

I CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE LA TRAVESÍA FERROVIARIA POR EL PIRINEO CENTRAL

Grandes Infraestructuras Europeas



2008



ZARAGOZA - Del 29 al 31 de OCTUBRE de 2008



DISEÑO Y ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DE GRANDES TÚNELES

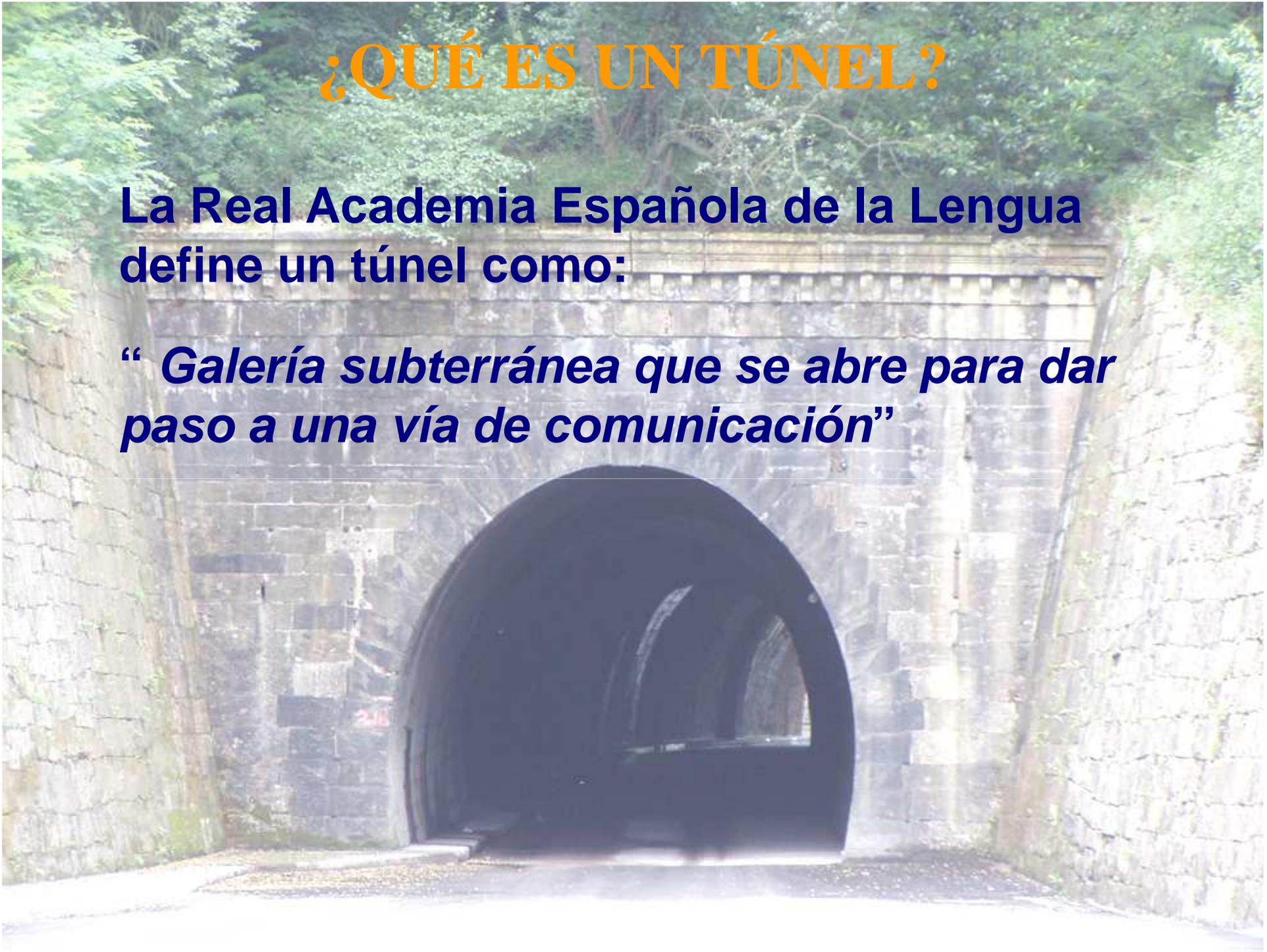
Rafael López Guarga

**Presidente del Comité Técnico de Túneles
de la Asociación Técnica de Carreteras**

¿QUÉ ES UN TÚNEL?

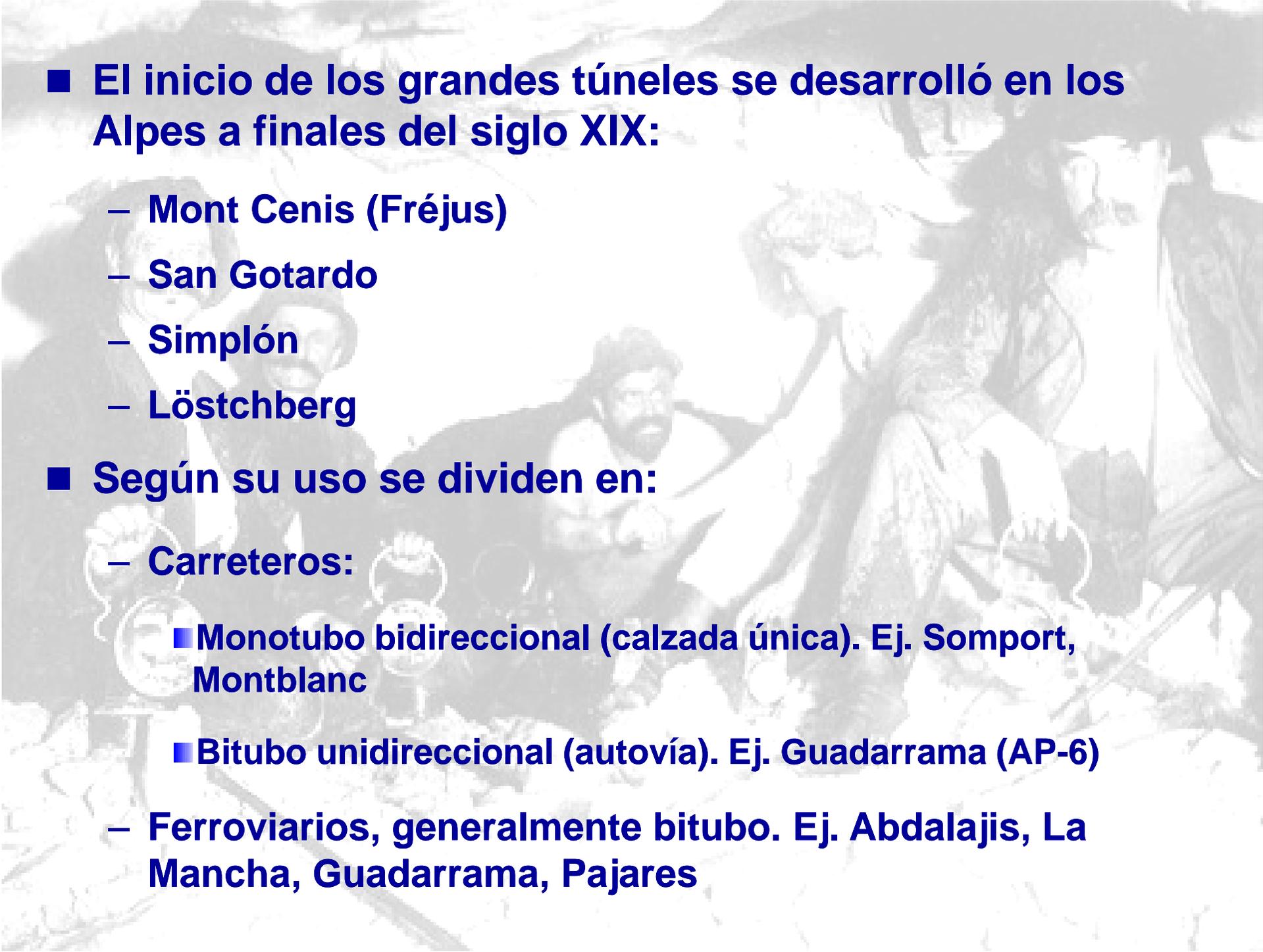
La Real Academia Española de la Lengua define un túnel como:

“ Galería subterránea que se abre para dar paso a una vía de comunicación”



¿QUÉ ES UN TÚNEL LARGO?

- Punto de vista del usuario: Aquel a partir del cual se empieza a sentir una sensación de ansiedad (claustrofobia)
- Punto de vista técnico: No está definido
 - En explotación:
 - A partir de 200 m se deben adoptar medidas especiales
 - A partir de 1.000 m se puede considerar específicamente como túnel largo
 - En construcción: Cuando para su ejecución es preciso definir procedimientos específicos > 5 Km



- **El inicio de los grandes túneles se desarrolló en los Alpes a finales del siglo XIX:**

- **Mont Cenis (Fréjus)**
- **San Gotardo**
- **Simplón**
- **Löstchberg**

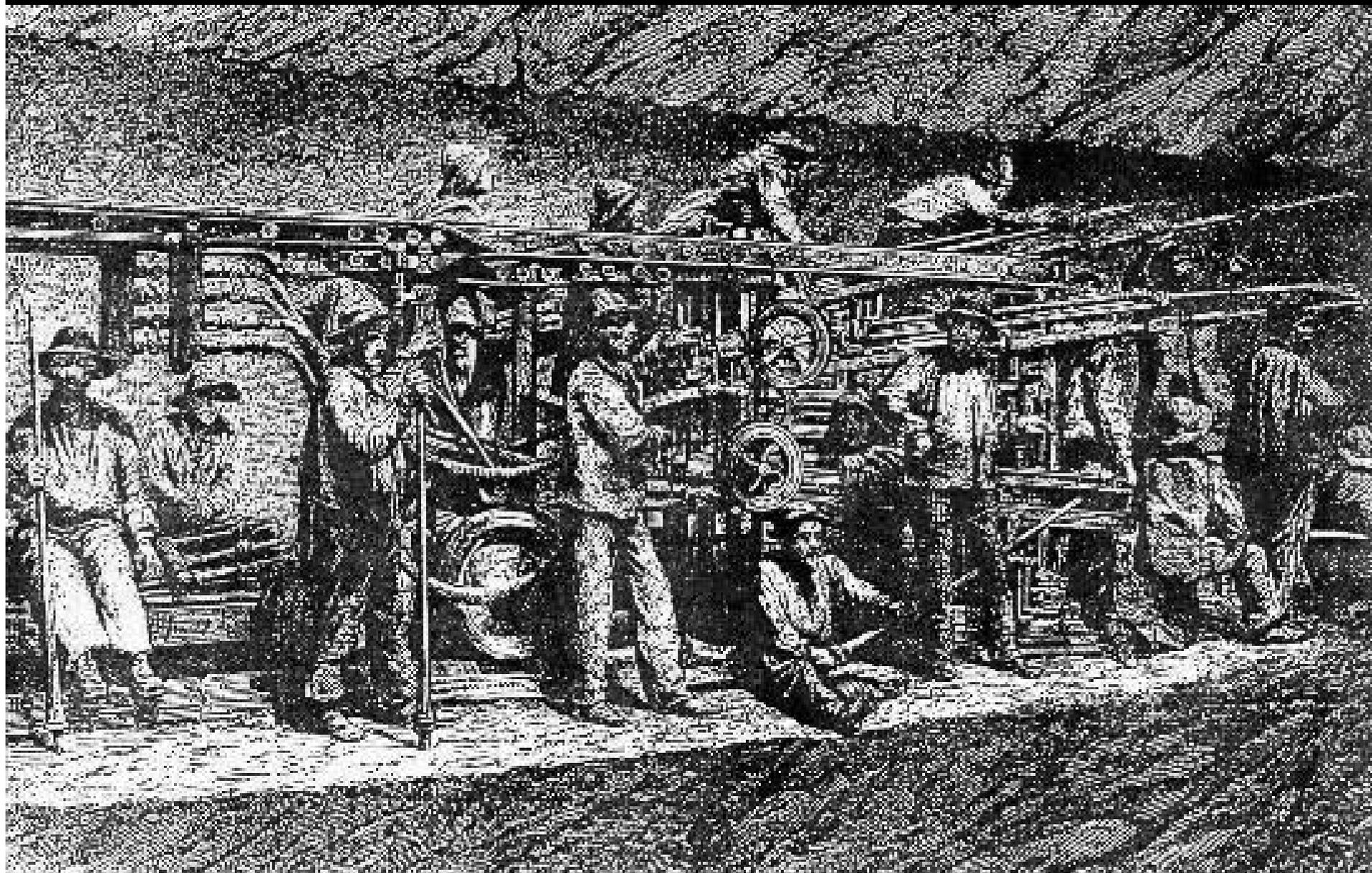
- **Según su uso se dividen en:**

- **Carreteros:**

- **Monotubo bidireccional (calzada única). Ej. Somport, Montblanc**

- **Bitubo unidireccional (autovía). Ej. Guadarrama (AP-6)**

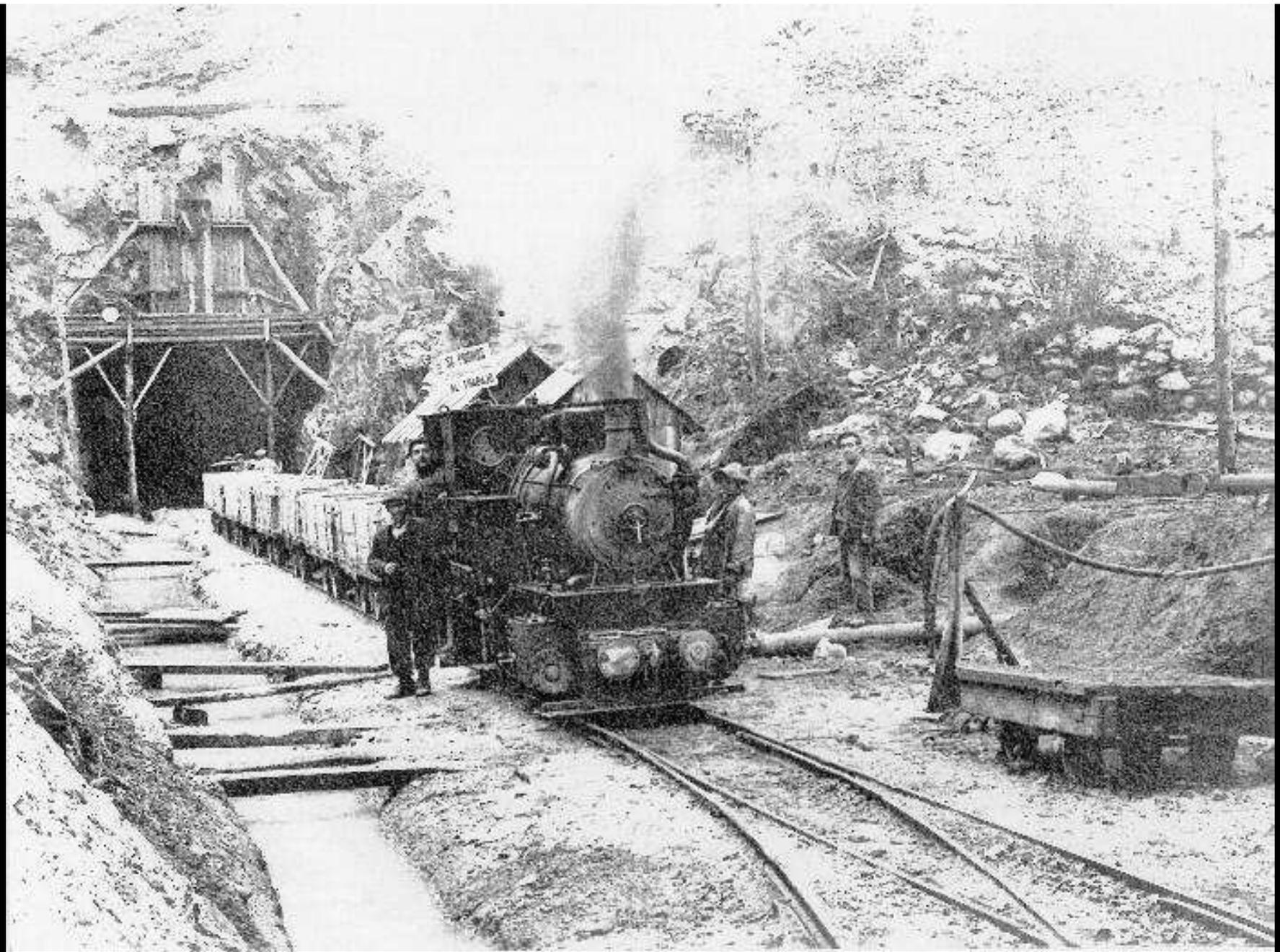
- **Ferrovianos, generalmente bitubo. Ej. Abdalajis, La Mancha, Guadarrama, Pajares**



Construcción del túnel de Mont – Cenis (1863)



Construcción del túnel ferroviario de San Gotardo (1872)



Construcción del túnel ferroviario de Canfranc (1921)



Inauguración del túnel ferroviario de Canfranc (1928)

TÚNELES DE BASE

- Dentro de los grandes túneles cabe destacar los llamados túneles de base o baja cota, que presentan las siguientes características:
 - Longitud > 20 Km
 - Ferroviarios, aunque con alguna excepción (Noruega)
 - Atraviesan grandes cordilleras Coberteras >> 1.000 m
- La situación actual de las comunicaciones ha obligado al desarrollo de diversos proyectos de acuerdo con el desarrollo de la sociedad actual.
 - Desarrollo de nuevas tecnologías en la construcción de túneles
 - Mantener la calidad del trazado de la infraestructura sin grandes rampas, mejorando la accesibilidad
 - Para conseguir un nivel de riesgo aceptable son precisas mayores inversiones en seguridad, tanto en fase de construcción como en explotación
 - Compatibilidad con el entorno

EFECTOS POSITIVOS DE LA OBRA SUBTERRÁNEA SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

- Mínima intrusión acústica en su entorno
- Mínima intrusión visual. (Impacto sólo en boquillas) ←
- Minimización de daños a fauna, vegetación e hidrología superficial.
- Minimización de la alteración de los usos superficiales ←
- Incremento de las posibilidades de comunicación (mejor funcionalidad frente a dificultades del relieve)
- Mejor control de las emisiones de los gases
- Favorables a la opinión pública ?



EFFECTOS NEGATIVOS DE LA OBRA SUBTERRÁNEA **SOBRE EL MEDIO AMBIENTE (medidas correctoras)**

- Mayores costes de construcción y de mantenimiento
- Alteraciones de la hidrología y de la hidrogeología
- Generación de ruidos durante la construcción
- Modificación del paisaje: embocaduras, chimeneas, pozos intermedios
- Generación de escombreras
- Efectos negativos sobre la “psique” humana



TÚNELES TRANSFRONTERIZOS EN EUROPA

TÚNELES DE CARRETERA			
País	Nombre	Longitud	Vía
A-SLO	Karawanken	7.865 m	A11
A-SLO	Loibl	1.570 m	B91
A-D	Füssen-Grenztunnel	1.245 m	B179/A7
F-I	Ciriegia-Mercantour	17.300 m	PRJ
F-I	Fréjus	12.895 m	RN566
F-I	Mont Blanc	11.611 m	RN205
F-I	New Col di Tenda (Tende)	3.300 m	RN204
F-I	Col de Tende	3.186 m	RN204
F-I *	La Girarde	455 m	A8
F-AND	Envalira	2.891 m	RN20
F-MC	Rainier 3me	1.520 m	RN7
E-F	Somport	8.602 m	RN134
E-F	Aragnouet-Bielsa	3.070 m	A138
I-CH	Gran San Bernardo	5.854 m	N21
DK **	Oresundtunnel	4.050 m	E20
E ***	Cadí	5.028 m	E09
F	Puymorens	4.820 m	E09

TÚNELES DE FERROCARRIL			
País	Nombre	Longitud	Vía
A-I	Basis Brenner	55.000 m	Brenner line
A-SLO	Karawanken	7.976 m	Karawanken line
F-E	Somport	7.875 m	Pau (F)-Zaragoza
F-E	Perthus	8.200 m	TGV Perpignan-Barcelona
F-I	Frejus (Cenisio)	13.536 m	Mont Cenis line
F-I	Basis Mont d'Ambin	52.110 m	
F-I	Tenda	8.099 m	Tenda line
F-MC	Monaco	3.092 m	Nice-Menton
F-CH	Mont d'Or	6.097 m	Line Dijon (F)-Lausanne (CH)
GB-F	Chunnel (Eurotunnel)	50.450 m	Subsea tunnel
GB	Severn	7.008 m	Subsea tunnel
I-CH	Simplon-I	19.803 m	Simplon line
I-CH	Simplon-II	19.824 m	Simplon line
YU-BIH	Trebesica	5.122 m	Between Beograd and Bar
YU	Sopotnica	1.942 m	

* El tubo sur esta en Francia

** Se encuentra en Dinamarca pero forma parte del paso marítimo hacia Suecia (túnel + puente)

*** No están ubicados en la frontera pero muy próximos a ella en ambas vertientes de un mismo eje

TÚNELES FERROVIARIOS MAS LARGOS

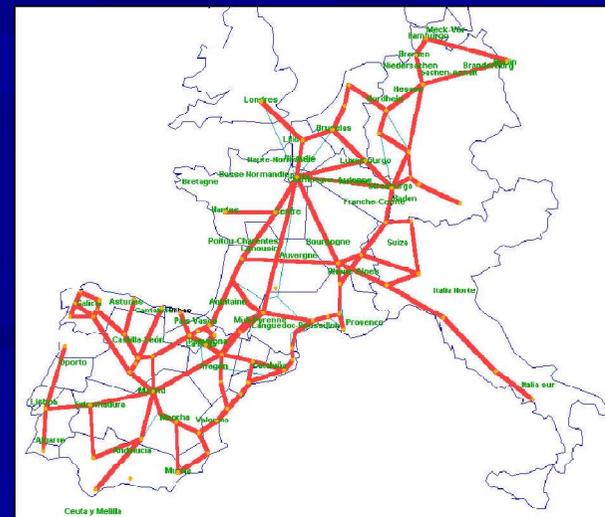
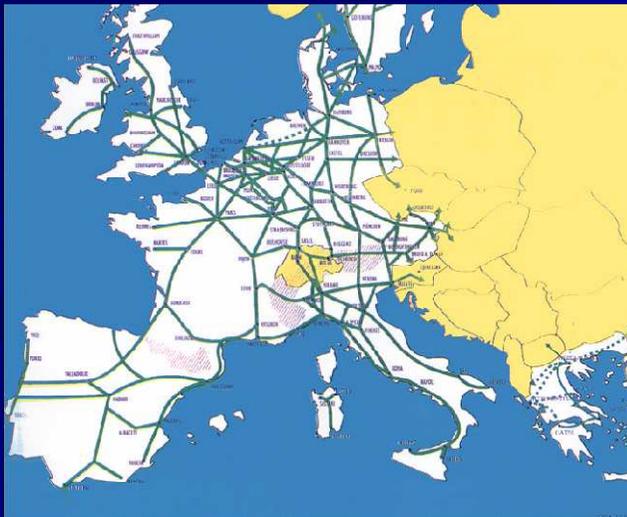
Número	País	Nombre	Fecha de inauguración	Longitud en metros
1	Japón	Seikan	1988	53.850
2	Francia - Gran Bretaña	La Mancha	1994	50.500
3	Suiza	Lötschberg	2007	34.600
4	España	Guadarrama	2007	28.400
5	Japón	Iwate	2002	25.810
6	Japón	Daishimizu	1982	22.200
7	Suiza - Italia	Simplon	1906	19.731
8	Suiza	San Gotardo	En construcción	57.100
9	España	Pajares	En construcción	24.700

TÚNELES CARRETEROS MAS LARGOS

Número	País	Nombre	Fecha de inauguración	Longitud en metros
1	Noruega	Leardel	2001	24.500
2	Suiza	San Gotardo	1980	16.918
3	Austria	Arlberg	1978	13.972
4	Francia - Italia	Fréjus	1980	12.865
5	Francia - Italia	Mont Blanc	1965	11.611
6	Noruega	Gudvangen	1991	11.400
7	Japón	Kan-Etsu	1991 y 1985	11.010 y 10.926
8	Italia	Gran Sasso	1984	10.173
9	España - Francia	Somport	2003	8.608

PLANIFICACIÓN DE GRANDES INFRAESTRUCTURAS DEL TRANSPORTE

- Planificación de grandes redes →
 - Situación actual
 - ↓
 - Necesidades futuras
- Desarrollo intercomunitario (objetivos de la Comisión Europea)
- Análisis de necesidades de tráfico →
 - Viajeros
 - ↘
 - Mercancías
- Estudio de viabilidad
- Definición de objetivos
- Interconexión de redes, transporte combinado

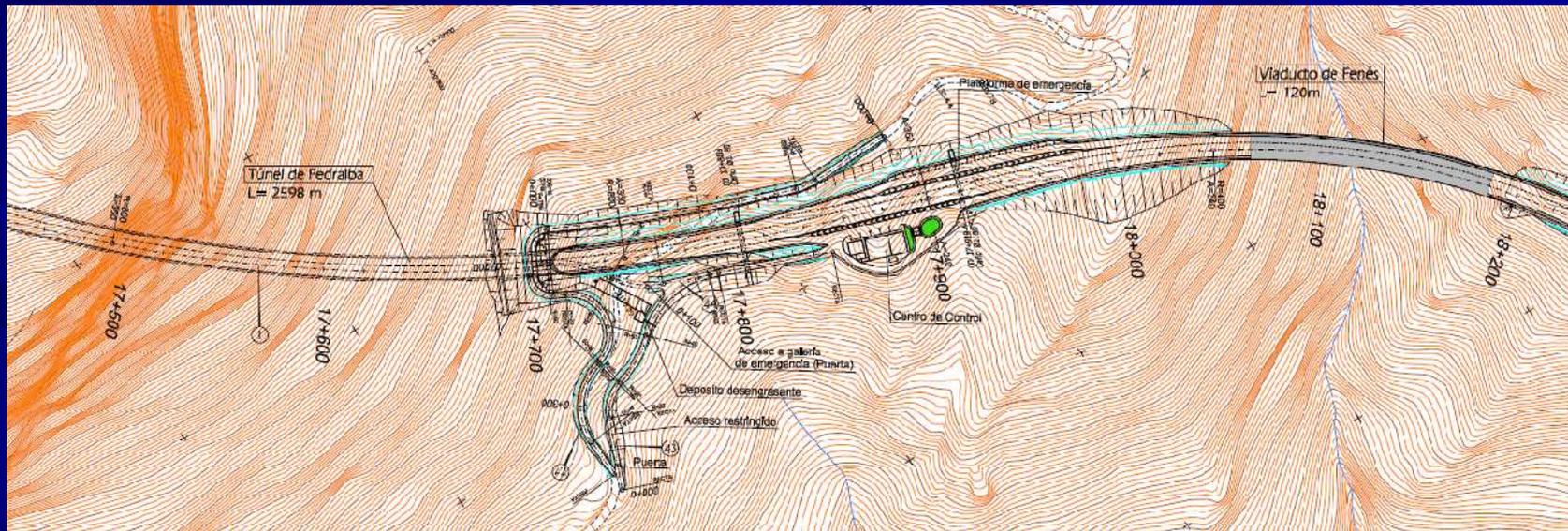


DISEÑO. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

- Estudio de los distintos corredores y combinación de los mismos
- Análisis multicriterio
 - Longitud a centros logísticos
 - Longitud túneles
 - Inversión
 - Aspectos geológicos
 - Aspectos ambientales
 - Aspectos hidrológicos
 - Criterios de trazado

DISEÑO. TRAZADO

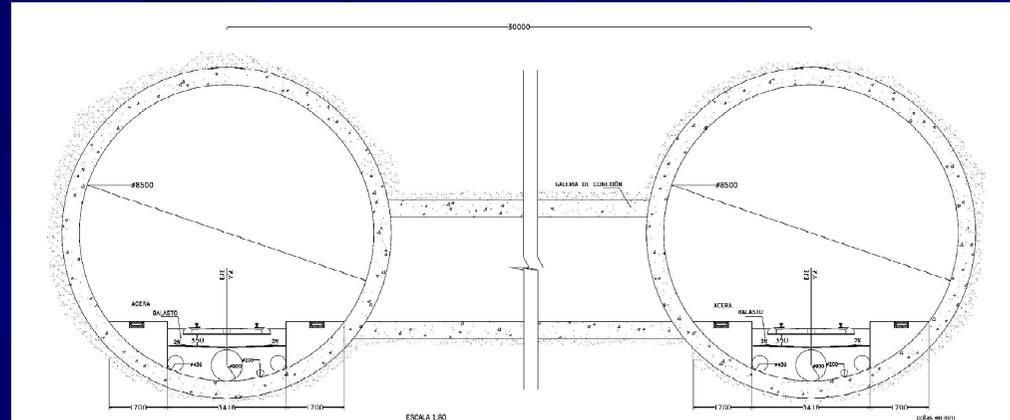
- Una vez seleccionada la alternativa se desarrolla el trazado de la infraestructura definiendo las estructuras y túneles necesarios.
 - Parámetros de trazado según la velocidad de proyecto
 - Radio mínimo en planta
 - Pendiente máxima
 - Acuerdo vertical mínimo
- Normativa aplicable



DISEÑO. SECCIÓN TIPO. FERROCARRIL

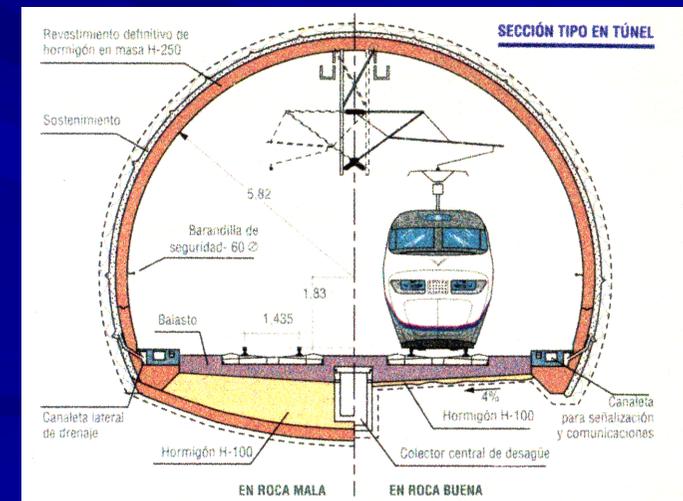
● Criterios

- Gálibo
- Aerodinámicos
- Seguridad en la explotación, aceras, rampas de evacuación, etc.



● Parámetros a definir

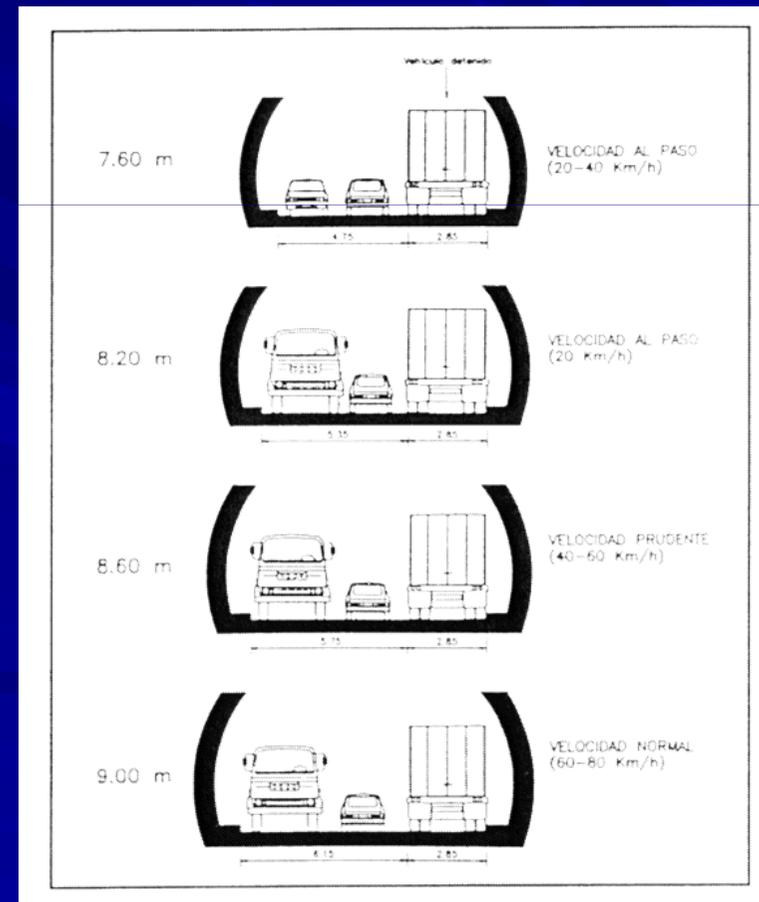
- Diámetro
- Separación entre tubos
- Definición de las conexiones
- Andenes laterales



DISEÑO. SECCIÓN TIPO. CARRETERA

● Criterios

- Gálibo
- Tráfico, estudio evolución de la vida útil de la obra
- Monotubo o bitubo
- Número de carriles por tubo
- Geotécnicos
- Normativa
- Ejecución
- Seguridad en la explotación
- Económicos



DISEÑO. SECCIÓN TIPO. CARRETERA

- Espacios que hay que disponer

- Vehículos. Carriles, mediana y arcenes

- Peatones. Aceras

- Instalaciones, las que representan un espacio importante en la sección son:

- Ventilación

- Iluminación

- Conducciones

- Drenaje

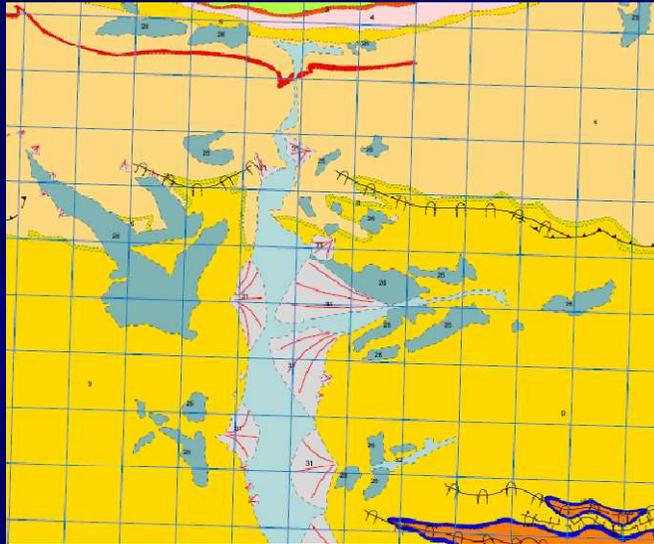
- Salidas de emergencia, postes SOS, instalaciones de seguridad



PERFIL GEOLÓGICO. TRABAJOS PREVIOS

■ Realización del perfil geológico mediante:

– Revisión bibliografía



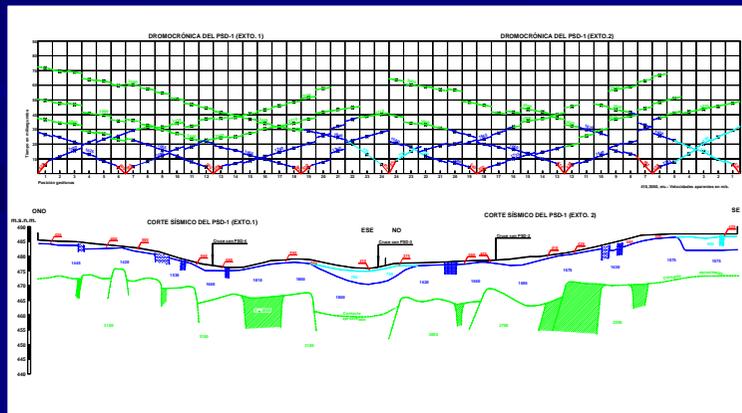
– Geología de superficie



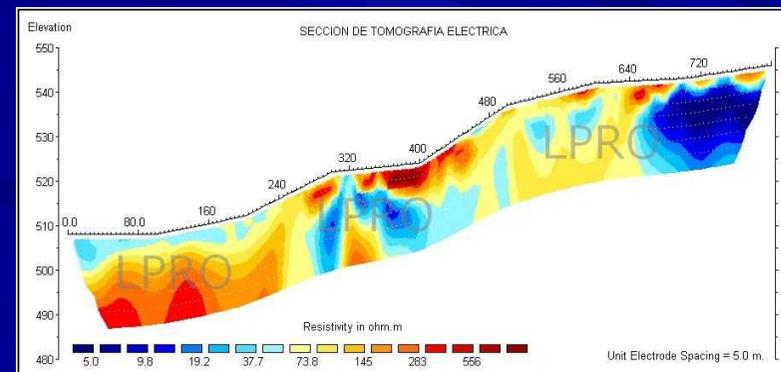
– Sondeos profundos



– Geofísica sísmica



– Geofísica eléctrica

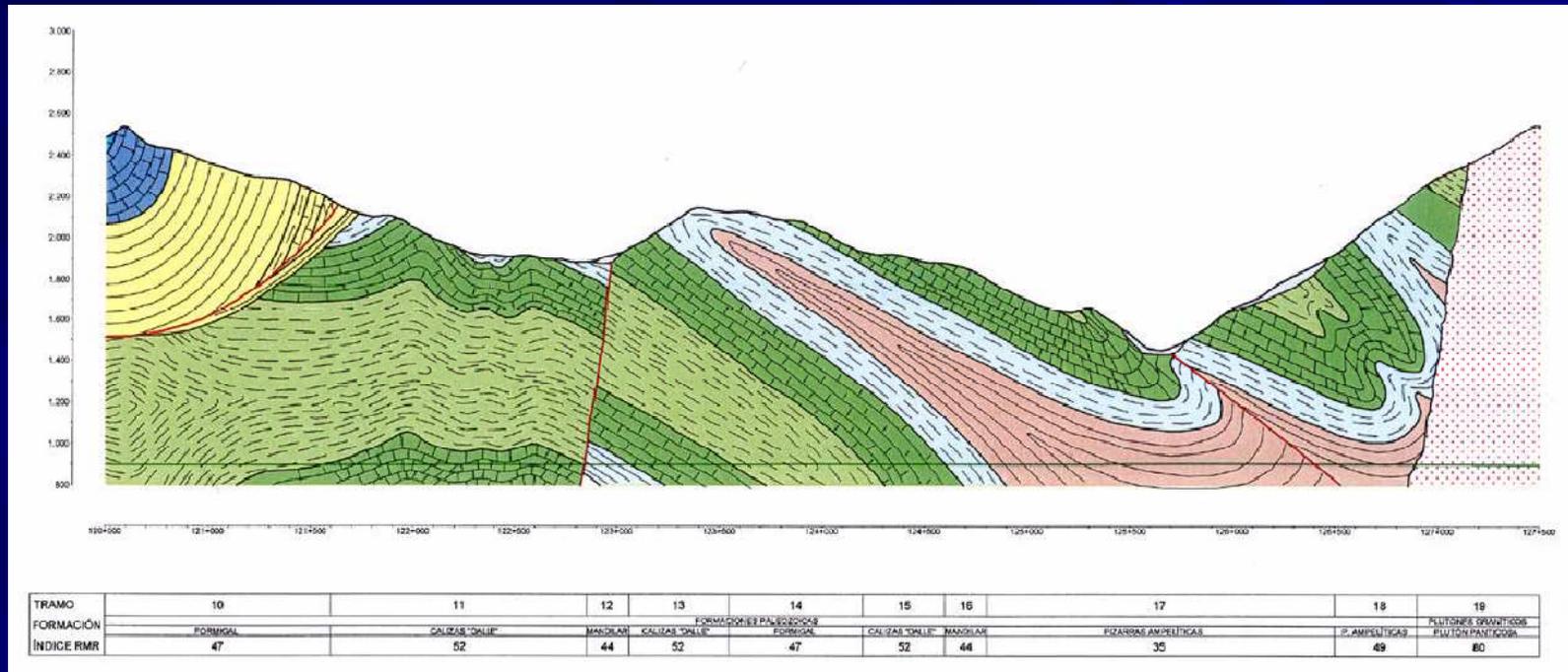


PERFIL GEOLÓGICO. TRABAJOS PREVIOS

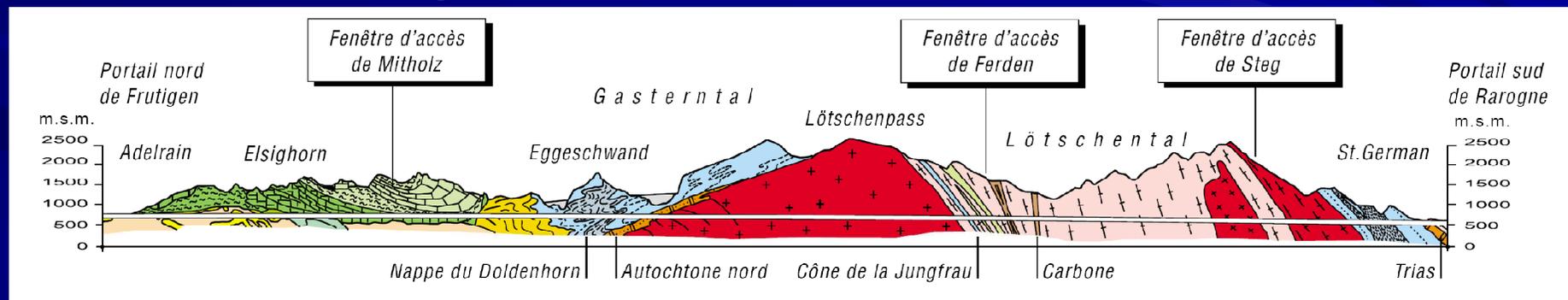


PERFIL GEOLÓGICO. EJEMPLOS

- Travesía central Pirenaica



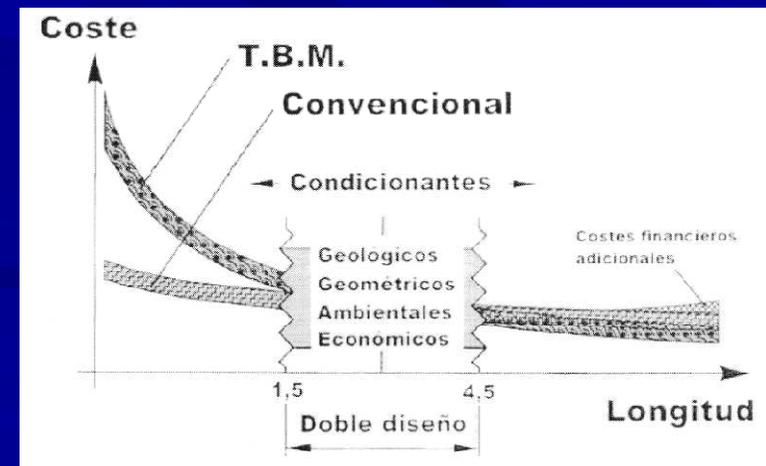
- Lötschberg



ELECCION SISTEMA CONSTRUCTIVO

● Elección del sistema constructivo

- Criterios económicos
- Plazo de finalización de las obras. Implantación, logística y transporte
- Accidentes geológicos posibles y características de la roca o suelo
- Longitud túnel
- Para grandes túneles con longitudes mayores de 10 Km se debe tender claramente al empleo de tuneladoras, para lo que es necesario un gran conocimiento del macizo que se va a atravesar. A partir de 5 Km se debe estudiar a sección total o parcial. También se tendrá en cuenta si la máquina es nueva o no
- No hay experiencia con tuneladoras de roca para la excavación de la sección necesaria para un túnel carretero, empleándose en ocasiones para excavar una galería piloto para ensanchar a posteriori



PERFORACIÓN Y VOLADURA

- Rendimiento \simeq 120/150 m/mes (100 m²)
- Con el empleo de jumbos robotizados, robots de gunita y saneo mecánico se ha incrementado la seguridad al no permanecer los operarios casi nunca en el frente

- **Ventajas:**

- Versátil frente a riesgos geotécnicos
- Permite cambios de sección
- Menor inversión inicial
- Menor plazo de inicio de los trabajos

- **Inconvenientes**

- Menor rendimiento
- Menor seguridad (explosivos)
- Sostenimiento independiente del revestimiento definitivo

Ciclo de excavación



Perforación



Carga de voladura



Sostenimiento



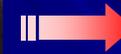
Disparo y ventilación



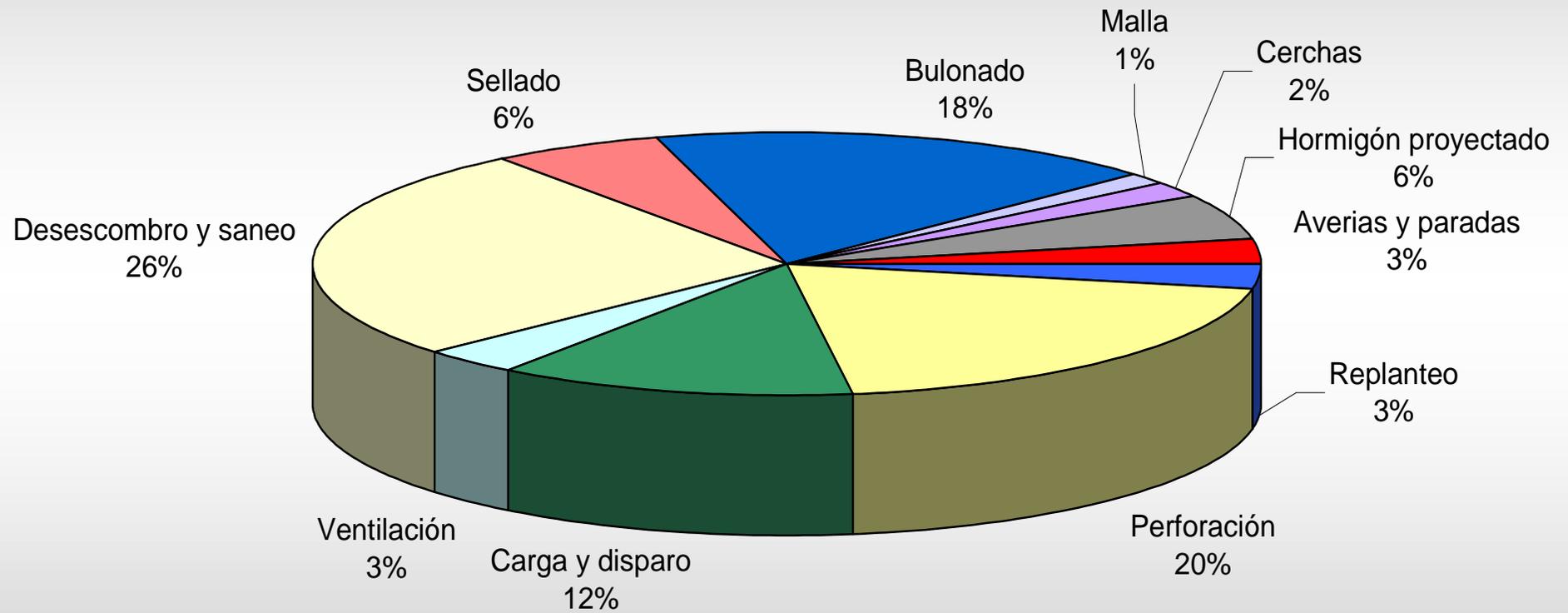
Saneo



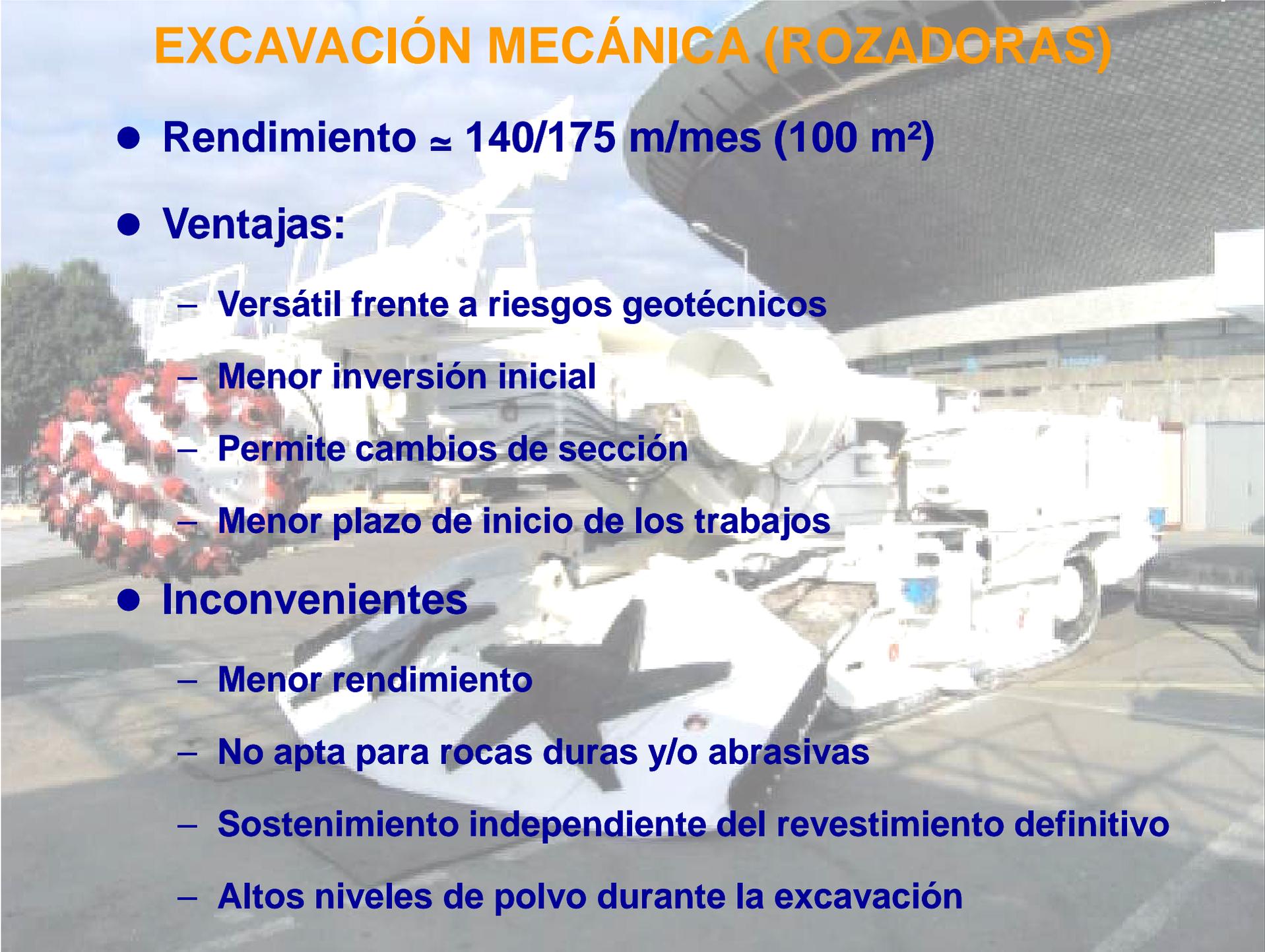
Desescombro



PERFORACIÓN Y VOLADURA. CICLO



EXCAVACIÓN MECÁNICA (ROZADORAS)

- Rendimiento $\approx 140/175$ m/mes (100 m²)
 - Ventajas:
 - Versátil frente a riesgos geotécnicos
 - Menor inversión inicial
 - Permite cambios de sección
 - Menor plazo de inicio de los trabajos
 - Inconvenientes
 - Menor rendimiento
 - No apta para rocas duras y/o abrasivas
 - Sostenimiento independiente del revestimiento definitivo
 - Altos niveles de polvo durante la excavación
- 

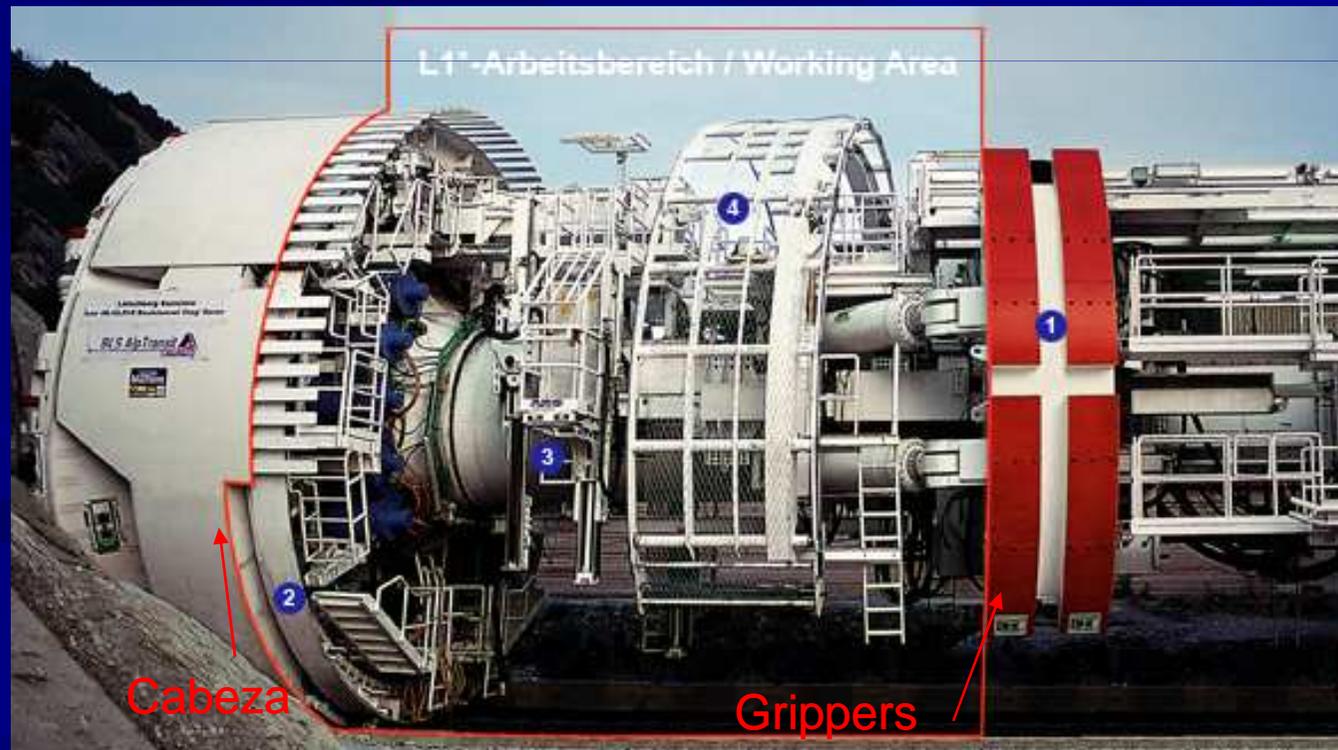
TUNELADORAS



- No existe actualmente una tuneladora capaz de excavar todo tipo de materiales.
- Por ello se dividen en:
 - Tuneladoras para suelos
 - Tuneladoras para roca
 - Abiertas (topos)
 - Simple escudo
 - Doble escudo
- Es primordial un gran conocimiento del macizo que se va a atravesar para escoger la maquina que garantice el éxito del túnel
- Presentan rendimientos mucho mayores que la excavación mediante perforación y voladura (450/550 m/mes)
- Actualmente los diámetros máximos alcanzados son 16 m para suelos y 13 m para rocas

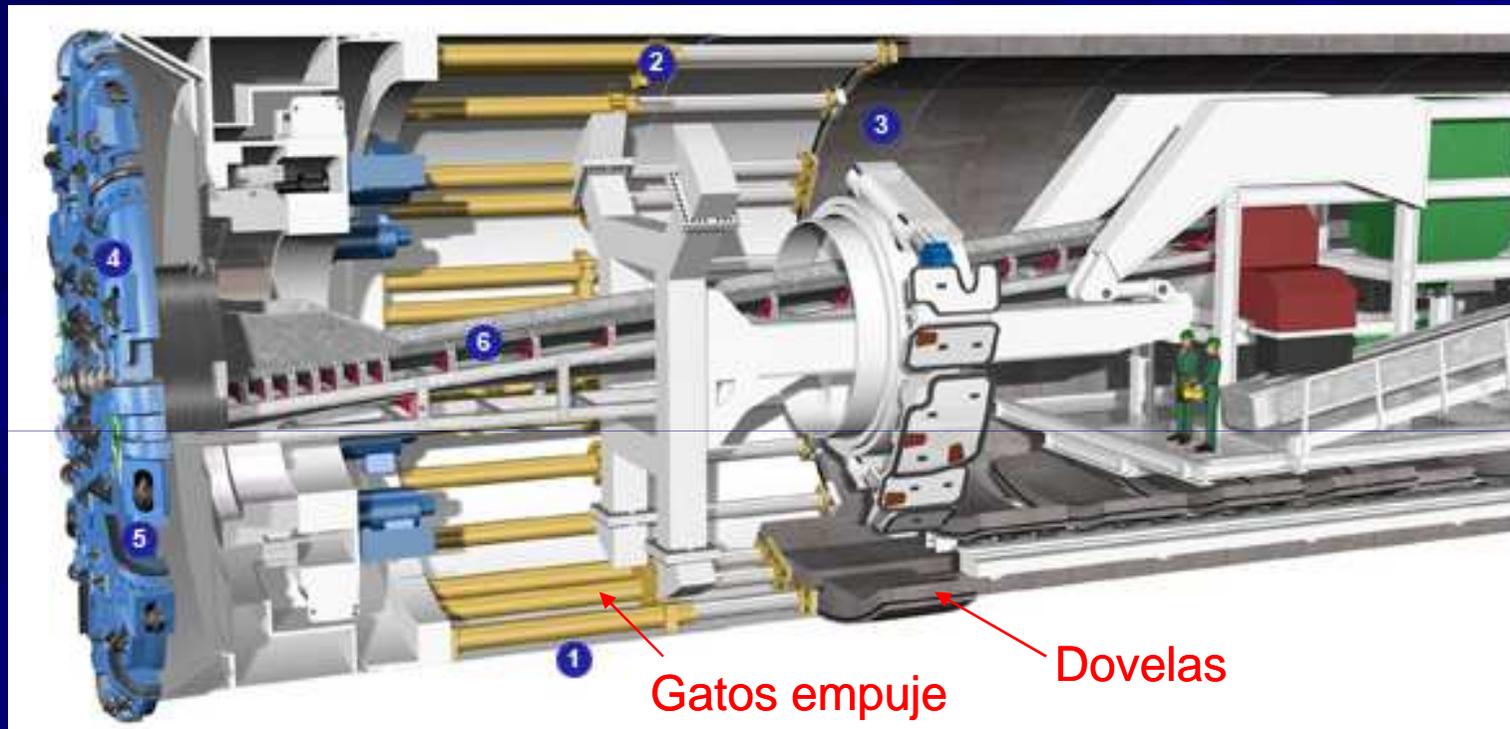
TUNELADORAS ABIERTAS

- La reacción para poder excavar se consigue aplicando unos gatos (grippers) contra el túnel ya excavado
- El sostenimiento es a base de bulones, cerchas y hormigón proyectado
- Presenta problemas para el paso de fallas y zonas tectonizadas al no tener resistencia suficiente para conseguir la reacción necesaria
- Son aptas para macizos homogéneos y competentes



SIMPLE ESCUDO

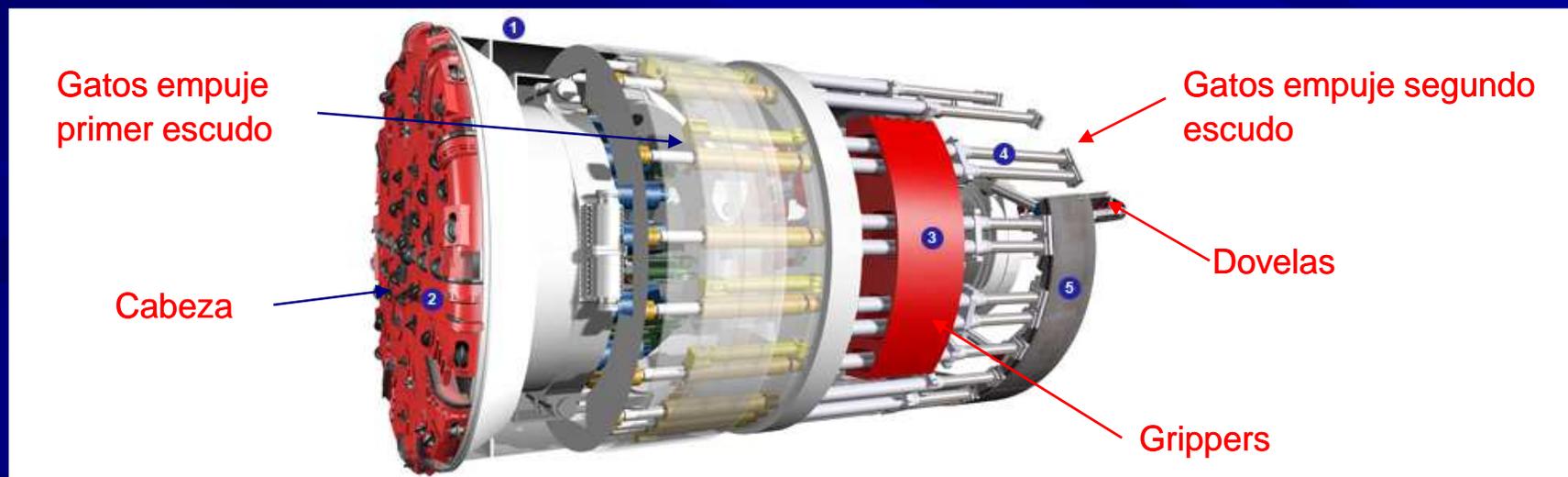
- La reacción necesaria para excavar se consigue aplicando los gatos contra el anillo de dovelas previamente colocado



- El ciclo completo consiste en:
 - Excavación apoyado en el último anillo hasta conseguir el hueco para colocar el siguiente
 - Retracción de los gatos para dejar hueco al anillo
 - Colocación del anillo de dovelas

DOBLE ESCUDO

- Es un simple escudo al que se le incorpora un escudo delantero móvil (telescópico) que puede trabajar de dos maneras:
 - Topo. Utilizando los grippers del escudo telescópico por lo que a la vez se puede ir colocando los anillos de dovelas bajo el segundo escudo.
 - Terrenos de buena calidad
 - Mayores rendimientos al simultanear avance y sostenimiento
 - Se deja el escudo delantero fijo y se trabaja como un simple escudo.
 - Terrenos que no permitan el empleo de grippers
 - Rendimientos similares al simple escudo



TUNELADORAS. VENTAJAS E INCONVENIENTES

● Ventajas

- Mayor seguridad en la ejecución de la obra
- Mayores rendimientos
- Menor plazo
- El revestimiento se completa inmediatamente, excepto en las abiertas

● Inconvenientes

- Dificultad de realizar tratamientos previos al avance
- Menor capacidad de maniobra frente a zonas tectonizadas (fallas)
- Precisan de otros métodos de excavación para la ejecución de las secciones especiales
- Mayor inversión inicial

NO DEBE ESCATIMARSE EN APORTACIÓN DE MAQUINARIA

- Planificación previa y elección del proceso constructivo
- Buena implantación (la gran mayoría de los problemas deben solucionarse en la obra). Adecuada plataforma de trabajo en las bocas
- Buenos equipos de maquinaria: adecuados, nuevos o en buen estado
- Buenos equipos de personal en todas sus especialidades. (Especialistas)
- No escatimar en mantenimiento de maquinaria
- Buena coordinación de equipos
- Elección, encargo y entrega



NO SE DEBE ESCATIMAR EN GASTOS DE INSTALACIONES Y EN SEGURIDAD EN LA OBRA

- Buena iluminación
- Buena ventilación
- Buenas instalaciones de agua a presión, aire comprimido y energía. Deberán estar bien dimensionadas
- Plataforma de rodadura limpia y ancha
- Diseño de instalaciones auxiliares (desescombros, áridos ...)

OTROS ASPECTOS A TENER EN CUENTA PARA UNA BUENA EJECUCIÓN DEL TÚNEL

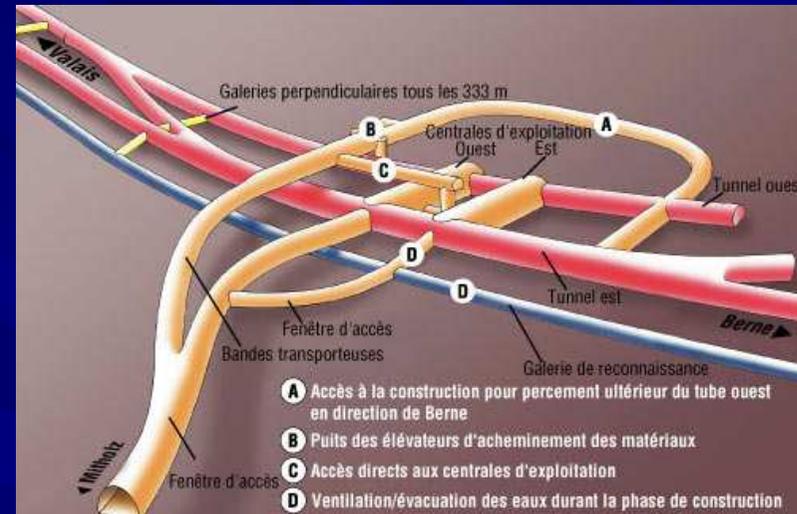
- **Control topográfico del túnel antes de su ejecución**
- **Control geológico de la excavación para definir los índices de calidad de la roca y así definir el sostenimiento, observando el cumplimiento de las hipótesis**
- **Plan de Auscultación para poder actuar rápidamente y con el sostenimiento más adecuado**
- **Con explosivos especial cuidado al “Plan de tiro” para minimizar sobrexexcavaciones**
- **Control de acuíferos**
- **Control de calidad de los elementos del sostenimiento y de su puesta en obra para llevar con bondad los trabajos**
- **Control de los procesos constructivos en relación con los plazos de ejecución. Control de ciclos**

DISEÑO. DETALLES

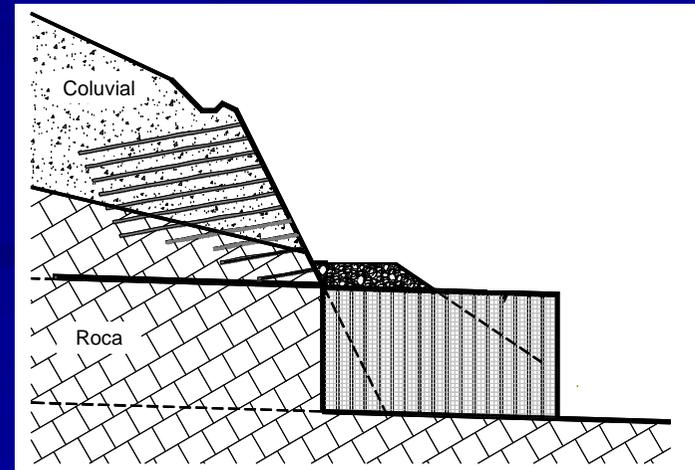
- Secciones especiales
 - Cavernas de agujas



- Distribución de galerías 3D



- Emboquilles Excavación
Sostenimiento



EJECUCIÓN OBRA EXTERIOR

- **Emboquilles**

- Excavación
- Sostenimiento



- **Instalaciones**

- Plataformas de acopios
- Planta de fabricación de dovelas
- Vertederos / plantas de áridos
- Oficinas, talleres
- Instalaciones de higiene y bienestar



DISEÑO. INSTALACIONES

- Según normativas de seguridad vigentes
 - Ventilación
 - Galerías, refugios



- Comunicaciones

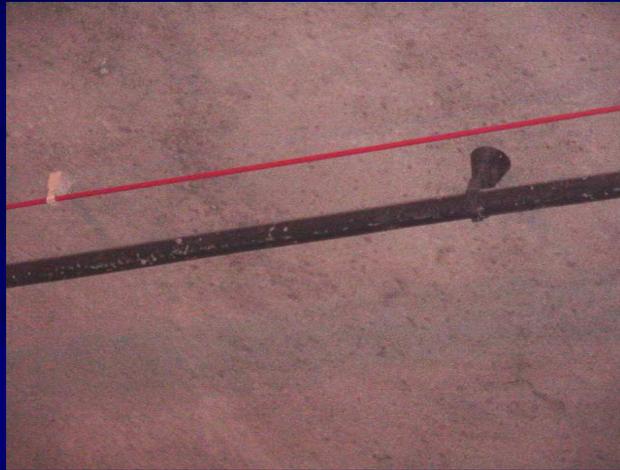


- Centro de control

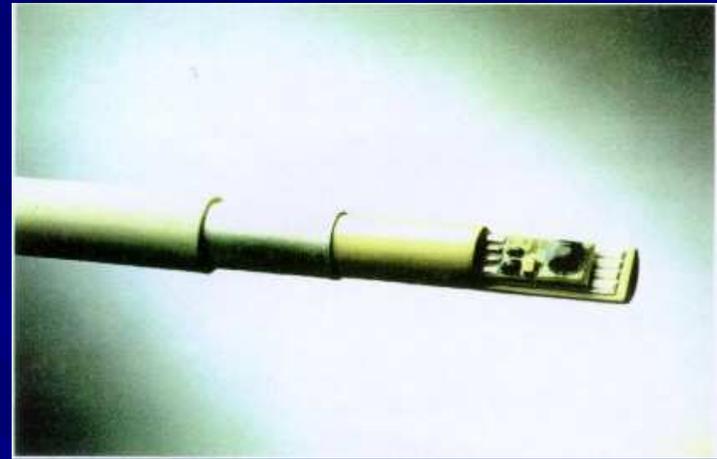


DISEÑO. INSTALACIONES

– Cable radiante



– Fibrolaser



– Postes SOS



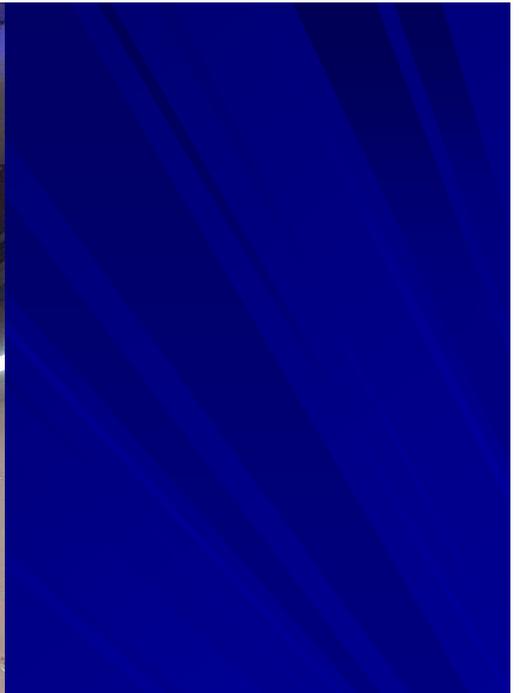
– Señalización





SI SE CUMPLE TODO LO ANTERIOR

!!!SE OBTIENE UN BUEN RESULTADO!!!











I CONGRESO
INTERNACIONAL
SOBRE LA TRAVESÍA
FERROVIARIA POR EL
PIRINEO CENTRAL

MUCHAS

Grande
**Infraestructuras
Europeas**



COLEGIO DE INGENIEROS
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



FUNDACIÓN
TRANSPIRENAICA

Travesía central del Pirineo

2008

GRACIAS

ZARAGOZA - Del 29 al 31 de OCTUBRE de 2008