



Enrique Priego de los Santos

TÚNELES Y TUNELADORAS

Ingeniería Civil y Geomática

EDITORIAL
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Enrique Priego de los Santos

Túneles y Tuneladoras

Ingeniería civil y geomática

EDITORIAL
Universitat Politècnica de València

Para referenciar esta publicación utilice la siguiente cita: PRIEGO DE LOS SANTOS, ENRIQUE (2013) *Túneles y tuneladoras. Ingeniería civil y geomática*. Valencia: Universitat Politècnica

Primera edición, 2009
Segunda edición 2013

© Enrique Priego de los Santos

© Fotografía de la portada: Javier Peñafiel
© Fotografías de la contraportada: Enrique Priego de los Santos

© de la presente edición:
Editorial Universitat Politècnica de València
www.editorial.upv.es

Distribución: pedidos@editorial.upv.es
Tel. 96 387 70 12 / www.lalibreria.upv.es / Ref. 4044

Imprime: Byprint percom sl.

Impreso en papel Creator Silk



ISBN: 978-84-9048-000-7
Impreso bajo demanda

Queda prohibida la reproducción, distribución, comercialización, transformación, y en general, cualquier otra forma de explotación, por cualquier procedimiento, de todo o parte de los contenidos de esta obra sin autorización expresa y por escrito de sus autores.

Impreso en España

ÍNDICE

CAPÍTULO I. GENERALIDADES Y ANTECEDENTES HISTÓRICOS	7
1.1. BREVE RESEÑA HISTÓRICA.....	10
1.2. GRANDES TÚNELES DEL SIGLO XXI.....	17
1.3. TÚNELES EN ESPAÑA	23
CAPÍTULO II. GEOMETRÍA DEL PROYECTO: TRAZADO	41
2.1. TRAZADO EN PLANTA.....	43
2.2. TRAZADO EN ALZADO	45
2.3. SECCIÓN TRANSVERSAL.....	47
2.4. TRAZADO DEL TÚNEL DE GUADARRAMA: DATOS GENERALES	55
CAPÍTULO III. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS DE TÚNELES.....	57
3.1. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS	63
3.2. MÉTODOS TRADICIONALES DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES	68
3.3. MÉTODO CLÁSICO DE MADRID	73
3.4. MÉTODO DE PRECORTE MECÁNICO.....	78
CAPÍTULO IV. TUNELADORAS.....	79
4.1. TUNELADORAS PARA ROCA DURA: TOPOS	82
4.2. TUNELADORAS PARA ROCAS BLANDAS Y SUELOS: ESCUDOS	86
4.3. DOVELAS DE REVESTIMIENTO	96

CAPÍTULO V. TOPOGRAFÍA DE TÚNELES Y OBRAS SUBTERRÁNEAS	103
5.1. INSTRUMENTACIÓN TOPOGRÁFICA	108
5.2. REDES TOPOGRÁFICAS	121
5.2.1. Red exterior	121
5.2.2. Red interior	127
5.3. MÉTODOS DE REPLANTEO.....	131
5.4. MEDICIÓN CON EQUIPOS TOPOGRÁFICOS	145
CAPÍTULO VI. GUIADO DE LAS TUNELADORAS.....	153
6.1. SISTEMA DE GUIADO DE TUNELADORAS PARA HINCA DE TUBO.....	159
6.2. SISTEMA DE GUIADO DE TUNELADORAS CON REVESTIMIENTO DE DOVELAS	161
CAPÍTULO VII. CONTROL DE DEFORMACIONES.....	175
7.1. SUBSIDENCIA	177
7.2. AUSCULTACIÓN	181
7.2.1. Movimientos superficiales.....	182
7.2.2. Movimientos en el interior del terreno	186
7.2.3. Movimientos en el interior del túnel.....	188
7.2.4. Control de presiones y tensiones del terreno	191
7.3. MONITORIZACIÓN	192
7.4. PLAN DE AUSCULTACIÓN	195
APÉNDICES	199
A. TÚNELES DE FERROCARRIL MÁS LARGOS DEL MUNDO.....	201
B. TÚNELES DE CARRETERA MÁS LARGOS DEL MUNDO.....	203
C. TÚNELES DE FERROCARRIL MÁS LARGOS DE ESPAÑA	204
BIBLIOGRAFÍA.....	207

PRÓLOGO

El desarrollo productivo y social de un país está firmemente vinculado a las infraestructuras de transporte, y fundamentalmente al transporte viario. España es un país de compleja orografía, que ha obligado a la construcción de numerosos túneles tanto en carreteras como en ferrocarriles, y a esto se suma el desarrollo de las ciudades y la construcción de líneas subterráneas. Ante este reto el profesor Enrique Priego, Doctor Ingeniero en Geodesia y Cartografía e Ingeniero Topógrafo, publicó un libro sobre túneles, y de nuevo nos premia con una nueva versión actualizada. Sus primeros años profesionales los desarrolló en la empresa privada a pie de grandes obras, y allí creció su fuerte voluntad para posicionarse en el horizonte del conocimiento por las tecnologías topográficas. Actualmente dicta brillantes clases en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica, y habitualmente se desplaza a países iberoamericanos a difundir conocimiento y compartir experiencias con centros universitarios y de formación.

Autor de varios libros y apuntes, artículos y conferencias, tanto en topografía aplicada a la ingeniería civil como a la topografía industrial, o en temas vinculados a aplicaciones de técnicas GNSS.

Los túneles buscan la otra parte de la luz, y significan comunicación, y el autor hace de túnel, lleva la luz y comunica entre la Ciencia y el alumno. Los túneles significan salvar obstáculos, y aquí el autor sintetiza y ordena con maestría el conocimiento para el alumno. Los túneles significan seguridad, y estoy seguro que el alumno agradecerá con enorme entusiasmo la lectura y aprendizaje de este libro.

Dr. José Luis Berné Valero

Vicerrector de Ordenación Académica y Profesorado

Universitat Politècnica de València

INTRODUCCIÓN

Se estima que en el año 2013 hay 7092 millones de personas en el mundo, y que la tendencia en la población mundial ha sido de crecimiento continuado desde antes del 400 a.C. a excepción de la peste negra en Europa en el Siglo XIV y otros periodos relativamente cortos, especialmente debidos a plagas o enfermedades, manifestándose un incremento extraordinario en los años 50, 60 y 70, estando en la actualidad a un ritmo de crecimiento de 2.2% anual. Con todo ello, es probable que en el año 2040 seamos un total de 9 billones de personas en el planeta y en 2025 un 23% más que en la actualidad, es decir, 7.9 billones de los que un 6% estaremos en Europa ejerciendo una enorme presión sobre el territorio en términos de planificación y ordenación del mismo.

La consecuencia directa de esta presión sobre el territorio es la necesidad de urbanizar o reurbanizar el territorio, algo que viene sucediendo como se ha dicho anteriormente, prácticamente desde el final de la Segunda Guerra Mundial. Todo ello nos lleva a que la población en zonas urbanas se multiplique por dos y exista una necesidad urgente de reorganización en las ciudades y sus infraestructuras de manera sostenible, especialmente aquellas que conectan ciudades. Un ejemplo de estas infraestructuras sostenibles se puede encontrar en Montreal, donde existe un entramado de túneles entre centros comerciales que conectan y proporcionan acceso entre la mayoría de los edificios de la zona más moderna, zonas comerciales y ferrocarriles, consiguiendo reducir el trasiego de personas en superficie especialmente en los meses de mal tiempo. Otro buen ejemplo estaría en el túnel entre Noruega y Suecia que permite almacenar y transportar petróleo en el subsuelo, éste es almacenado por debajo del nivel freático eliminando el costo de las frecuentes reparaciones en superficie y minimizando el riesgo sobre el medioambiente.

La construcción de túneles puede considerarse como una infraestructura de prioritaria ejecución en un futuro a medio plazo, aunque podría considerarse así en la actualidad, el proceso creciente de urbanización y la presión demográfica, ejercen sobre el territorio un condicionante que en la mayoría de los casos puede ser soslayado mediante túneles, especialmente en grandes ciudades, este es el caso de la ciudad de Boston cuya arteria principal es un túnel que permite un ahorro de 167 millones de dólares al año en tiempos de desplazamiento y costes operacionales sobre las autopistas en superficie, lo que ha permitido un incremento de 127 hectáreas en parques y área residencial, con un impacto visual minimizado sobre el medioambiente.

Este libro constituye pues, una respuesta a estos planteamientos, es un excelente compendio de nociones sobre túneles y tuneladoras; partiendo de un contundente enfoque histórico y dando paso posteriormente a los grandes túneles en la actualidad, incluidos los españoles, todo ello dentro de un contexto técnico claro y

riguroso. Los capítulos referentes a las tuneladoras merecen una lectura detenida pues, gracias a esta técnica se han llevado a cabo obras de ingeniería tan asombrosas como el túnel de Guadarrama o los túneles de la red de metro de Madrid, con un impacto medioambiental muy bajo y unos logros socioeconómicos que somos difíciles de evaluar incluso en un futuro cercano, no en vano, estas infraestructuras vertebran un país o una ciudad. No quiero dejar de destacar la encomiable labor del autor en resaltar los problemas topográficos que conlleva la construcción de túneles, pues en definitiva, toda la técnica y tecnología constructiva es inútil sin una buena labor topográfica y geodésica que sea capaz de guiar la maquinaria hacia el calado exitoso del túnel.

Me queda nada más agradecer al autor y amigo de este libro la oportunidad de prologar este libro con el que, no solo he tenido la oportunidad de disfrutar su lectura, sino también aprender muchos conceptos y nociones del apasionante mundo de los túneles.

Dr. F. Javier González Matesanz

Subdirección General de Producción Cartográfica
Subdirector General Adjunto (Geodesia y Cartografía)
Instituto Geográfico Nacional

CAPÍTULO I

*GENERALIDADES Y
ANTECEDENTES HISTÓRICOS*

El hombre, a lo largo de su historia, ha utilizado el subsuelo como alternativa al territorio, que desde sus orígenes, aprovechando las cavernas y grutas subterráneas como refugio seguro frente a las hostilidades de la naturaleza, le ha permitido ir mejorando su calidad de vida. Las entrañas de la Tierra han infundido desde siempre en el ser humano la necesidad de profundizar en su interior.

La construcción de túneles y obras subterráneas, desde el punto de vista de la ingeniería, es una actividad que históricamente se inició con las explotaciones mineras, se vio enriquecida con la construcción de los grandes túneles ferroviarios de finales del siglo XIX, y se ha impulsado recientemente con las grandes obras de ingeniería llevadas a cabo en este nuevo siglo XXI.

En la actualidad, la presión demográfica requiere una necesidad creciente de urbanización, sobre todo en las grandes ciudades, lo que obliga a la utilización del subsuelo. Asimismo, las redes de transporte, cada vez son más rápidas y directas, lo que implica la construcción de túneles en sus trazados, evitando dar grandes rodeos para sortear los obstáculos orográficos.

Un túnel es una obra lineal subterránea, o lo que es lo mismo, una perforación horizontal abierta artificialmente sobre el terreno, cuyo objetivo funcional es el de establecer la comunicación más directa posible entre dos lugares. Su construcción se debe a la necesidad de atravesar un obstáculo natural, generalmente macizos montañosos o cursos de agua, fluviales o marinos; o para el aprovechamiento del uso del subsuelo de zonas urbanas en grandes ciudades.

En Ingeniería Civil, el túnel es una estructura singular que se integra en un macizo para formar parte del trazado de una vía de comunicación (carretera o ferrocarril), de una galería o pozo de conducción hidráulica (suministro de agua o redes de alcantarillado), o de una galería o pozo de servicios (gas, teléfono, electricidad, etc.).

En el caso de la Ingeniería de Minas, el objetivo de estas obras subterráneas es dar acceso al interior de un macizo y desarrollar una explotación minera para extracción del material.

También se realizan estas construcciones bajo tierra en el caso de instalaciones de tipo industrial (centrales eléctricas hidráulicas o geotérmicas, centrales nucleares, depósitos de carburantes líquidos o gaseosos,...), para instalaciones militares (muelles de atraque, hangares,...), o incluso para servicios comerciales, culturales y sociales (auditorios, palacios de deportes, complejos comerciales urbanos,...).

Una de las ventajas en la construcción de túneles es que se trata de la obra civil que mejor preserva el valor del paisaje, debido a que reduce los volúmenes de movimientos de tierra, evita la contaminación del nivel freático, limita el ruido producido en la zona por los vehículos a su paso y reduce los terrenos a expropiar, en definitiva, es la obra lineal de menor impacto medioambiental.

1.1. BREVE RESEÑA HISTÓRICA

El ejemplo más antiguo del primer túnel de la historia del que se tiene constancia gracias a los relatos del historiador Diodoro de Sicilia, es el que mando construir la reina Semiramis en Babilonia (2200 a.C.), para comunicar por debajo del río Éufrates, el Palacio Monárquico con el Templo de Belos. Según la leyenda¹, puesto que no hay evidencias arqueológicas, se trató de una excavación realizada a modo de trinchera de 900 metros de longitud (figura 1).

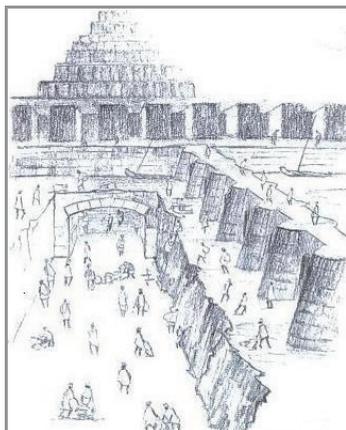


Figura 1: Primer túnel (Babilonia)

Los restos más antiguos hallados se remontan a la civilización egipcia, galerías subterráneas excavadas en la roca en el Valle de los Reyes², donde faraones, reinas, príncipes y nobles eran alojados tras su muerte, año 1500 a.C., o incluso las pirámides, enormes edificaciones que ocultan complicadas redes de pasadizos.

El más antiguo conocido, es el túnel de **Ezequías** en Jerusalén, calado sobre el año 700 a.C.. Lo curioso es que se trata de un túnel de 450 metros para cubrir una distancia de 300 metros, en el que dos equipos avanzaron simultáneamente desde sus dos extremos, pero realizando numerosos intentos fallidos en direcciones equivocadas, ya que el trabajo fue hecho sin un enfoque metódico.

¹ La leyenda dice: "... entonces, desviando el río, ella construyó un pasadizo subterráneo desde un palacio hasta el otro; y haciéndolo con ladrillo cocido, ella revistió las cámaras abovedadas en cada extremo con betún caliente, hasta que consiguió que el espesor de éste revestimiento fuera de cuatro codos".

² El Valle de los Reyes es una necrópolis del antiguo Egipto, declarada Patrimonio de la Humanidad, donde se encuentran las tumbas de la mayoría de faraones del Imperio Nuevo (dinastías XVIII, XIX y XX).

El túnel de **Eupalinos** es un túnel de un kilómetro de longitud, construido hacia el año 530 a.C., para abastecer agua a la antigua capital de Samos (isla griega del mar Egeo). Dicho túnel es el segundo que se conoce en la historia que fue excavado desde ambas bocas, y el primero con un enfoque metódico en hacerlo. Existe un documento³ que explica el método que empleó el ingeniero Eupalinos de Megara, en tiempo del tirano Policrates, para hacer que los dos grupos se encontraran en la mitad de la excavación. Con una longitud de 1.036 metros, el subterráneo del acueducto de Eupalinos es famoso hoy como una de las obras maestras de la ingeniería de la antigüedad.

Posteriormente en muchas ciudades del Imperio Romano, se efectuaron obras subterráneas para diversos proyectos: trazado de calzadas romanas (por ejemplo, el túnel de **Pausilippo**, de 1,5 km cerca de Nápoles), túneles para abastecimiento de agua (como por ejemplo, el túnel de **Fucino**, de 5 km en la ciudad de Salvino), alcantarillado, emisarios, etc., o la realización de galerías para explotaciones mineras⁴, así como las catacumbas.

En la Edad Media, la construcción de túneles disminuye, quedando en obras menores, como galerías y pasadizos en castillos y fortalezas. De la misma forma, en la época del Renacimiento la construcción de túneles sigue dormitando, hasta que en el siglo XVIII surge la Era de los túneles para canal.

Pero no es hasta el siglo XIX, con la aparición del ferrocarril cuando los túneles tienen un gran apogeo. La difícil orografía de algunos países para establecer las primeras redes de comunicación y transporte ferroviario obligó a progresar en la técnica constructiva de túneles.

Se podría considerar como primer túnel ferroviario, el túnel de **Terre-Noire** en Francia, que con 1.476 metros de longitud y terminado en el año 1826 se trataba de un camino de carriles que cubría la línea Roanne – Andrezieux, cuyos vagones fueron inicialmente arrastrados por caballos y posteriormente por locomotoras de vapor⁵ (figura 2).

³ Está documentado por Hermann J. Kienast y otros investigadores. En el capítulo V de este libro se describen las técnicas topográficas utilizadas en dicho túnel.

⁴ En España (Hispania) queda patente en el importante yacimiento aurífero de Las Médulas (León).

⁵ En 1829, George y Robert Stephenson (padre e hijo) desarrollaron la primera locomotora moderna de vapor. Los primeros intentos se deben a Richard Trevithick (1804) y Matthew Murray (1812).

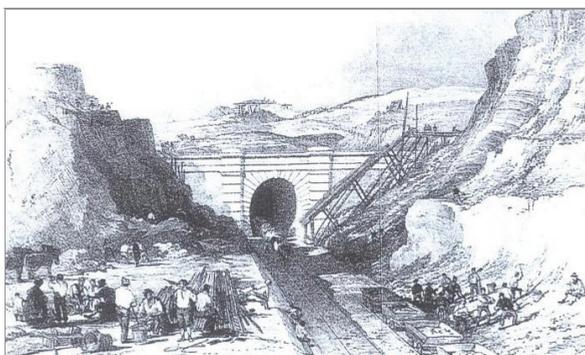


Figura 2: Túnel de Terre-Noir (Francia)

El túnel del **Támesis** (Londres), construido entre 1825 y 1843, por el ingeniero Marc Isambard Brunel (1769-1849) y su hijo Isambard Kingdom Brunel (1806-1859), es el primer túnel construido bajo un río navegable y pionero en la técnica tuneladora, donde se aplica por primera vez la técnica de sostenimiento del terreno y protección de los trabajadores con un escudo, y que supone un extraordinario avance tecnológico en la construcción de túneles en terrenos blandos. Se trata de dos tubos de 396 metros de longitud (11 metros de luz y 6 de gálibo), a una profundidad media de 23 metros por debajo de la superficie del río Támesis (tan sólo a 5 metros en su parte central). Inaugurado en 1843, en un principio tuvo un uso peatonal, cuyo acceso se realizaba a través de dos solemnes pozos de 15 metros de diámetro, a cuyas paredes bajaban pegadas unas escalinatas. En 1869 se utilizó como paso ferroviario, formando parte de la red metropolitana londinense, donde los originales pozos de acceso al túnel se reconvierten a las estaciones de Wapping (figura 3) y Rotherhithe.



Figura 3: Túnel del Támesis (Londres, Reino Unido)

Ya en la segunda mitad del siglo XIX, se produce un extraordinario progreso con la excavación de tres grandes túneles ferroviarios para atravesar los Alpes, el sistema montañoso más importante en Europa, cuando los medios disponibles eran aún bastante rudimentarios y después de numerosos intentos.

El primer paso subterráneo que cruza los Alpes es el túnel de **Mont Cenis**, que con una longitud de 12,8 kilómetros, conecta Francia (por Modane) con Italia (por Bardonecchia). Su construcción, prevista para veinticinco años, se completo en sólo catorce, entre los años 1857 y 1871, gracias a las innovaciones técnicas empleadas por el ingeniero francés Germain Sommeillier, desarrollando la primera máquina perforadora de roca (figura 4). Se llegó incluso a utilizar al final del proyecto la recién inventada dinamita (1867).

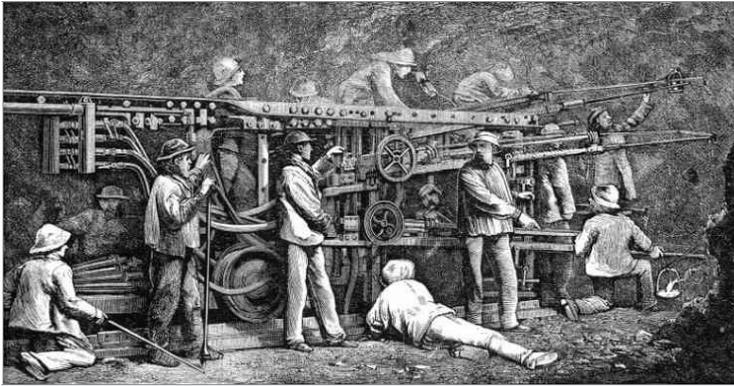


Figura 4: Máquina perforadora

Años más tarde, en 1882, se abre el túnel ferroviario de **Sant Gotthard** (figura 5), con casi 15 kilómetros de longitud en Suiza, tratándose de un único tubo con doble vía, lo que mejoro una de las rutas más importantes para atravesar los Alpes en el eje norte-sur de Europa a través del macizo de San Gotardo. El túnel de San Gotardo, entre Göschenen (en el cantón de Uri) y Airolo (en Tesino) en los Alpes Lepontinos, permitió establecer la ruta ferroviaria entre Suiza e Italia.

La construcción del túnel fue dirigida por el ingeniero suizo Luis Favre⁶, y se llevó a cabo en tan solo ocho años (la excavación comenzó por ambas bocas en el año 1872 y terminó en 1880), a pesar de los problemas técnicos, geológicos y financieros.

⁶ La construcción del túnel de *San Gotardo* se cobró cerca de doscientas vidas, incluida la del ingeniero suizo Louis Favre, quien sufrió un ataque al corazón en el interior del túnel en 1879.

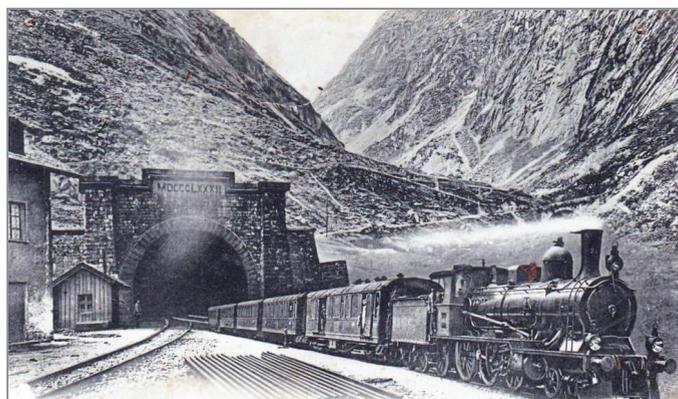


Figura 5: Túnel de Sant Gotthard (Suiza)

El tercer túnel ferroviario que completa la triada en la colosal lucha de perforar los Alpes, es el túnel **Simplon I**, entre Suiza e Italia, abierto en el año 1906 y con una longitud de 19,8 kilómetros.

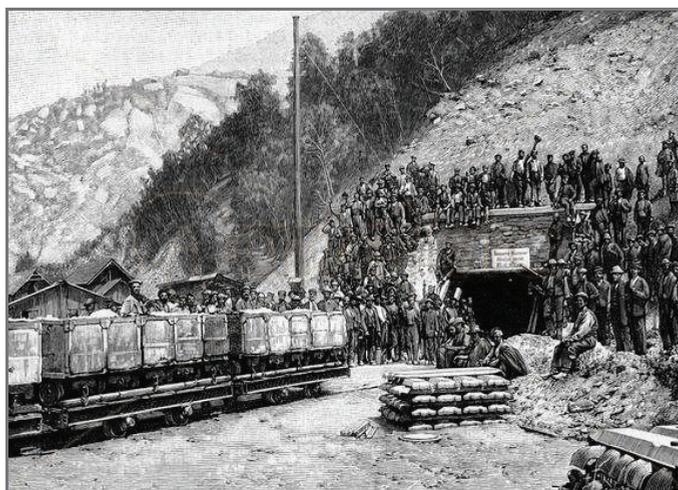
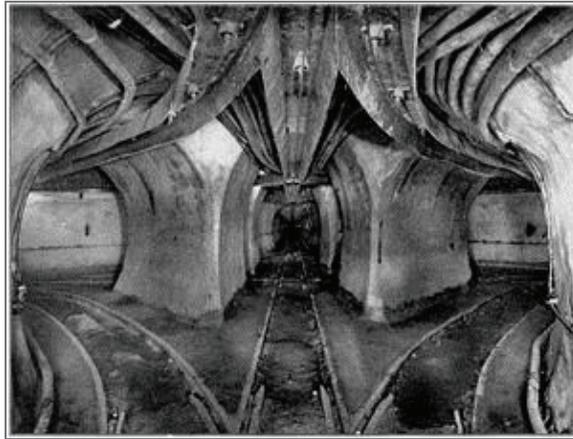


Figura 6: Túnel Simplon I (Suiza-Italia)

También en esta época en Estados Unidos se ejecuta una compleja red de túneles bajo la ciudad de **Chicago**⁷ (fotografía 1), para transportar correo, paquetes, madera y carbón, utilizados como vías subterráneas de comunicación entre los comercios, edificios, tiendas y edificios de correo.

⁷ Cuatro meses después de inaugurarse fueron la única vía de escape para los habitantes de Chicago durante el incendio que arrasó la ciudad en 1871.



Fotografía 1: Túneles en Chicago (Estados Unidos)

Ahora bien, la construcción de túneles logra un ritmo espectacular con la aparición del primer ferrocarril **metropolitano de Londres** (figura 7).



Figura 7: Construcción del Metropolitano londinense

El metro londinense se inauguró el 10 de enero de 1863⁸ con 6 km de longitud, conectando las tres estaciones del norte (Paddington, Easton, y King's Cross) con el centro (en Farringdon). Los primeros trenes consistían en locomotoras de vapor, que pasaron a ser eléctricas en 1890.

⁸ El 10 de enero de 2013 el metro de Londres cumplió 150 años.

La red se extendió en años sucesivos, de forma que en 1884, formaba un anillo de aproximadamente 20 km, operado por la compañía *London Underground Limited* (LUL)⁹. Hoy en día, la red supera los 400 kilómetros y las 270 estaciones.

El continuo aumento de la población supuso la construcción de los primeros metros en las ciudades más prosperas de Europa y América. A esta nueva andadura se sumaron los ferrocarriles metropolitanos de ciudades como **Chicago** (*Chicago Transit Authority*, CTA)¹⁰, operativo desde mayo de 1895, **Glasgow** (*Strathclyde Passenger Transport*, SPT) y **Budapest** (*Rt.Metro Uzemigazgatosag*, BKV) abiertos en 1896, **Boston** (*Massachusetts Bay Transportation Authority*, MBTA) en 1897, **Viena** (*Wiener Linien*) en 1898, **París** (*Regie Autonome des Transports Parisiens*, RATP) en 1900, **Berlín** (*Berliner Verkehrsbetriebe GmbH*, BVG) en 1902, **Atenas** (*Ilektriki Sidirodromi Athinon Pirineos AE*, ISAP) y **Nueva York** (*MTA New York City Transit*, NYCTA) en 1904, **Filadelfia** (*Southeastern Pennsylvania Transportation Authority*, SEPTA) en 1907, **Newark** (*The Port Authority Trans-Hudson Corporation*, PATH) en 1908, y **Hamburgo** (*Hamburger Hochbahn*, HHA) operativo desde 1912; todas ellas, redes de metro que actualmente superan los cien años de antigüedad.

El primer país de América del Sur que construyó una red de metro fue Argentina en 1913, en **Buenos Aires** (*Metrovías S.A.*), y varios años más tarde, en 1969, México lo construye en la **Ciudad de México** (*Sistema de Transporte Colectivo*, STC Metro), actualmente la red más extensa. Asimismo Brasil en las ciudades de **Sao Paulo** (*Companhia do Metropolitano do Sao Paulo*) en 1974, y **Río de Janeiro** (*Companhia do Metropolitano do Río de Janeiro*) en 1979, construye sus primeras redes de ferrocarril metropolitano, ejecutando posteriormente los metros de las ciudades de *Brasília*, *Recife*, *Porto Alegre* y *Belo Horizonte*. También Chile en 1975, en **Santiago de Chile** (Metro de Santiago), Colombia en **Medellín** (Metro de Medellín Ltda.) y Venezuela en **Caracas** (Compañía Anónima Metro de Caracas), construyen sus líneas de metro.

En España, el primer ferrocarril metropolitano que se construyó fue el de **Madrid** (Metro de Madrid), cuyo primer tramo comprendido entre las estaciones de Sol y Cuatro Caminos, se inauguró en octubre de 1919, formando una línea de 3,5 km y ocho estaciones. Años más tarde, el 30 de diciembre de 1924, se inauguró el metro de **Barcelona** (Transports Metropolitans de Barcelona), entre las estaciones de Plaza de Cataluña y Fontana.

⁹ La red metropolitana se denomina de forma oficial “Underground”, aunque “Tube” es la denominación común por los londinenses, en referencia a la forma tubular de sus trenes.

¹⁰ Nombre de la empresa o administración operadora.



Fotografía 2: Metro de Madrid

Otros países como Japón, en **Tokyo** (*Teito Rapid Transit Authority*, TRTA) en 1927 y en **Osaka** (*Osaka Municipal Transportation Bureau*) en 1933, o Rusia en **Moscú** (*Moskovski Metropoliten*) en 1935, también construyen sus propias líneas de metro.

Tras el auge de los túneles ferroviarios y pasada la Segunda Guerra Mundial es el turno del automóvil y obviamente, de la construcción de túneles carreteros. Como ejemplos más relevantes el túnel de **Vielha** en España (1948) con 5,2 kilómetros; los túneles de **Mont Blanc** (1965) con 11,6 kilómetros y de **Fréjus** (1980) con 12,9 kilómetros, que unen Francia con Italia; el túnel de **Arlberg** en Austria (1978) con 14 kilómetros; o el túnel de **San Gotthard** en Suiza (1980), que con casi 17 kilómetros de longitud ha sido durante veinte años el túnel carretero más largo del mundo.

1.2. GRANDES TÚNELES DEL SIGLO XXI

Japón fue uno de los primeros países en la ejecución de grandes túneles, que le llevo a liderar durante varios años tanto en cuanto a kilometraje y número de túneles operativos como a la tecnología en su construcción.

El túnel **Seikan** (fotografía 3), abierto en 1988¹¹, es en la actualidad el segundo túnel más largo del mundo, pero durante más de veinte años batió todos los récords con sus 53.850 metros de longitud. Además de haber sido el más largo del mundo, su trazado se desarrolla durante 23,3 kilómetros bajo el fondo marino, a 100 metros por debajo del fondo del mar, con una profundidad máxima de 240 metros (respecto al nivel del mar).

¹¹ En 1954 murieron 1430 personas por el hundimiento de cinco ferrys causado por un tifón, lo que provocó que las obras de este túnel japonés comenzasen en 1971.

Para seguir leyendo haga click aquí