

TERRADAS Y LA CONSTRUCCIÓN DEL TÚNEL DEL METRO TRANSVERSAL DE BARCELONA

TERRADAS AND THE CONSTRUCTION OF THE TUNNEL
FOR THE CROSS UNDERGROUND IN BARCELONA

Joaquim Guerola

Una de las actividades profesionales que ocuparon a Terradas fue la construcción de un ferrocarril metropolitano en Barcelona. El trazado de la línea uniría las plazas Universidad y España, y se tuvieron que salvar importantes problemas técnicos para su realización. El artículo reconstruye la aplicación del método austriaco que aplicó Terradas en su construcción.

One of the professional activities of Terradas was the construction of the metropolitan railway in Barcelona. The line would join Universitat and Espanya squares, and some important technical difficulties had to be overcome. This article reconstructs the application of an Austrian method used by Terradas.

«El oído de los sabios busca la ciencia»

Libro de Proverbios

Una paletada del rey Alfonso XIII en la plaza España de Barcelona, el 8 de junio de 1922, inauguraba oficialmente las obras de construcción de su segunda línea de ferrocarril metropolitano, llamada Transversal, la actual línea roja o L1.

El autor del proyecto fue el ingeniero Fernando Reyes quien lo había presentado en 1913 como una línea de ferrocarril, cuya finalidad era enlazar las dispersas estaciones ferroviarias de la ciudad: la Bordeta, Plaza España y del Norte. En ellas iniciaban y finalizaban su recorrido líneas de trenes de largo y mediano recorrido que estaban explotadas por sociedades distintas.

Sin embargo, las razones económicas prevalecieron. Lo que había de ser un enlace se convirtió, en el proyecto final, en una línea que uniría los ríos Besós y Llobregat destinada a facilitar el transporte urbano de viajeros a tra-

vés de diversas estaciones. Al igual que en otras grandes ciudades, se respondía así al aumento del tráfico que imponía un ensanche de las mismas y éste era más fácil conseguirlo en el subsuelo que en cualquier otra dirección. En 1921 se aprobó la construcción de la primera fase del proyecto que, siguiendo el recorrido del proyecto inicial, debía unir la Bordeta con la plaza Cataluña.

Las obras se iniciaron de una manera efectiva el 5 de febrero de 1923, pero no evolucionaron de acuerdo a las expectativas que la sociedad promotora había depositado en la empresa que al efecto contrató. Por esta razón muy pronto decidió prescindir de ella y asumir directamente la gestión de la construcción, constituyendo una empresa propia que en adelante se encargaría de la ejecución del proyecto. Y al frente de ella colocó, el 1 de agosto de 1923, al ingeniero de caminos Esteban Terradas Illa que

en esos momentos estaba implicado, entre otras actividades profesionales, en el mundo del ferrocarril.

En efecto, desde hacía tiempo los intereses científicos y tecnológicos de Terradas alcanzaban también los del transporte, tanto en España como en el extranjero. Además, desde 1918 era el responsable de la Sección de Ferrocarriles Secundarios de la Mancomunitat de Catalunya. Como tal elaboró el proyecto ejecutivo de varias líneas ferroviarias que hubieran facilitado considerablemente la movilidad interior. Circunstancias políticas adversas impidieron finalmente su ejecución.

Incorporado a la nueva empresa sin experiencia constructiva alguna en obra civil, puso en juego sus conocimientos científico-técnicos y manifestó su creatividad en la resolución de problemas de ingeniería, y su capacidad para gestionar el trabajo en una de las obras que por entonces requerían la organización más compleja: la construcción de un túnel. Terradas dedicó unos meses a preparar la tarea a realizar rodeándose de colaboradores suyos adscritos al Instituto de Electricidad y Mecánica Aplicadas del que él mismo era director. A comienzos del año 1924 se inició la construcción efectiva del Transversal.

Así, a partir del profundo conocimiento que Terradas tenía del proceso constructivo de obras similares de Europa y Estados Unidos, construyó el túnel, las estaciones y accesos, la subestación eléctrica que había de proporcionar corriente continua a los coches, las cocheras,

los talleres y las unidades móviles. Realizó el tendido de las cuatro vías junto con las dos que proporcionaban la electricidad e instaló la correspondiente señalización. El ancho de vía fue el español (1674 mm), manteniendo así la posibilidad del enlace ferroviario, y fue diferente del de la otra línea barcelonesa llamada Gran Metro, cuyo ancho era de 1435 mm.

El trazado de la línea había de recorrer en buena parte el tramo de la Gran Vía barcelonesa comprendido entre las plazas Universidad y España. Con el fin de causar el mínimo perjuicio posible a la ciudad se decidió que fuera subterráneo y que no hubiera levantamiento superficial generalizado de tierras, excepto en la plaza de Cataluña donde la instalación de la viga-puente obligó a ello. Se procuró llevar el subterráneo lo más cerca posible de la superficie con el fin de abaratar los costes, pero con la obligación de mantener el tráfico.

La línea a construir tenía 4083 metros de largo y ocho estaciones, dos de las cuales serían bastante diferentes a las otras, las correspondientes a plaza España y Cataluña, que por diversas circunstancias plantearon problemas singulares de ingeniería de notable complejidad que fueron resueltos por Terradas con elevada pericia. La anchura de la primera en la que confluía un túnel de enlace ferroviario, hizo que construyera una bóveda de las más grandes del mundo. En la plaza Cataluña hay que destacar que el tranvía no dejó de pasar durante todo el proceso de colocación de una viga-puente que salvaba el cruce

Joaquim Guerola Olivares



Licenciado en Matemáticas por la Universidad de Barcelona y Doctorando en Historia de la Ciencia, es catedrático de Matemáticas de instituto desde 1976. Actualmente es profesor titular de Arquitectura e Ingeniería La Salle (Universidad Ramon Llull). Es el coordinador general y subcomisario de la exposición dedicada a Esteve Terradas Illa, organizada por Ingeniería y Arquitectura La Salle, en 2004.

jguerola@salleURL.edu

«Terradas utilizó en la construcción del túnel del metro Transversal el llamado *sistema austríaco* o *método de las dos galerías*.»

del Transversal con el Gran Metro. También la construcción y colocación de los pilares de hormigón rematados en «pata de gallo» que sostenían su pesado techo representaba una novedad constructiva.

Debió abordar y resolver los problemas coadyuvantes en este tipo de construcciones que requirieron en algunos casos trabajos ímprobos, a veces, sumamente costosos. En concreto, tuvo que realizar las oportunas modificaciones de las canalizaciones de agua, electricidad y alcantarillado afectadas por las obras, remover el pavimento, sostenerlo, efectuar los trabajos de recalce de cimientos de edificios adyacentes o superpuestos, prolongándolos y llevando luego el apoyo sobre la bóveda ya construida y cortando posteriormente toda la parte interior, construir los grandes vestíbulos de acceso y emplazamiento de las entradas, así como los ramales para llevar los coches a cocheras y talleres.

Los recursos que tuvo que emplear fueron muy diversos: fuerza eléctrica abundante, madera, personal de distinta habilidad, mineros, entibadores, albañiles, maquinistas, material sanitario, parque con máquinas motrices, compresores, ventiladores, martillos, etc.

De la totalidad de la línea, 500 metros quedaban a cielo abierto. La mayor parte requería, pues, la perforación del subsuelo para poder construir el túnel. Para llevarla a cabo hubo que utilizar diferentes métodos de ataque por la diversidad de secciones: estaciones, bifurcaciones, empalmes y enlaces con ferrocarriles terminales.

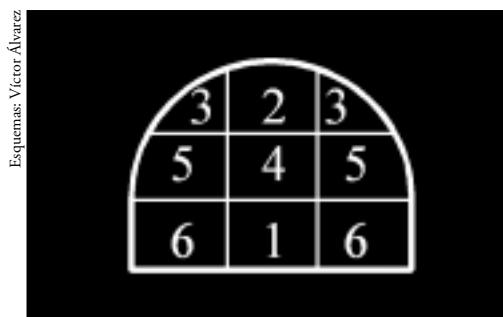
Terradas utilizó en la construcción del túnel el llamado *sistema austríaco de perforación* o *método de las dos galerías*, aplicable a la mayoría de terrenos. Era más caro

que otros métodos (el belga, por ejemplo), al tener que entibar toda la sección del túnel, y menos que el de las tres galerías (el alemán). Además, la colocación de los encofrados era una operación delicada; pero era mucho más rápido porque permitía multiplicar los trabajos y se prestaba a una flexibilidad de ejecución: en caso de encontrar un tramo malo, se podía pasar fácilmente al *método alemán*, desdoblado la galería de avance al pasar por ese tramo. En Europa, el sistema austríaco se había utilizado para construir importantes túneles como los de Mont Cenis (1857-1871) de 12 233 m, Arlberg (1880-1884) de 10 246 m, Simplon (1898-1907) de 19 726 m, y el de Lötschberg (1906-1911) de 14 536 m de longitud.

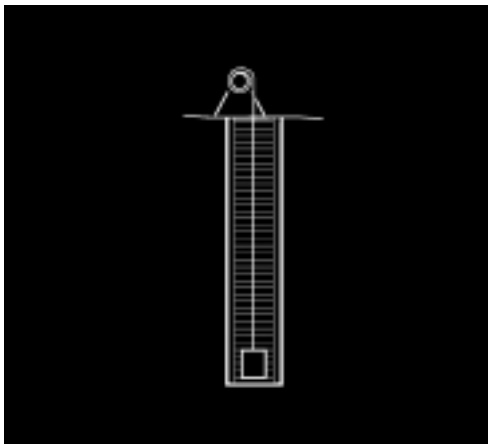
Hemos reconstruido la aplicación del método austríaco que hizo Terradas en la construcción del Transversal a partir del estudio general del método, las conferencias que Terradas dictó sobre el tema, la voz «túnel» de la Enciclopedia Espasa redactada por él después de la construcción y de las fotografías que él mismo realizó. Se expone a continuación.

La perforación del túnel

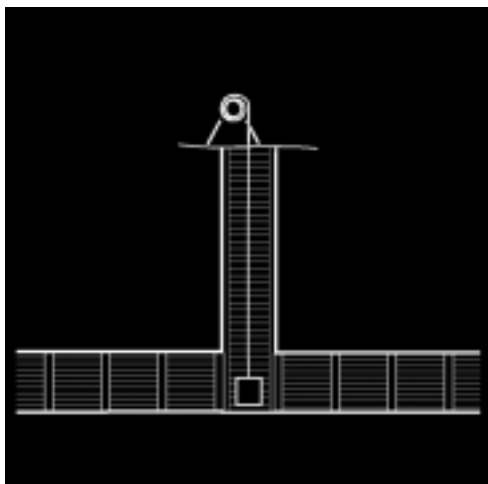
El sistema austríaco requiere completar la excavación de cada porción de túnel (anillo) antes de proceder a su revestimiento, lo cual obliga a entibar esa porción excavada. Esa excavación se fundamenta en la perforación de dos galerías: una de avance o transporte, circulación y drenaje situada en la parte central de la base del túnel, y otra posterior, llamada de clave, situada sobre la anterior y que alcanza la clave del túnel. El orden de ataque a la sección del túnel sigue el orden que aparece en el esquema siguiente. Los números 1 y 2 corresponden a las galerías mencionadas respectivamente.



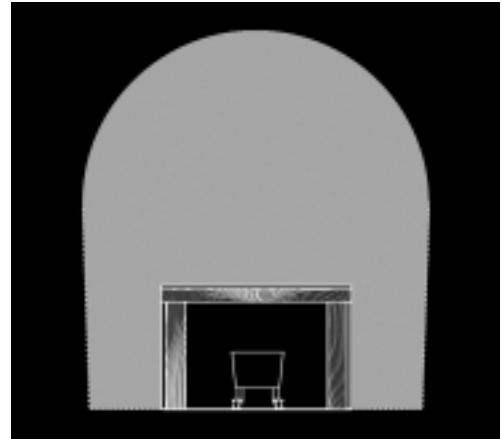
La construcción se inicia perforando y entibando verticalmente un pozo hasta la cota inferior del túnel. Sirve para ventilarlo y extraer las tierras.



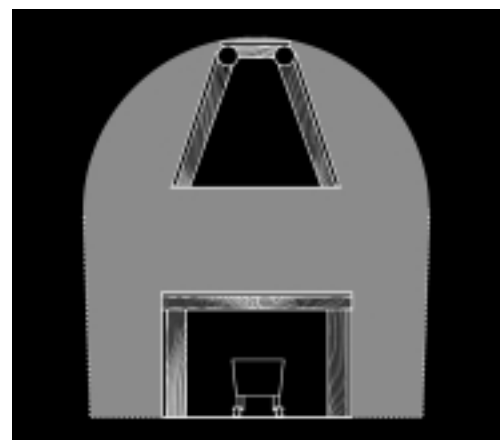
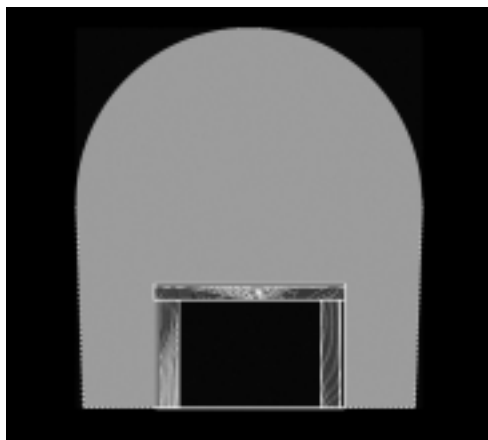
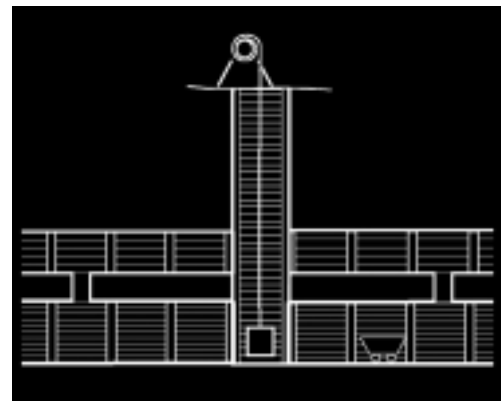
Alcanzada esa cota se inicia la excavación y entibación de la galería de avance. El sistema de entibado es el mismo que se usa en la minería.



En esta galería se instala una vía que permanece hasta el final de la obra y que permite la evacuación de la tierra hacia los pozos de extracción por medio de vagonetas arrastradas por los trabajadores.



Cuando esta galería ha avanzado una cierta longitud se ataca la galería de clave, trabajando luego hacia adelante y hacia atrás, y entibándola de modo análogo a la de transporte.

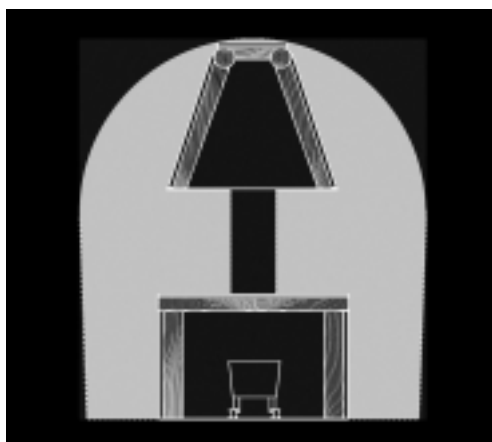


«Durante la ejecución de las obras de la plaza Cataluña, el tranvía no dejó de pasar durante el proceso de colocación de la viga-puente.»

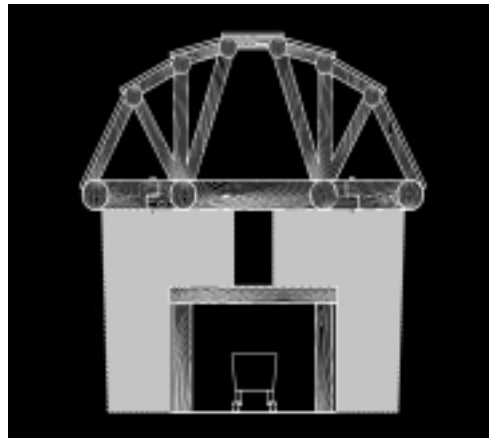
Después de conectar verticalmente las dos galerías por medio de chimeneas que permiten la evacuación de tierras hacia las vagonetas que las conducen hacia el pozo de extracción, se inicia el socavamiento de las galerías laterales a la de clave



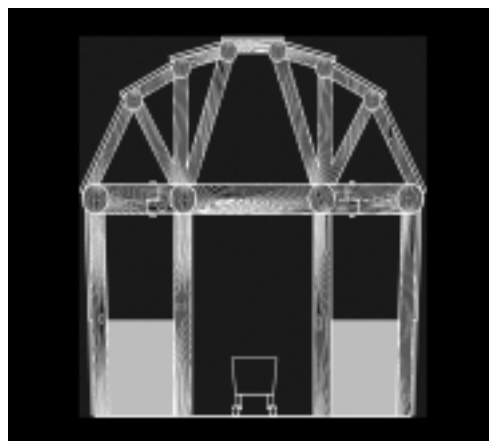
Fotos: Ezequiel Terandis



Una vez excavada toda la parte superior del túnel se atornillan las traviesas, para facilitar el montaje y desmontaje, y se colocan los puntales que evitan el derrumbamiento.



Se unen totalmente la galería de transporte con la galería de clave.



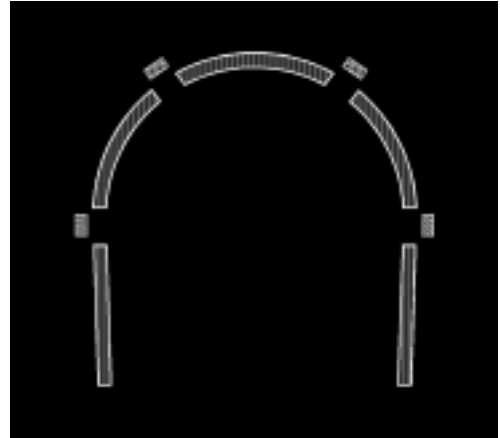
A continuación se procede a socavar las tierras laterales de arriba hacia abajo, completando así el anillo y conformando el abanico de soporte. Estos abanicos se sitúan cada 3,5 m para facilitar la manipulación de puntales y riostras. Entre cada uno de estos abanicos se colocan unas riostras horizontales para estabilizar la estructura y colocar unas lamas de madera que conforman la superficie de contacto con el terreno evitando cualquier desprendimiento y completando el anillo de actuación. La consecución de estos anillos conforma el crecimiento del túnel. Al entibar sucesivamente las partes excavadas se acaba por entibar toda la sección del túnel.

«Del sistema austriaco se podía pasar al método alemán, desdoblado la galería de avance al pasar por un tramo malo.»



Encofrado y hormigonado

Cuando el anillo está entibado se procede a encofrarlo y hormigonarlo. El encofrado se realiza mediante unos arcos metálicos que se componen de diferentes piezas unidas entre sí, a través de chapas atornilladas que tienen una cierta capacidad de soportar momentos, y se apuntalan en forma de encofrado recuperable.



La ventaja que ofrecen estos arcos son la facilidad de transporte dentro del túnel al tener unas dimensiones reducidas, permiten la modelación geométrica del arco de hormigón, y la facilidad que ofrecen para retirar el encofrado cuando el hormigón ha fraguado, ya que, al desatornillarlo, el arco pierde todas sus características mecánicas.

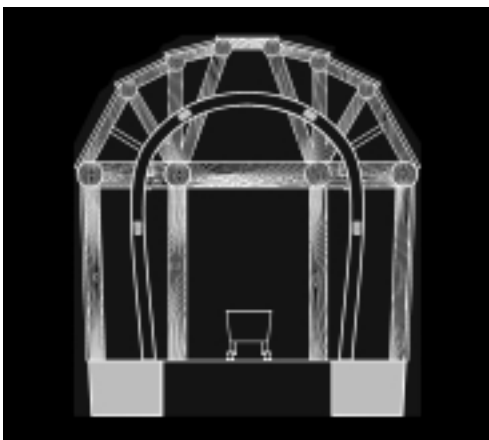


El proceso de montaje es muy sencillo: se llevan las diferentes piezas hasta el lugar que interesa. Una vez allí se monta y arriostra para estabilizarlo con el arco más cercano.

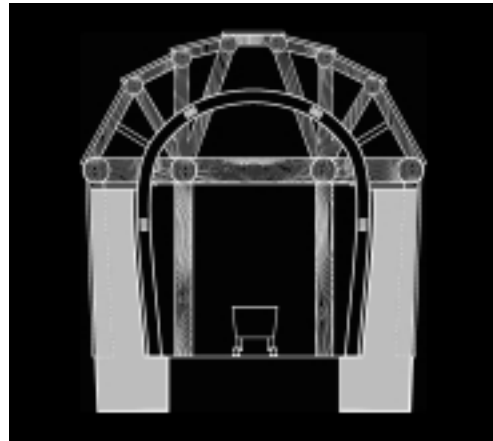




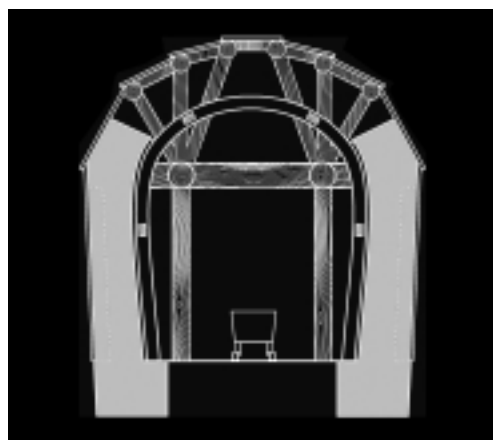
Para estabilizar el aro metálico, se arriostra por la parte superior con las traviesas que soportan el terreno.



Luego se hormigonan las zapatas.



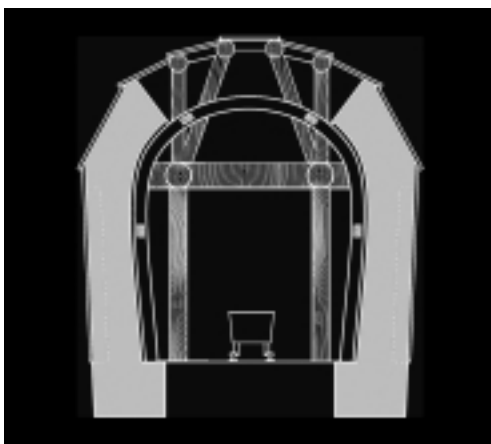
A continuación se colocan las maderas del encofrado hasta una altura un poco inferior a la de la primera riostra. Entonces se procede a hormigonar. Mientras fragua se empieza el hormigonado del anillo siguiente.



«En todo el tramo construido por Terradas hay un solo túnel, excepto en la estación de la plaza España.»

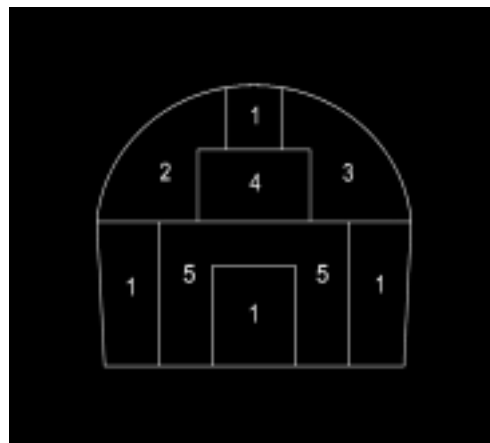
Fraguado el hormigón, se desapuntala el arco por la parte superior sacando la riostra, puesto que el hormigón absorbe los esfuerzos.

A continuación se procede a encofrar otro tramo hasta poco antes de la riostra siguiente, y cuando se llega a la altura de la traviesa del abanico, ésta se desmonta por los extremos, ya que está articulada igual que el arco de encoframiento.

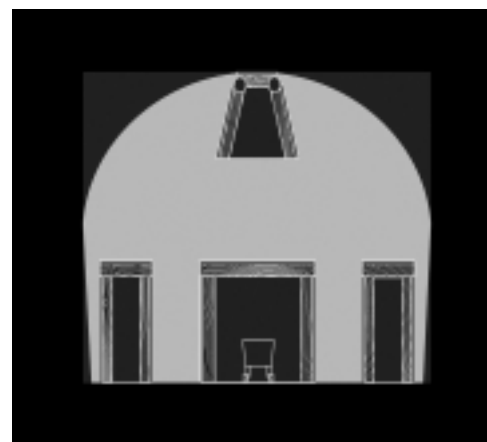


92

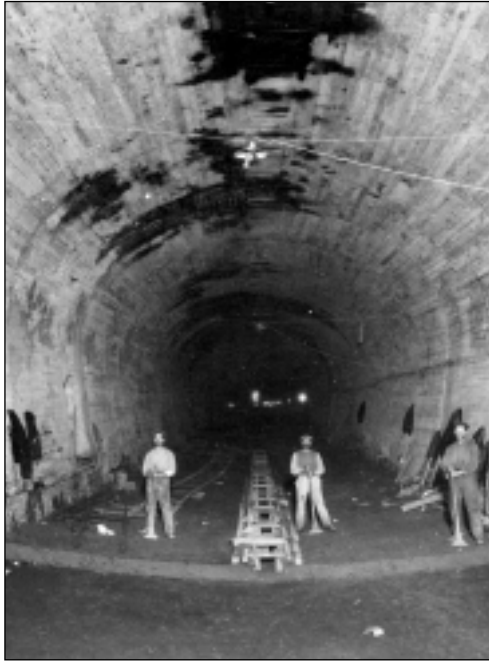
Se repite el proceso hasta llegar a la clave del túnel de forma simultánea por ambos lados del anillo. La clave se encofra y se retira el último punto de arriostramiento superior. A continuación se hormigona por el lado abierto.



Cuando el hormigón ha fraguado completamente, se procede a desatornillar los arcos metálicos y a retirar el encofrado visto con el fin de reutilizarlo. El encofrado situado entre el hormigón y el terreno es irre recuperable.

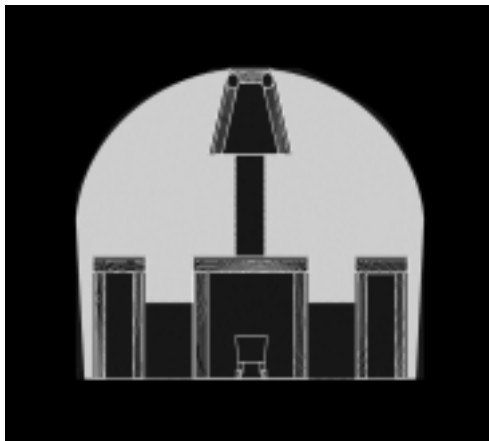


Así se reitera el proceso hasta llegar a la estación siguiente.

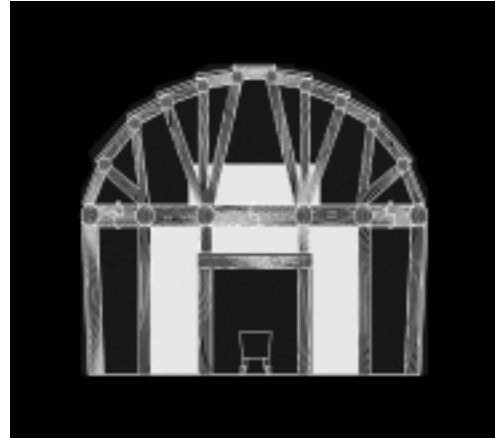


La construcción de las estaciones

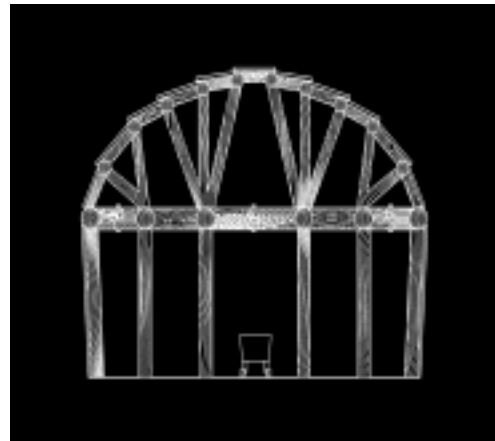
Como la luz a cubrir es muy grande, la mayoría de las estaciones se perforaron siguiendo el siguiente esquema de ataque, que es una variante del método austríaco:



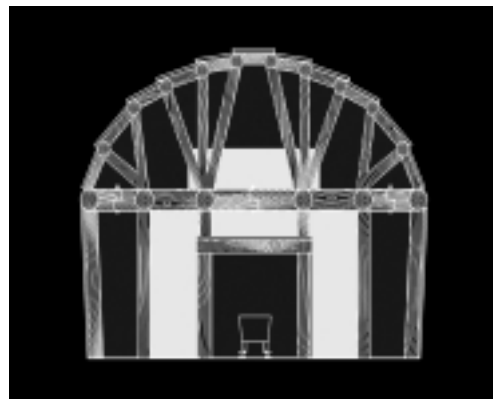
Consiste en perforar y entibar una galería de transporte, dos galerías laterales para construir las zapatas y colocar los puntales del abanico, y una galería de clave.



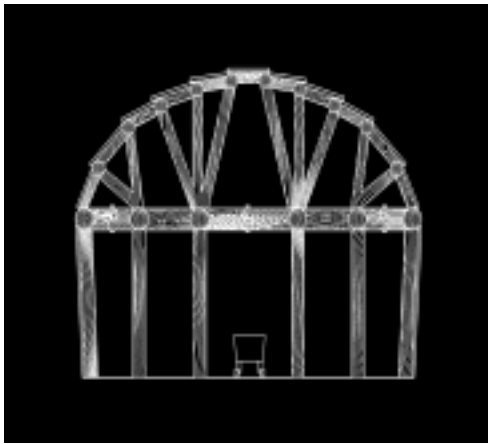
La galería de transporte se une a las laterales mediante unas transversales, y a la de clave mediante chimeneas.



El anillo se ataca a través de dos galerías en escalón que comunican la galería de clave con las laterales; los puntales del entibado se apoyan en el terreno; el revestimiento se hace de una sola pieza desde los cimientos hasta la clave.



El sistema de encofrado y hormigonado es el mismo que el utilizado en el túnel, ya que la geometría es muy similar.



94

Cuando se extrae el encofrado se procede a socavar el resto de tierras y a la construcción de andenes y vías. Los acabados se realizan juntamente con los de los accesos y taquillas.



En todo el tramo construido por Terradas hay un solo túnel excepto en la estación de la plaza España que hay, además, el que se había previsto fuera de enlace, y en la de plaza Universidad ya que, al no obtener la autorización para mantener una rasante alta en el jardincito de la plaza, se vio obligado a construir dos.

