

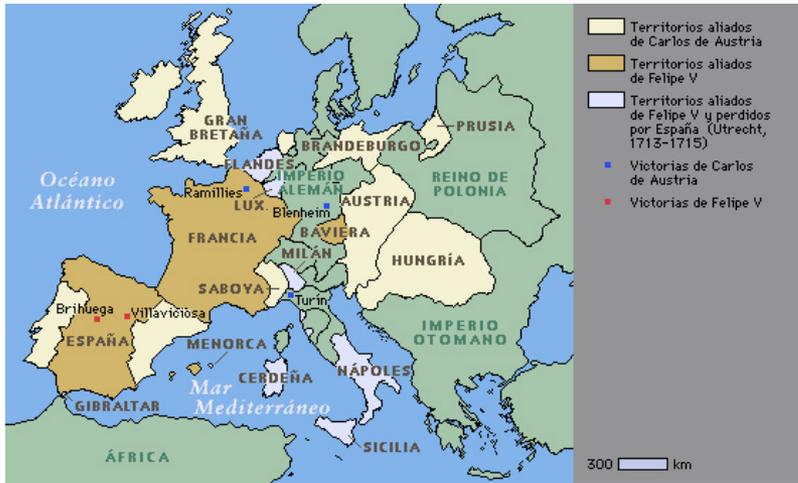
# Historia y Patrimonio de la Ingeniería Civil

Tema 7. La Ingeniería Civil en España en el siglo XIX. Los caminos.  
- IMÁGENES -

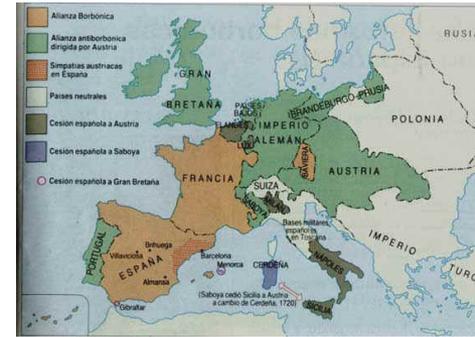


**María Luisa Ruiz Bedia**

DPTO. DE TRANSPORTES Y TECNOLOGÍA  
DE PROYECTOS Y PROCESOS



### Contexto cronológico y territorial



**Año 1700. Muere el último rey de España de la Casa de Austria (sin descendencia)... y las potencias europeas se frotan las manos ante el inmenso botín de los territorios de la monarquía española**

**Año 1701. Gran Alianza contra Luis XIV (Francia) Guerra de Sucesión**

**...modelo francés de estado centralizado (un poder, una ley) se instauro en España**

**Y cómo repercute en la ingeniería?**

*"Debe [el rey] mandar labrar las puentes e las calzadas, e allanar los pasos malos"; de resultas, estos caminos cobraban carácter súper local, y el Rey podía afirmar que "los caminos públicos pertenescen a todos los homes comunalmente, en tal manera que también pueden usar dellos los que son de otra tierra extraña como los que moran e viven en aquella tierra do son". "Apostura e nobleza del regno es mantener las calzadas e las puentes de manera que non se derriben ni desfagan."*



**Año 1713. Paz de Utrech Europa cambia su mapa político... y el modelo francés de estado centralizado (un poder, una ley) se instauro en España**

*Felipe V tardó 27 días en viajar de Trín a Madrid... y eso que los pueblos habían recibido órdenes de acondicionar y reparar los caminos por donde había de pasar el cortejo...*



Acueducto Pontcysyllte (1805) y  
Puente Menai (1826), T. Telford



### Industrialización

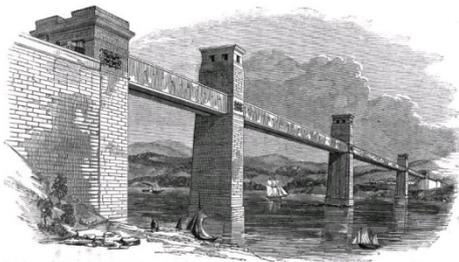


Los primeros puentes de hierro fueron arcos, la estructura propia de los de piedra, y la mejor conocida por los ingenieros de finales del siglo XVIII que es cuando se empezó a usar el hierro para construir puentes. Sus formas revelan que fueron proyectados con ideas aún poco claras sobre su comportamiento resistente y sobre el enlace arco-tablero. El canal de Ellesmere, que se apoya sobre el **acueducto Pontcysyllte**, está formado por chapas metálicas y se apoya sobre arcos metálicos ( $l=13,7m$ ) que a su vez lo hacen sobre pilas de piedra

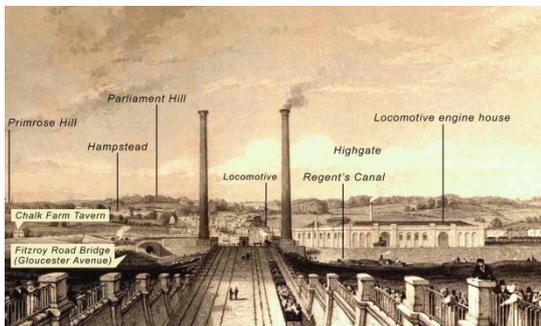
**Menai** es un pionero de los puentes colgantes., y ejemplo de cómo en el siglo XIX se combinó el conocimiento teórico con el experimental. Para su proyecto Telford construyó un modelo físico reducido del tramo colgante, que probó mediante cargas. También se decidió por cables de cadenas frente a los de alambres, porque conocía mejor su funcionamiento y fabricación, y porque el hierro en Inglaterra era barato.

Procedencia: *Tierra sobre agua.*

### Industrialización



Puente Britannia (1850) y London and Birmingham Railway (1837), R. Stephenson

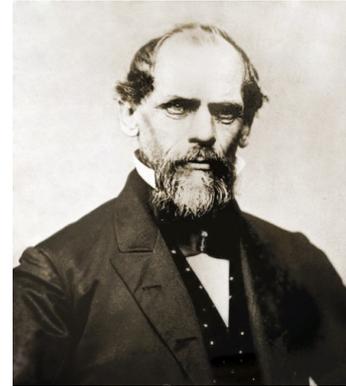
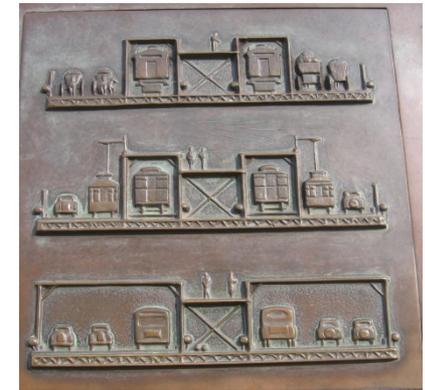


Conway y **Britannia** son los dos primeros grandes puentes construidos en hierro forjado. Constituyeron una gran innovación por el material empleado, por ser los primeros puentes-viga de grandes dimensiones y por ser las primeras vigas-cajón.

La L&BR fue uno de los primeros grandes proyectos ferroviarios en Inglaterra. Su trazado estuvo determinado por la conexión con los muelles de l Regent's Canal. Euston (Candem, Londres) fue la estación término de la compañía ferroviaria, presidida por un edificio de viajeros monumental y clásico, demolido en la década de 1960.



Puente de Brooklyn (1883), JA Roebling



Industrialización

A su término fue el puente colgante más largo del mundo ( $\approx 2000\text{m}$ ) y el primero en utilizar cables de hilos de acero. El tablero original permitía el paso de dos vías férreas, tranvía y tráfico rodado, y una pasarela peatonal. Los Roebling son buen ejemplo de profesionales emprendedores e innovadores, y el puente de Brooklyn paradigma de la capacidad de las obras públicas para construir lugar.

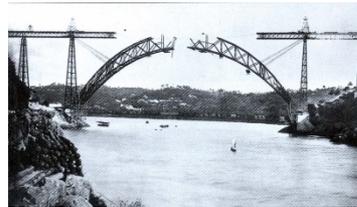
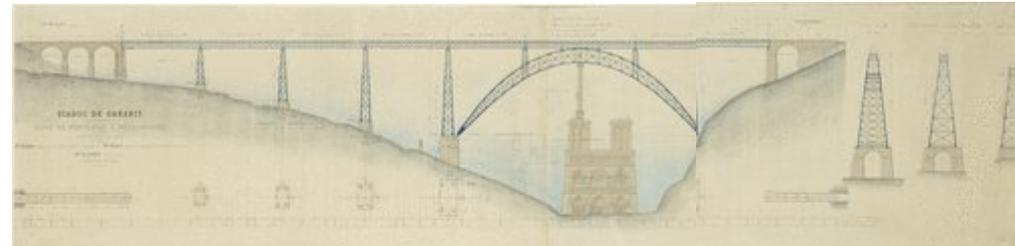
Procedencia: Ver bibliografía, Library of Congress, propias





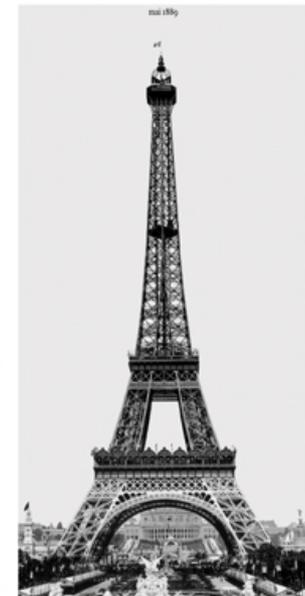
Industrialización

Puente María Pia (1877) Don Luiz I (1887), Garabit (1884) G. Eiffel



G. Eiffel además del ingeniero francés más conocido es un ejemplo de ingeniero empresario, figura trascendente en el desarrollo de la tecnología, y de los puentes, durante los siglos XIX y primeros años del XX. Siempre contó con colaboradores excepcionales (T. Seyrig, M. Koechlin, L. Boyer) en los proyectos y en la ejecución de las obras (María Pía, Torre de Paris, Garabit), pero fue hábil para concentrar en su persona los logros del equipo. Fueron pioneros en el uso de celosías, que reducían la resistencia del viento en comparación con las vigas macizas.

Procedencia: *Tierra sobre agua*, [www.musee-orsay.fr](http://www.musee-orsay.fr), personales



### Caminos. Contexto

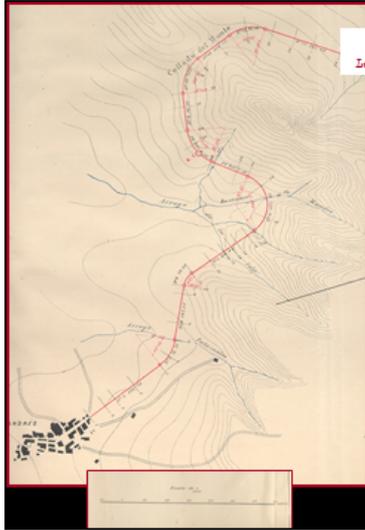


**Siglo XIX: España vertebró su territorio mediante una red de carreteras... y otra de ferrocarril**



**División provincial (49 provincias) de España, por Javier de Burgos (año 1833)**  
Estado centralizado, donde la provincia es el marco de instituciones centrales.  
Busca la eficacia de la administración estatal  
Racionalidad extensión territorial provincial / aspectos históricos

## Tema 7. La Ingeniería Civil en España en el siglo XIX. Los caminos



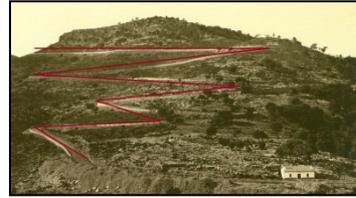
Ley de Caminos Vecinales, 1849  
Ley sobre Clasificación de Carreteras, 1851

Manuales de Construcción y Conservación  
Formularios

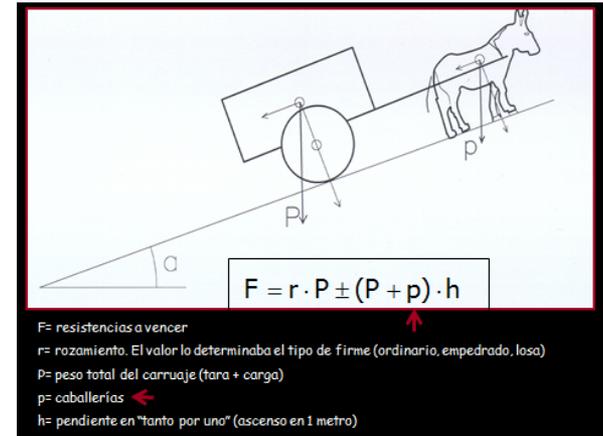
TABLAS para encajar rectas y curvas

Tablas de Vindrinet  
Tablas de Chevallot, 1850  
Tablas de Frantwine, 1848

PLANTILLAS de curvas circulares para ligar arcos, radios y tangentes.

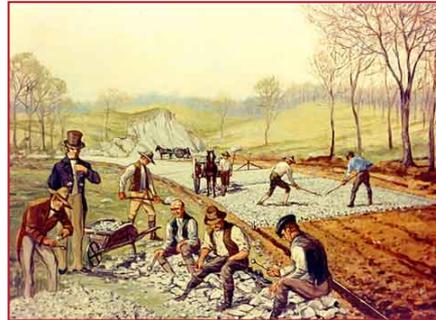


*Caminos Ordinarios*

$$F = r \cdot P \pm (P + p) \cdot h$$

F= resistencias a vencer  
r= rozamiento. El valor lo determinaba el tipo de firme (ordinario, empedrado, losa)  
P= peso total del carruaje (tara + carga)  
p= caballerías  
h= pendiente en "tanto por uno" (ascenso en 1 metro)



En el siglo XIX, en España, las obras públicas tuvieron un interés primordial en el desarrollo de la nación y a él contribuyó de manera determinante la mejora de los caminos. En cien años se pasó de escasos itinerarios aptos para circular carros a más de 60.000km de carreteras distribuidos de modo que todas las capitales de provincia contaban con un acceso. Los ingenieros del siglo XIX diseñaron trazados racionales fundamentados en la comodidad y seguridad del tránsito, y en el control de los gastos de construcción y conservación.

En planta los trazados evidencian el apoyo que se buscaba para la traza en los núcleos de población, las curvas tan pronunciadas la necesidad de adaptarse al terreno para contener gastos. El trazado horizontal no tenía excesiva importancia porque las velocidades que desarrollaban los carruajes eran pequeñas. En cambio, era importante dimensionar el trazado en alzado, la sucesión de rampas y pendientes, y tener en cuenta los vehículos y la tracción a la que iban destinados. Un paisaje de caminos que dan grandes rodeos apoyados en los trazados de ladera, la sucesión de alineaciones rectas unidas por curvas pronunciadas, las obras de fábrica, es la huella material del esfuerzo por reducir las pendientes y hacer el camino practicable. Y la imagen plástica de las dificultades que debieron vencer los constructores de caminos del siglo XIX.



### UN COMÚN RETO CONSTRUCTIVO

- Un camino nuevo
- Nuevos materiales
- Nueva concepción del espacio
- Un vehículo nuevo (tracción)
- Nuevas técnicas constructivas
- Nuevas estructuras administrativas
- Nuevos constructores
- Nueva estética
- **Novedad (=revolución)**

### REPERCUSIONES DEL DESARROLLO DEL FERROCARRIL



- Consecuencias del desarrollo de los ferrocarriles y la siderurgia
- > Desarrollo de la ingeniería civil (diseño de trazados)
  - > Desarrollo de la industria de la maquinaria
  - > Desarrollo de un mercado eficiente
    - 1. Posibilitó el transporte de materiales voluminosos pesados
    - 2. Acortó el tiempo de los viajes
    - 3. Abarató el coste del transporte
    - 4. Estableció sistemas de transporte regulares y seguros
  - > Permite el uso doméstico del carbón mineral (barato y acercado a la localidad)
  - > Necesidades de grandes capitales a largo plazo
    - Desarrollo de "sociedades anónimas"
    - Desarrollo de la "Bolsa"
    - Desarrollo de bancos de inversión
  - > Demanda de hierro y carbón
    - Desarrollo de la siderurgia y de la minería

"... los ferrocarriles... carrera de la civilización ..."

## Camino de Hierro

Un medio de transporte que utiliza un vehículo especial y un **camino especial**

Surge del encuentro de dos técnicas:

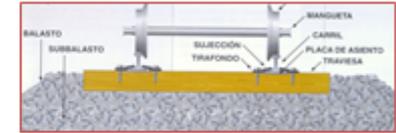
- La siderurgia
- La máquina de vapor

Se basa en dos componentes:

- La infraestructura (la *vía*)
- Los vehículos (los *trenes*)

### ¿QUÉ ES UN FERROCARRIL?

Camino de hierro  
Camino de hierro  
Ferro - Carril



### ANTECEDENTES

Babilonia. Ur. 4000 aC calles con surcos paralelos

Europa prerromana. Troncos de árboles en surcos

Siglo XVI. Minas de Transilvania "Perros de mina"

Vehículos con ruedas con reborde sobre carriles

Siglo XIX Incorporación de vapor a los vehículos

Año 1808. R. Trevithick "Catch me who can"

Año 1825. G. Stephenson Línea Darlington - Stockton





Primeros ferrocarriles en Europa / Rudimentaria red de carreteras en **España**

Madrid - Barcelona  $\begin{cases} \text{1 semana en diligencia} \\ \text{20 horas en tren} \end{cases}$

Dificultades para la construcción del ferrocarril en España:

- Atraso económico (industria)
- Falta de capital (banca)
- Dificultades geográficas (topografía)
- Desconocimiento técnico (constructores)
- Indiferencia de la administración



... pero muchos proyectos («locos»):

- 1829\_ Jerez de la Frontera - Muelle del Portal
- 1830\_ Jerez - Sanlúcar de Barrameda
- 1831\_ Burgos - Bilbao
- 1834\_ Reus - Tarragona
- 1837\_ La Habana - Güines
- 1848\_ Barcelona - Mataró
- 1851\_ Madrid - Aranjuez

### Caminos de Hierro

Dos fechas clave:

- Año 1844. El Informe Subercase
- Año 1855. Ley General de Ferrocarriles (y Ley 1875)

- 405km de vía
- Líneas cortas
- Dispersión geográfica



- 5000km de vía (10.000 en 1900)
- Red radial (Madrid)
- Construida por grandes compañías (capital extranjero)
- Criterios técnicos fijados por el Estado español
- Constructores españoles y europeos



### INFORME SUBERCASE Año 1844 (R.O.)

- Documento técnico para la **construcción** y financiación del ferrocarril español
- Elaborado por ingenieros de caminos españoles (con baja experiencia ferroviaria)
  - la Escuela de Caminos se (re)abre en 1834
  - Los técnicos formados en ella han estudiado un curso de *Camino Ordinarios*
  - Apenas conocen la experiencia ferroviaria europea (Inglaterra)
- Criterios generales para autorizaciones de construcción y explotación de ferrocarriles
  - formulario para la solicitud
  - pliego de condiciones generales
  - modelo de tarifa



Retrato de Juan Salazar

#### Condiciones geométricas de la vía

- requisitos técnicos para la **construcción de la infraestructura ferroviaria**

Plataforma  
(camino del tren)

Evitar que la vía se deforme

- Características geotécnicas e hidrológicas
- Características del tráfico

Asegurar la continuidad de la vía

- Puentes, túneles, pasos inferiores/superiores

Sobre la  
plataforma se  
tiende la vía

## Caminos de Hierro

### REQUISITOS TÉCNICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLATAFORMA Y DE LA VÍA EN ESPAÑA

#### 1. La anchura de camino (plataforma)

- 8.36 m en terraplén y 7.24 m. en desmonte, puentes y túneles
- Explanación para doble vía

#### 2. La anchura de la vía

- 1.67 m = 6 pies castellanos. "Ancho Ibérico"

"El difícil relieve español aconsejaba el uso de locomotoras más potentes que las empleadas en otros países, lo que se consigue aumentando el ancho de vía"

- Costes de construcción y explotación
- Potencia de las locomotoras



Triplera ferroviaria a 300

- 1.435 m "Ancho Internacional"

#### 3. Las pendientes

- No rebasar el 1% La **construcción** frente a la **explotación**

Pliego de condiciones técnicas particulares de cada línea

Adaptar el trazado a las condiciones naturales del terreno

No rentable material tractor muy potente o el empleo de **planas inclinadas** de adherencia o tracción



### REQUISITOS TÉCNICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLATAFORMA Y DE LA VÍA EN ESPAÑA

#### 4. Los radios de las curvas

- radio mínimo en horizontal de 278.6 m.

Pliego de condiciones técnicas particulares de cada línea.

La **construcción** frente a la **explotación**

Radio pequeño más barato (terreno natural)

Radio grande mejor para locomotoras

- Menor resistencia a vencer
- Mayor estabilidad
- Mayor velocidad



#### 5. Las intersecciones con otros caminos

- al mismo nivel
- a distinto nivel

#### 6. Las obras de paso

- tajeas, pontones, puentes, viaductos y túneles



puente de paso del ferrocarril Alar-Santander, 1860

## Tema 7. La Ingeniería Civil en España en el siglo XIX. Los caminos

### Instrumentación para la formación del proyecto y control durante la construcción



#### GRAFÓMETRO:

- goniómetro compuesto de un semicírculo dividido en grados y medios grados desde 0° hasta 180°.
- Sirve para determinar ángulos horizontales.
- Escasa precisión.



Brújula con nivel de estacionamiento para medir rumbos magnéticos



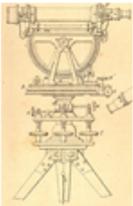
Arithmetra. París

Nivel de precisión Lapurde. Rue Zansygas



#### Teodolito de Troughton

- medir ángulos horizontales y verticales
- trabajos a escala 1:5000
- precisión:
  - apreciaciones de 20"
  - distancias hasta 10 km.
  - tolerancias hasta 1 m.



Troughton and Sims. Londres

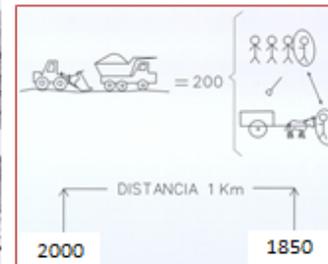


Cadenas de agrimensur.



- Medida de distancias
- 100 eslabones idénticos
- 20,12 m

### Escena de construcción (movimiento de tierras) del Manual para la construcción de caminos, 1848



- Explenación. Desmote y terraplén
- Trabajos de compensación de volúmenes
- Consolidación de terraplenes con mampostería/sillería
- Mano de obra
- Medios auxiliares



### Estructuras para la continuidad de la plataforma ferroviaria

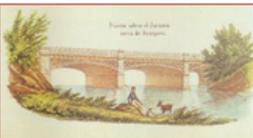


## Caminos de Hierro

### Puentes de Fábrica (piedra)

- Técnica constructiva conocida
- Dimensionados con amplitud
- Tipos de bóvedas: medio punto, escarzonas...
- Luces: 26m
- Material: piedra y ladrillo

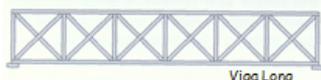
### Puentes de Madera (hasta 1850)



Viga Town



Puente de Cubillas Ferrocarril de Martorell



Viga Long

- Crecidas del río
- Fuego
- Poco resistente para cargas dinámicas
- Pasos provisionales



Construcción del puente de Los Franceses. Fc. del Norte



## Tema 7. La Ingeniería Civil en España en el siglo XIX. Los caminos

### PUENTES METÁLICOS

• Desarrollo de la metalurgia: capacidad para producir material homogéneo capaz de resistir cargas en movimiento.

- Fundición (resiste compresión arco)
- Forjado (resiste flexión vigas rectas)
- Acero



Viga Pratt



Viga Long



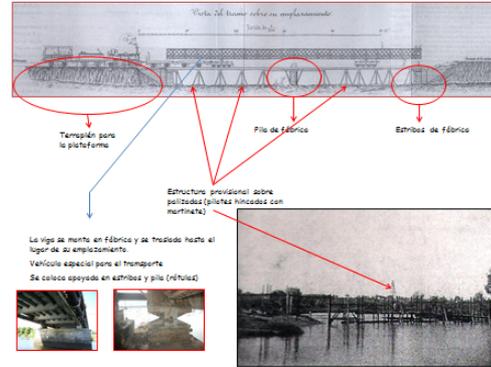
Vigas Warren



Celosía metálica (Viga Town)



Producción industrial de un material  
Patentes de diseño y montaje  
Nuevas formas de construir



### Caminos de Hierro



### TÚNELES



Como con las perforadoras Ferrussol en la construcción del Túnel de Argenteau, en 1870

#### Túnel en roca:

Perforación manual con martillo y cincel  
Cargas explosivas de pólvora

Desescombro Avances medios: 10m/mes

Martillos perforadores accionados con aire comprimido. Sommelier.

Avances medios: 100m/mes



#### Túneles en terreno blando

Sistemas de excavación secuenciada

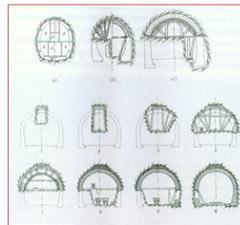
Perforación

Entibación

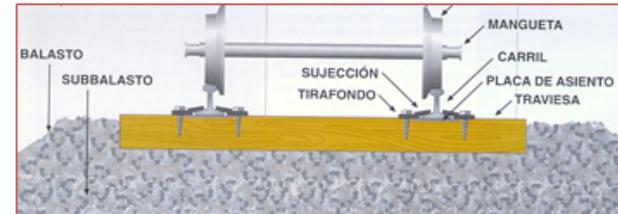
Revestimiento

Método inglés, alemán y belga

- Galería de avance superior central
- Perforación y sostenimiento de zonas adyacentes
- Desmontar hastiales (inferior)
- Revestimiento
- Desmontar tierras centrales



Montaje de la vía sobre la plataforma ferroviaria



#### La vía:

- Permite el guiado de los trenes
- Transmite los esfuerzos de propulsión y frenado rueda/carril
- Transfiere las cargas dinámicas a la plataforma

#### Capa de balasto (material granular tamaño 4-6cm)

- Reparto uniforme de las tensiones del paso de vehículos sobre la vía
- Arriostamiento de las traviesas (estabilidad longitudinal y transversal)
- Drenaje de aguas

Variedad de carriles en el siglo XIX (Patentes)