

Túneles: infraestructuras invisibles que mueven el mundo

Cuando pensamos en **grandes obras de ingeniería**, solemos imaginar **puentes** colosales, **autopistas** interminables o **presas** monumentales. Sin embargo, hay infraestructuras que, aunque ocultas bajo tierra, son igual de esenciales para el funcionamiento de nuestras ciudades y territorios: **los túneles**.

Estas estructuras subterráneas permiten conectar regiones, transportar agua, generar energía y facilitan la vida moderna de millones de personas. Su construcción, lejos de ser sencilla, **implica una combinación de ciencia, tecnología y experiencia** acumulada durante siglos.

¿Por qué son tan importantes los túneles?

Los **túneles** cumplen funciones clave en tres grandes áreas: **transporte, gestión del agua y producción de energía**.

1. Transporte

En zonas montañosas, urbanas o costeras, **los túneles permiten atravesar obstáculos naturales o artificiales sin alterar el entorno en superficie**. Gracias a ellos, los trenes de alta velocidad pueden mantener trayectorias rectas, las carreteras evitan rodeos y los metros urbanos conectan barrios sin congestionar las calles.

2. Agua

Los **túneles** hidráulicos son fundamentales para **transportar agua** desde zonas de captación hasta áreas de consumo.

También se utilizan para **saneamiento**, permitiendo evacuar aguas residuales de forma segura y eficiente, especialmente en grandes ciudades.

3. Energía

En el ámbito energético, los **túneles** son esenciales en centrales hidroeléctricas, donde **canalizan el agua hacia las turbinas**. También se emplean en proyectos de almacenamiento energético, como los sistemas de bombeo reversible, y en instalaciones geotérmicas.

La evolución de los métodos constructivos: de los métodos manuales a las tuneladoras

La primera constancia de una excavación subterránea realizada por el hombre data de la en la actual Esuatini, en el sur de África, donde el hombre de Neandertal extrajo hematites para rituales, usando herramientas rudimentarias como piedras afiladas.

Desde la antigüedad encontramos ejemplos notables de ingeniería subterránea: el Túnel de Babilonia (aprox. 2200 a.C.), los qanats persas (siglo X a.C.), el Túnel de Eupalinos en Grecia (530 a.C.) y numerosos **túneles** construidos durante el Imperio Romano, entre el siglo I a.C. y el siglo IV d.C.

Construir un túnel es siempre un desafío ingenieril. Requiere **conocer el terreno, diseñar el sostenimiento adecuado y aplicar técnicas** que garanticen la seguridad de los trabajadores y del entorno.

Antiguamente, los **túneles** se excavaban de forma manual, con herramientas básicas un enorme esfuerzo humano y muchos riesgos que terminaban con pérdidas de vidas humanas en muchas ocasiones.

Con el tiempo, se desarrollaron métodos como el **NATM (Método Austriaco de Construcción de Túneles)**, que aprovecha la resistencia natural del terreno para estabilizar el túnel, en lugar de depender de estructuras pesadas desde el inicio. Se basa en excavar por etapas y aplicar rápidamente un soporte primario ligero —como hormigón proyectado, pernos y malla metálica— mientras se monitorizan las deformaciones y tensiones para adaptar el diseño en tiempo real. Este enfoque flexible reduce costos y mejora la seguridad, ya que convierte al propio terreno parte del sistema de soporte, complementado después con un revestimiento definitivo.

El otro gran avance en la construcción de **túneles** viene de la mecanización de su ejecución con tuneladoras TBM (Tunnel Boring Machines).

Las TBM son equipos diseñados para excavar túneles de manera continua y segura. Su funcionamiento se basa en una gran cabeza giratoria equipada con discos de corte que, al combinar rotación y empuje, fragmentan el macizo rocoso en el frente de avance. Lo interesante es que estas máquinas no solo perforan, sino que integran sistemas auxiliares que permiten colocar el sostenimiento provisional —como anillos de dovelas— e incluso el revestimiento definitivo a medida que avanzan. Gracias a esta automatización, se logra un proceso más rápido, estable y seguro, reduciendo riesgos y optimizando tiempos en comparación con métodos tradicionales.

Si bien la primera TBM que se podría ajustar a su definición actual fue diseñada y desarrollada por Charles Wilson en 1851, el gran avance en el desarrollo y la aplicación de esta tecnología se produce en la década de los 50 del siglo XX de la mano de James S. Robbins que desarrolló un modelo para el proyecto de la Presa de Ohade. Llegó a excavar 49 metros en 24 horas, un verdadero hito. En la actualidad los tipos de TBM se ajustan a la características del terreno, existiendo modelos específicos para roca, suelos de naturaleza granular o cohesiva, presencia del

nivel freático o condiciones mixtas del terreno.

Si bien existen otras metodologías, hoy en día la mayoría de los túneles se ejecutan o bien mediante el **Método Austriaco** o bien mediante **Tuneladoras (TBM)** cuando la longitud y valor del proyecto justifican su uso.

Aspectos Clave a la hora de analizar estos proyectos:

Desde MAPFRE Global Risks, a la hora de valorar los riesgos de los proyectos en **túneles**, valoramos los siguientes aspectos.

1. Geología y geotecnia del terreno: en túneles la interacción terreno-estructura es el aspecto clave por lo que un buen estudio geotécnico con una campaña acorde y, previamente, una correcta interpretación del entorno geológico son esenciales. Terrenos heterogéneos o complejos, presencia de fallas y las altas presiones de agua deben ser previstos en proyecto por lo que es necesario una buena campaña geotécnica.

2. Experiencia del equipo: A diferencia de otros proyectos de construcción, donde se puede definir completamente el proyecto antes de comenzar a construir, en los **túneles**, son las propias condiciones del terreno, que muchas veces difieren de las que se preveían inicialmente, por campañas geotécnicas pobres y por la imposibilidad de investigar la totalidad de la traza de un túnel, las que deben ser analizadas por los diseñadores. Estos deben realizar ajustes importantes en cada sección del túnel para soportar los esfuerzos inducidos por el terreno, por lo que la experiencia de los diseñadores a la hora de interpretar las condiciones del terreno se convierte en un punto clave más.

El equipo de la constructora, por su parte, debe contar también con gran experiencia en obras subterráneas. Estos equipos de Ingenieros son multidisciplinares, incluyendo a geólogos, topógrafos y técnicos de prevención.

3. Monitorización y Auscultación: los trabajos del túnel así como el entorno deben ser monitorizados. Esto se hace mediante instrumentos que detectan deformaciones, movimientos, filtraciones o vibraciones. El seguimiento es fundamental para corroborar que el terreno y entorno se están comportando según las estimaciones previas, de no ser así, y si se supera algún umbral, se deben tomar medidas de refuerzo para garantizar la seguridad y estabilidad de túnel y el entorno.

Conclusiones

Los **túneles** son infraestructuras críticas que, aunque invisibles, sostienen gran parte del desarrollo moderno al facilitar el transporte, la gestión hídrica y la generación de energía. Su

construcción implica retos técnicos complejos que exigen un profundo conocimiento geológico, métodos constructivos avanzados un equipo de diseño y construcción experto, y una estricta monitorización exhaustiva para garantizar seguridad y eficiencia.

La evolución, desde excavaciones manuales hasta el uso de tuneladoras y técnicas como el NATM, refleja cómo la ingeniería ha sabido adaptarse para optimizar costos y reducir riesgos. Aun así, no debemos perder la perspectiva ni descuidar ninguno de sus aspectos esenciales ya que los siniestros en **túneles** desgraciadamente pueden conllevar pérdidas humanas e importantes pérdidas económicas.

Autoría del artículo:

Ingeniero de Riesgos Senior en MAPFRE Global Risks