



LA CONQUISTA DE LAS
AGUAS DEL BÓSFORO:

El túnel Marmaray

Raquel Ochoa

—

Fotografías cortesía de Siemens

Hasta hace unas décadas se enseñaba que los primeros pobladores de América tenían su origen por el lado asiático. Los estudiosos anotaban que habían entraron desde Asia a Norteamérica a través del estrecho de Bering. Hasta entonces, la naturaleza era la única que bosquejaba el camino del hombre. Unía o separaba continentes. El estrecho de Bering, la comunión terrestre entre Norteamérica y Asia, la extensión del camino hecho por la madre naturaleza para que el hombre poblara América

Hoy, una nueva súper-estructura incita provocadora a penetrar en las profundidades del Estrecho de Bósforo. Un túnel ferroviario tendido ya no por la naturaleza sino por el ingenio del hombre y el desarrollo de

46

RELACIÓN Y encuentro de expertos en ingeniería producen la asombrosa e inquietante obra de infraestructura férrea sub-marítima: el Túnel de Marmaray. Once piezas de concreto sumergidas en la estepa ondulante de las aguas del estrecho del Bósforo en Turquía.

la ciencia y la tecnología, es el túnel Marmaray, que con extraordinario dominio de la ingeniería sumergible, reúne a Europa con Asia, a través de 11 piezas de concreto y acero tendidas a 56 metros de profundidad sobre el lecho marino del Estrecho del Bósforo, conquistando sus profundidades.

CIENCIA Y TECNOLOGÍA

En los últimos años el diseño, la construcción y supervisión de túneles y obras subterráneas han experimentado una evolución tecnológica notable –señala el M. en I. Francisco Suárez Fino, actual Presidente de la Asociación Mexicana de Ingeniería de Túneles y Obras Subterráneas (AMITOS)-, "hoy en día contamos con programas informáticos que nos permiten elaborar modelos matemáticos muy precisos, técnicas de prospección que aproximan de manera antes inimaginable las características del subsuelo, maquinaria de construcción que en tiempos pasados hubiese ocupado las páginas de novelas de ciencia ficción y sistemas de estabilización y sostenimiento del terreno de gran versatilidad y eficiencia, que han permitido a la ingeniería de túneles convertirse en una auténtica industria de altísima tecnología".

En efecto, en el proyecto Marmaray han intervenido fielmente la ciencia y la tecnología para su realización. Las características del sitio: el lecho del Bósforo que contiene barro y arenas de aluvión, la proximidad a la zona norte de Anatolia, la cual posee un alto riesgo de temblores, así como lo imprevisible de las aguas profundas, obligaron a un equipo integral de firmas a converger su conocimiento en un solo objetivo: Unir totalmente la metrópoli de Estambul y resolver el problema de saturación del transporte.

Y es que, para vencer a la conquista de las aguas de las profundidades del Bósforo, los ingenieros japoneses realizaron estudios previos para hacer frente a las "características de las corrientes de marea en el Estrecho del Bósforo". La idea principal, agregan los mismos fue "desarrollar un sistema para predecir las corrientes de marea para el funcionamiento seguro de la instalación del túnel sumergido.

Este sistema utiliza TI para entregar datos de previsión de análisis basado en datos del sitio de monitoreo", Gerente de Construcción Kazumori Ito, informe anual 2014 Taisei.



UNIENDO PIEZAS

La importancia de las obras de ingeniería realizadas en el espacio subterráneo son fundamentales para el desarrollo económico y para la creación de infraestructura sustentable tanto en zonas rurales como las urbanas. En las grandes urbes del siglo XXI, su papel se torna todavía más crucial, por la cuestión de la falta de espacio para la construcción de viviendas, transporte e infraestructura de todo tipo. Dentro de los procesos de reconfiguración urbana, se favorece cada vez más la creación de ciudades compactas, ya que estas son más sustentables al ahorrar energía y recursos.

El Proyecto Marmaray brinda una solución a la tendencia demográfica ascendente de la población Metropolitana de Estambul que cuenta con aproximadamente 15 millones de habitantes. La idea es que con este proyecto, el sistema de Transportes de Metro y ferroviario alcance una mejor movilidad y facilitará el



Datos de interés

- **Nombre del proyecto:** Túnel Marmaray.
- **Ubicación:** Estambul, República de Turquía.
- **Tiempo de Construcción:** 2004 - 2013.
- **Conexión lado Europeo:** Halkali.
- **Conexión lado Asiático:** Gebze.
- **Longitud total de red ferroviaria:** 76.3 km.
- **Longitud subterránea:** 9.8 km.
- **Longitud del túnel:** 13.6 km.
- **Longitud sumergida:** 1.4 km.
- **Máxima profundidad:** 56 m bajo el estrecho del Bósforo.
- **Total de elementos prefabricados reforzado:** 11.
- **Total metros de largo de los elementos prefabricados:** 135.
- **Total de metros de ancho de los elementos prefabricados:** 15.5
- **Peso total de cada pieza prefabricadas:** 13 mil toneladas de peso.
- **Total de estaciones y edificaciones:** 130 estructuras, dos centros de operación y control, varias áreas y talleres, así como la reposición de todos los sistemas electromecánicos.



desplazamiento de la población a lo largo de Estambul. Y es que, a decir de las autoridades del transporte turco, la capacidad de transporte en horas pico será de 43,600 viajeros/hora.

A decir de Eptisa, una de las firmas de ingeniería participantes en la mega construcción, "este proyecto es considerado uno de los grandes proyectos de infraestructura de transporte en el mundo, ya que el conjunto de la renovación y el nuevo sistema ferroviario tendrá una longitud aproximada de 76 km de largo. El corredor ferroviario discurre a lo largo de la Costa del Mar de Mármara, entre las localidades de Kazlıçesme y Halkali en la zona europea de Estambul, y entre las ciudades de Ibrahimaga y Gebze en la zona asiática".

Para la realización del audaz proyecto antisísmico Marmaray, se eligió la técnica del túnel sumergido. "Las técnicas más avanzadas de túneles fueron utilizadas para la construcción del túnel: los aproximadamente 1.4 km del túnel submarino fueron construidos por el método de túnel sumergido, y el túnel en la tierra fue construido por una combinación del método de túnel escudo y el método NATM", informó en su reporte Anual 2014, Taisei firma participante del proyecto.

La técnica del túnel sumergido se utilizó por primera vez en la construcción del túnel de Michigan (1906-1910) y se reafirmó con



Características del proyecto general

- Objetivo del proyecto total: alcanzar una longitud total de 640 km.
- Longitud de líneas existentes propiedad del Municipio: 100 km.
- Longitud de líneas existentes propiedad de ferrocarriles Estatales de la República de Turquía (TCDD): 72 km.

Fase I: Proyectos a corto plazo (2014)

- Construcción: Líneas ferroviarias urbanas 45.1 km de longitud.
- Construcción del Túnel Marmaray: 13.5 km de longitud.

Fase II: Proyectos a mediano plazo (2018)

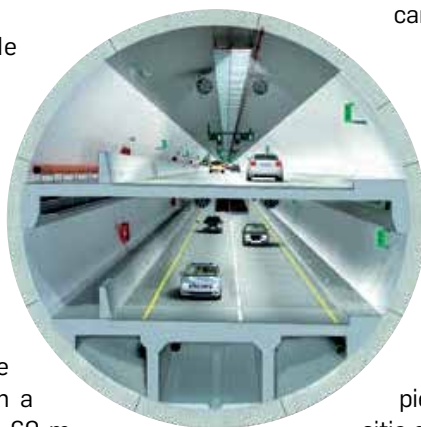
- Complementación del tendido del sistema de línea férreas hasta un total de 65 km de longitud.

Fase III: Proyectos a largo plazo (2023)

- Construcción de hasta cuatro mil kilómetros de líneas de alta velocidad 306.5 km de longitud.

el túnel japonés de Osaka (1944). Para el túnel submarino del Bósforo "se utilizó el método de túnel sumergido en el que los elementos de concreto se sumergen hasta el fondo del mar y se unen. La inmersión a una profundidad de 60 m de la superficie del mar", informó en reporte anual 2014 Taisei.

El túnel del Bósforo estará sumergido dibujando una pendiente descendente vista desde el lado europeo tiene una profundidad de menos 50 m hasta llegar al lado Asiático a los menos 36 m de profundidad. Según la firma japonesa, el proyecto del estrecho del Bósforo, fue difícil ya que la construcción se dio en condiciones ambientales naturales graves y muy extremas. Además de una respuesta detallada a la conservación de las estructuras arqueológicas e históricas descubiertas.



CONCRETO EN EL FONDO DEL BÓSFORO

En la actualidad, la elaboración de concretos de altas especificaciones utilizados en túneles, permite conocer nuevas tecnologías puestas en marcha en la construcción para solucionar los problemas comunes que ocurren durante el proceso de fabricación y en la construcción de túneles.

En este sentido, para la construcción del túnel sumergido del Bósforo, el concreto fue pieza clave en la conformación de la mega obra de infraestructura sumergida. Según las autoridades del transporte turco "es un túnel doble, formado con 11 elementos prefabricados, de longitud variable entre 90 m y 135 m. Cada elemento pesa 13,000 toneladas aproximadamente". La fabricación de las piezas de concreto fue en el en el astillero de Tusla, a 30 kilómetros al sur de Estambul.

La encargada del diseño del túnel sumergido fue la firma japonesa *Taisei Corporation*. La solución consideró factores como las características del lecho del marítimo del Bósforo, la cercanía de la falla tectónica de Anatolia, la topografía de uno y otro lado de las orillas del Bósforo. Previo a la colocación de las piezas de concreto prefabricado, las excavadoras trabajaron intensamente para crear un canal a 15 metros de profundidad marítima. Una vez realizada la cimentación y estabilización del sitio, el equipo *Ecem Sultan* colocó una por una las gigantescas piezas de concreto prefabricado sobre el sitio exacto.

El ensamblaje del diseño de las gigantescas secciones dobles de concreto prefabricado - de 6 metros de alto por 120 metros de largo cada una- permitió la flexibilidad y el movimiento del conjunto del túnel para soportar las fluctuaciones sísmicas, hasta de una magnitud de ocho grados en la escala de Richter.

Así las cosas, el proyecto Marmaray, logra conquistar las aguas profundas del Estrecho del Bósforo, gracias a la convergencia de la ciencia y la tecnología, llevadas de la mano del hombre. **C**