

# Diseño y Ejecución de Obras Subterráneas

## Tema 10. Sistemas de excavación en túneles



**Rubén Pérez Álvarez**

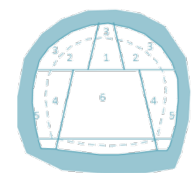
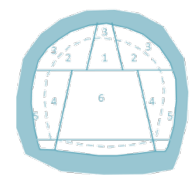
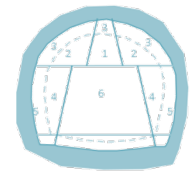
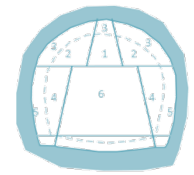
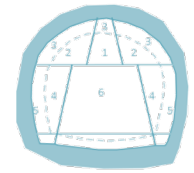
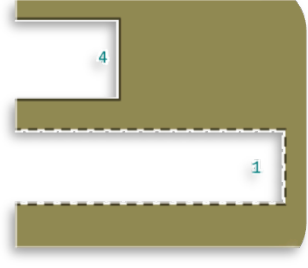
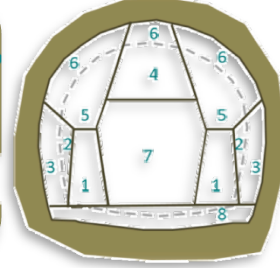
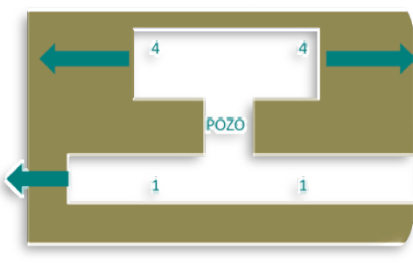
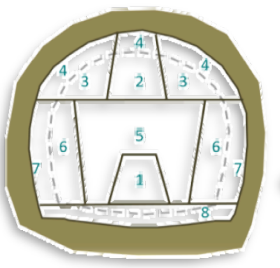
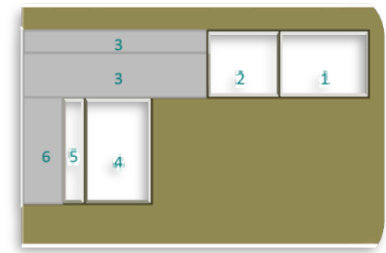
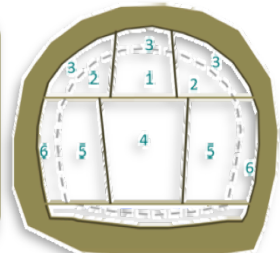
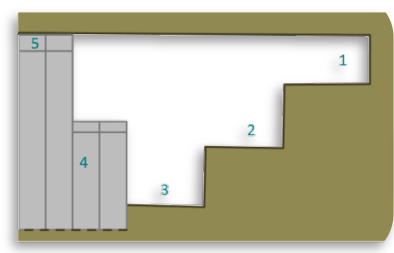
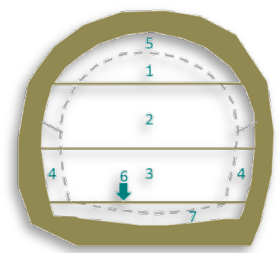
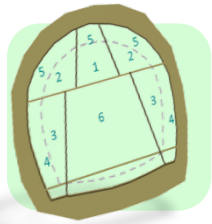
Departamento de Transportes y Tecnología  
de Proyectos y Procesos

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

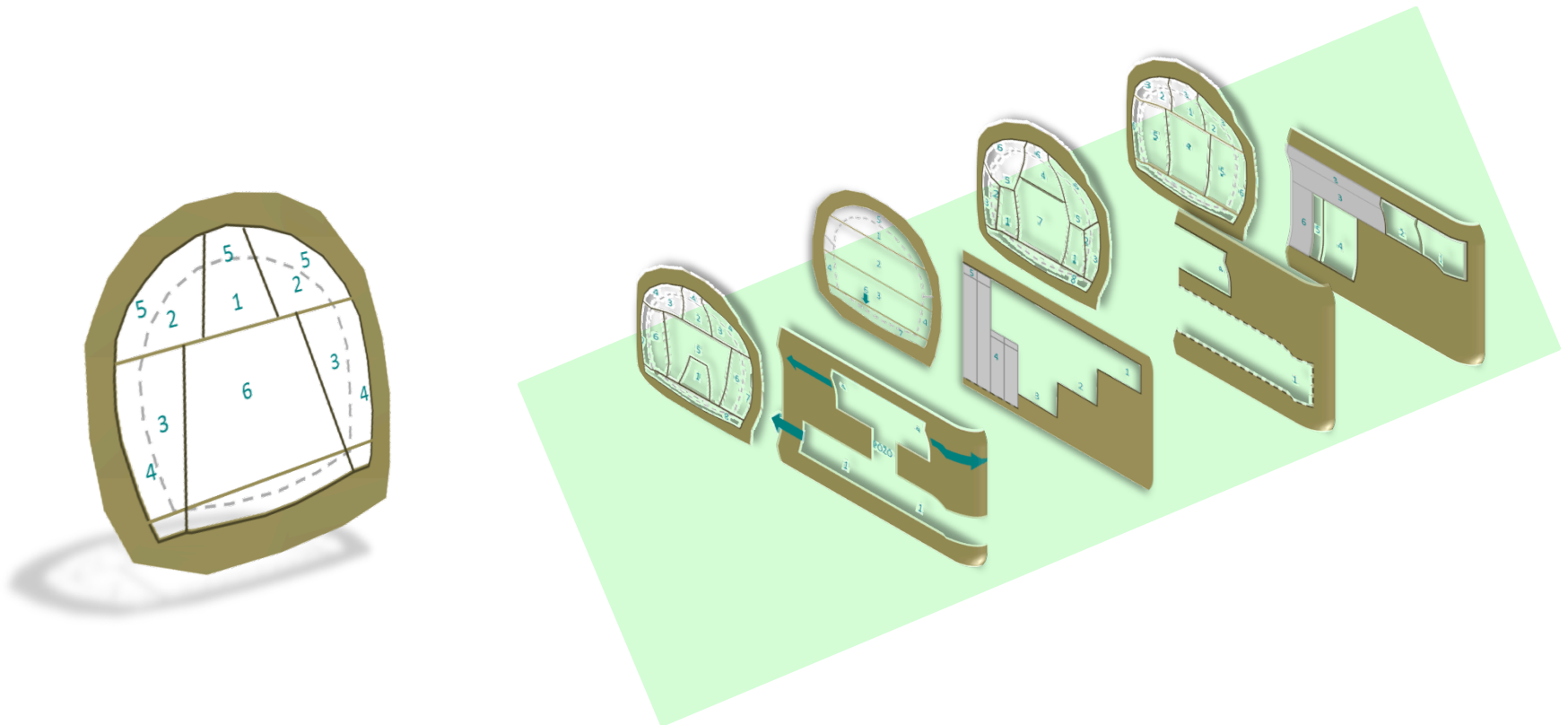
# TEMA 10: SISTEMAS DE EXCAVACIÓN EN TÚNELES

- 10.1. Introducción.
- 10.2. Método Belga.
- 10.3. Método Alemán.
- 10.4. Método Bernold.
- 10.5. Nuevo Método Austríaco.



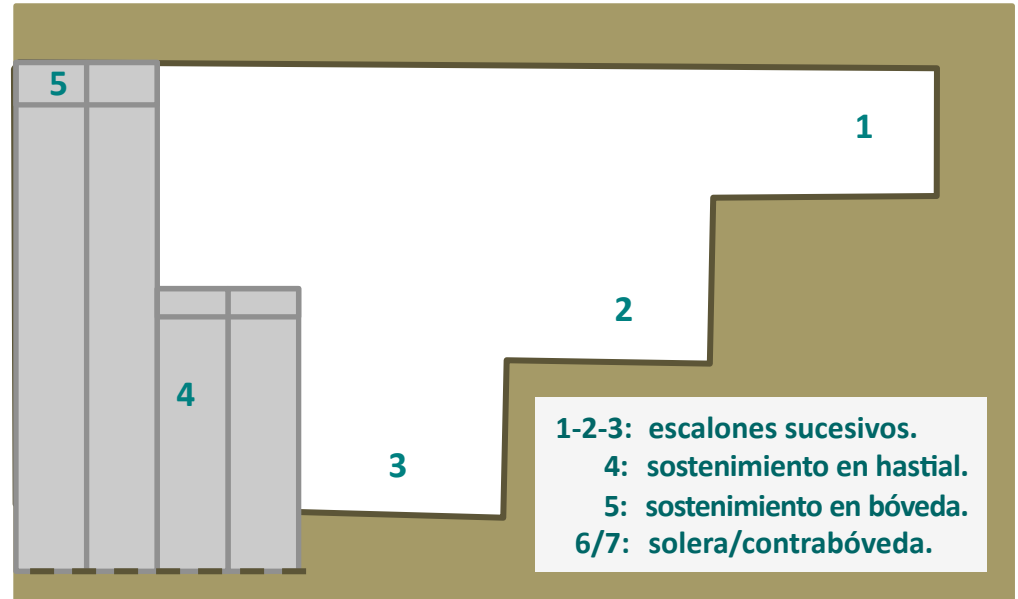
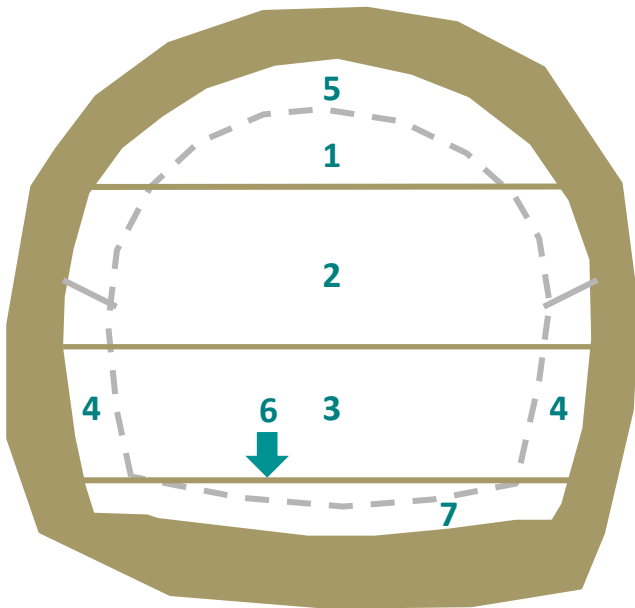
## Características del método convencional

Como ya se mencionó con anterioridad, varios son los condicionantes que pueden considerarse en la selección del sistema de excavación, pudiendo destacar las dimensiones de la sección y la calidad del terreno con el que se deba trabajar. Esto hace que para secciones relativamente reducidas, habiendo señalado con anterioridad los 100 m<sup>2</sup> como límite, y roca competente, pueda plantearse la ejecución a sección completa. Dimensiones mayores, o terrenos sueltos, pueden hacer recomendable la división de la sección. En función del fraccionamiento y la secuencia que se establezcan, existen varios métodos considerados de uso más generalizado en Europa, recojiéndose seguidamente algunos de los principales.



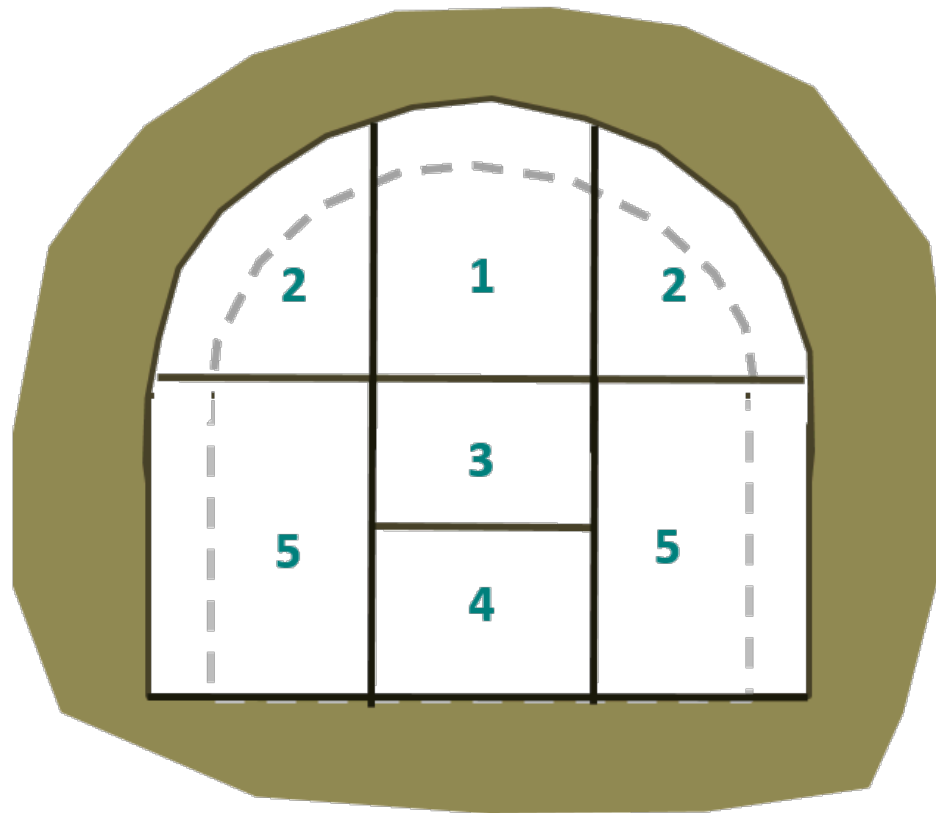
## Método Inglés

Aplicado generalmente a túneles de sección reducida (inferior a 15 m<sup>2</sup>), o en muy buen terreno/roca para secciones mayores. La excavación se realiza en base a franjas horizontales, comenzando por la bóveda, debiendo tener en cuenta que la evacuación del material requerirá de una manipulación sucesiva hasta alcanzar el nivel en el que se ubique el sistema de transporte general al exterior.



## Método Italiano

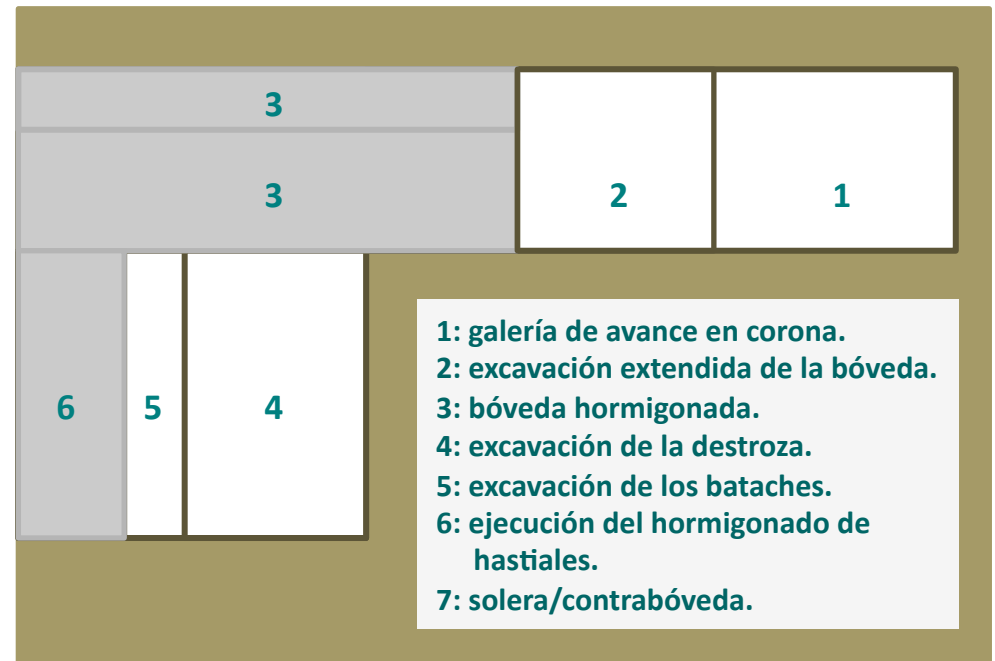
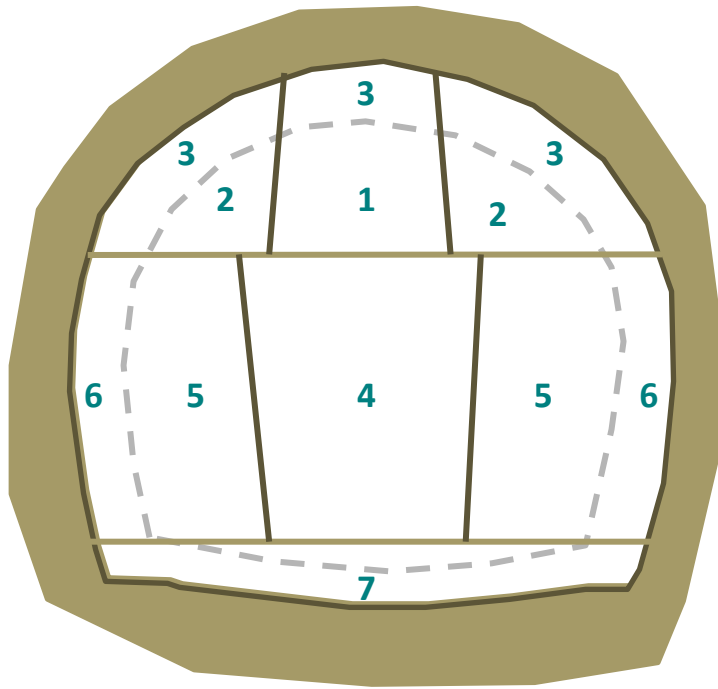
Similar al Belga, que se verá posteriormente, si bien lo último que se ejecutan son los hastiales.



## Características del Método Belga/Tradicional/Madrid

Método adecuado para el trabajo con suelos. Se aplicó por primera vez en el túnel de Charleroi (Bruselas-Charleroi) en 1828, y con posterioridad pasó a conocerse también como Método Clásico de Madrid, por su aplicación en la mayoría de los túneles del metro de Madrid.

Fuente: López Jimeno, C. & López Jimeno, E. (1997): «Manual de Túneles y Obra Subterránea». Madrid: Entorno Gráfico.



- 1: galería de avance en corona.
- 2: excavación extendida de la bóveda.
- 3: bóveda hormigonada.
- 4: excavación de la destroza.
- 5: excavación de los bataches.
- 6: ejecución del hormigonado de hastiales.
- 7: solera/contrabóveda.

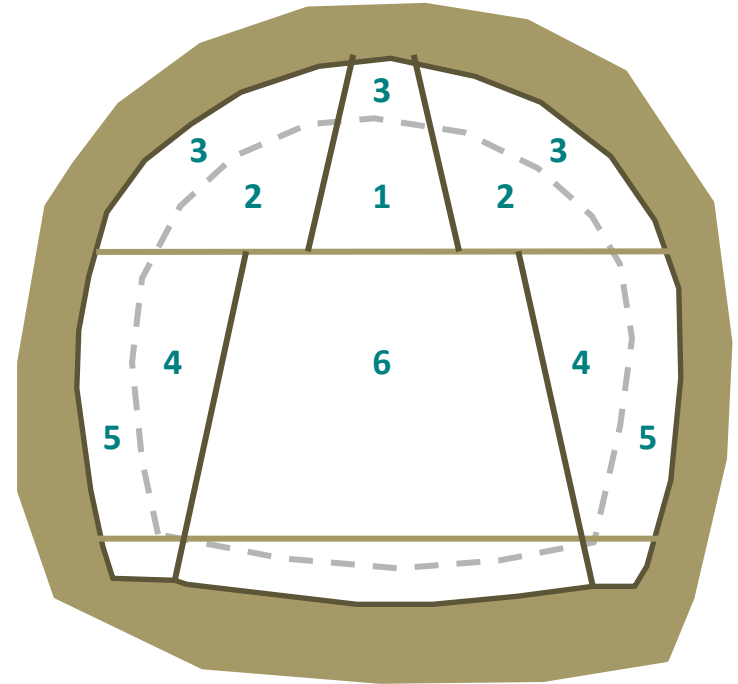
Imagen adaptada de: Soto Saavedra, P.R. (2004): «Construcción de Túneles». Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela de Construcción Civil.

<https://www.youtube.com/watch?v=uR7bKqM4TUs>.

<https://www.youtube.com/watch?v=olE1S9qhtrQ>.

## Características del Método Belga/Tradicional/Madrid

Implica la excavación de una galería de avance en la clave (trabajando con un frente pequeño, inferior por lo general a 3 m<sup>2</sup>, con el fin de poder solucionar problemas de inestabilidad), que posteriormente se va ensanchando, colocando la pertinente entibación progresiva en el frente, hasta finalmente producirse el hormigonado de la totalidad de la bóveda, empleando un encofrado que la asegure. El Método Belga requiere que el terreno tenga la suficiente competencia como para permitir que parte de la bóveda sea descalzada, para la ejecución de los bataches. Dicho proceso de descalce de la bóveda resulta crítico, ya que pueden producirse agrietamientos o rotura de la bóveda, pudiendo conllevar asientos mayores. Presenta como ventaja la baja inversión o los reducidos requisitos de maquinaria, si bien es muy artesanal. El hueco máximo excavado suele plantear un ancho de sección útil de 8 metros, más un ancho por hastial de hasta 1,5 metros (11 metros en total).



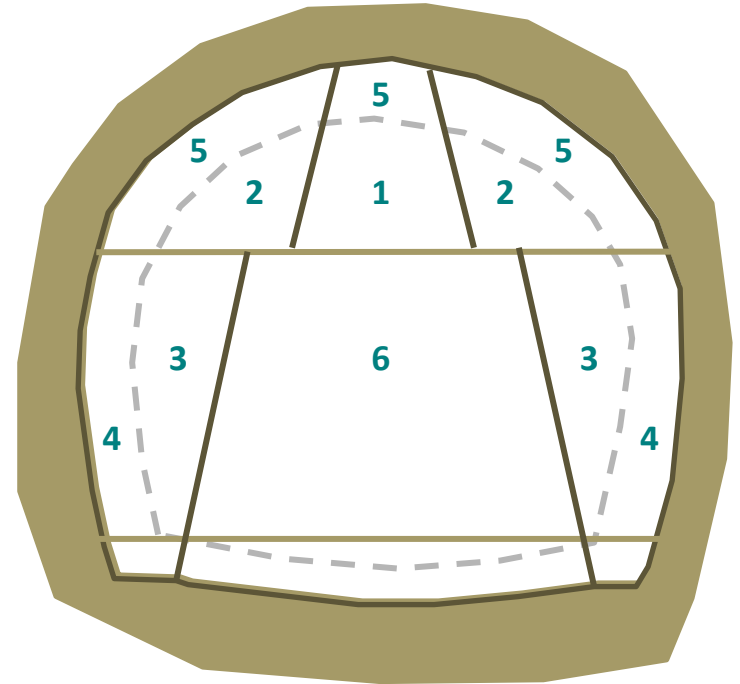
«Variantes del Método Belga para terrenos de poca competencia». Imagen adaptada de: Soto Saavedra, P.R. (2004): «Construcción de Túneles». Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela de Construcción Civil.

## Características del Método Belga/Tradicional/Madrid

Entre los principales problemas que plantea el método está la elección de la longitud de avance, garantizar el adecuado apoyo del arco de bóveda hormigonado (quedando por lo general en avance como se ha mencionado limitado a 2,50 m) hasta haber hormigonado los hastiales sobre los que reposará, y lograr igualmente una adecuada unión entre bóveda y hastial. Ha de tenerse en cuenta igualmente.

Es un método contrastado de rendimientos reducidos. Permite alcanzar en trabajos a tres turnos avances entre 30 y 50 metros al mes, en función de la calidad del terreno, planteando avances de 2,5 metros.

Fuente: López Jimeno, C. & López Jimeno, E. (1997): «Manual de Túneles y Obra Subterránea». Madrid: Entorno Gráfico.



«Variantes del Método Belga para terrenos de poca competencia». Imagen adaptada de: Soto Saavedra, P.R. (2004): «Construcción de Túneles». Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela de Construcción Civil.



## Características del Método Belga/Tradicional/Madrid

Como puede deducirse de lo anteriormente expuesto, lo artesanal del método y los riesgos que se asumen, dependerá fuertemente de un importante número de operarios especializados en la aplicación de técnicas mineras, debiendo igualmente recurrir a la dirección de personal con gran experiencia en obras afines en las que el método haya sido aplicado.

En caso de que las características del terreno no sean las adecuadas para permitir la ejecución de este Método, puede aplicarse el Método Alemán.

Fuente: López Jimeno, C. & López Jimeno, E. (1997): «Manual de Túneles y Obra Subterránea». Madrid: Entorno Gráfico.

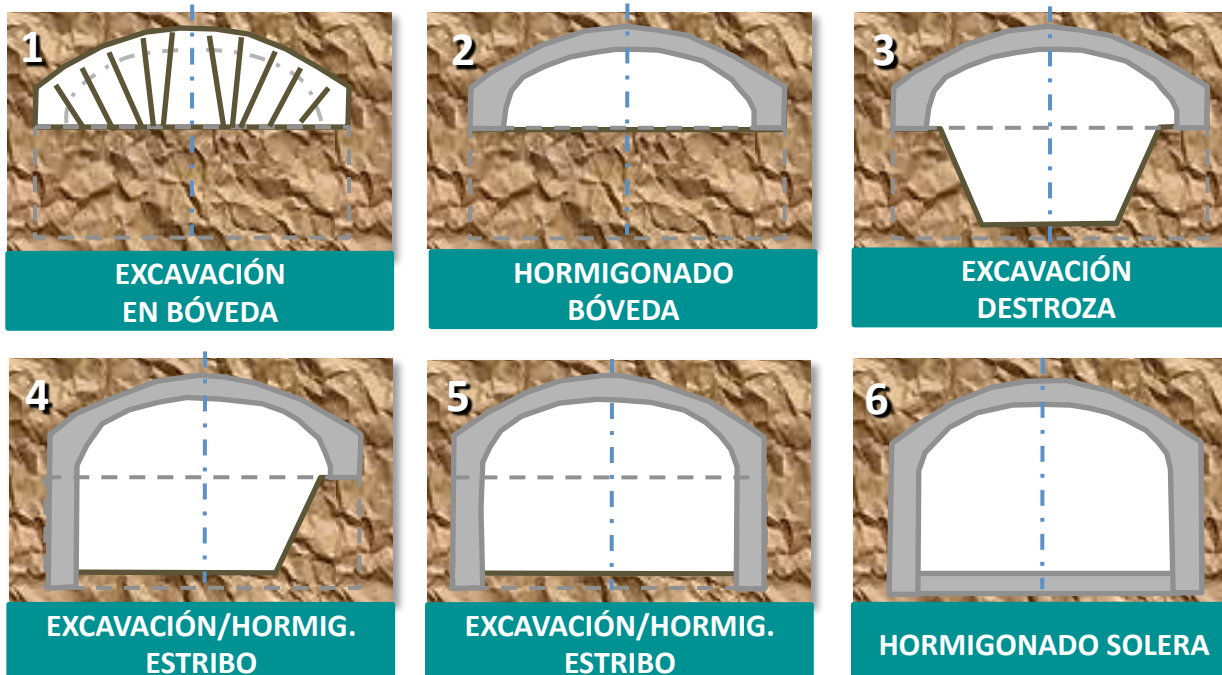


Imagen adaptada de: «Estudio Informativo de Integración del Ferrocarril en Sant Feliu de Llobregat» (Barcelona). Recurso electrónico:

<http://www.santfeliu.cat/directori/ProjecteSoterrament/Estudio%20Informativo%20Integracion%20del%20Ferrocarril%20en%20Sant%20Feliu%20de%20Llobregat/01%20Memoria%20y%20Anejos/Anejos/>

## Procedimiento de excavación de la bóveda

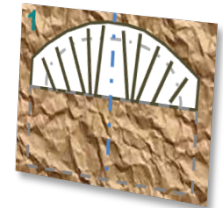
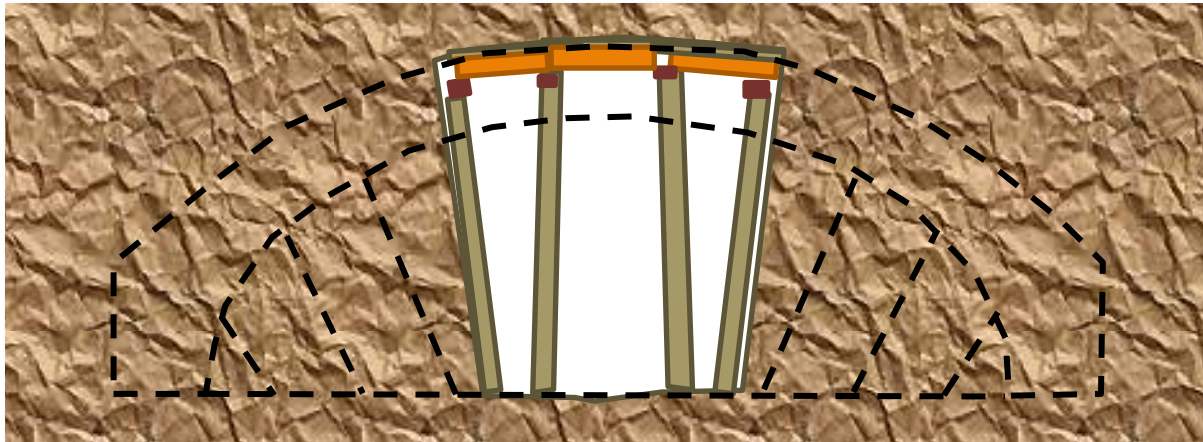
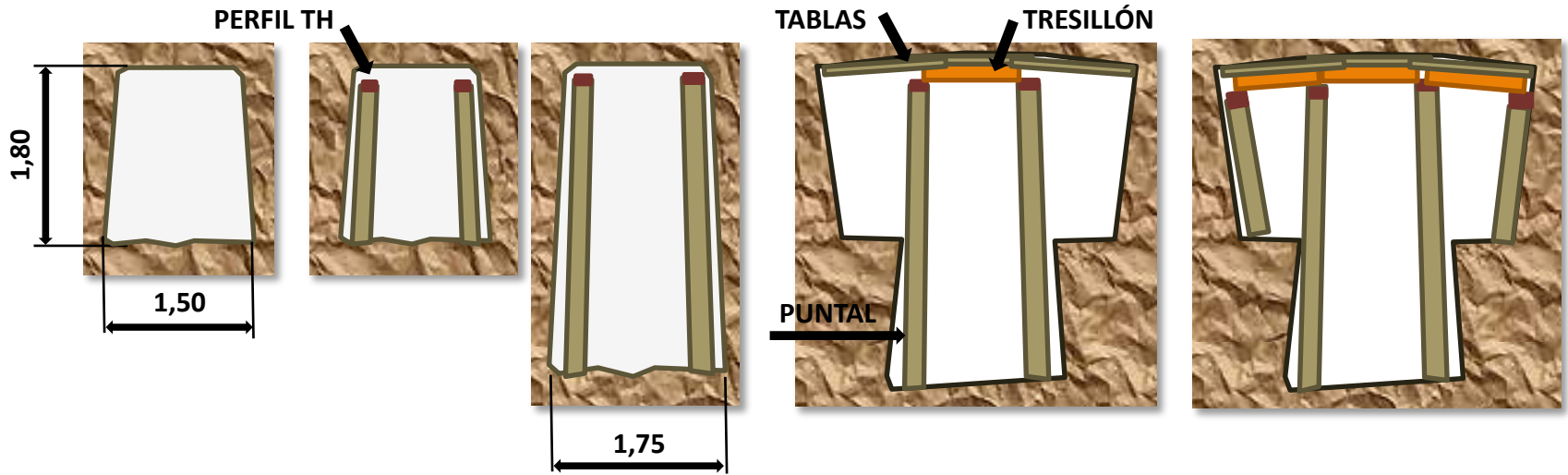


Imagen adaptada de: «Estudio Informativo de Integración del Ferrocarril en Sant Feliu de Llobregat» (Barcelona). Recurso electrónico:

<http://www.santfeliu.cat/directori/ProjecteSoterrament/Estudio%20Informativo%20del%20Ferrocarril%20en%20Sant%20Feliu%20de%20Llobregat/01%20Memoria%20y%20Anejos/Anejos/>

## Descripción del método en base a un ejemplo concreto

Para una descripción pormenorizada del método se aludirá a lo recogido en el Anexo 9 del estudio informativo de integración del ferrocarril en Sant Feliu de Llobregat (Barcelona).

Fuente: López Jimeno, C. & López Jimeno, E. (1997): «Manual de Túneles y Obra Subterránea». Madrid: Entorno Gráfico.

### BÓVEDA

Constituye la etapa de mayor importancia y la que suele conllevar la mayor parte de los problemas. La excavación se asiste con entibación de madera cuajada. El túnel se suele ejecutar en avances de 2,5 m de longitud, si bien el tipo de terreno podrá hacer variar dicha magnitud, pudiendo llegar a reducirse a 2,00 o incluso 1,25 si se estima oportuno. En cualquier caso, en los primeros metros de túnel lo habitual es reducir el avance, hasta conseguir un adecuado ajuste del método constructivo.



La labor de avance en mina cuenta con un metro escaso de anchura, coincidiendo con el eje del túnel. En la entibación suele emplearse álamo negro, por la mayor capacidad de deformación, si bien en periodos de escasez de dicha especie ha sido igualmente habitual el empleo de eucalipto, de menor fiabilidad por su mayor fragilidad, que puede conllevar rotura con bajas deformaciones. Resulta importante que la madera emita crujidos (en el argot, «cantar»), denotando las posibles deformaciones, permitiendo adoptar precauciones particulares. Las dimensiones de las tablas suelen ser de 1,50 x 0,15 x 0,025 m, colocándose conforme se avanza la excavación, apoyándolas en el propio terreno, de tal modo que forren la parte superior del minado. Hasta el paso posterior de colocación de las longarinas, existe un importante riesgo de desprendimientos inesperados.

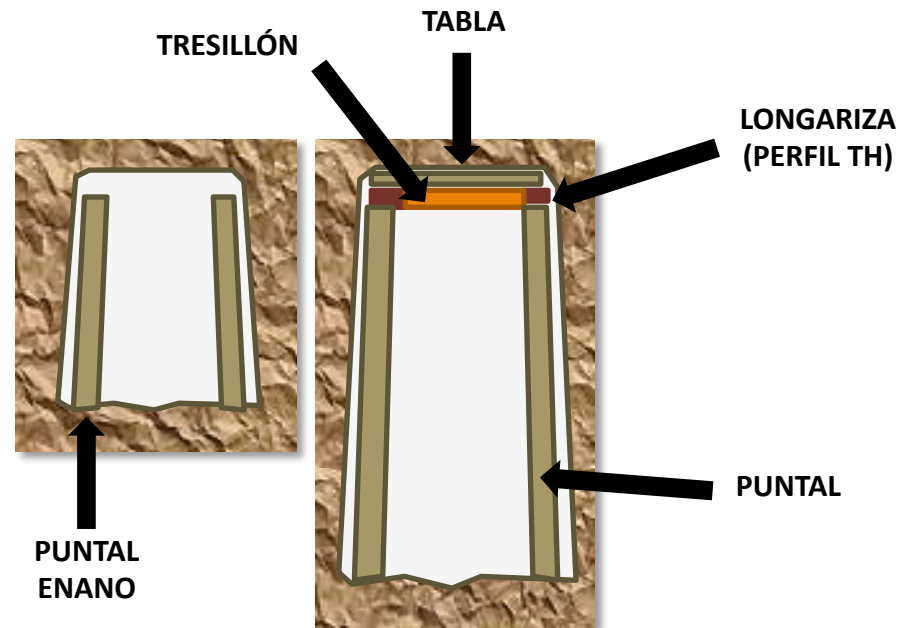
Imagen adaptada de: «Estudio Informativo de Integración del Ferrocarril en Sant Feliu de Llobregat» (Barcelona). Recurso electrónico:

<http://www.santfeliu.cat/directori/ProjecteSoterrament/Estudio%20Informativo%20Integracion%20del%20Ferrocarril%20en%20Sant%20Feliu%20de%20Llobregat/01%20Memoria%20y%20Anejos/Anejos/>.

## Descripción del método en base a un ejemplo concreto

### BÓVEDA

Concluida la labor en mina en el total de su longitud, entre 2 y 3 metros, se colocan los perfiles metálicos TH (denominados «longarinas», de entre 3 y 3,5 metros, en función de la longitud de avance), si bien antiguamente era frecuente el empleo de rollizos de madera de álamo negro, que se emplean como apoyo de las tablas, siendo dispuestos en el sentido longitudinal del túnel, espaciándose un metro. Entre las tablas y la longarina se coloca una tabla corrida, que hará de falso apoyo y se introduce por un hueco denominado «falso». Las longarinas se apoyan sobre pies derechos de rollizo de álamo negro (de 1,50 m, puntal enano, y 2,50 m, puntal) en sus extremos y en la zona central. Entre las longarinas se ubican estampidores o tresillos de madera.



Fuente: López Jimeno, C. & López Jimeno, E. (1997): «Manual de Túneles y Obra Subterránea». Madrid: Entorno Gráfico.

Imagen adaptada de: «Estudio Informativo de Integración del Ferrocarril en Sant Feliu de Llobregat» (Barcelona). Recurso electrónico:

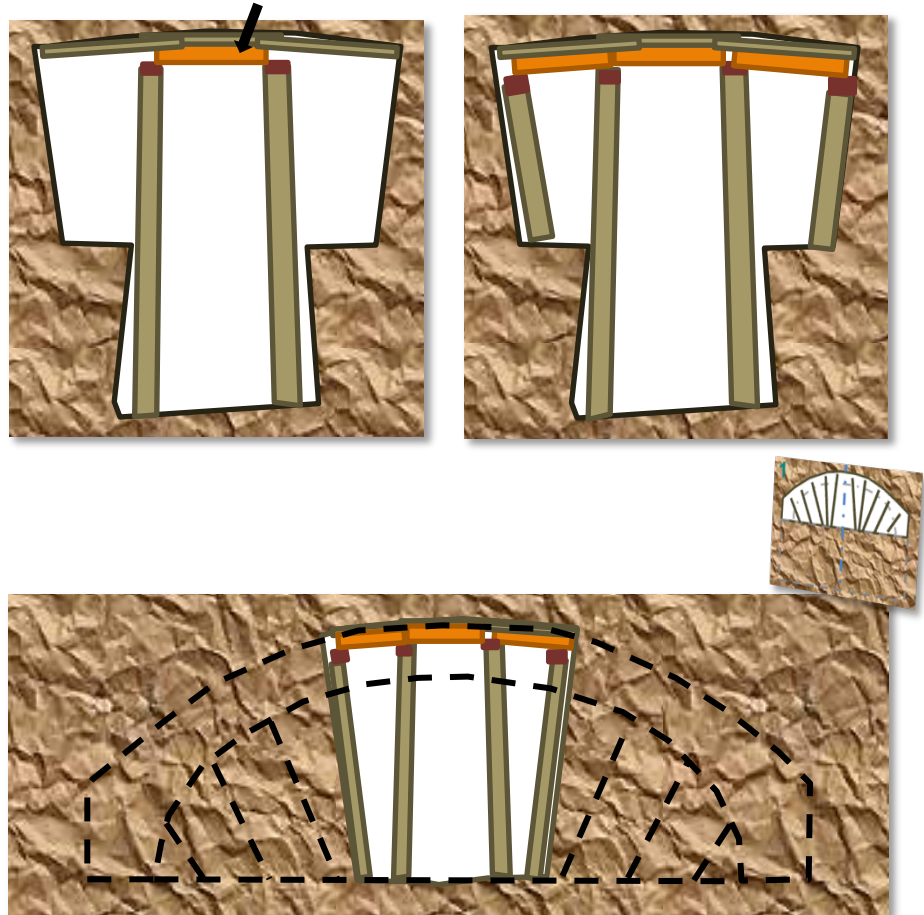
<http://www.santfeliu.cat/directori/ProjecteSoterrament/Estudio%20Informativo%20Integracion%20del%20Ferrocarril%20en%20Sant%20Feliu%20de%20Llobregat/01%20Memoria%20y%20Anejos/Anejos/>.

## Descripción del método en base a un ejemplo concreto

### BÓVEDA

Finalizada la labor en mina del avance, se abre lateralmente la excavación en pases. La entibación empleada es similar a la expuesta para el trabajo en mina, pasando las tablas de entibación por la longarina previamente colocada, y apoyándose el extremo opuesto de las tablas en el terreno, hasta que finalice la excavación del pase y se coloque la longarina siguiente, que permitirá el pase de las tablas del siguiente anillo o segmento, siguiéndose un trabajo en fases. Para evitar que los pies derechos de álamo se claven en el terreno por la carga transmitida, suelen colocarse una o varias calas de tablón a modo de apoyo, zunchando además en la zona de cabeza una pieza de perfil TH para garantizar que la longarina se apoye bien.

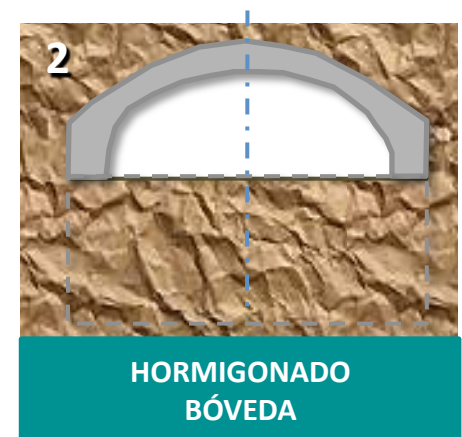
Fuente: López Jimeno, C. & López Jimeno, E. (1997): «Manual de Túneles y Obra Subterránea». Madrid: Entorno Gráfico.



## Descripción del método en base a un ejemplo concreto

### BÓVEDA

Finalizada la bóveda se encofra, recurriendo por lo general a tres cerchas, que en función de la luz se dividirán en dos o tres piezas, y servirán de apoyo a las chapas de encofrado. Si se trabaja en base a un tramo anterior ya hormigonado, las longarinas del tramo siguiente tendrán un extremo embebido en dicho tramo, por lo que se podrán quitar al encofrar los pies derechos que correspondan, quedando los del extremo opuesto por delante del tape del encofrado, recuperándose también. Para los apoyos intermedios, se recurre a pies derechos más cortos, que se apoyarán sobre la cercha del encofrado. Una vez colocado el encofrado, el anillo deberá rellenarse de hormigón mediante bombeo, a través de una ventana ubicada en la clave de la bóveda. El hormigón blando, se coloca sin vibrar, para no desestabilizar la sección.





## Descripción del método en base a un ejemplo concreto

DESTROZA



Hormigonada la bóveda, y considerando un desfase de 5 ó 6 anillos, ha de comenzarse la destroza, que consiste en la extracción mediante excavadora de los materiales de la zona central, con resguardos laterales de entre 1,0 y 1,5 m en los hastiales, de tal manera que los empujes debidos a la bóveda no ocasionen asentamientos o roturas. Durante su desarrollo se retiran además materiales de bóveda, vertidas a la destroza, mediante cintas transportadoras.

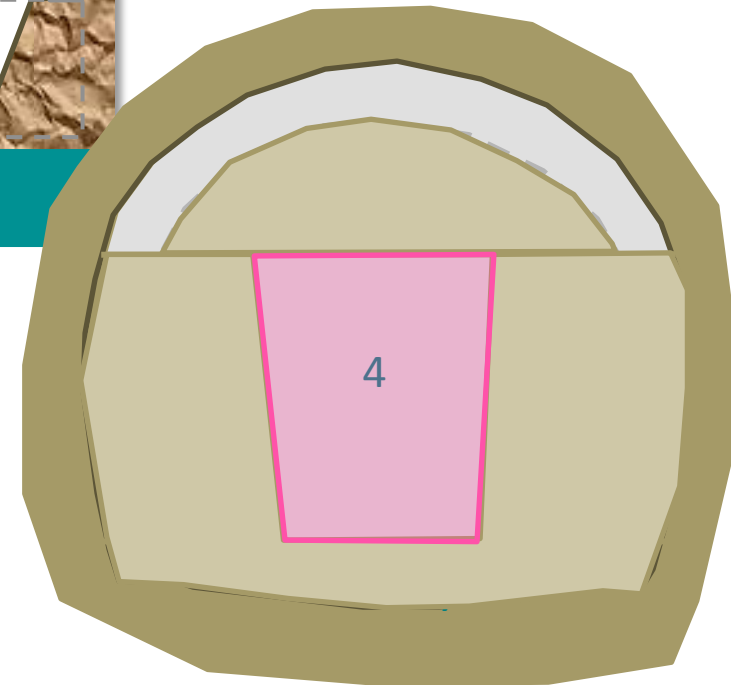
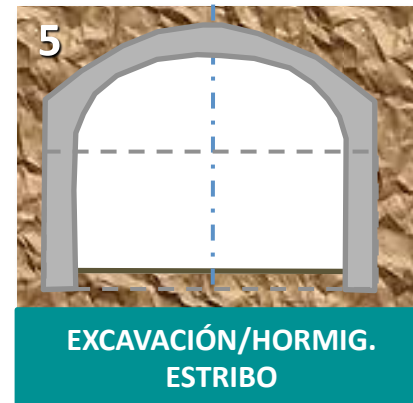
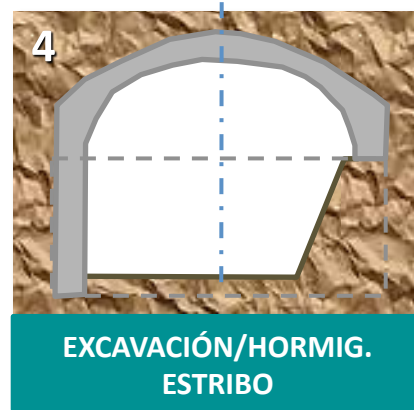


Imagen adaptada de: Soto Saavedra, P.R. (2004) "Construcción de Túneles", Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela de Construcción Civil.

## Descripción del método en base a un ejemplo concreto

### HASTIALES



Finalizada la destroza se excavan los hastiales mediante bataches alternos constituidos por módulos de 2,5 metros, con el mismo equipo empleado en la destroza, y se concluyen a mano. Suele colocarse entibación ligera y poco cuajada. Si no hay problemas laterales de estabilidad, puede obviarse la entibación. Ha de procurarse que la junta del anillo de bóveda (también de 2,5 metros de longitud), quede en el centro del batache, con objeto de no descalzar plenamente la bóveda, no excavando dos bataches enfrentados a la vez por la misma razón. En el encofrado se emplean módulos metálicos. En terrenos arenosos, si existen caudales importantes de agua se recurre a zanjas o pozas drenantes.



# Método Belga

## Descripción del método en base a un ejemplo concreto

### SOLERA/CONTRABÓVEDA - INYECCIONES



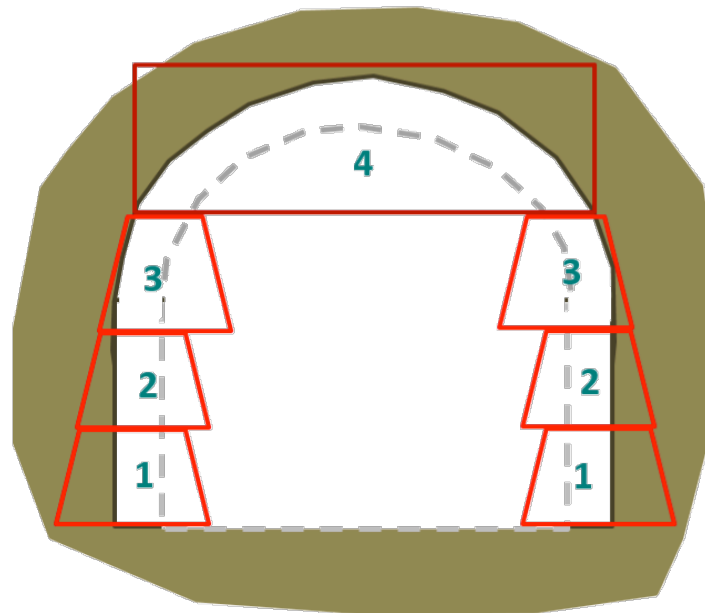
Finalmente debe realizarse la solera/contrabóveda, y posteriormente se inyecta el trasdós de la bóveda por taladros pasantes, de tal manera que los huecos que hayan podido quedar en el trasdós de la bóveda entre el hormigón, la entibación de madera y el terreno queden rellenos, impermeabilizándose además las juntas entre anillos, recurriéndose habitualmente a presiones de inyección inferiores a 2 bares, con el fin de evitar la aparición de cargas excesivas sobre el revestimiento.

# Método Alemán

## Características del método alemán

Se aplica en casos de terreno muy malo, y/o luces relativamente grandes, superiores a 8 m, con anchos de galería por lo general superiores a los 50 m<sup>2</sup>. Durante los primeros tiempos de aplicación del método, se excavaban galerías ascendentes desde la zona inferior del hacia la zona de bóveda, reduciéndose la entibación al mínimo y construyendo en primer lugar los estribos, lo que evitaba el asiento de la bóveda. Con posterioridad se modificó el orden de excavación, simplificándose la ejecución.

Fuente: López Jimeno, C. & López Jimeno, E. (1997): «Manual de Túneles y Obra Subterránea».  
Madrid: Entorno Gráfico.

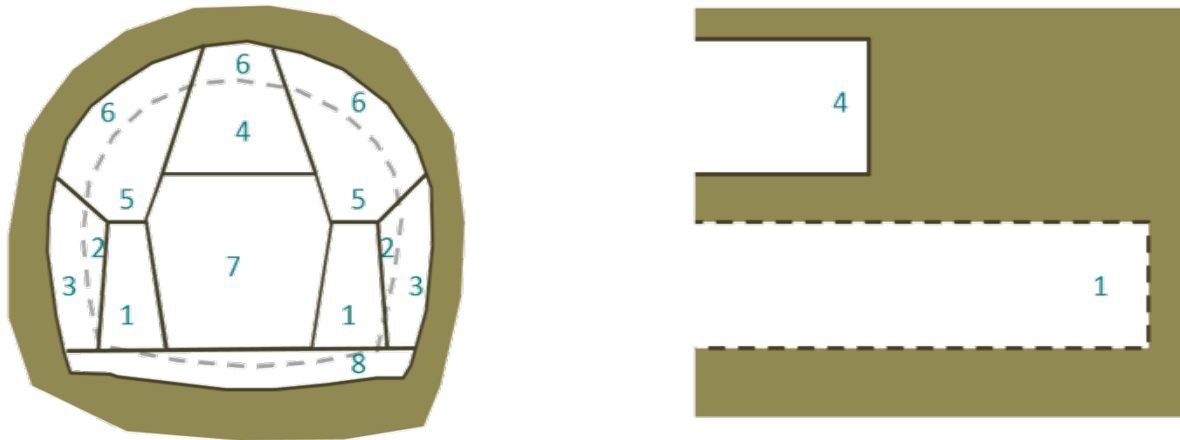


Esquema primitivo del Método Alemán. Adaptado de Escancio, J. (1943): «Caminos. Tomo 1». Madrid: Tipografía Artística.  
Recurso on-line: <http://www.opandalucia.es/index.php?form=9&accion=13&userid=25&groupid=0>.

## Características del método alemán

Con respecto al Método Belga, permuta el orden de sus fases (hastiales-bóveda-destroza-solera). La ejecución de dos galerías iniciales se desarrolla con el fin de ejecutar con anterioridad a la bóveda la excavación de los hastiales, para evitar los posibles asentamientos de aquella. Terminados éstos, puede ejecutarse la bóveda, que se apoyará sobre los estribos previamente hormigonados de los hastiales. Finalmente se ejecutará la solera. Esta metodología resulta más costosa y lenta, por la ejecución de las tres galerías que implica, pero resulta más seguro ante malas condiciones del terreno con fuertes empujes. Como ventaja indudable está la ejecución inicial de los estribos, sobre los que una vez fraguados se asentará la bóveda, sin riesgo de asientos, reduciendo además la cantidad de madera requerida para su ejecución.

Fuente: López Jimeno, C. & López Jimeno, E. (1997): «Manual de Túneles y Obra Subterránea».  
Madrid: Entorno Gráfico.



<https://www.youtube.com/watch?v=rRjaUpK8qnE>

<https://www.youtube.com/watch?v=S0HA7avKQXw>

# Método Bernold

## Características del método convencional

El sistema Bernold permite colocar una bóveda de hormigón vibrado de forma inmediata a la ejecución de la excavación. La bóveda presentará una resistencia uniforme, predeterminada, con una íntima unión al terreno. Para su ejecución se requieren los elementos recogidos a continuación.

Fuente: Tedesa, Técnicas de entibación, S.A.

Recurso electrónico: [http://www.dfdurofelguera.com/catalogo\\_tedesa/prod/prod\\_cat/chapa/Bernold/bernold.pdf](http://www.dfdurofelguera.com/catalogo_tedesa/prod/prod_cat/chapa/Bernold/bernold.pdf).

### CERCHAS DE MONTAJE

Perfiles de ala ancha (HEB) curvadas con el radio de hormigonado, provistas de articulaciones para desmontarlas y para su transporte al frente. Se dimensionan para soportar el empuje del hormigón que se colocará tras la chapa y la presión de las rocas hasta que el revestimiento alcance la totalidad de su capacidad resistente.

### CHAPAS BERNOLD

Chapas troqueladas, onduladas y curvadas con el radio requerido, con medidas de 1080 x 1200 (una vez montada su superficie útil será de 1 m<sup>2</sup>) y espesores de 2/3 mm, que actuarán como encofrado en el hormigonado y de armadura del hormigón cuando éste haya fraguado (para ello presentan nervios cada 120 mm). Se montan sobre las cerchas y se solapan entre sí, empleando pernos para entrelazarlas.

### SEPARADORES

Empleados para arriostrar longitudinalmente las cerchas, deben ser encajados en unas chapas que presentan las cerchas.

Fuente: Tedesa, Técnicas de entibación, S.A.

Recurso electrónico: [http://www.dfdurofelguera.com/catalogo\\_tedesa/prod/prod\\_cat/chapa/Bernold/bernold.pdf](http://www.dfdurofelguera.com/catalogo_tedesa/prod/prod_cat/chapa/Bernold/bernold.pdf).



«Sistema Bernold» (TEDESA). Fuente de la imagen: Luis Sánchez, N. (2014): «Introducción a la ejecución de túneles». <https://construblogspain.files.wordpress.com/2014/05/sistema-bernold.jpg>. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/es/>.

# Método Bernold

## Características del método convencional

### EJECUCIÓN

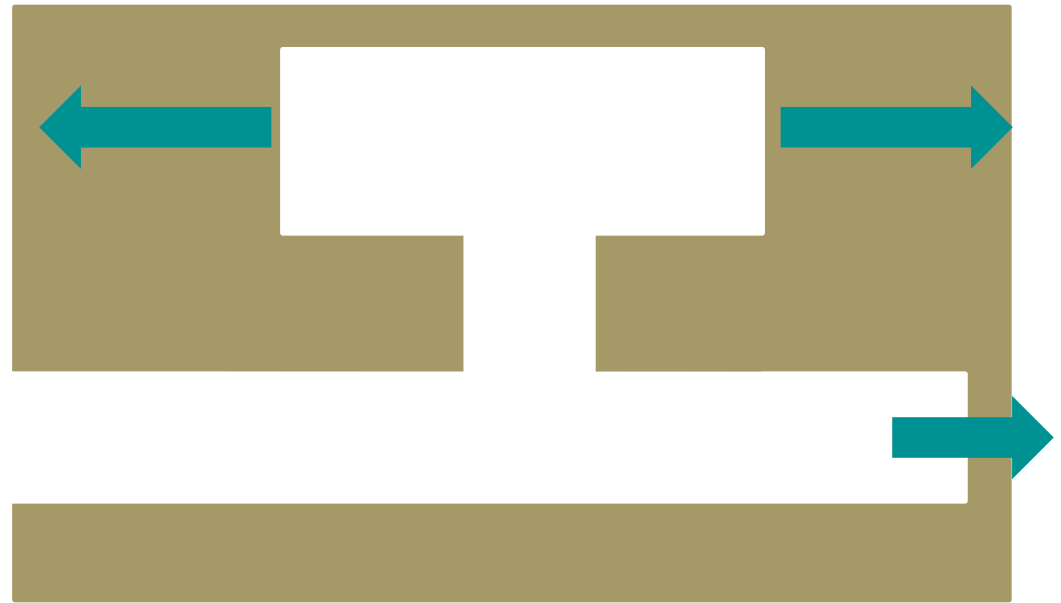
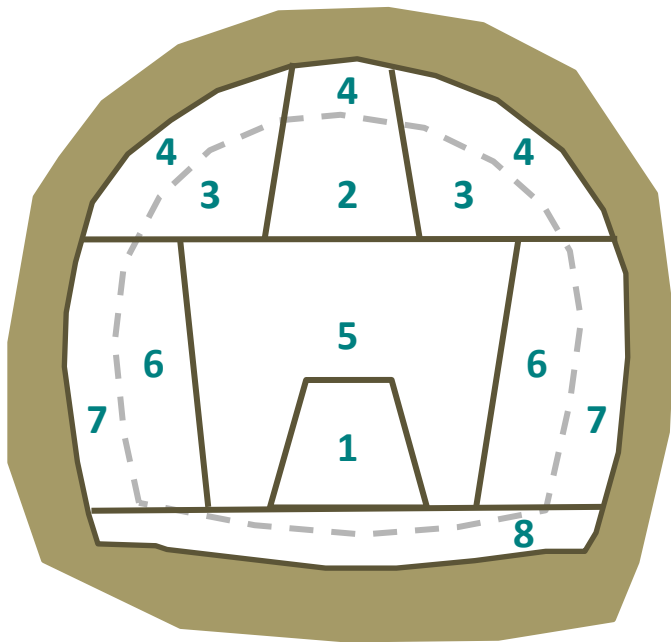
Al concluir la excavación y el desescombro se colocará una de las tres cerchas de montaje, en función de la excavación realizada. La distancia entre cerchas viene marcada por los separadores, normalmente 960 mm. Comenzando por la base se colocarán las chapas a ambos lados del túnel, uniéndolas con pernos. Simultáneamente se verterá el hormigón entre chapa y roca. El hormigón (por lo general con 250/300 kg de cemento y relación agua/cemento 0,4/0,5, con consistencia plástica dura) se vibrará hasta que empieza a salir por las ranuras de las chapas, que normalmente no se recuperan. Una vez se ha finalizado el revestimiento Bernold, normalmente se termina con una capa de hormigón proyectado sobre la chapa, que actúa de soporte. Tras el hormigonado se comenzará otro ciclo de excavación-desescombro-hormigonado.

Fuente: Tedesa, Técnicas de entibación, S.A.

Recurso electrónico: [http://www.dfdurofelguera.com/catalogo\\_tedesa/prod/prod\\_cat/chapa/Bernold/bernold.pdf](http://www.dfdurofelguera.com/catalogo_tedesa/prod/prod_cat/chapa/Bernold/bernold.pdf).

## Antecedentes. El método austríaco tradicional

Comienza por la ejecución de una galería de avance en la base, siguiendo el eje del túnel. Que servirá como vía de evacuación. Una vez alcanzada una cierta longitud, se excava un pozo ascendente, que se avanza en ambos sentidos. Finalizada ésta, se prosigue a semejanza del Método Belga. Permite la transferencia de escombros a la galería inferior a través del pozo original, o de otros sucesivos que puedan ejecutarse entre ambas galerías. La actuación en varios frentes acelera el proceso constructivo.





## Características del nuevo método austríaco

Fue desarrollado y patentado por Rabcewicz a mediados del siglo XX. Tiene su base en la construcción de túneles a bajo coste durante la Segunda Guerra Mundial, y fue presentando en 1962 en Salzburgo (Austria), por su filosofía se encuadraría entre los métodos de sostenimiento de túneles, pero englobando las distintas etapas de la ejecución, buscando aprovechar la capacidad autoportante del terreno y que éste colabore en la resistencia del conjunto, resultando sistemas de sostenimiento lo más económicos posibles, consiguiendo estructuras estables. En esencia, se aplica un sostenimiento inicial, y con posterioridad, se aplicará un sostenimiento secundario o de refuerzo si fuese necesario. En terreno de escasa competencia, la premura en la colocación del sostenimiento primario deberá ser superior aquellos en los que se trabaje con terrenos medios-duros.

### Algunos principios a destacar son:

- **Utilizar la roca como elemento resistente frente a las cargas que se generan durante la excavación.**
- **No introducir daños en la roca con el sistema de arranque para evitar la apertura de diaclasas y aureolas de descompresión.**
- **El sostenimiento inicial debe ser flexible y proteger al macizo rocoso.**
- **No es preciso que el revestimiento definitivo esté inmediatamente próximo al frente de avance.**
- **El comportamiento de la roca debe ser monitorizado.**



## Características del nuevo método austríaco

El NATM implica en su filosofía permitir una pequeña deformación, de tal modo que el sostenimiento de soporte una carga mínima. En la práctica, tras ejecutar la excavación la superficie de la roca se reviste con una capa delgada de hormigón proyectado (entre 50 y 300 mm). En caso de trabajar en roca, el macizo rocoso se refuerza con bulones, y la solera se hormigona tan pronto sea posible (el NATM emplea además un sostenimiento anular cerrado, ya que con dicha configuración el hormigón proyectado será más rígido que en el caso de uno en herradura, y la capacidad total de carga superior). Se realizan mediciones con objeto de determinar el comportamiento del macizo rocoso, hasta que éste alcanza el estado de equilibrio. Mientras se desarrolla dicha observación, se realiza una segunda proyección de hormigón si se esperan cargas de gran duración, o sostenimiento primario sufre o puede sufrir deterioros. Entre el sostenimiento primario, aplicado inicialmente, y el interior o definitivo, debe colocarse una membrana impermeable. Para dicho refuerzo, puede aplicarse refuerzos de hormigón proyectado (sobre malla electrosoldada o con fibras metálicas) y pernos de anclaje. Si las rocas son débiles o las secciones superiores a 50 m<sup>2</sup>, se puede recurrir a cerchas.

### Los sistemas de sostenimiento utilizados actualmente serán por tanto:

- **Hormigón proyectado, tanto por vía seca como húmeda.**
- **Cerchas.**
- **Bulones a la resina e inyectados, tanto metálicos como de fibra de vidrio.**

Fuentes: Melbye, T. & Garshol K.F. (2007): «Diseño del sostenimiento con hormigón proyectado». En López Jimeno, C. (Ed.): «Ingeotúneles. Vol. 12».  
 John, M. (2000): «Condiciones Geológicas y desarrollo del Nuevo Método Austríaco en Europa». En López Jimeno, C. (Ed.): «Ingeotúneles. Vol. 3».  
 Oteo Mazo, C. (1998): «El Nuevo Método Austríaco y su Filosofía Real». En López Jimeno, C. (Ed.): «Ingeotúneles. Vol. 1».

## Características del nuevo método austríaco

El método puede por tanto considerarse como observacional, ya que inicialmente se recogen datos geológicos, de mecánica de rocas, de las propias dimensiones del túnel, y se elabora un diagnóstico de carga y deformación para varios casos de calidad de la roca, en base a la traza del túnel. En base a ello se establece un plan de soporte preliminar, incluyendo aspectos como el espesor del hormigón proyectado, la cantidad, dirección y resistencia de los bulones, las cerchas y separación entre ellas. Este plan preliminar determina cómo deberá ejecutarse la excavación (la excavación a plena sección con el Nuevo Método Austríaco únicamente es viable en roca, requiriéndose en el caso de trabajar en suelos la ejecución por fases). Se instalan elementos de control exhaustivo a intervalos (extensómetros, pernos de medición, células de carga en revestimiento o en pernos..., controlando de forma continua el comportamiento de roca y soporte). Tras controlar el túnel durante un determinado tiempo, se adopta una decisión sobre el soporte final: no instalar ningún soporte adicional, o instalar un recubrimiento de hormigón.

<https://www.youtube.com/watch?v=AOo9Tg7697M>

Fuente: Oteo Mazo, C. (1998): «El Nuevo Método Austríaco y su Filosofía Real». En López Jimeno, C. (Ed.): «Ingeotúneles. Vol. 1».

## Síntesis de las etapas a considerar en la aplicación del nuevo método austríaco

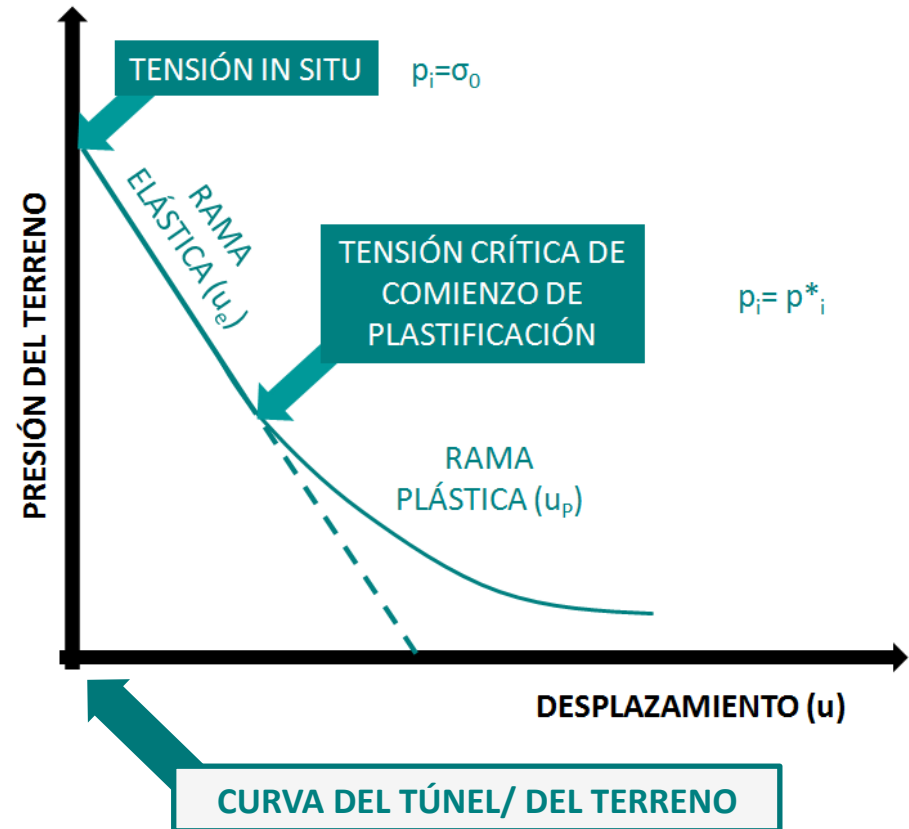
- Estudio geomecánico del macizo rocoso, con la determinación del tipo de materiales, direcciones de diaclasado y su estado, presencia de agua, etc.
- Sectorización del trazado en función de las características geomecánicas.
- Definición de secciones tipo de sostenimiento en cada sector de los anteriormente distinguidos.
- Instalación del sostenimiento previsto en cada sector y que se explicita por el estado del frente que se va abriendo.
- Instalación inmediata de secciones de auscultación y control. Control mínimo de convergencias y control de empujes.
- El seguimiento e interpretación de la instrumentación permite deducir si la sección de sostenimiento es la adecuada o si es necesario reforzar el sector.
- Si es necesario, puede colocarse un sostenimiento definitivo, generalmente, hormigón en masa.

## Vías para la determinación del sostenimiento. Curvas

### MÉTODOS

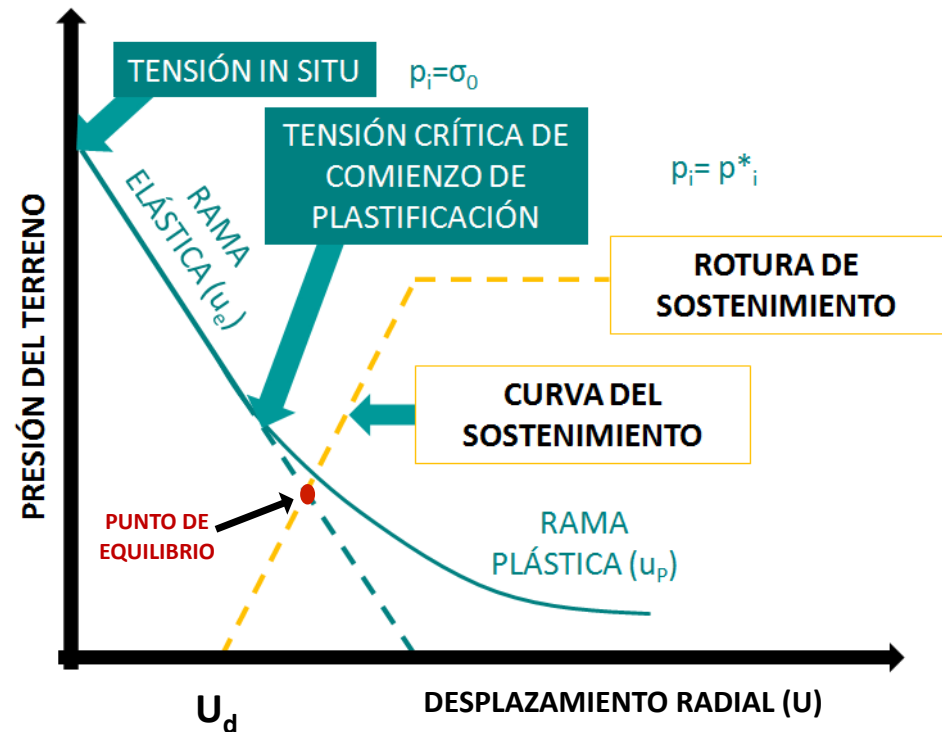
- **Empíricamente:** utilizando las clasificaciones geomecánicas para definir el macizo rocoso y las recomendaciones de sostenimiento aportadas por algunos autores.
- **Buscando el punto de equilibrio a partir de las líneas características del terreno y sostenimiento.**
- **Mediante métodos numéricos.**

Si bien se tratarán en el tema siguiente, es conveniente introducir las curvas características del túnel asociada a unas características determinadas de la litología y la curva del sostenimiento. Entre ambas curvas existe un punto de intersección, que representa el equilibrio entre ambas curvas, experimentado para una cierta presión y desplazamiento.



## Características del nuevo método austríaco

El desplazamiento  $U_d$  hace alusión al existente a distancia con respecto al frente de excavación a la que se coloca el sostenimiento considerado, y de forma indirecta, a la deformación que se ha producido con anterioridad a la colocación del mismo. Conforme avance la excavación, a través de la auscultación debe controlarse la convergencia del túnel (reducción de la sección como consecuencia de la deformación), debiendo representar los desplazamientos en función del tiempo, y determinando si se tiende a alcanzar un equilibrio (asíntota). En el momento más adecuado habrá de colocarse el sostenimiento, cuyo comportamiento se conoce con anterioridad, de tal modo que se conozcan las máximas deformaciones esperables. En caso de comportamiento anómalo, deberá colocarse el sostenimiento secundario lo antes posible.



## Vías para la determinación del sostenimiento. Curvas

Sostenimientos más rígidos implican un mayor coste económico, por lo que resulta importante hacer una adecuada selección del mismo y de la distancia de colocación (o tiempo), con respecto al frente.

