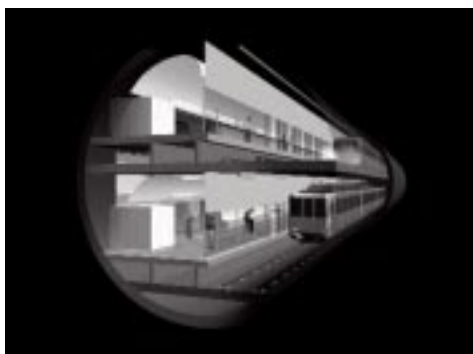


Metro Línea 9 de Barcelona

Viaje al centro de la tierra

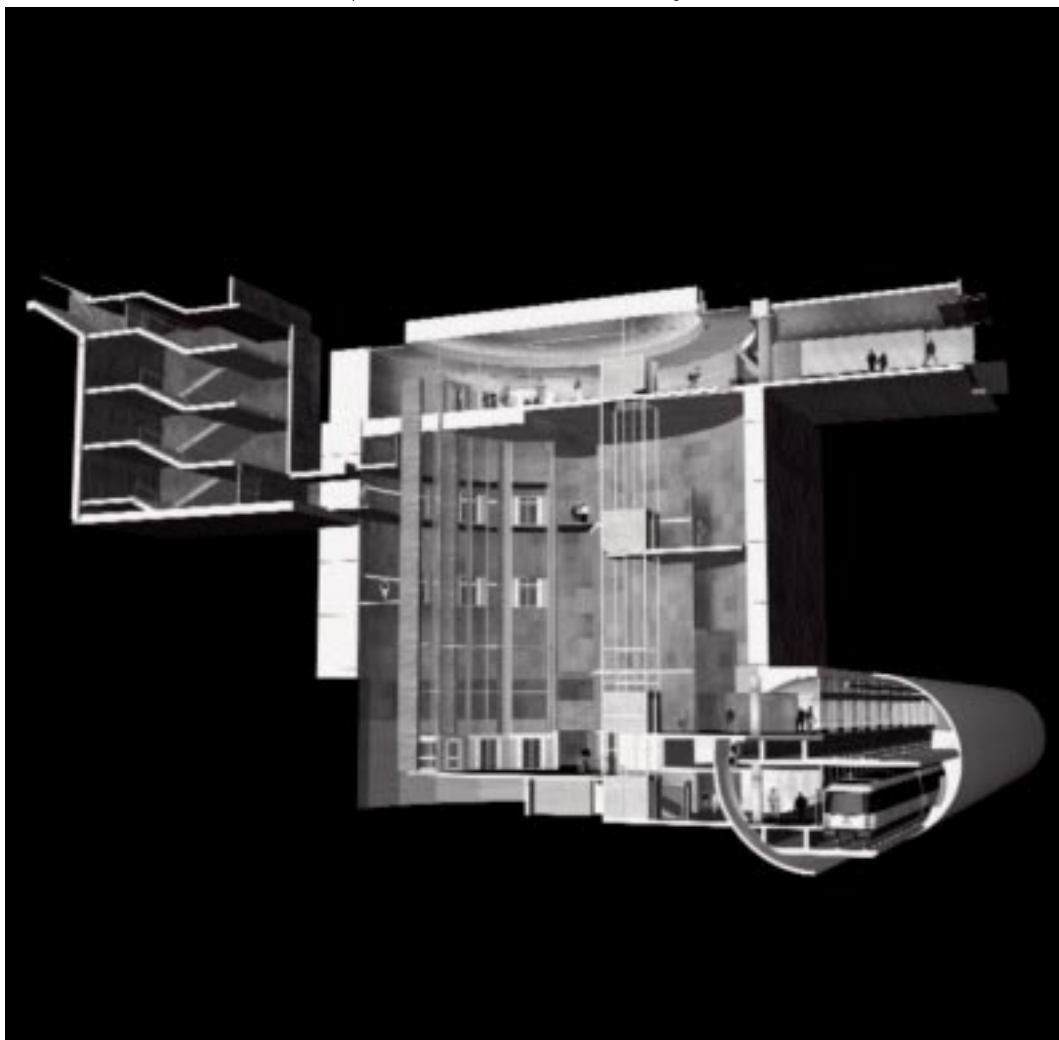


Una losa intermedia divide el túnel en dos partes iguales.

Una poderosa máquina tuneladora se sumerge 60 metros en las profundidades de Barcelona para construir el túnel de la Línea 9 del metro, la más extensa de Europa con un recorrido de 42,6 kilómetros.

Marcelo Casares y Revista RCT

La profundidad del túnel, hasta 60 metros, obliga a la instalación de ascensores de acceso al andén.



FICHA TÉCNICA

Proyecto:

Metro Línea 9 de Barcelona

Mandante:

Generalitat de Catalunya

Jefe de Obra:

Kenneth Martínez

Dirección de las Obras:

PAYMA COTAS

Empresas constructoras:

U.T.E. Línea 9
(FCC Construcción, Ferrovial,
OHL, COPCISA, COPISA)

Presupuesto adjudicación:

254.290.737 euros

Longitud de la línea:

42,6 km

Excavación total:

1.000.000 m³

Muro pantalla:

30.000 m²

Hormigón HA 30:

30.000 m³

Hormigón HA 15:

15.000 m³

Se explica la ansiedad de los profesionales chilenos por ver las obras de la Línea 9 del metro de Barcelona, en una reciente misión tecnológica a esta ciudad española. La agitación se sustenta en varios y entendibles motivos. Para empezar era la gran oportunidad de observar un método constructivo de túneles basado en máquina tuneladora, completamente distinto al New Austrian Tunnelling Method (NATM) que se aplica habitualmente en el Metro de Santiago (ver Revista BIT 39, página 22). Pero hay más, porque no se trataba de cualquier tecnología, sino de una de las máquinas tuneladoras más grandes del mundo de 12 metros de diámetro, 120 m de largo, un promedio de avance de 9 m por día y cuyo valor supera los US\$ 24 millones. Por si fuera poco, la obra es emblemática ya que hablamos de la línea más extensa de Europa con 42,6 km y a una profundidad impresionante, entre 32 y 60 metros.

Por ello, el asombro al acceder al frente de trabajo. Y Revista BIT estuvo allí, al lado del escudo excavador, entre las dovelas, las filtraciones de las napas freáticas, humedad y alta temperatura propias del centro de la tierra. Sólo faltó que el monstruo estuviese en movimiento, razones de mantenimiento de la tuneladora impidieron que el deslumbramiento fuese completo.

PROYECTO

La Generalitat de Catalunya atenta a las crecientes necesidades de transporte hizo una apuesta fuerte, construir la Línea 9 del metro de Barcelona que unirá el aeropuerto, la Ciudad Judicial y la Fira de Barcelona. En total serán 46 estaciones, 15 de ellas de interconexión, con una inversión que supera los 2.200 millones de euros. Se estima una demanda de 90 millones de pasajeros anuales, habrá una flota de 50 vehículos con 5 coches que circularán a una velocidad máxima de 80 kilómetros.

Por su extensión, el gobierno catalán dividió la ejecución del proyecto en cinco tramos adjudicando cada uno de ellos a distintas UTE (Unión Transitoria de Empresas), similar a un consorcio, en los que participan las principales firmas españolas del sector como FCC, OHL, Necso, Dragados y Ferrovial - Agroman, entre otras.

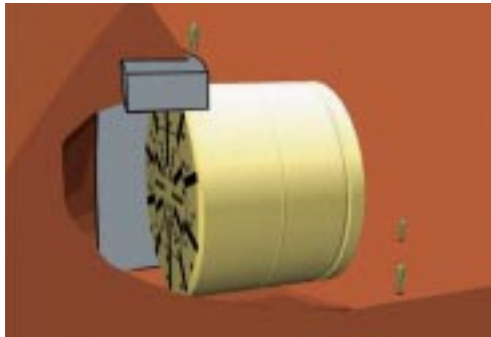
Teniendo en cuenta las distintas características del suelo a lo largo del trazado, la existencia de múltiples infraestructuras, minimizar los asientos y afectar mínimamente las edificaciones de la superficie, se optó por construir el túnel con máquina tuneladora y a gran profundidad.

Montaje de tuneladora I



Con explosivos se realiza la primera perforación del terreno

Montaje de tuneladora II



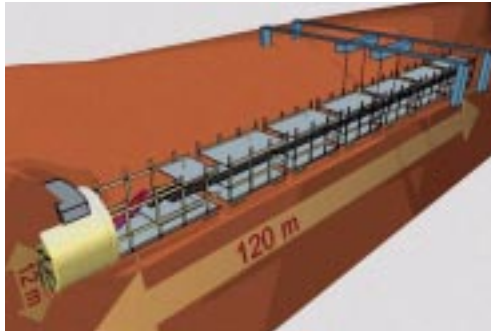
En la perforación se coloca el escudo excavador de la máquina.

Montaje de tuneladora III



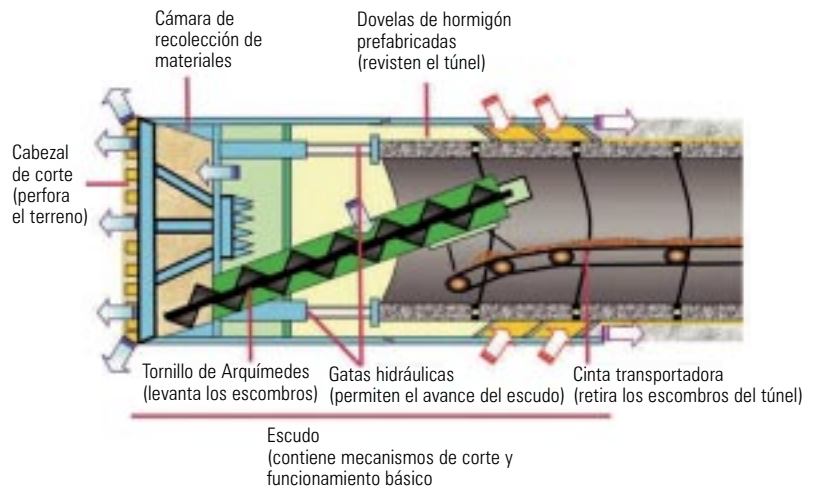
A continuación del escudo se efectúa el montaje del resto de la maquinaria.

Montaje de tuneladora IV



Características:
Diámetro: 12,06 m / Longitud: 120 m / Peso: 2.200 ton / Potencia: 7.335 kw.

Funcionamiento de la tuneladora



El diseño también sale del estándar, ya que se definió un túnel de gran diámetro para incluir allí las estaciones, ya que era sumamente complejo y más costoso hacer excavaciones adicionales para las estaciones. Para esta faena, por ejemplo, en las zonas con terrenos blandos se requería de la mejora del terreno y en las áreas que presentan rocas el uso de elementos más agresivos como explosivos.

Otro dato de diseño, el túnel se compone de vías superpuestas separadas por una losa horizontal diametral. Este elemento aísla el túnel en dos mitades que actúan en forma independiente, y que sólo se conectan con escaleras de evacuación equipadas con puertas antifuego. La solución no podía ser mejor, ya que en caso de producirse una situación de emergencia en una mitad del túnel, la otra sirve de vía de evacuación.

Por ahora todo bien, sin embargo, hay un tema no menor: El acceso del público a las estaciones de mayor profundidad. Para ello, se construye un gran pozo vertical que en su parte inferior se une con el túnel. Hay un vestíbulo central que se une con el exterior y con los andenes, a través de ascensores de gran capacidad, escaleras mecánicas y de emergencia.

Además, en los andenes hay más novedades. Se instalará un sistema de cierre para el acceso seguro a los vehículos, formado por paneles fijos y puertas de apertura y cierre automáticas sincronizadas con las puertas de los coches. Así se obtienen importantes ventajas ya que impide que alguna persona caiga a las vías, aumentan la superficie útil del andén, y más seguridad en la operación al impedir el acceso al túnel de personas no autorizadas.

LA MÁQUINA

En realidad debería hablarse de las máquinas, ya que en este proyecto se utilizan dos tuneladoras una para la zona de suelos blandos y otra para los terrenos que presentan rocas. Los números impactan, ya que se trata de verdaderas moles de 12 metros de

diámetro, 120 m de largo, 2.200 toneladas de peso y un valor superior a los US\$ 24 millones cada una. La empleada en suelos blandos se fabricó en Alemania, transportándose las piezas mayores por vía marítima y las de menores dimensiones por tierra.

La rapidez de avance del sistema llama la atención, porque la tuneladora construye 9 m de túnel por día, trabajando las 24 horas. En cambio, el método NATM que se aplica en nuestro país alcanza un promedio de avance de entre 2 y 3 m diarios. Pero, imprevistos hay en todo el mundo. Aunque se hicieron los estudios geotécnicos correspondientes, la tuneladora encargada de los suelos blandos sorpresivamente se enfrentó a una zona de gravas sumamente abrasivas y estuvo detenida por cerca de dos meses hasta que se cambiaron los útiles de corte, pues se encontraba en un subsuelo de difícil acceso. La segunda también tuvo un descanso obligado de alrededor de un mes, porque el trazado tropezó con un canal subterráneo de mayor profundidad a la calculada. La solución fue muy particular, ya que la constructora debió arrendar un restaurante, bajo el cual pasa el canal, para inyectar desde allí el hormigón, reforzar el terreno y dejarlo preparado para el trabajo de la tuneladora.

El avance de la máquina se logra apoyando los cilindros de empuje contra el anillo de dovelas, mientras al mismo tiempo el

escudo frontal gira excavando el frente. A través de una cinta transportadora se trasladan los escombros hasta el tren de apoyo y desde allí al exterior. Por un sistema de tuberías colocado en el escudo se inyecta mortero que rellena el espacio que queda entre la dovela y la excavación. Una vez terminado este proceso, a través de un mecanismo erector se instala otro anillo de dovelas para continuar con el avance.

Estos anillos se atornillan entre sí y se componen de ocho dovelas de hormigón HA 50, de las cuales cinco tienen forma rectangular, dos trapezoidales y la última, que recibe el nombre de dovela llave, presenta forma de cuña. El anillo cuenta con un diámetro interior de 10,90 m, un espesor de 35 cm y una longitud media de 1,8 metros.

La estanqueidad del anillo se basa en juntas de caucho convencional que se comprimen al entrar en contacto unas dovelas con las adyacentes. Además, en el anillo se colocan placas de soporte de 2 mm de espesor en las juntas radiales y transversales para evitar el contacto hormigón-hormigón y distribuir mejor las cargas. La dovela estándar se compone de un refuerzo constituido por 83,9 kg/m³ de armadura convencional y 30 kg/m³ de fibras de acero, incorporando una perforación de 100 mm de diámetro para la inyección de mortero y la eventual manipulación mecánica de la pieza.



Los andenes contarán con un sistema de cierre para mayor seguridad en el acceso en los trenes.



Molde de dovela antes de ir a la cámara de hormigonado.



Las dovelas cuentan con juntas de estanqueidad en sus caras laterales.

FABRICACIÓN DE DOVELAS

La misión de profesionales chilenos también pudo visitar la planta de producción de las dovelas. Hay que recordar que en nuestro país, a orillas del río Maipo, hubo una fábrica para las dovelas del viaducto de la Línea 4 del Metro (ver Revista BIT 38, página 22), que era intensiva en el uso de mano de obra. En cambio, la planta de Barcelona destaca por los procesos altamente industrializados.

Las instalaciones catalanas comprenden una nave principal de fabricación de anillos y otra de enfierradura. En la primera área se encuentra el túnel de curado y la caldera de vapor, los carruseles y moldes, la planta de hormigón, dos puentes grúas para enfierradura y desmoldaje, y un compresor.

Bajo los parámetros de la certificación de calidad ISO 9000, el ciclo de producción comprende la limpieza del molde y aplicación del desencofrante, colocación de armadura, hormigonado, curado, desencofrado y volteado de la pieza, colocación de juntas y almacenaje.

El ciclo continuo de fabricación se inicia con la limpieza del molde y la aplicación de desmoldante. A continuación se coloca la armadura prefabricada por un taller especializado, que se ubica al interior en forma centrada. El molde va a la cámara de hormigonado. El resultado es un hormigón armado de resistencia característica a compresión simple de 50 MPa, a los 28 días. Durante el llenado, el molde se somete a vibración para lograr mayor compactación.

El molde relleno se introduce en el horno de curado donde la dovela permanece por seis horas a una temperatura de 55°C, para garantizar una resistencia a compresión simple de 25 MPa tras el desmolde, y así evitar rupturas durante el almacenamiento. Tras el curado se adhieren con pegamento las juntas de estanqueidad y se depositan en bodega hasta el traslado al frente de trabajo.

Con tecnología de punta en la construcción del túnel y en la fabricación de las dovelas, avanza la futura línea 9 del metro de Barcelona. **B**

EN SÍNTESIS

Una reciente misión tecnológica a España observó la construcción de la Línea 9 del Metro de Barcelona. La obra, con una inversión superior a los 2.200 millones de euros, comprende 46 estaciones donde circulará una flota de 50 vehículos con 5 coches.

Los trabajos en el túnel se realizaron con dos máquinas tuneladoras, una para suelos blandos y otra para rocas, que realizan labores con rapidez y a gran profundidad.

La misión de profesionales chilenos también visitó la planta de producción de las dovelas que cuenta con un alto grado de industrialización y comprende una nave principal de fabricación de anillos y otra de enfierradura.

