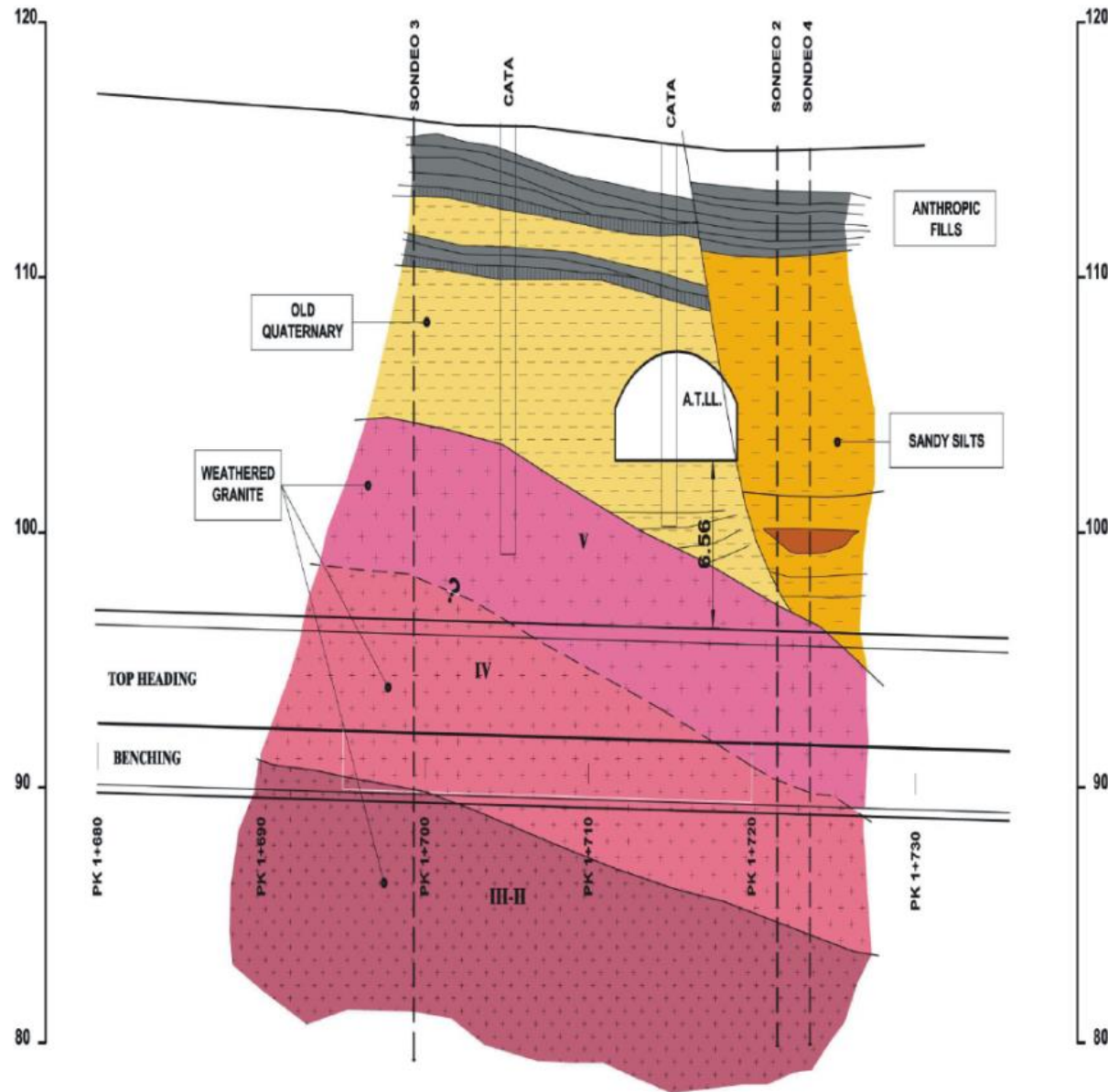
Monitoreo en la Vida Útil del Túnel



Mapecto Geoestructural

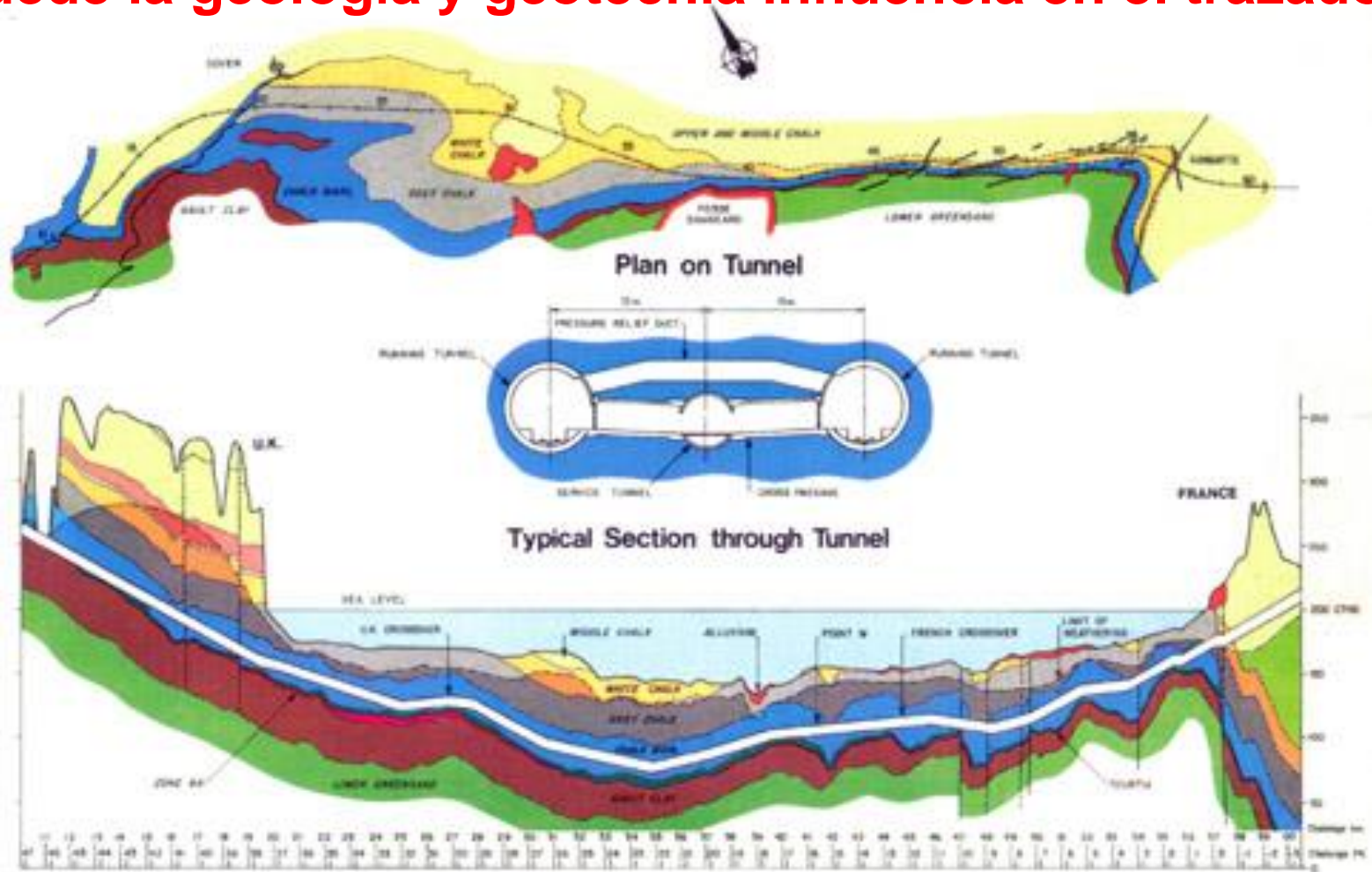






CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA

Puede la geología y geotecnia influencia en el trazado?



Longitudinal Section of Tunnel showing Geological Formation



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.



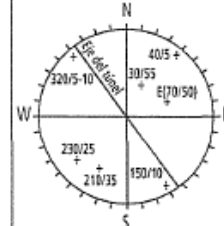
CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA

Perforaciones o sondeos directos

COTA (m)	FECHA BATER Tipo Diam.	REVÉS Diam. Prof.	MANIO. Long. Recup. (%)	GRAFICA	LITOLO.	DESCRIPCIÓN	R. Q. D.			Fracturas /30 cm.				Grado de Alteración					OBSERVACIONES	TIPO DE MUESTRA	COMPRESION SIMPLE	ENSAYO DE CORTE		DENSIDAD	TRIAVAL		OBSERVACIONES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
							25	50	75	2	4	8	16	I	II	III	IV	V				C	Φ		TIPO	D		TIPO	C'	Φ'																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
—	—	99,5 TUBO PVC	70 N.F. min.		5,8 (100)	CALCOESQUISTO	De 47,2 m. hasta 47,3 m. calcoesquisto que pasa gradualmente a pizarras arenosas con niveles milimétricos calcáreos. A partir de 48 m. hasta 51,1 se vuelven a encontrar calcoesquistos que pasan a pizarras.				Serie de transición 2a E= 240° / 25°-35° J1= 80°-90° J3= 0°-10° S= 250°/50°					50,90	396,78																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													

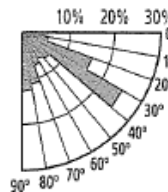
Serie de transición 2a
E= 240° / 25°-35°
J1= 80°-90°
J3= 0°-10°
S= 250°/50°

PROYECCIÓN
ESTEREOGRAFICA
POLOS DE
DISCONTINUIDADES



E= 240°/35°-45°
J1= 80°-90°

DISTRIBUCIÓN DE
BUZAMIENTOS



50,90

M.S.

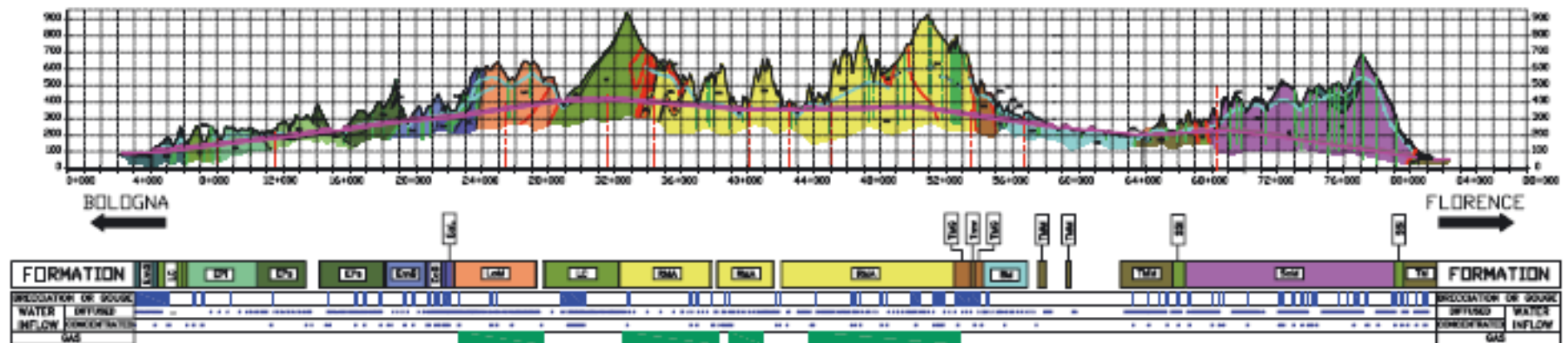
51,20

396,78

Abrasividad
media
I.A.=3.7
Durabilidad
alta
99.4%

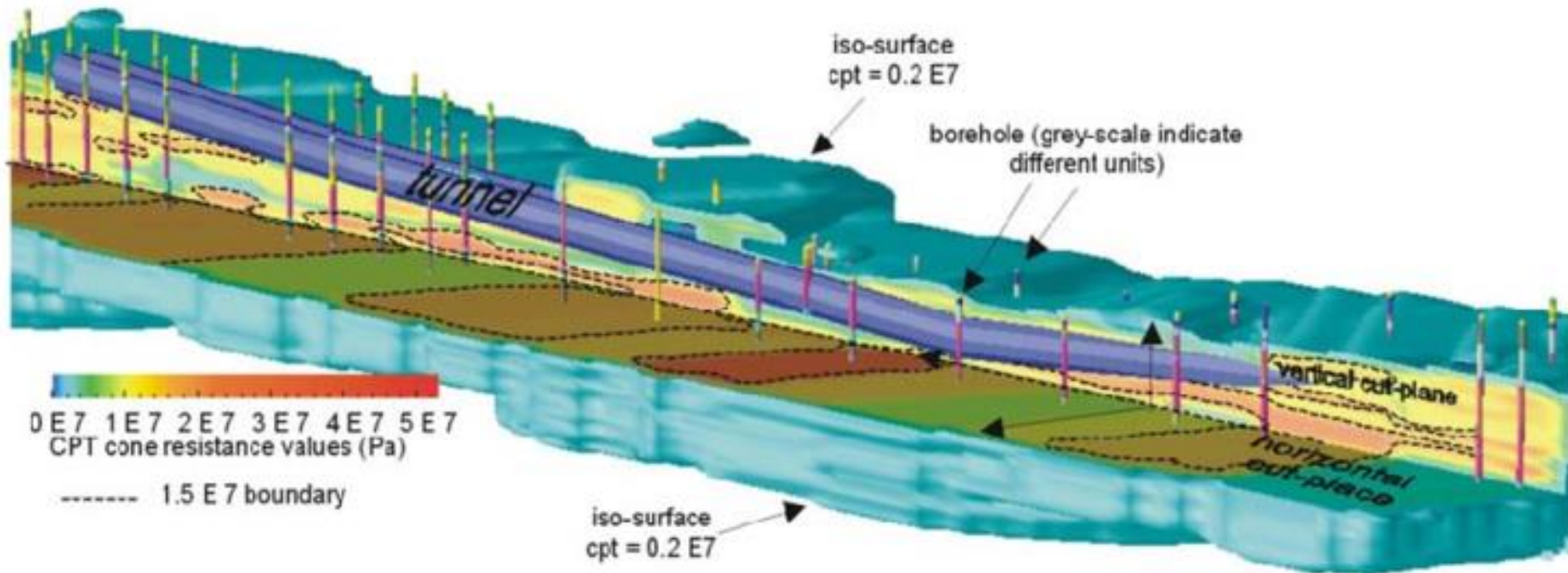


CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA

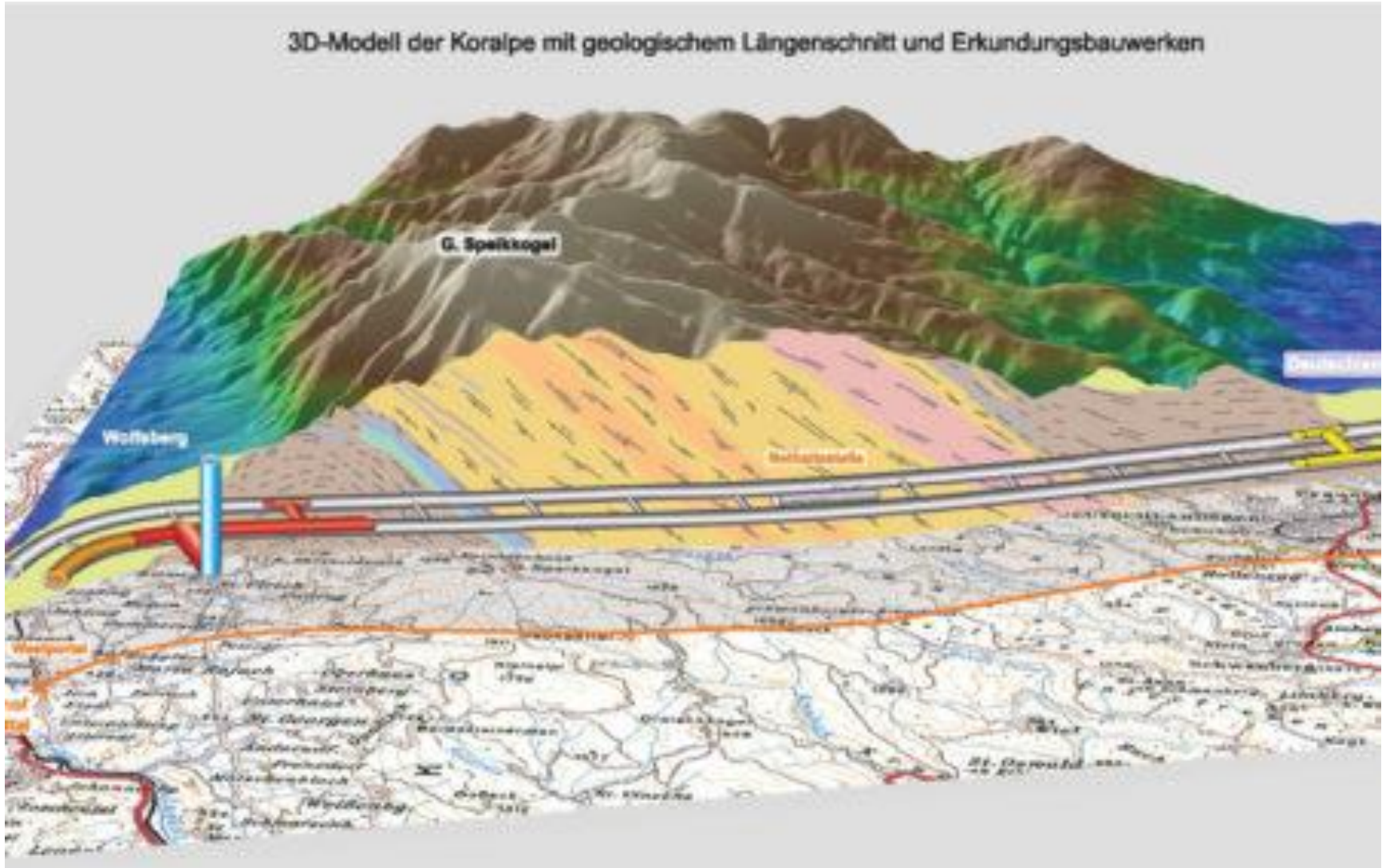


FORMATION	LENGTH [m]	OVERBURDEN [m]	Cohesion [Mpa] Angle of friction [°]	Modulus of elasticity [Gpa]
Mame in facies di Schlier (EmS)	2012	0-120 (Pianoro Tunnel)	$c = 0.25-0.3$ $\varphi = 28-30$	$E = 2.9-3.4$
Pliocene Intrappenninico Superiore (EpS)	11445	0-245 (Sadurano Tunnel)	$c = 0.5-0.7$ $\varphi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

CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA



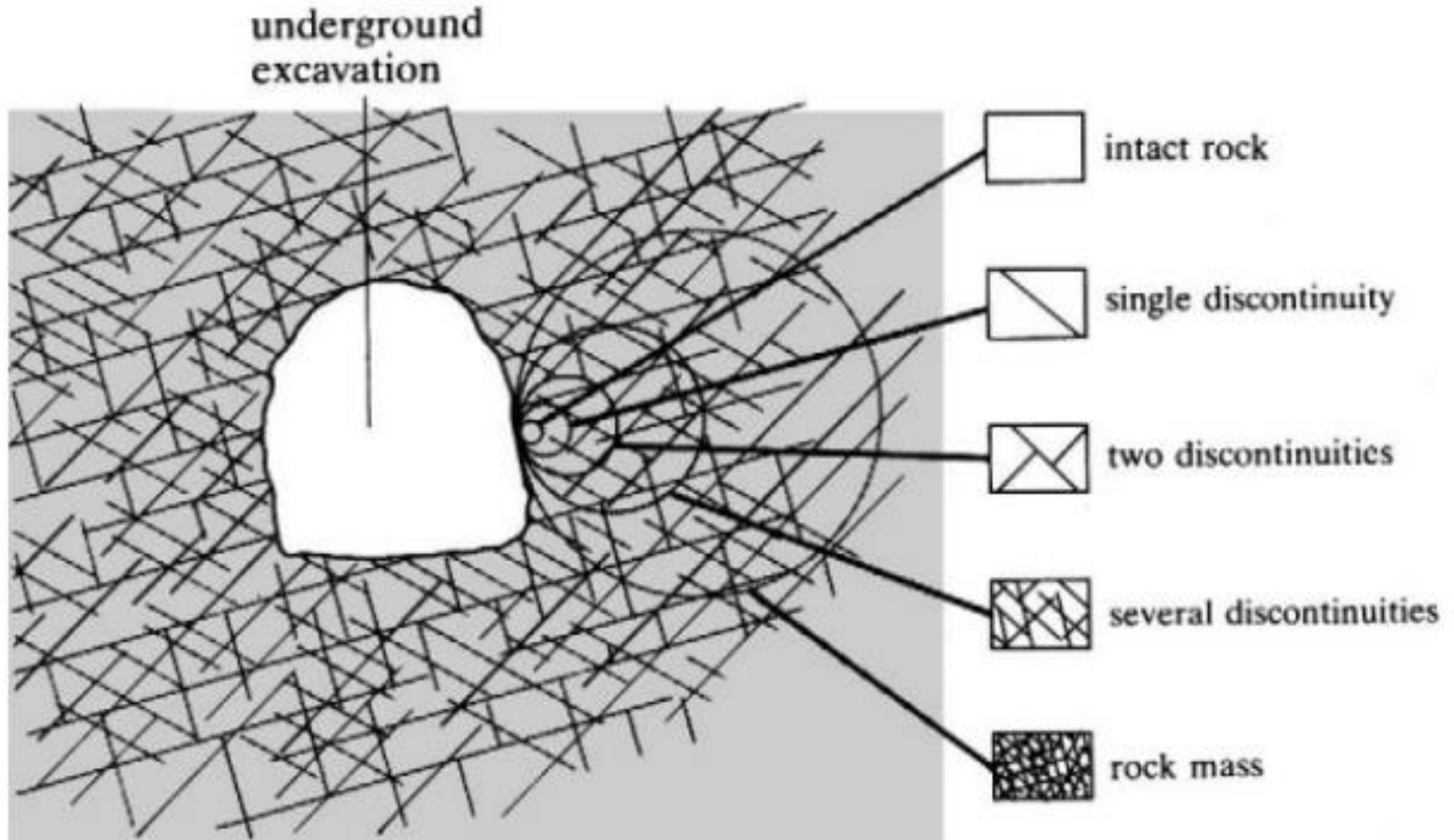
CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA



DEFINICIONES

DISEÑO

EFECTO DE ESCALA





CLASIFICACIÓN DE MACIZOS ROCOSOS

METODOS CUALITATIVOS:

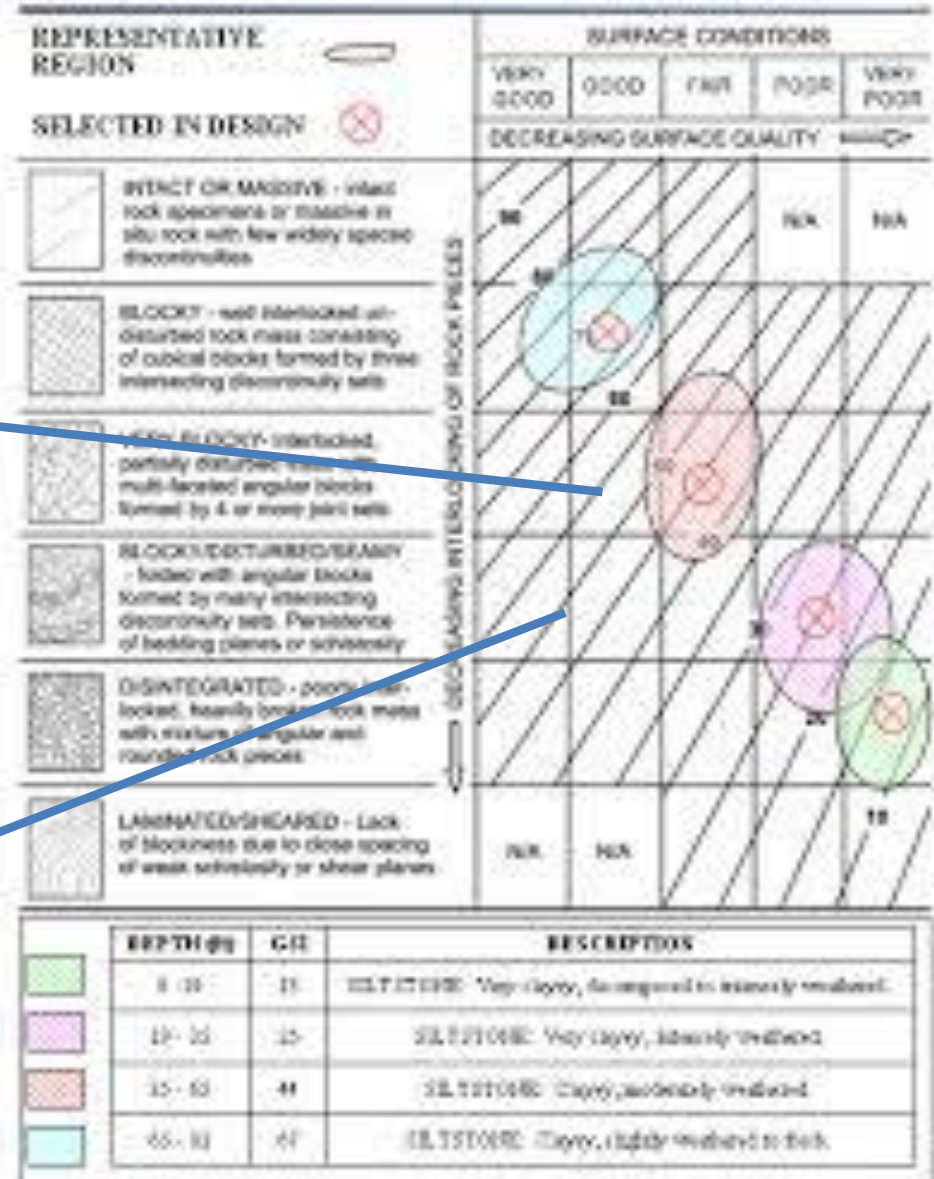
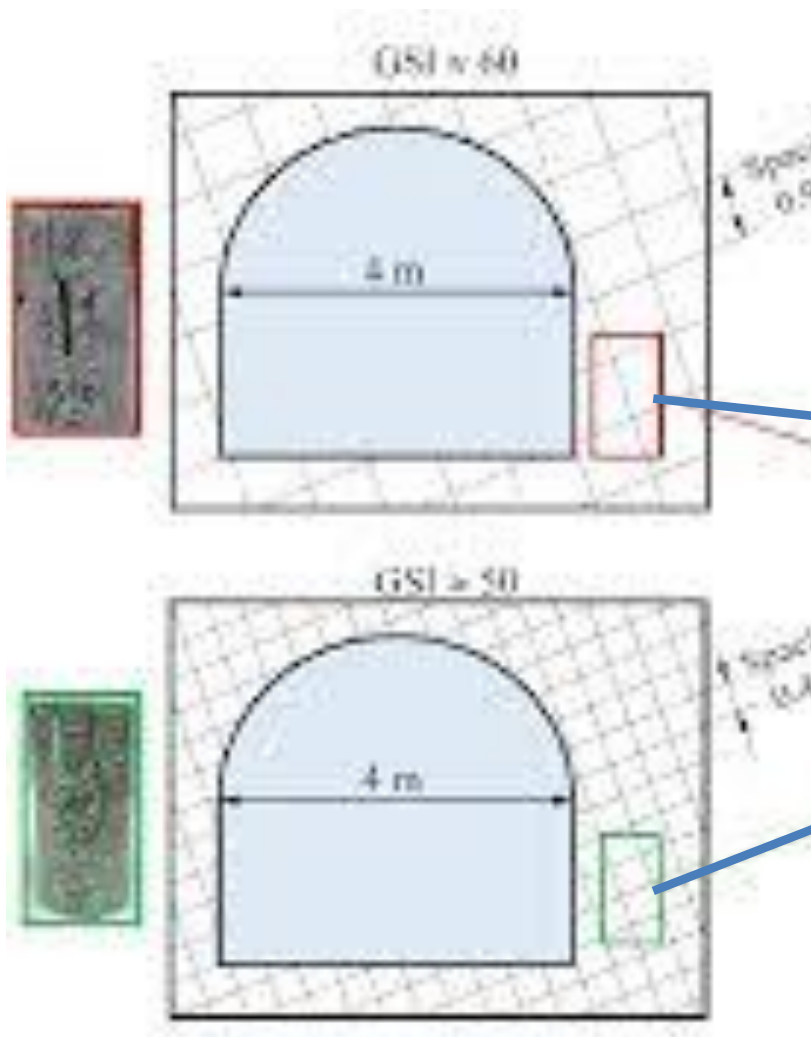
- Terzaghi (1946)
- Laufer (1958)

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 |

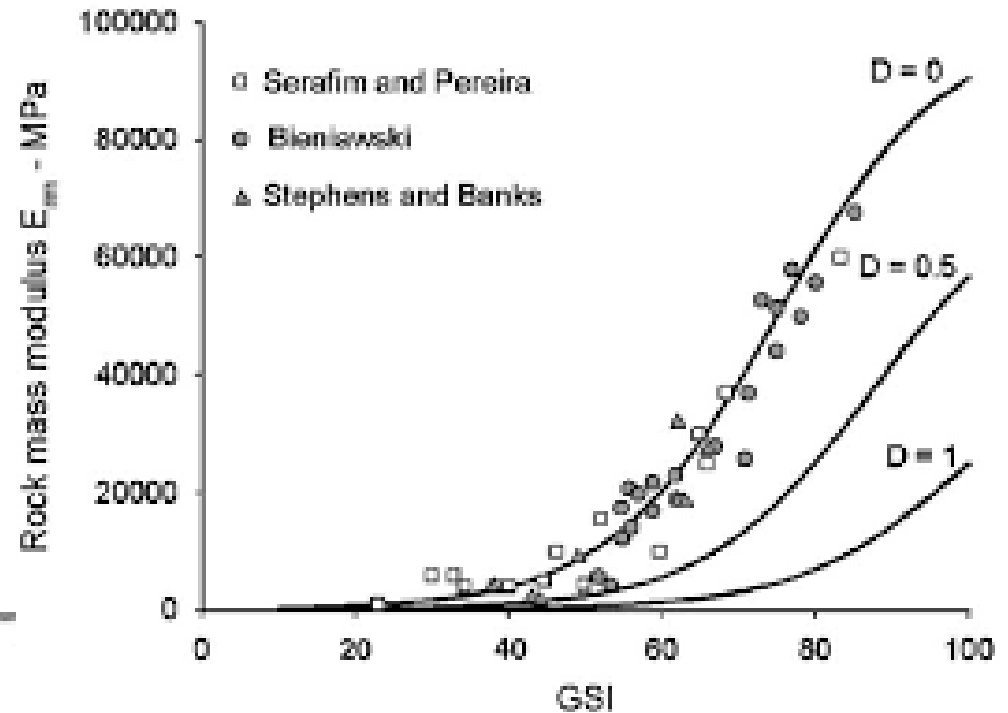
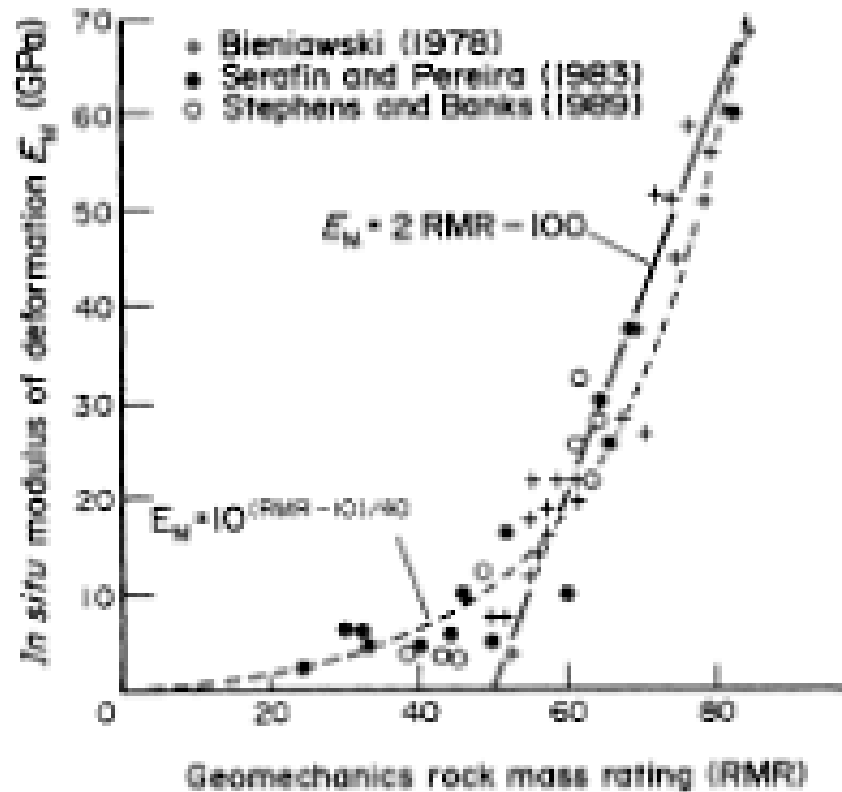


Sistema de Calificación Macizo - GSI





Grado de fracturación y el estado tensional



Marinos, 2012



TUNELES - DISEÑO

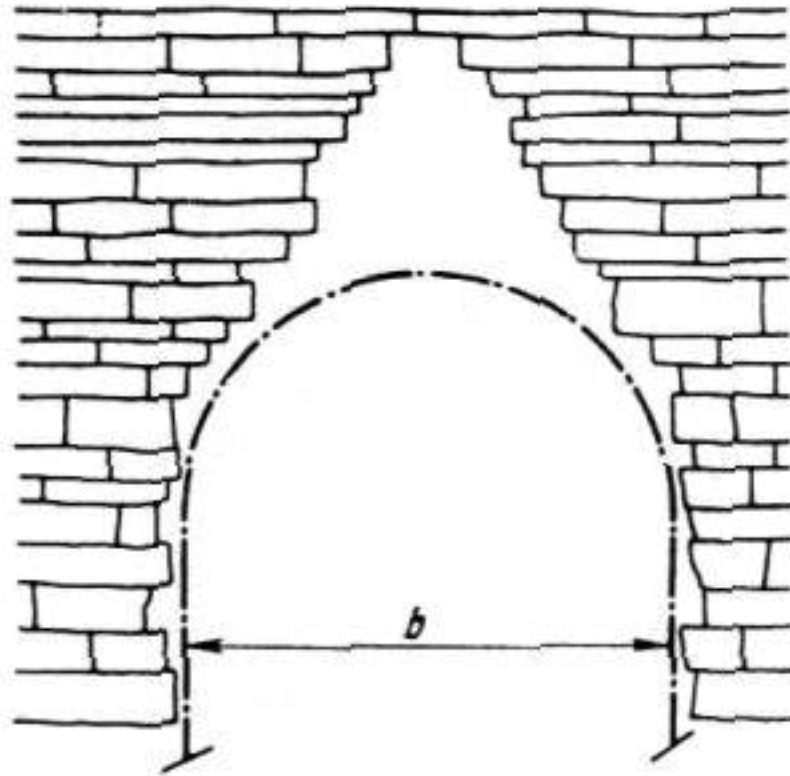
FASES DE ESTUDIO Y DISEÑO

TENSIONES Y DEFORMACIONES

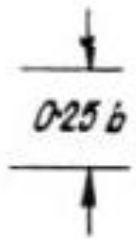
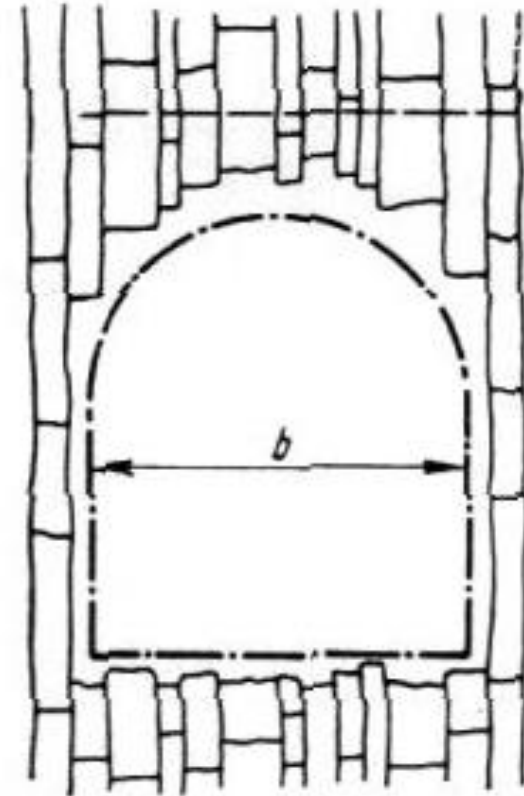
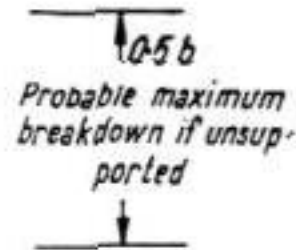
DISEÑO

SOLICITACIONES DEL MACIZO

Condición General Terzaghi 1946



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



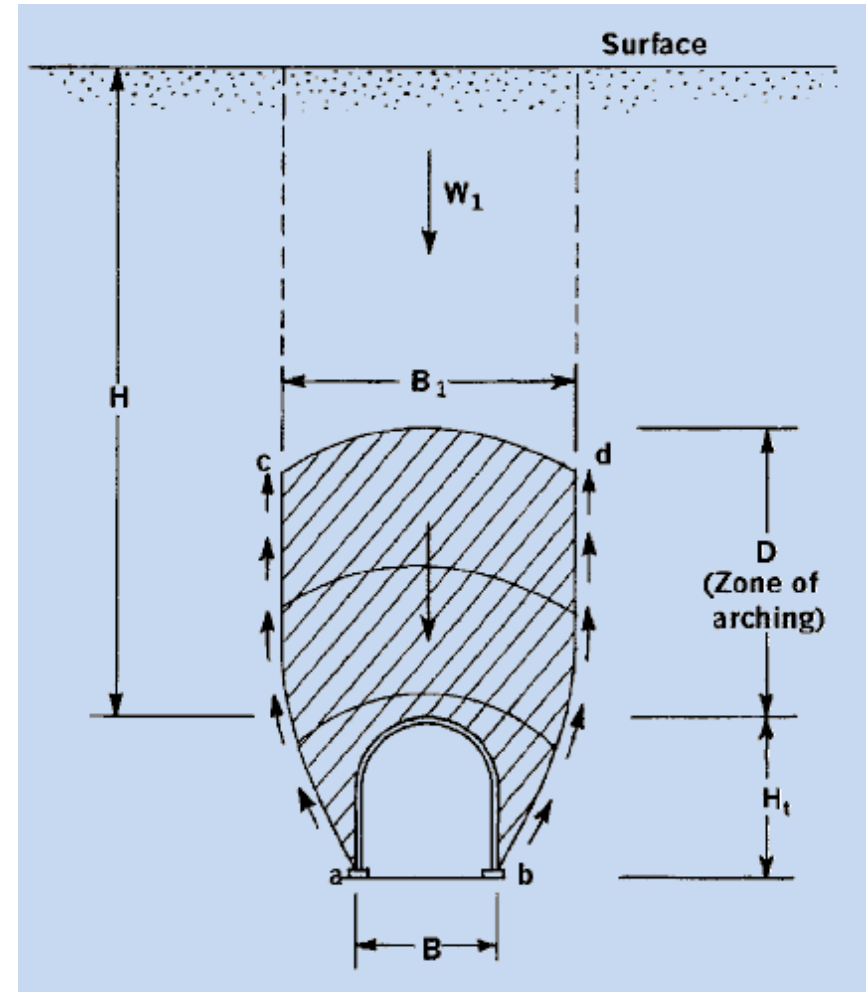
DISEÑO

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





DISEÑO

SOLICITACIONES DEL MACIZO

Condición General Terzaghi 1946

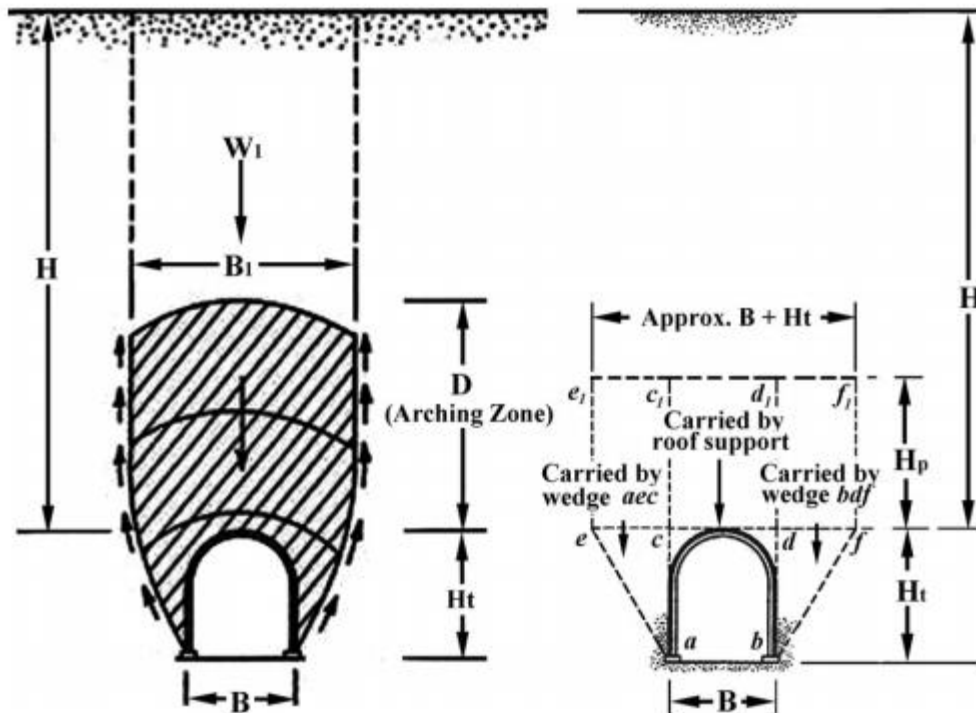


Table 1. Equivalent overburden height in sands (Terzaghi, Proctor and White, 1946)

Materials		Above water level		Below water level	
		$H_p \text{ min}$	$H_p \text{ max}$	$H_p \text{ min}$	$H_p \text{ max}$
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

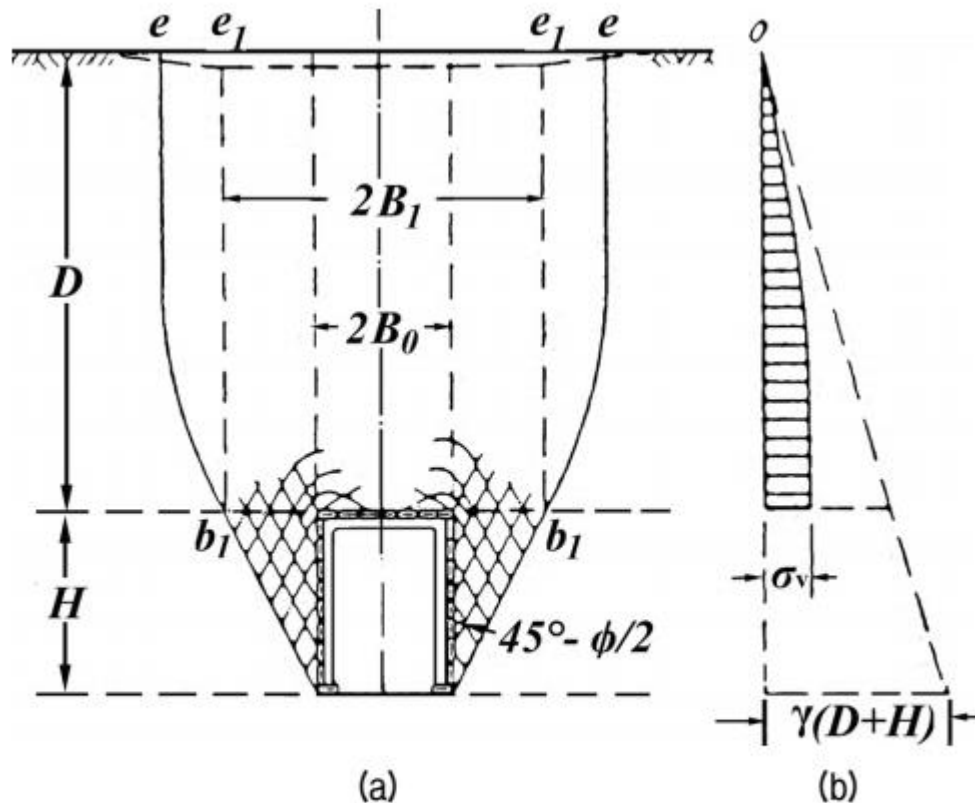


Fig. 2. Shallow tunnel (a) flow of soil when yielding happened (b) vertical stress profile (Terzaghi, 1943)

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

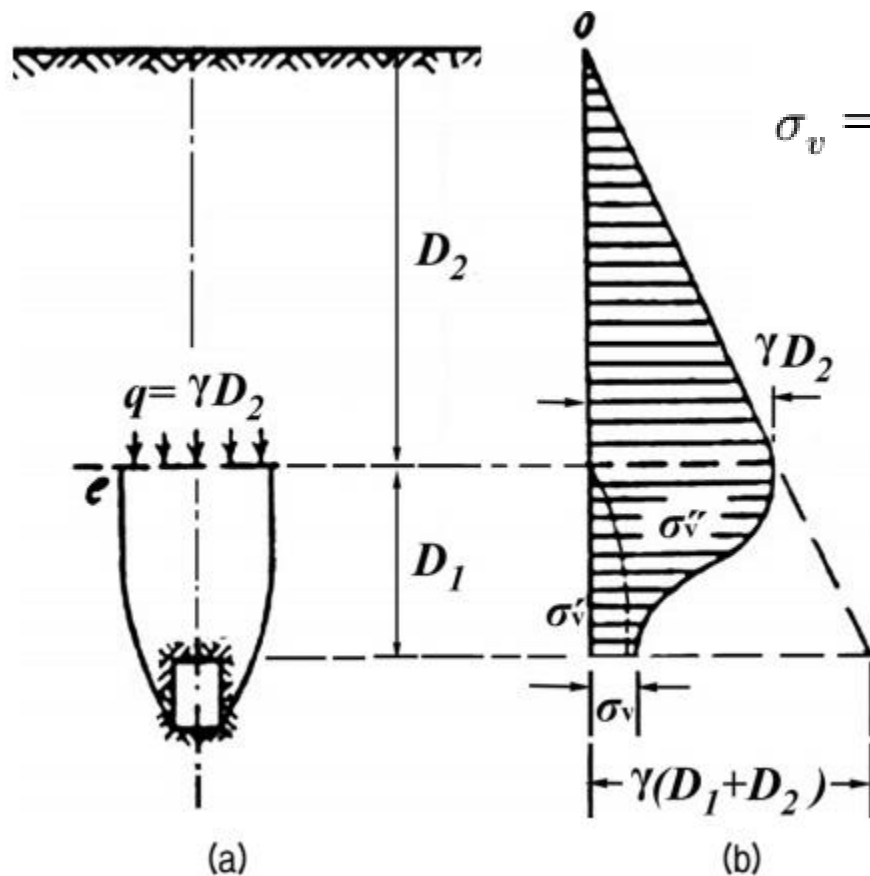
$$p_h = (\gamma z + p_v) \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \varphi/2)$$

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

DISEÑO

SOLICITACIONES DEL MACIZO

Condición General Terzaghi 1946



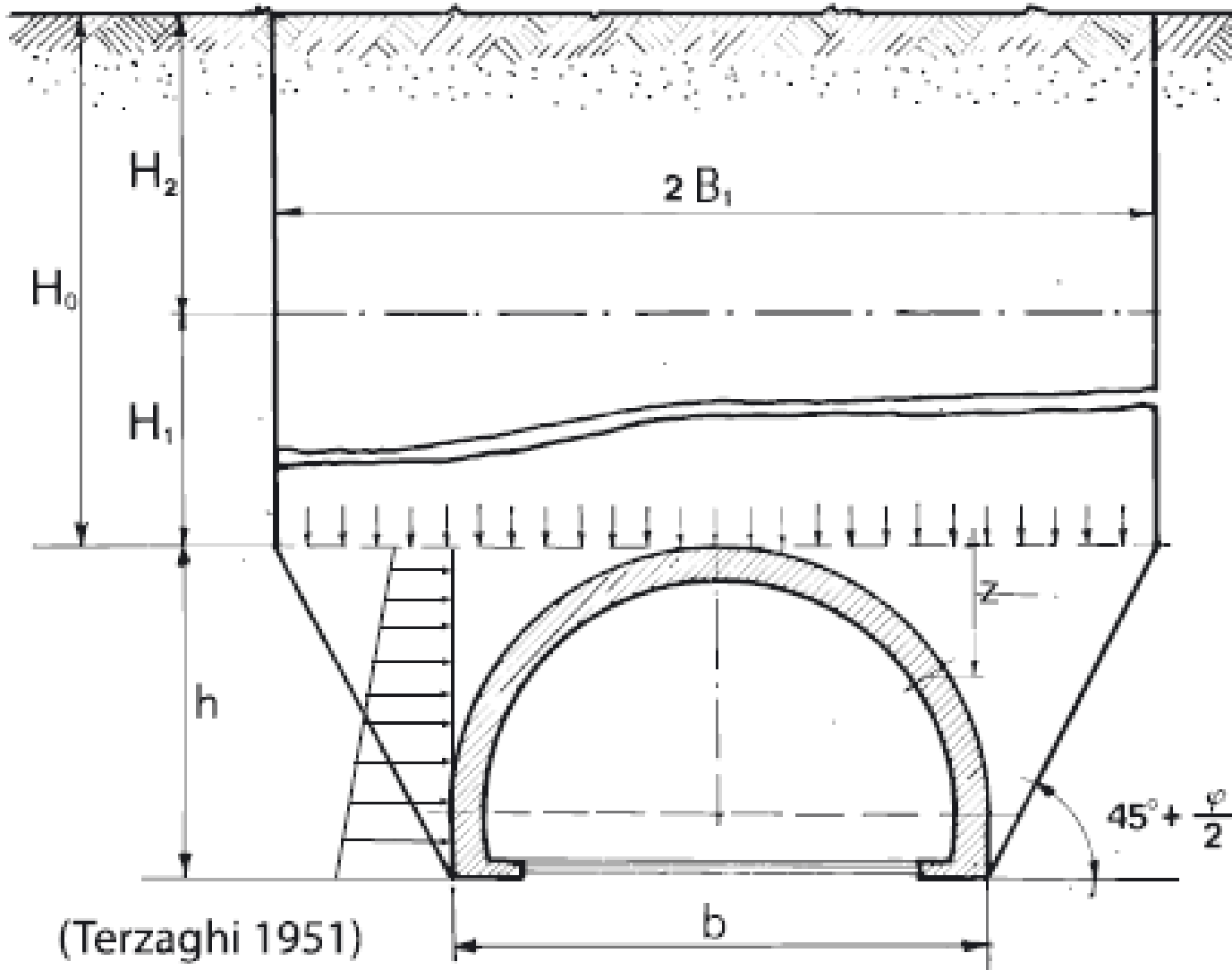
$$\sigma_v = \frac{B_1(\gamma - c/B_1)}{K \cdot \tan \phi} (1 - e^{-k \cdot \tan \phi \cdot D_1/B_1}) + \gamma D_2$$

$$\cdot e^{-k \cdot \tan \phi \cdot D_1/B_1}$$

DISEÑO

SOLICITACIONES DEL MACIZO

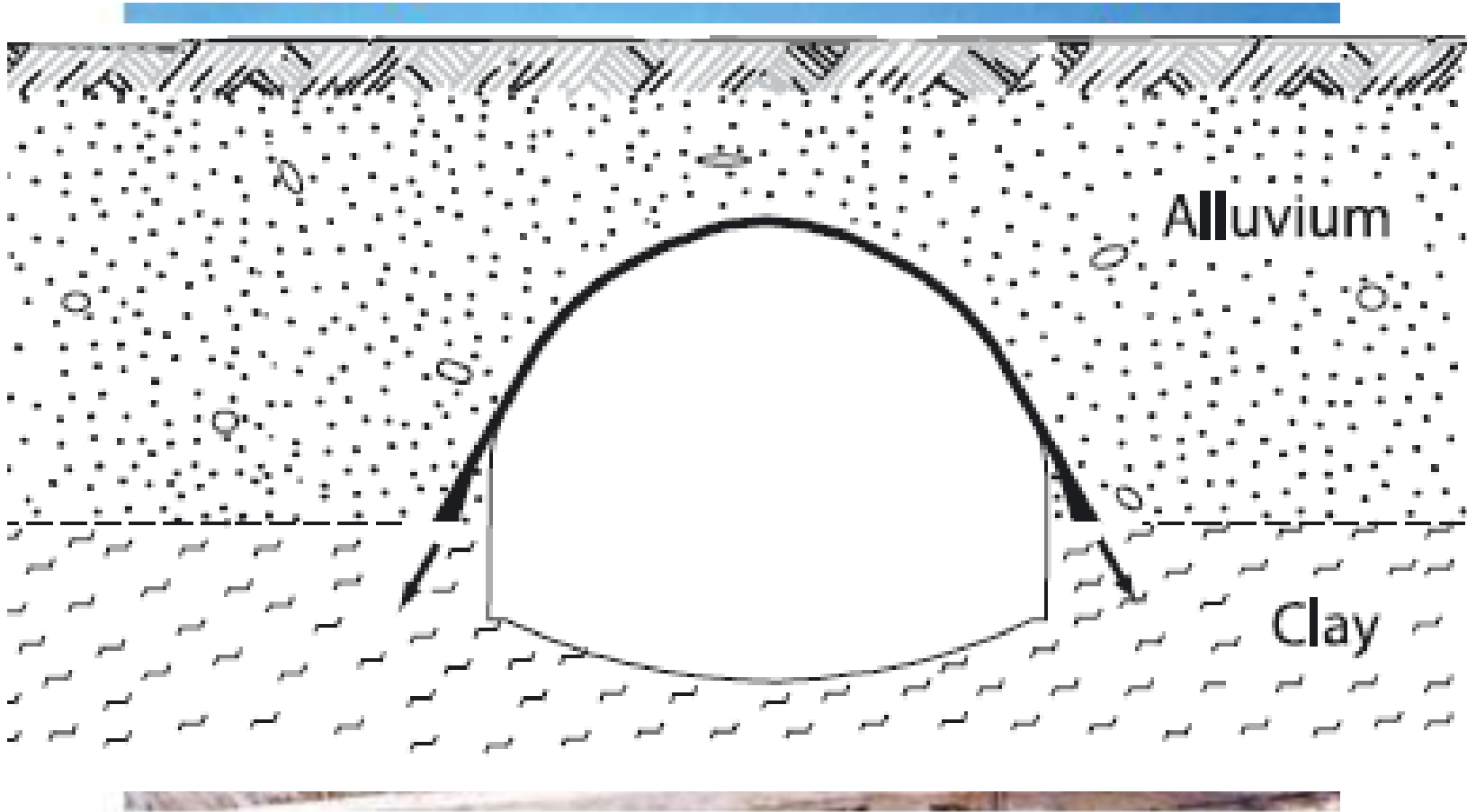
Condición General Terzaghi 1946



DISEÑO

SOLICITACIONES DEL MACIZO

Tranferencia de Esfuerzos

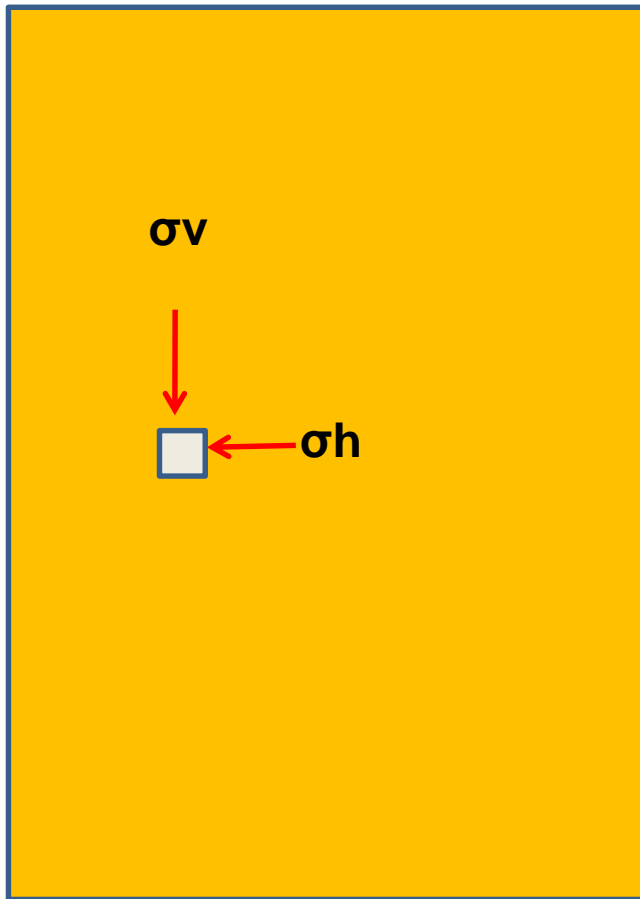




DISEÑO

Conceptos de Convergencia

Aplicación Modelo de Morh-Coulomb



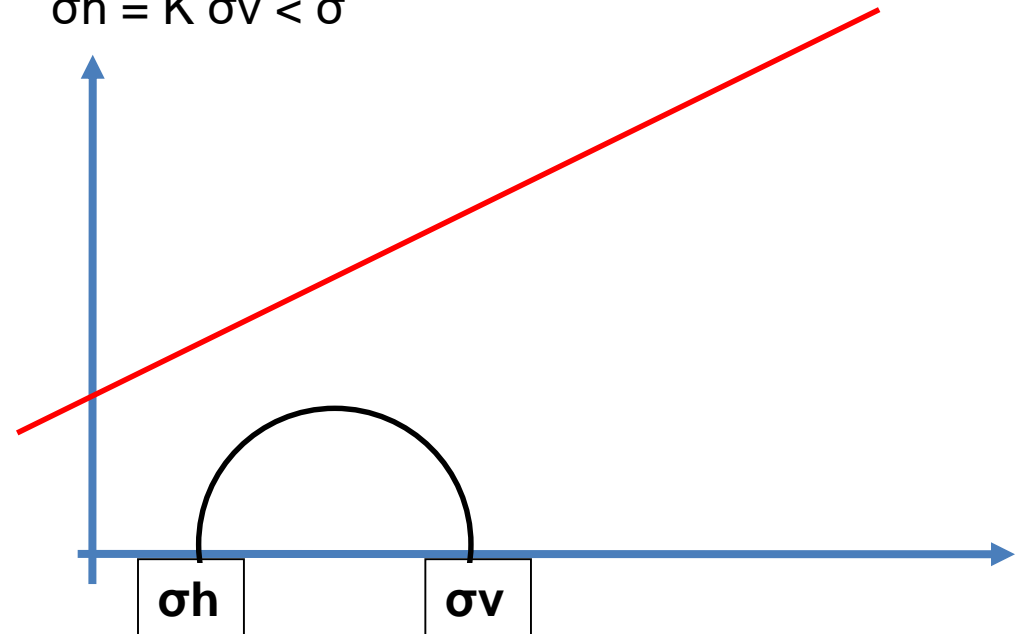
Estado Inicial – SIN TUNEL

Hipótesis

σ_v = Proporcional a la tapada

K = menor que 1

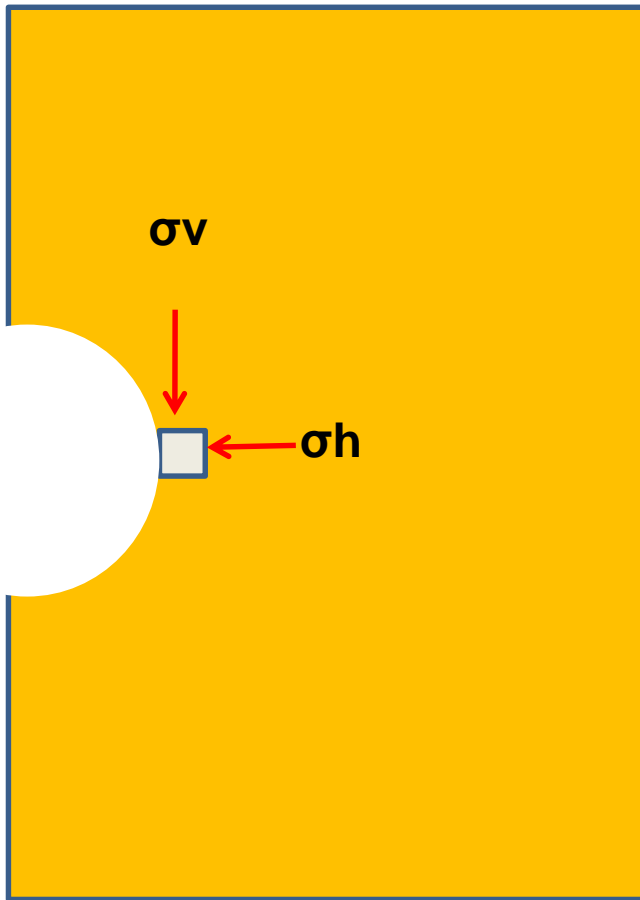
$\sigma_h = K \sigma_v < \sigma_v$



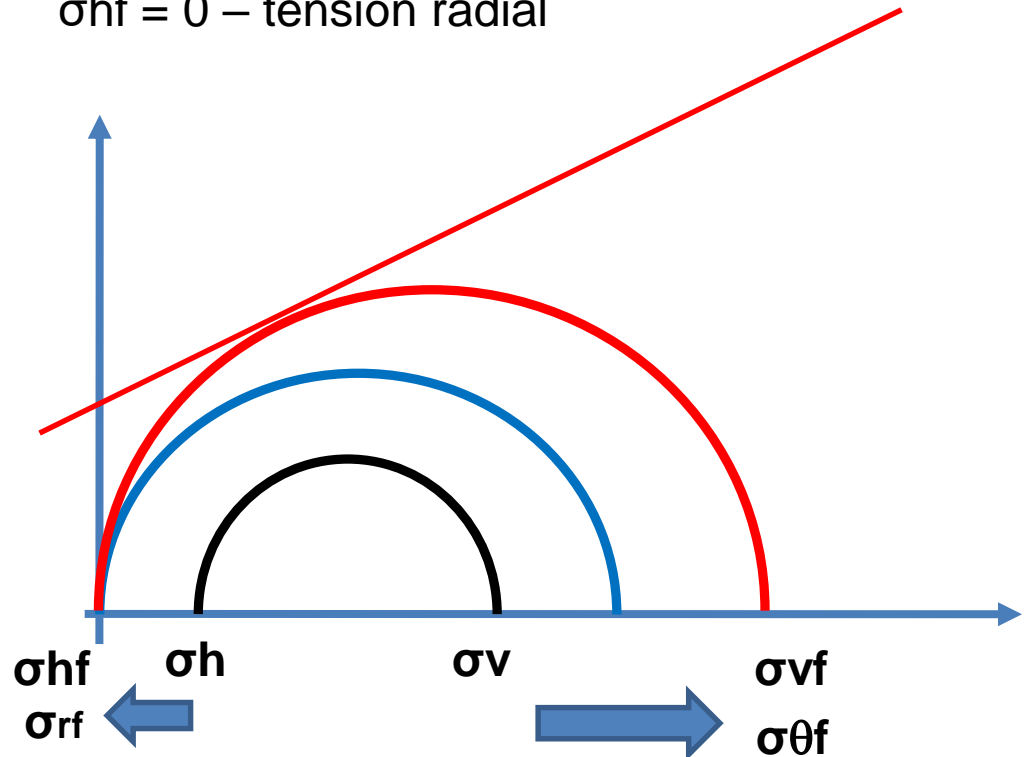
DISEÑO

Conceptos de Convergencia

Aplicación Modelo de Morh-Coulomb

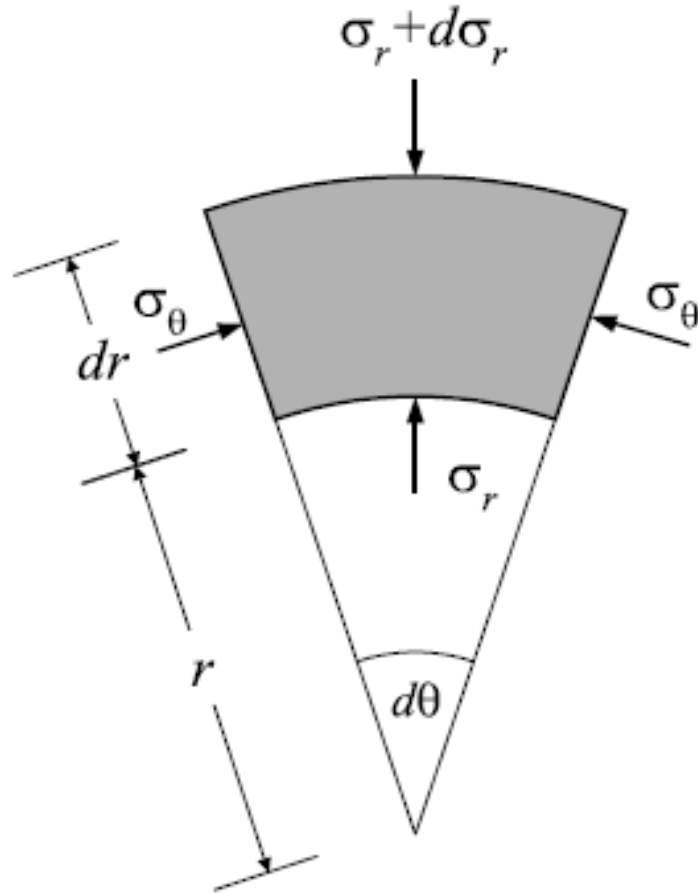


Estado Final – CON TUNEL
Teoría estado tensional
 $\sigma_{vf} = 2 \times \sigma_v$ – tensión circular
 $\sigma_{hf} = 0$ – tensión radial



DISEÑO

Conceptos de Convergencia Aplicación Modelo de Morh-Coulomb Efecto de Tensiones en Arco



Equilibrio Radial

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

Equilibrio Circular

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



DISEÑO

Conceptos de Convergencia

Aplicación Modelo de Morh-Coulomb

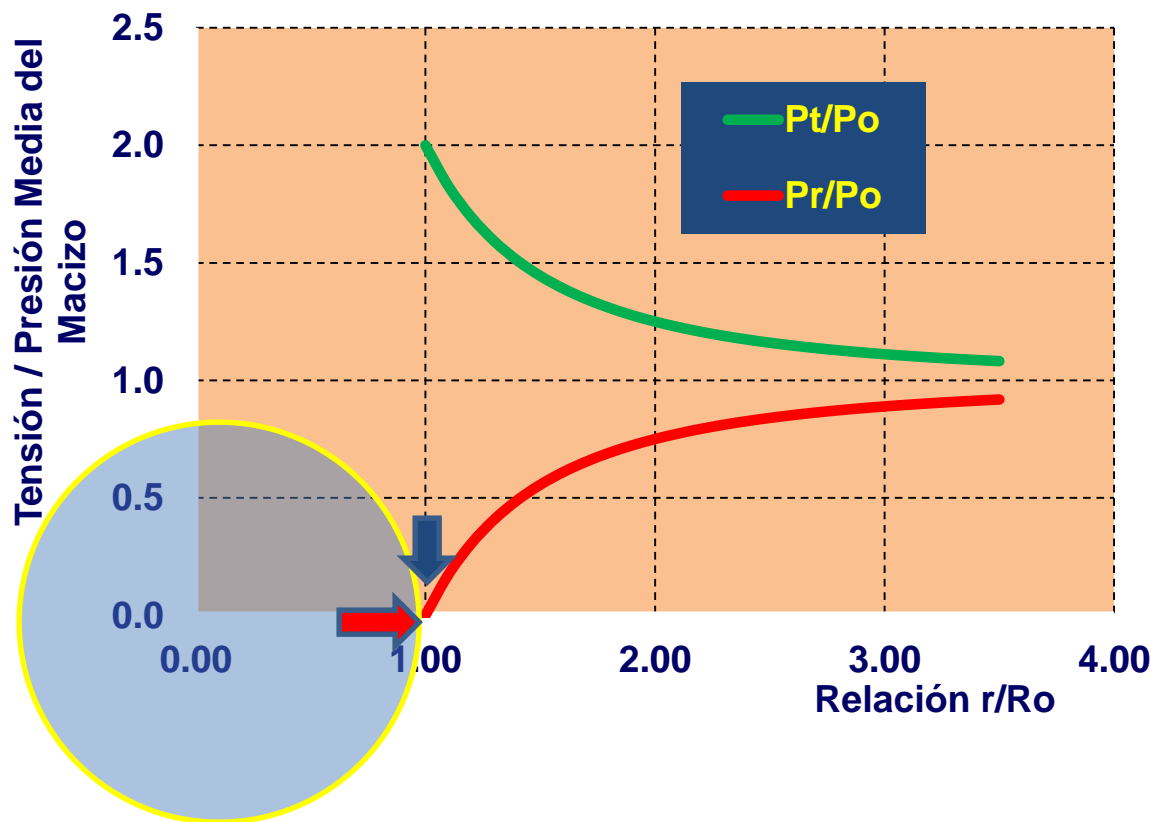
Modelo Hidrostático

$$k = 1$$

Sin presión interna

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

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



DISEÑO

Conceptos de Convergencia

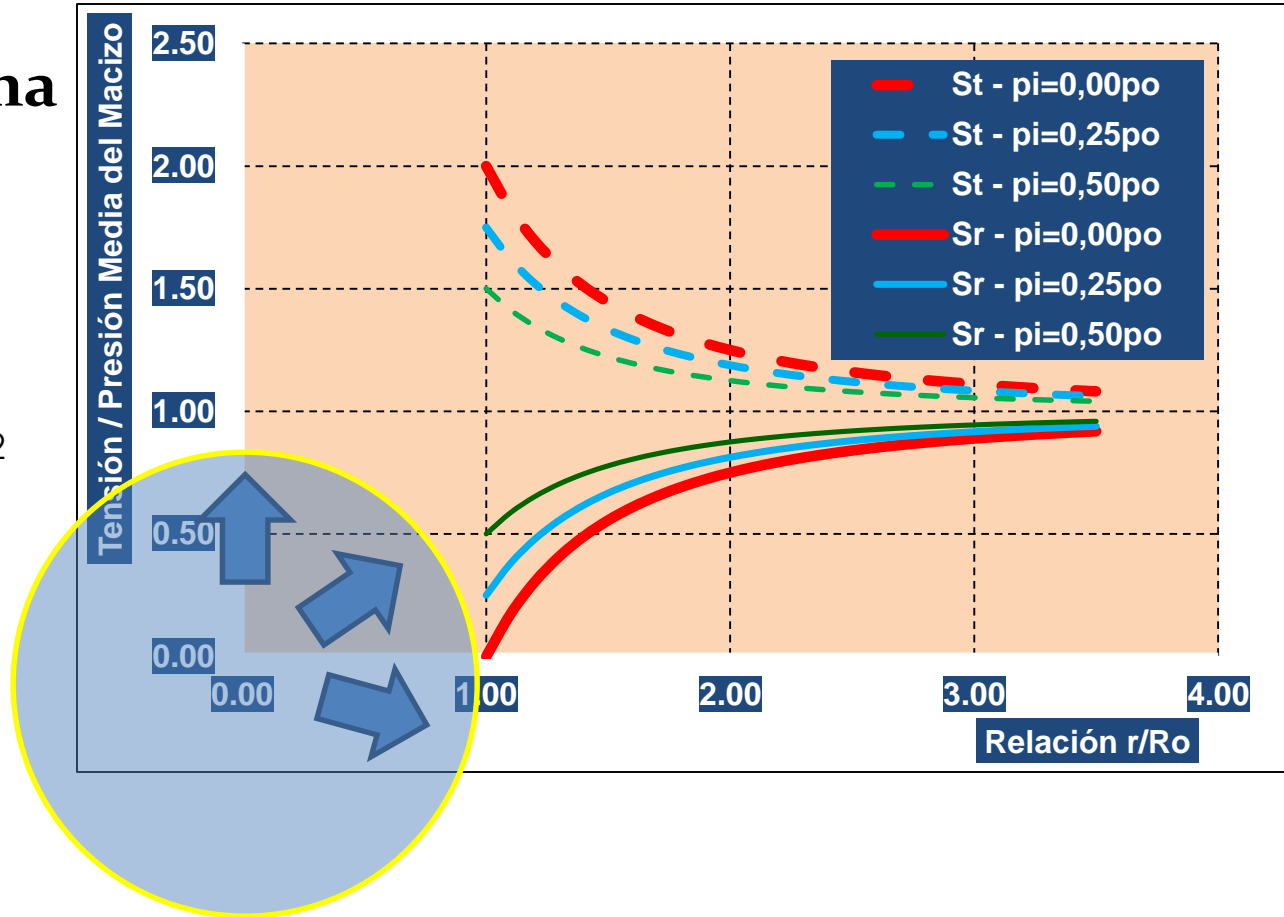
Aplicación Modelo de Morh-Coulomb

Modelo Hidrostático $k = 1$

Con presión interna

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

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





DISEÑO

Conceptos de Convergencia

Aplicación Modelo de Morh-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**

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

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



DISEÑO

Conceptos de Convergencia

Aplicación Modelo de Morh-Coulomb

DESPLAZAMIENTOS

Aplicación a un túnel de 5 m de radio

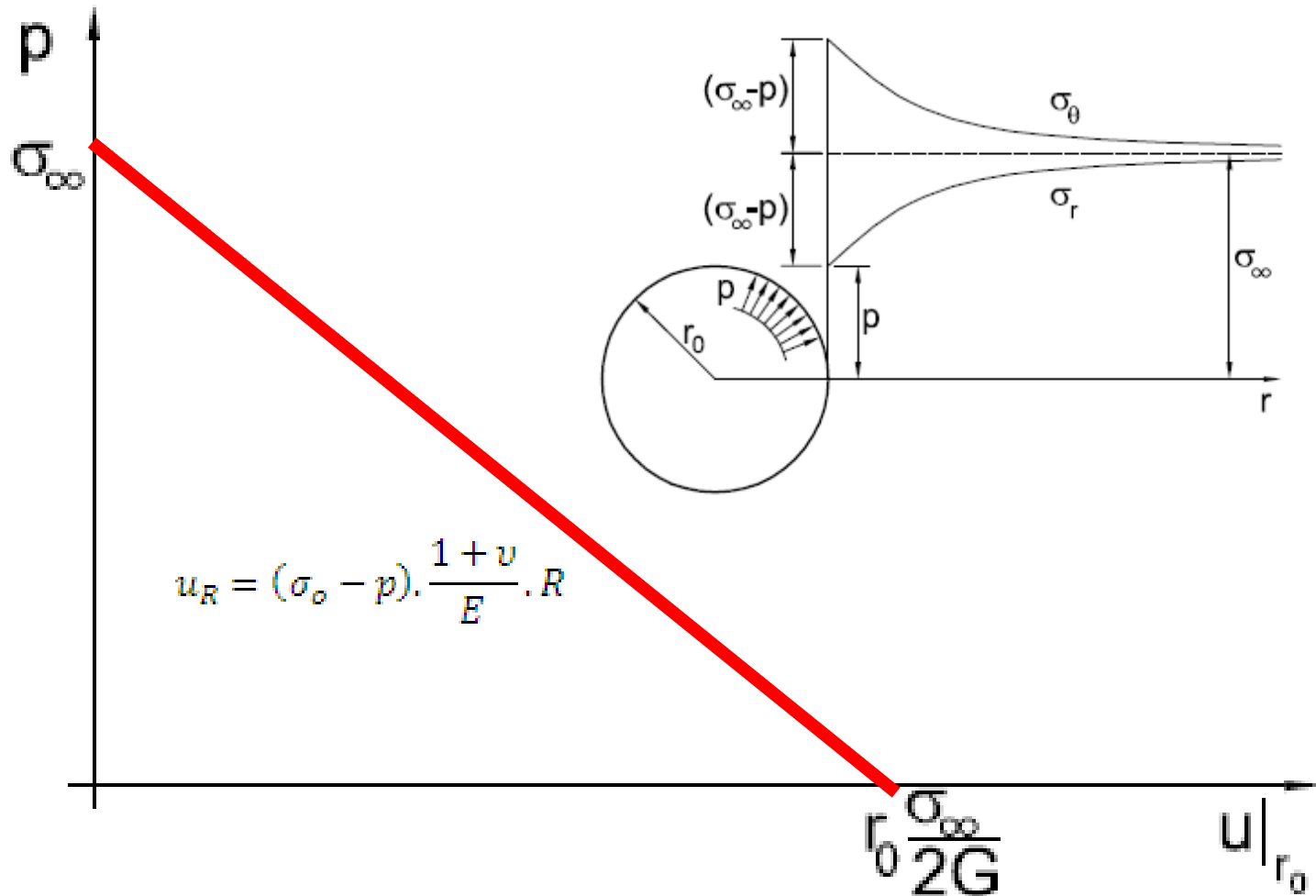
Presión del Macizo → 50 tn/m²

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

Conceptos de Convergencia

Curva características elástica

Estado Tensional





Conceptos de Confinamiento

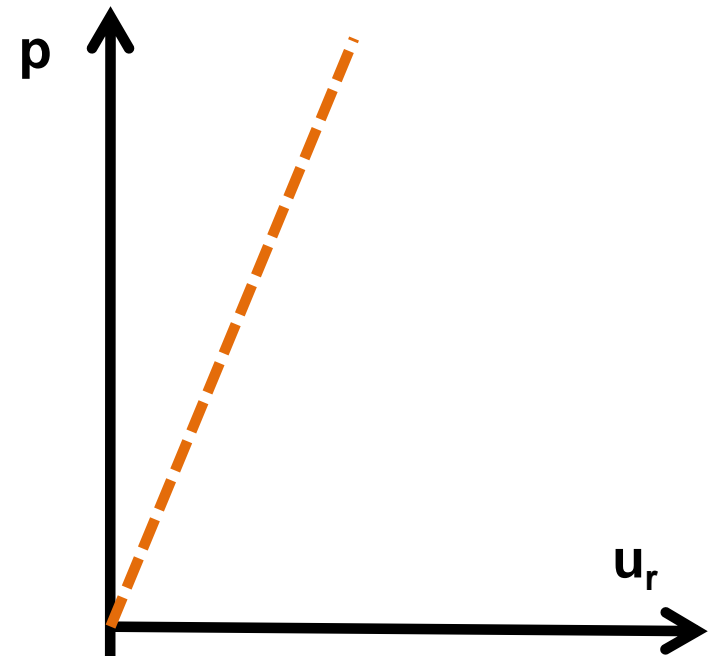
CURVAS CARACTERISTICAS DEL SOSTENIMIENTO

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:

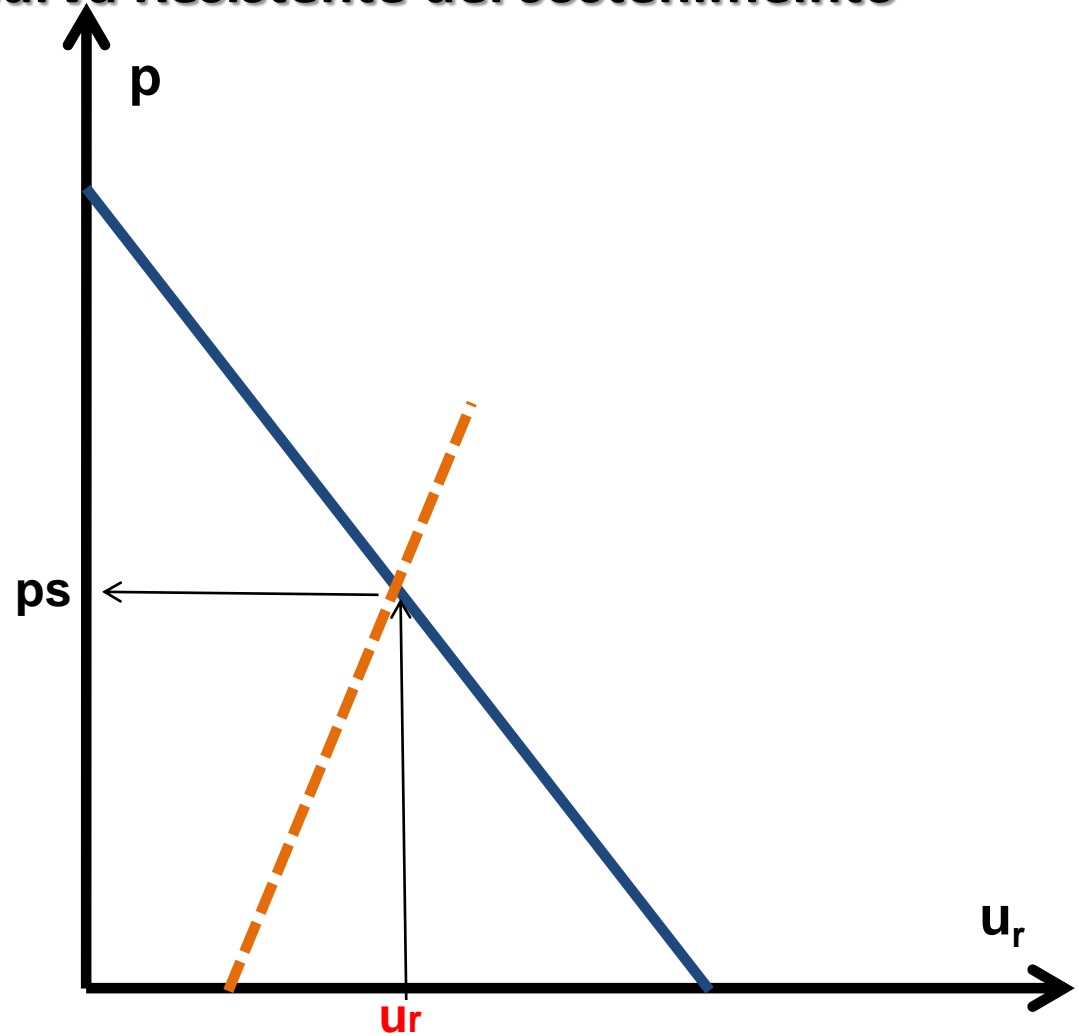
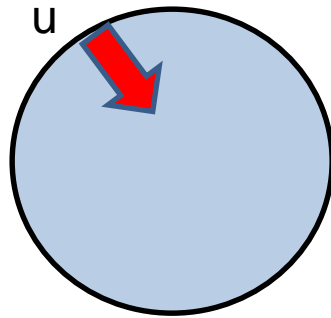
- Deformación inicial de la excavación.
- Rigidez del sostenimiento
- Presión máxima que es capaz del soportar el sostenimiento



DISEÑO

Conceptos de Confinamiento

Curva Característica vs Curva Resistente del sostenimiento



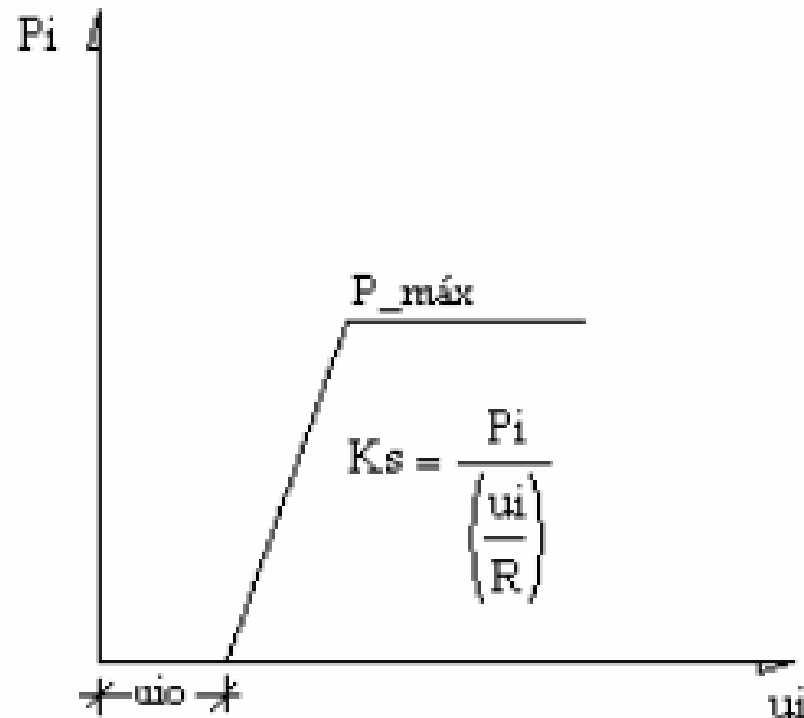


Conceptos de Confinamiento

Deformación Inicial de la Excavación (u_{io})

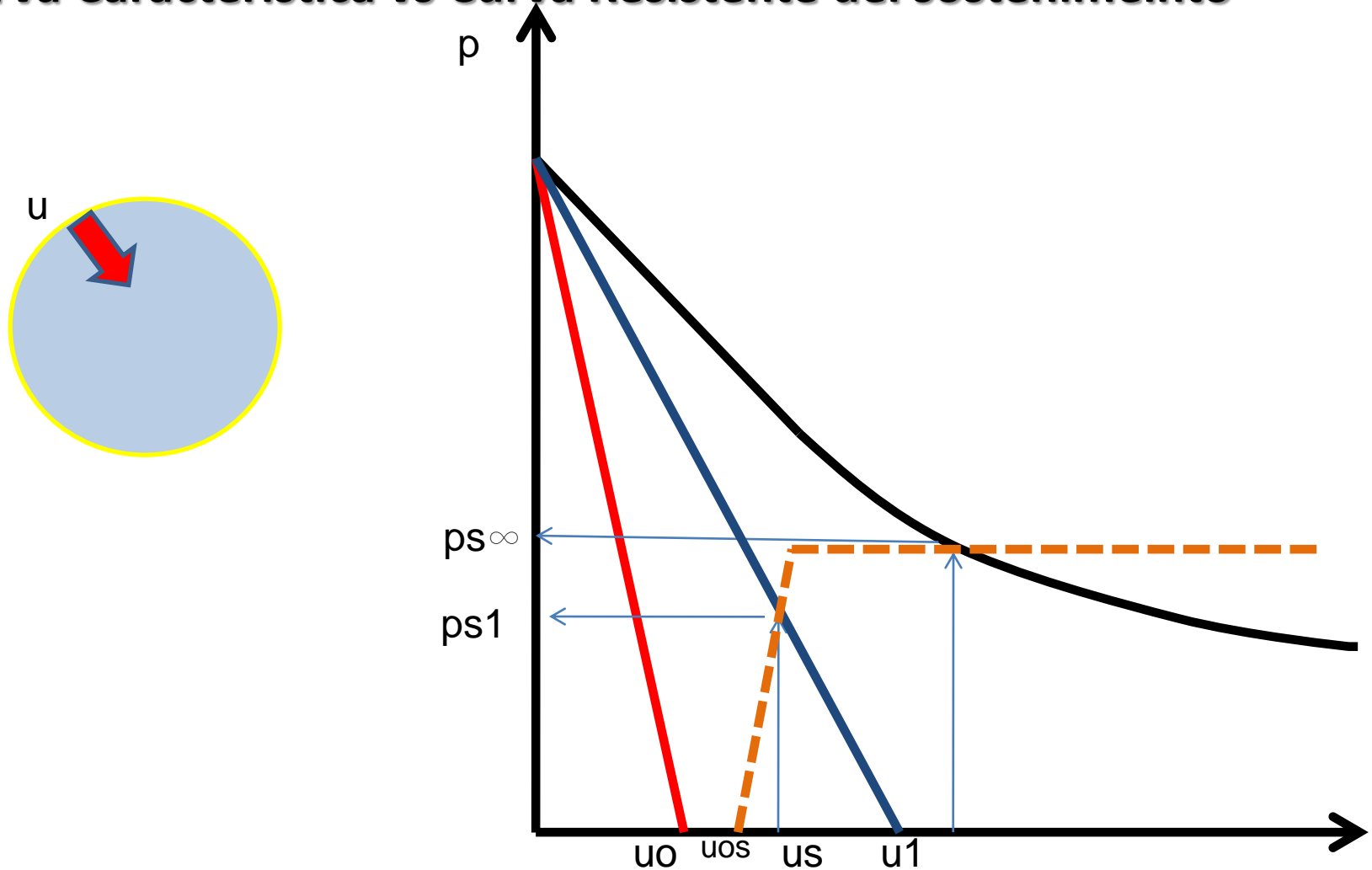
Debe estar relacionado
con el tiempo que puede
mantenerse estable la
excavación **sin tener
ningún tipo de
sostenimiento**

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

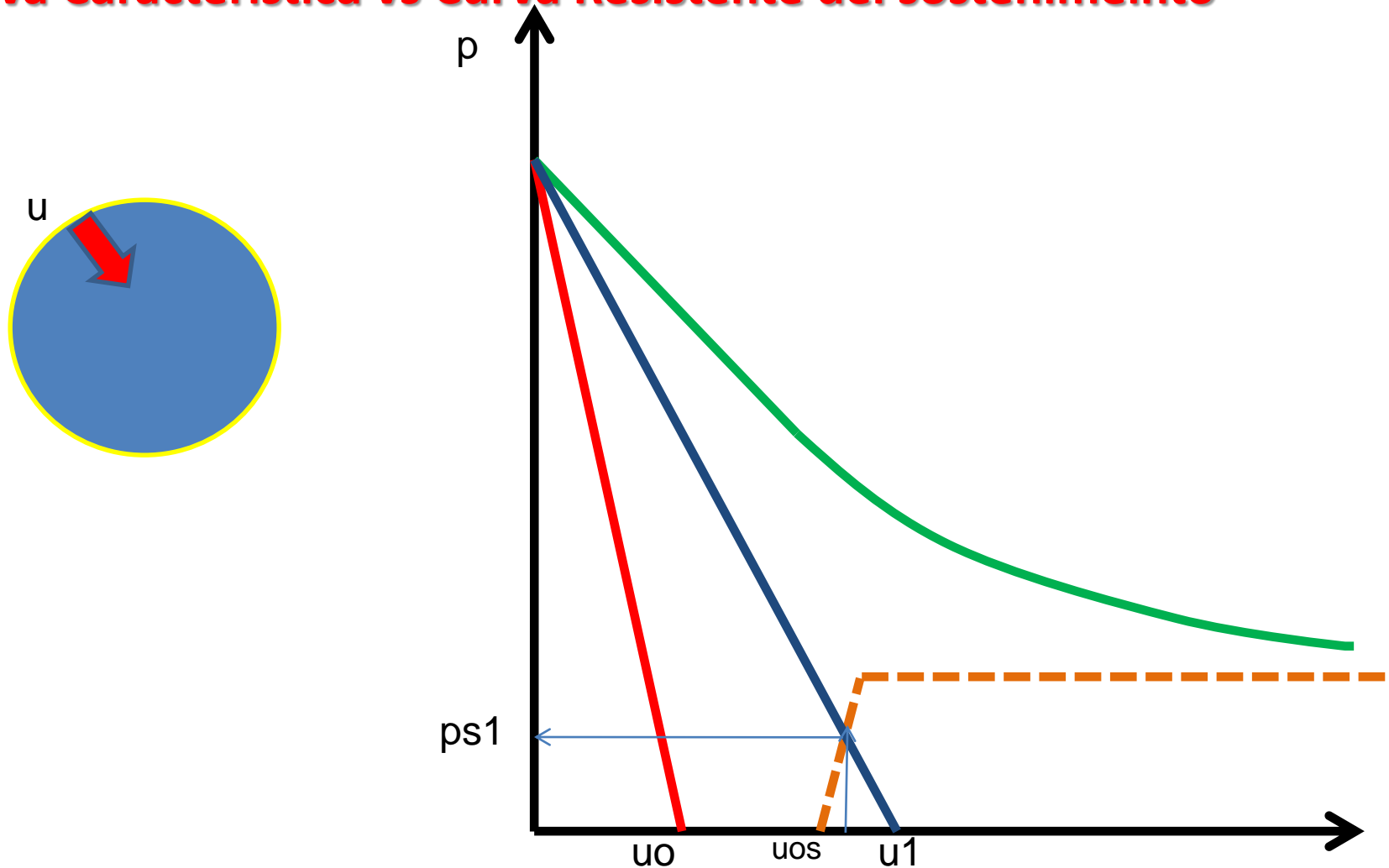




DISEÑO

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 excavar 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) Rápido	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). En el graneado rápido, el proceso empieza en pocos minutos.	Suelos residuales o arenas con pequeñas cantidades de cementante. Arriba del nivel freático son de graneado lento y bajo el NAF son de graneado rápido. Arcillas firmes fisuradas pueden presentar graneado 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 friccionante. 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 graneado y extrusión.

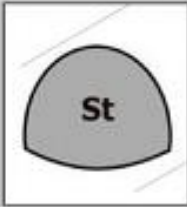

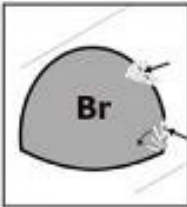

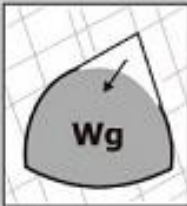

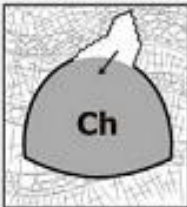



MODELO DE TERZAGHI

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 (σ_{cm}/p_0) 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_d) Indicative limit: $\sigma_d \sim 15$ Mpa Low σ_d High σ_d		INTACT ROCK STRENGTH (σ_d) Indicative limit: $\sigma_d \sim 15$ Mpa Low σ_d High σ_d		
 INTACT OR MASSIVE Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	1 	2 	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~150 m	3 	4 
 BLOCKY Well interlocked undisturbed rock mass consisting of blocks formed by three orthogonal intersecting discontinuity sets	5 	6 		7 	8 
 VERY BLOCKY Interlocked, partially disturbed rock mass with multi-faceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets	9 	10 		H LIMIT: ~100 m	11 



CARACTERIZACION GEOLOGICA-GEOTECNICA

Grado de fracturación y el estado tensional

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

Grado de fracturación y el estado tensional



arinos, 2012



-
- Figure 10.10 is a design chart for rock tunnel support. The chart relates Rockmass quality Q (log scale, 0.001 to 1000) to Span or height in m (log scale, 1 to 100) and ERS (log scale, 1 to 100). The chart is divided into Rock classes (G to A) and shows curves for Bolt spacing in shotcreted areas (1.0 m to 2.5 m) and Bolt spacing in unshotcreted areas (1.0 m to 2.0 m). The chart also includes a table for RMR values and Rock classes.
- | RMR | 5 | 20 | 35 | 50 | 59 | 65 | 74 | 80 | 89 | 95 |
|-----|---------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | $RMR \approx -18.2$ | | | | | | | | | |
| 2 | $RMR \approx 5$ | | | | | | | | | |
- Rock classes: G (Exceptionally poor), E (Extremely poor), E (Very poor), D (Poor), C (Fair), B (Good), A (Very good, Ext. good, Exc. good).
- Span or height in m (log scale): 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100.
- ERS (log scale): 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100.
- Bolt spacing in shotcreted areas (m): 1.0, 1.2, 1.5, 1.7, 2.1, 2.3, 2.5.
- Bolt spacing in unshotcreted areas (m): 1.0, 1.5, 2.0.
- Rockmass quality Q (log scale): 0.001, 0.004, 0.01, 0.04, 0.1, 0.4, 1, 4, 10, 40, 100, 400, 1000.
- Rockmass quality Q formula:
- $$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$



TUNELES

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)



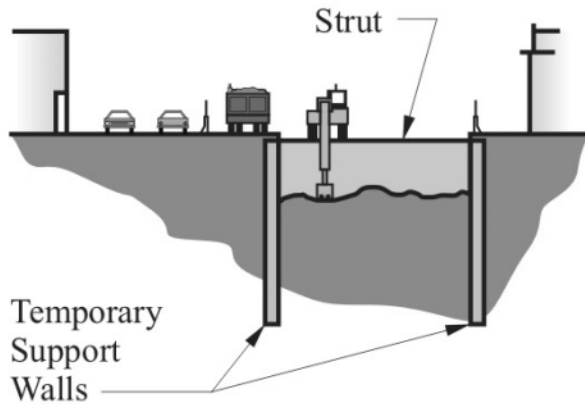
TUNELES - CONSTRUCCION

SISTEMAS SUPERFICIALES CUT AND COVER

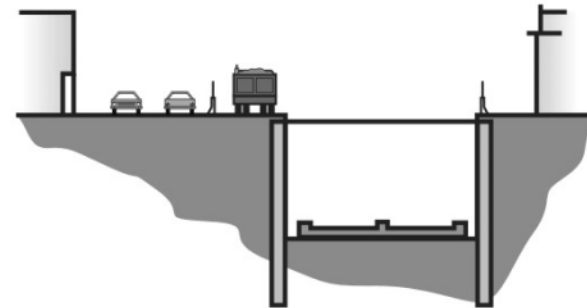
CUT AND COVER

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

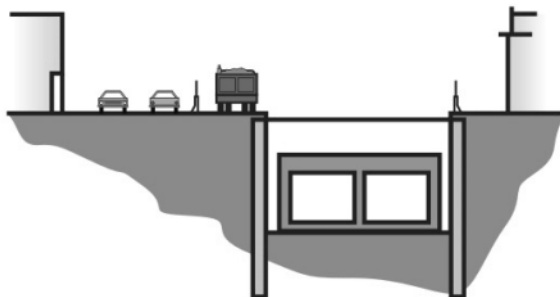
Step 1



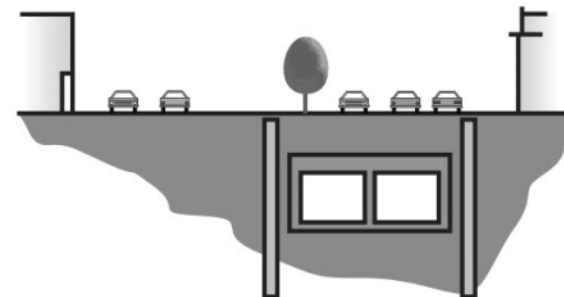
Step 2



Step 3



Step 4



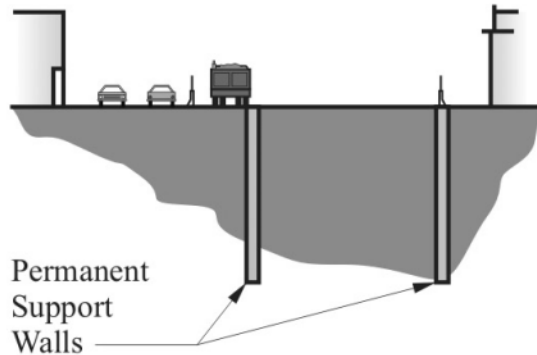
Zeballos - Terzariol

TUNELES

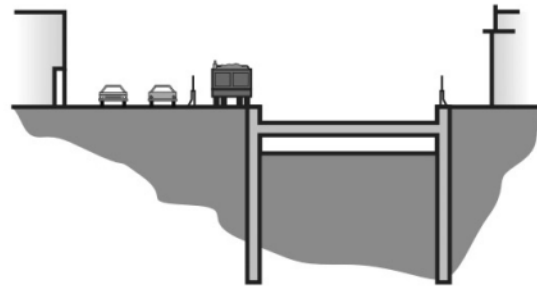
SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

CUT AND COVER

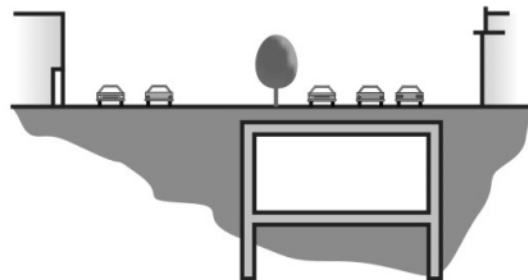
Step 1



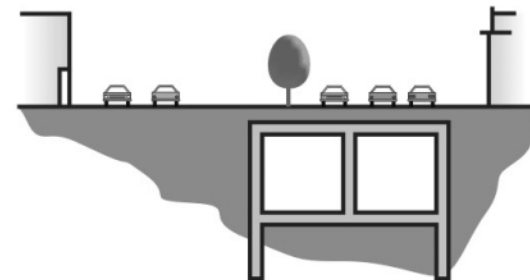
Step 2



Step 3



Step 4



Zeballos - Terzariol

BAJO NIVEL PLAZA ESPAÑA

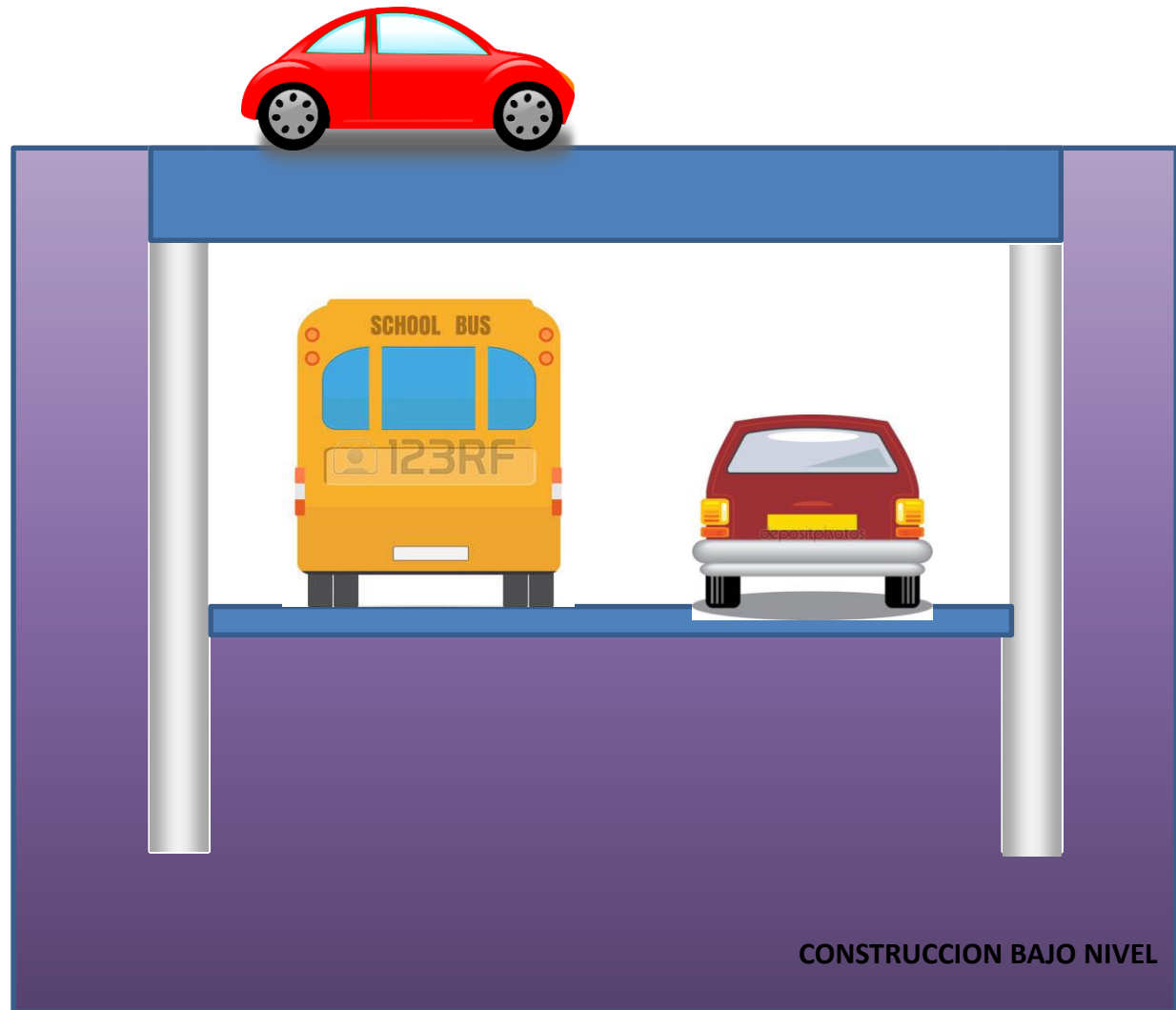
Proyecto de Licitación

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





TUNELES - CONSTRUCCION

PERFORACION TUNEL

EXCAVACION SECUENCIAL PERFORACIÓN Y VOLADURA

TUNELES

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Método Secuencial



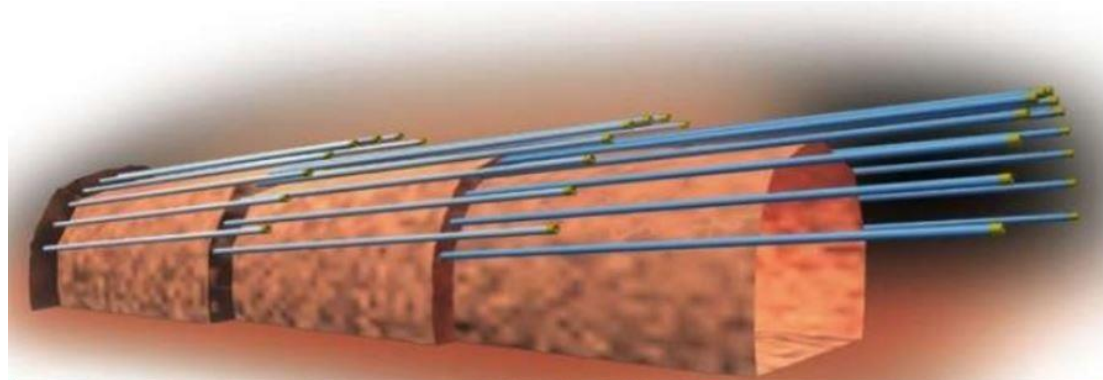
Acceso al Túnel

TUNELES

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Método Secuencial

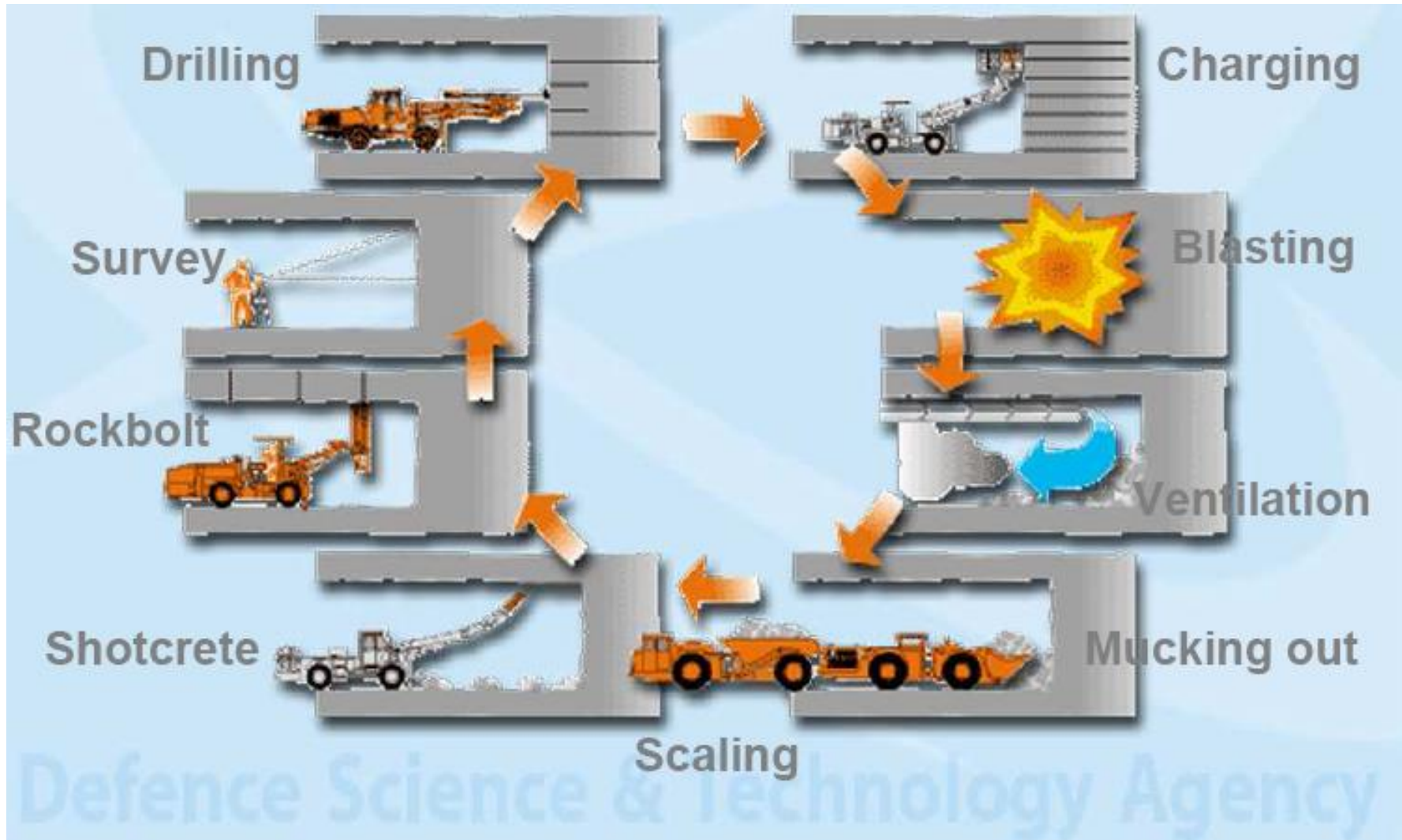
Acceso al Túnel



TUNELES

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

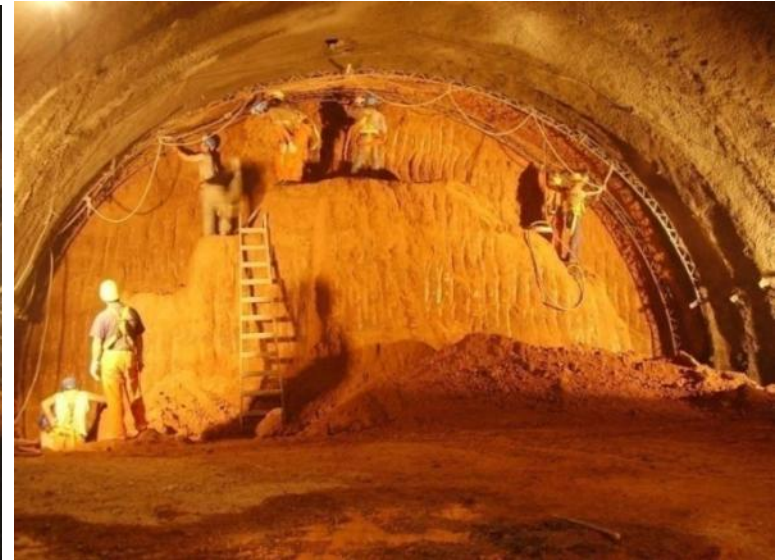
Ciclo de Excavación con Voladura



TUNELES

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Método Secuencial



DEFINICIONES

DISEÑO

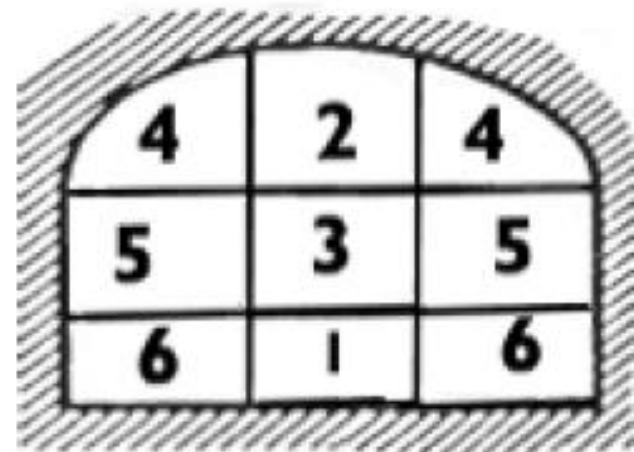
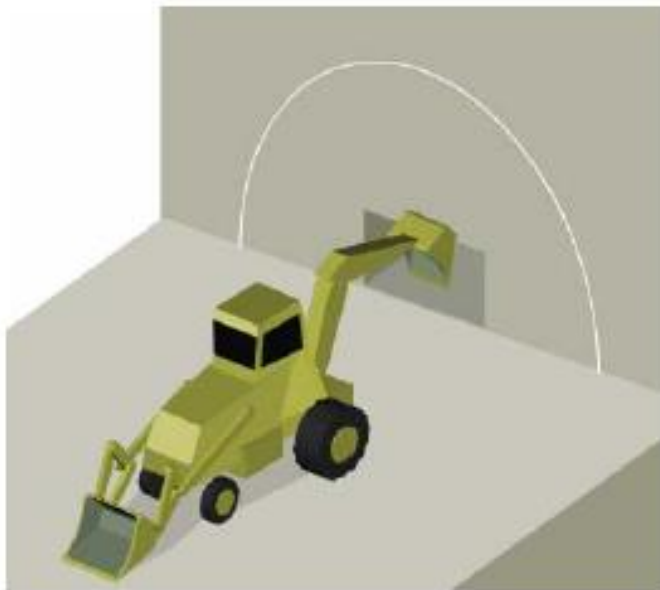
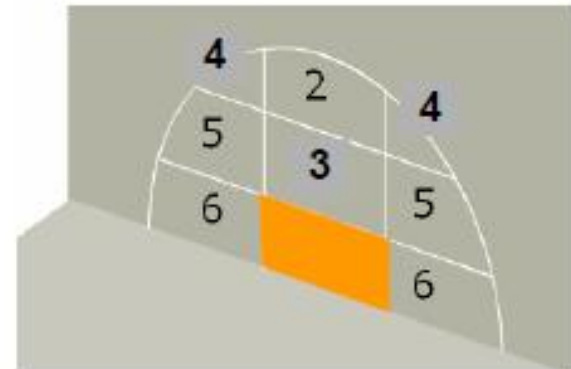
CONSTRUCCION

TUNELES

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Excavación a sección parcial

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



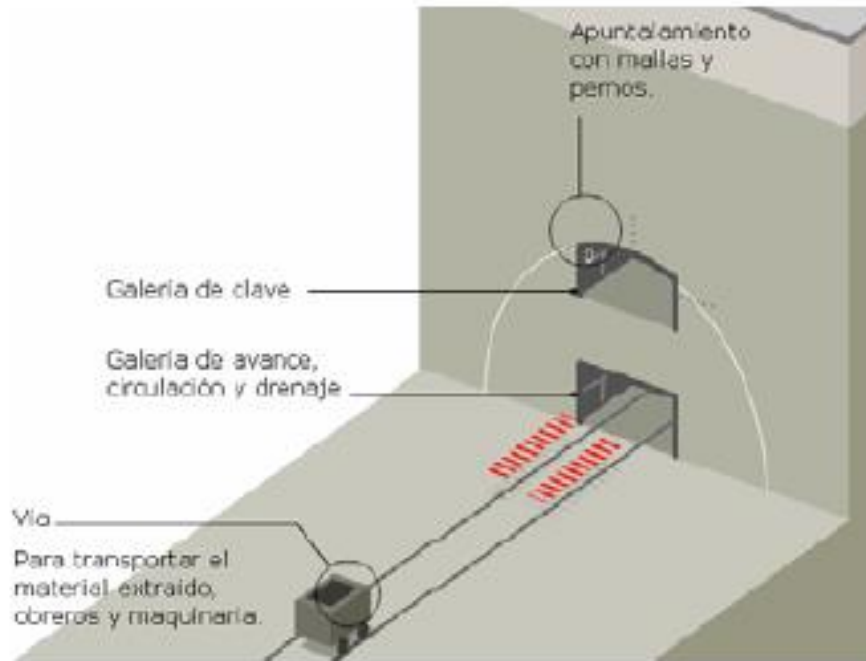
METODO AUSTRIACO

TUNELES

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Excavación a sección parcial

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



TUNELES

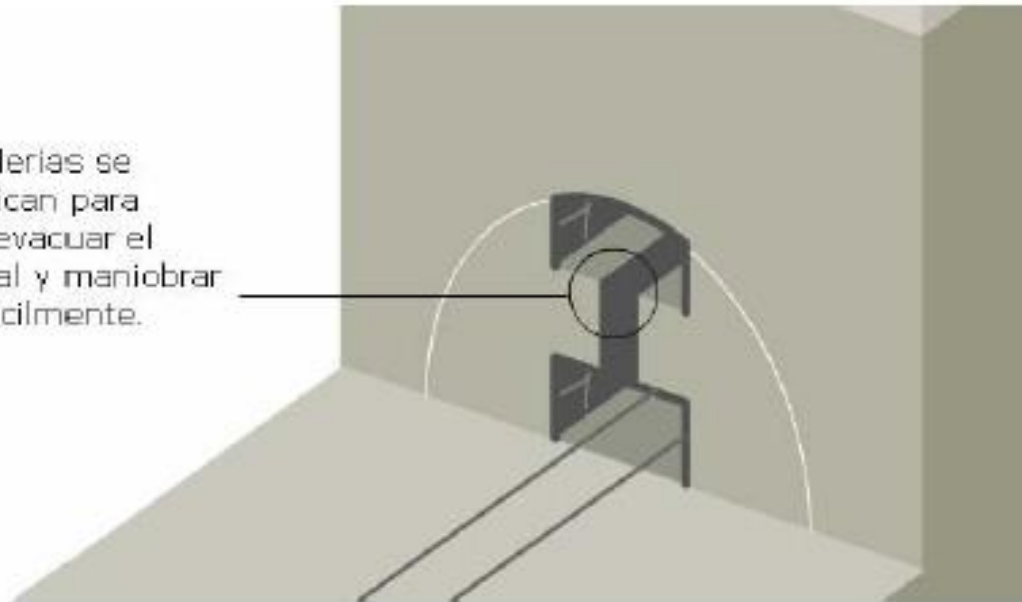
SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Excavación a sección parcial

3°- **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

4° - Excavación de hastiales por bataches.

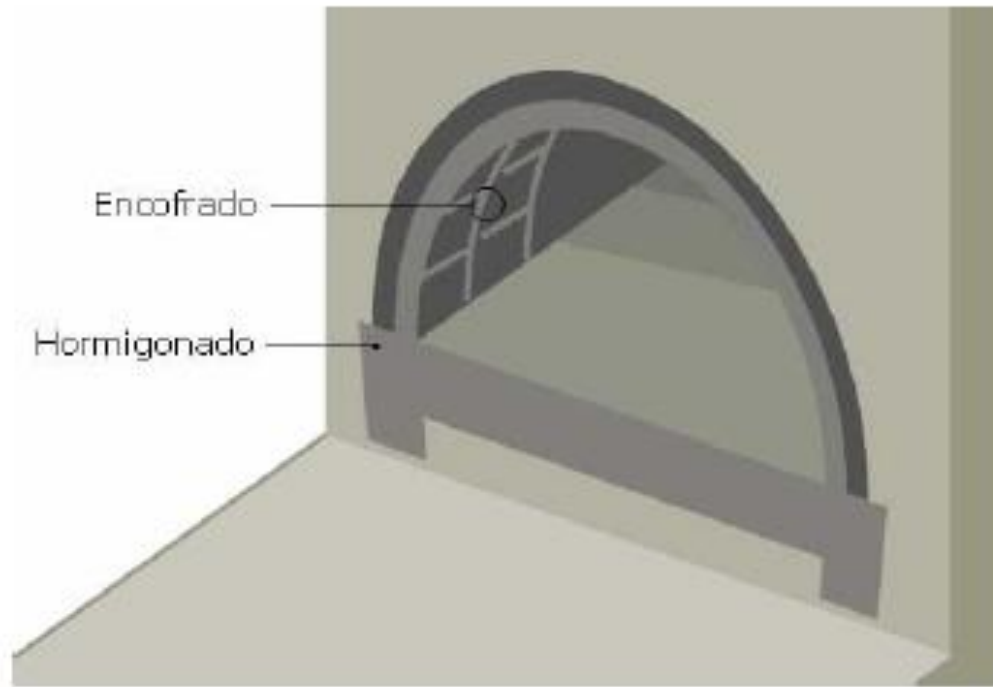


TUNELES

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Excavación a sección parcial

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

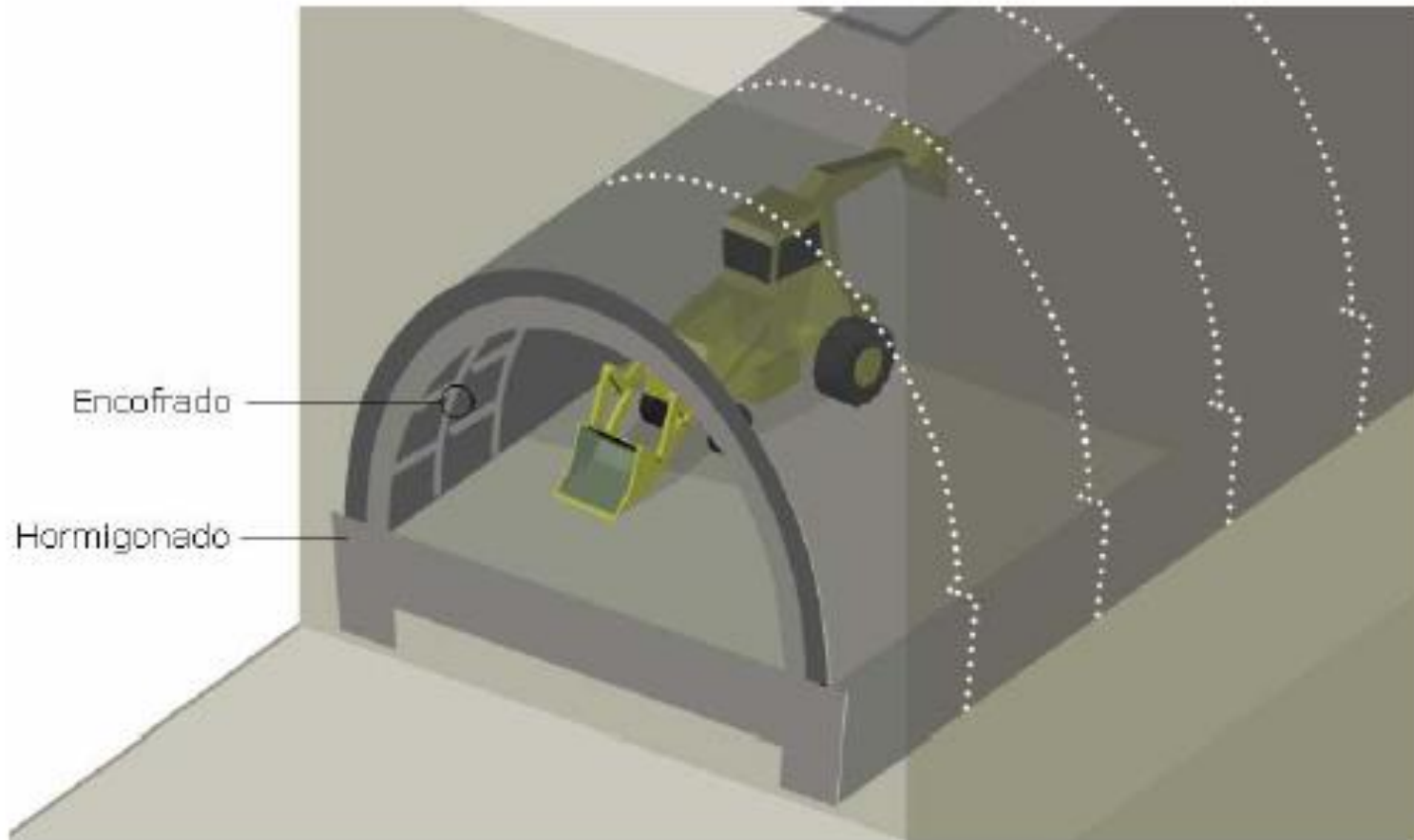


TUNELES

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Excavación a sección parcial

6° - 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 escombros y aplican el revestimiento

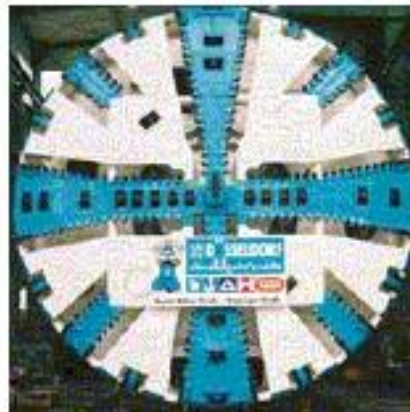
Si se elige la tuneladora apropiada, la geología

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



DEFINICIONES

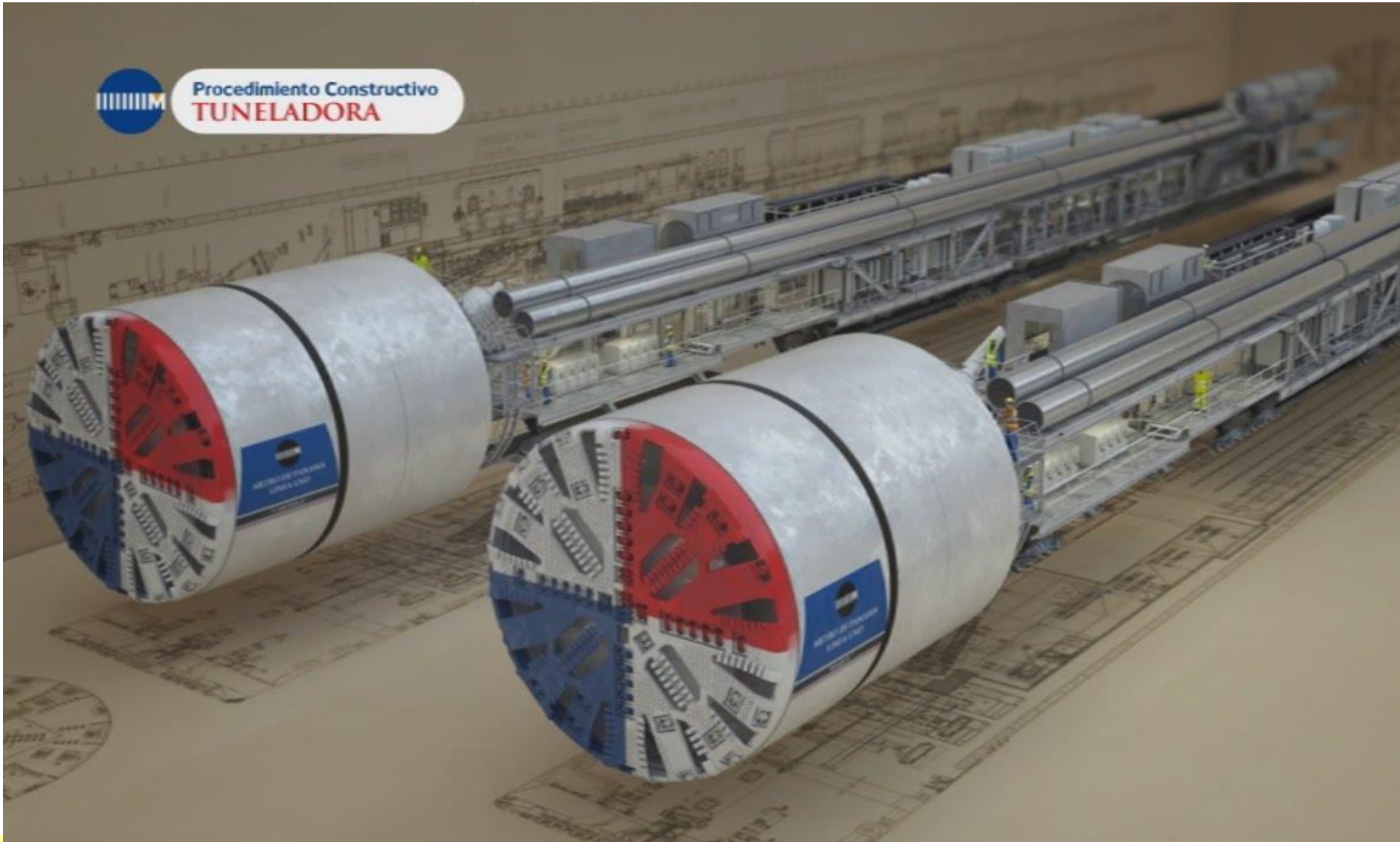
DISEÑO

CONSTRUCCION

TUNELES TUNELADORAS



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



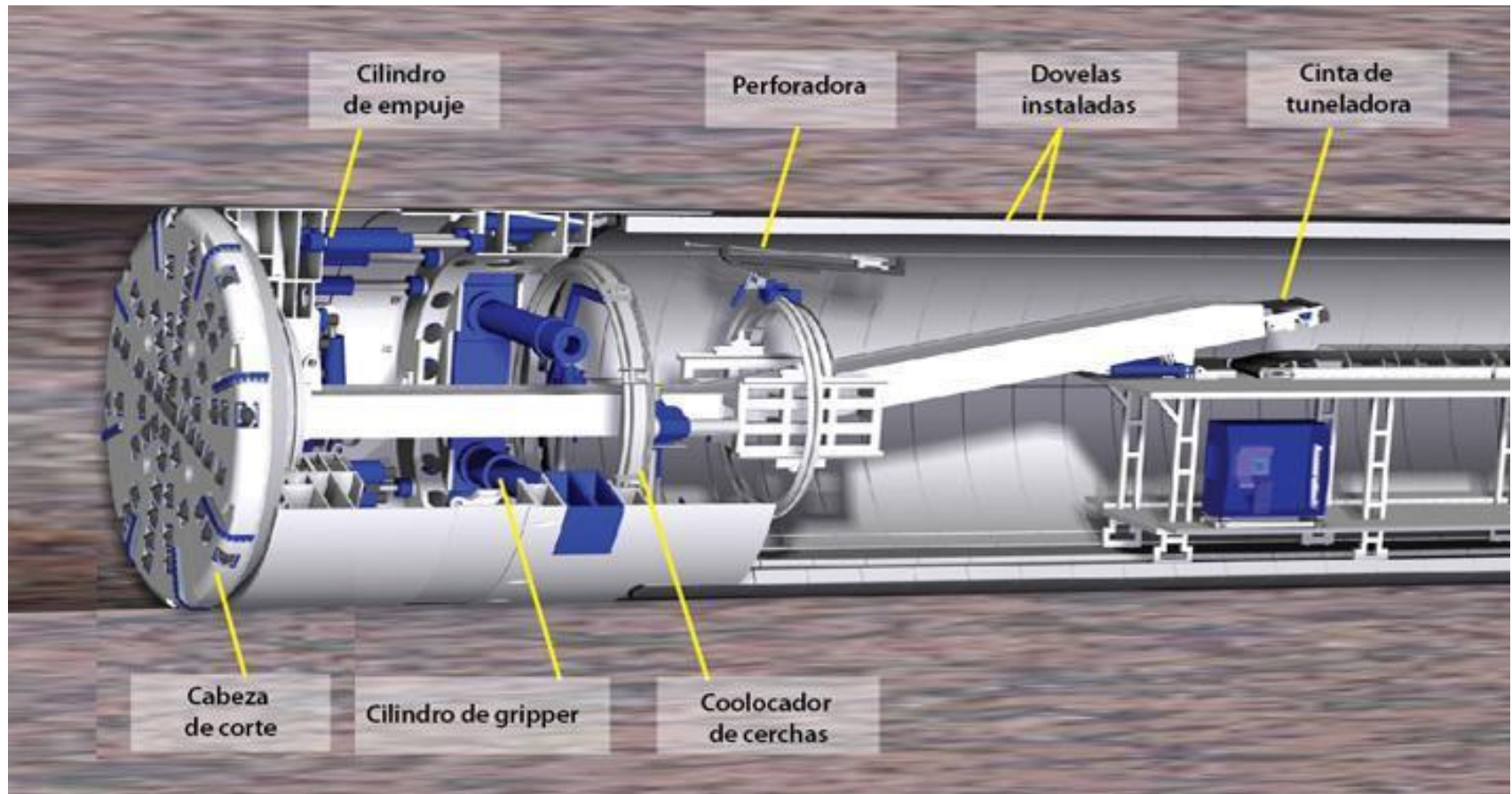
DEFINICIONES

DISEÑO

CONSTRUCCION

TUNELES TUNELADORAS

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



DEFINICIONES

DISEÑO

CONSTRUCCION



CONSTRUCCION

Selección de Equipo

