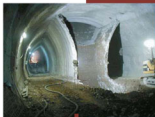


Carlos Mercado H.  
Gerente Proyectos de Extensión  
METRO S.A.

## Evolución de Métodos Constructivos en el Metro: Tecnología sobre Rieles



Construcción Túnel  
Estación Quinta  
Normal.

Los métodos constructivos del Metro de Santiago han evolucionado siguiendo las nuevas técnicas que se han desarrollado en el mundo para este tipo de obras. Se aplica novedoso método de tuneleado N.A.T.M en la construcción de línea 5 y extensión de línea 2.

En los años setenta, para las líneas 1 y 2, la construcción de las intersecciones se realizó mediante excavaciones a tajo abierto, con taludes, o bien con paredes entibadas, utilizando puntales. También se utilizó paredes maldeadas entre las estaciones Ciudad del Niño y La Ovalle, pero la excavación abierta era el método a usar también en el caso de todas las estaciones.

Los problemas que se generaban por el uso de excavaciones abiertas eran evidentes, dado que se ocupaba mucho terreno en avenidas vitales para el tránsito de la ciudad, tales como: Alameda, Providencia, Apoquindo, Parque El Llano, Gran Avenida y Avenida Balmaiceda. Además, se requería de gran cantidad de modificaciones de servicios y serias alteraciones a la vitalidad urbana. Los costos de construcción de estos sistemas también resultaban altos y los plazos bastante extensos para las aspiraciones de la comunidad.

### Nuevo Método de Tuneleado en Línea 5

Durante el proyecto de la Línea 5, se impulsó la construcción de intersecciones por tuneleado, adoptando el Nuevo Método Austriaco (N.A.T.M.), el que se usó por primera vez en el tramo Parque Bustamante y San Esteban de Hungría, proyectos desarrollados por la empresa de ingeniería Ingendesa y el Consorcio Ingendesa-ARA.

Posteriormente, en el Parque Forestal y en las calles Manjitas y Catedral, para el proyecto de Extensión de la Línea 5 al Centro, el proyecto fue desarrollado por el Consorcio Cade Idepe-Geoconsult-Systra, mostrando las considerables ventajas de utilizar un método de tuneleado, que redujo considerablemente los impactos negativos de la construcción en la ciudad.

El método de tuneleado N.A.T.M. se fundamenta en aprovechar la capacidad del suelo, de tomar una parte de los esfuerzos que se generan durante la excava-





■ L1, Sector L. Thayer  
Ojeda - Providencia.

■ L1, Cubierto Túnel  
Sector Holanda.

■ L1, Estación El Golf.

■ L1, Construcción Túnel  
Apoquindo - Cruz del Sur.

ción de un sector de túnel, de sección abovedada, siguiendo una secuencia constructiva predefinida (bóveda, banco, bóveda, banco, contra bóveda), mediante una redistribución de sus esfuerzos internos, controlando que las deformaciones del suelo tanto a nivel superficial, como de la sección de excavación, se mantengan dentro de un rango aceptable, colocando a medida que se excava marcos de sostenimiento y un revestimiento de hormigón proyec-

tado (shotcrete) que va tomando los esfuerzos que se generan al excavar el túnel (Ver Figura N°1).

El suelo de Santiago en el área perteneciente a la cuenca del río Mapocho está constituido por un horizonte superficial de terreno alterado de 1 a 3 metros, seguido de gravas arenosas correspondientes a la llamada segunda deposición del río Mapocho, de un espesor de variable entre 5 y 7 metros y, bajo este, una grava arenosa arcillosa denominada primera deposición.

Los parámetros geotécnicos característicos de los suelos descritos, han permitido determinar que las gravas de primera deposición tienen un buen comportamiento al aplicar métodos de excavación donde el suelo forma parte del arco resistente total, constituido además por marcos de refuerzo y hormigón proyectado con mallas en una primera etapa de sostenimiento, seguido posteriormente de un revestimiento final de terminación hasta lograr los espesores y la sección de proyecto.

Sin embargo, hasta en el proyecto de la línea 5, la construcción de las estaciones continuó a tajo abierto, ahora bien incorporando entibaciones con pilotes excavados a máquina y sostenidos con puntales, hacia el interior de la excavación en la estación Baquedano y en la Cola de Maniobras de la estación La Florida en la línea 5, para luego en el Proyecto de Extensión al centro de Santiago, mediante pilotes con anclajes al propio suelo, en las estaciones Bellas Artes, Plaza de Armas y Santa Ana (Ver Figura N°2). Todo lo anterior, permitió reducir el ancho de la excavación de las estaciones, pero aún sigue teniendo un impacto nada despreciable en el área circundante.

## Aplicación de Método en Túnel, Extensión de Línea 2

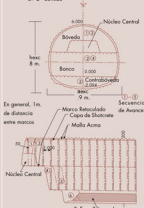
Actualmente, desde fines del año 2000 se desarrollan los Proyectos de Extensión del Metro de Santiago, incluyéndose la extensión de la línea 2 Norte desde la estación Cal y Canto bajo el río Mapocho y Avenida Recoleta hasta Santos Dumont; la extensión de la línea 2 Sur, desde esta-

Figura N°1

## Evolución de los Métodos Constructivos

### Secuencia Excavación Túneles Ciclo Estándar:

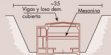
1. 1ª Bóveda
2. 1º Banco
3. 2ª Bóveda
4. 2º Banco
5. Contrabóveda



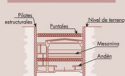
Método Constructivo Excavación y Revestimiento Primario Túneles (NATM)

Figura N°2

## Evolución de los Métodos Constructivos Estaciones



Excavación con Taludes



Entibación con Pilotes y Puntales y actualmente por tunelado



Entibación con Pilotes y Anclajes y actualmente por tunelado





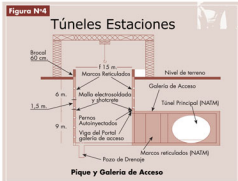
ción Lo Ovalle hasta la intersección de Gran Avenida con Avenida América Vespucio, y la extensión de la Línea 5 al Poniente, desde la estación Santa Ana bajo la calle Catedral hasta llegar a la Avenida Matucana.

Sin embargo, ahora las excavaciones de las estaciones en las tres extensiones son en túnel, utilizando el método N.A.T.M., para secciones de túnel del que llegan a los 160 m<sup>2</sup> (tres veces la sección de los túneles intersecciones) [Ver Figura N°5], en que los proyectos han sido diseñados por el consultor nacional Cade Ildépe con sus asesores externos Geoconsult y Systra; como también por el consorcio nacional Ingenieros-Ara con sus asesores Sauer Corp.

El método constructivo de teneleado aplicado ahora en las estaciones ha resultado mucho menos perturbador para el funcionamiento de la ciudad, particularmente respecto al tránsito vehicular, como así también se ha mitigado una buena parte de los impactos negativos de la construcción en términos de niveles de ruido y generación de material particulado.

### Estrategia para una Estación

La estrategia para la construcción de una estación consiste, básicamente, a partir de un sitio expropiado previamente, construir un pique lateral que servirá de acceso a la estación, desde donde parte una galería de acceso ortogonal al eje del trazado (Ver Figuras N° 3 y 4). Por el pique se extrae el material de excavación,

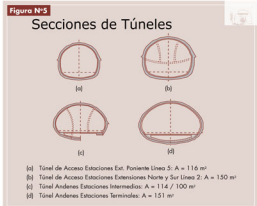


tanto de la galería de acceso, como luego del túnel estación.

La excavación de los túneles estación, por su gran sección, requieren una secuencia de excavación predefinida muy estricta y un monitoreo topográfico permanente de las deformaciones del suelo, con la finalidad de ir verificando que estén dentro del rango admisible establecido por las modelaciones realizadas con elementos finitos en dos y tres dimensiones, mediante el programa FLAC ("Fast Lagrangian Analysis of Continua"). También se han

implementado controles geotécnicos del nivel de tensiones actuantes sobre el revestimiento de hormigón proyectado, que dan la capacidad estructural permanente a la sección de los túneles.

El cálculo del revestimiento definitivo de los túneles ha considerado las construcciones cercanas al trazado, de modo que tanto los túneles de intersección, como los de estaciones soporten las sollicitaciones por sobrecargas, inducidas por las edificaciones, y también, las sollicitaciones sísmicas para una vida útil superior a los cien años.





■ ■ Estación Quinta Normal



■ ■ Fijaje y Galería



■ ■ Armaduras Pilotes  
Estación Quinta Normal



■ ■ Armadura Bóveda y Molde  
Revestimiento Definitivo

Figura N°6

## Estación Quinta Normal



### Minimizando Efectos Negativos

Por otra parte, resultan vitales los monitoreos topográficos y geotécnicos permanentes, ya que no sólo permiten validar las hipótesis de cálculo, velando por la seguridad tanto, durante la construcción, como durante la operación, sino que también la permanente optimización de los diseños en busca de menores costos, con una mejor calidad de la obra y plazos más reducidos.

Dentro de los proyectos de extensión existe también un caso muy especial de estación en la Extensión Línea 5 Poniente, la estación Quinta Normal, debido no sólo a sus grandes dimensiones, sino al hecho que será una estación terminal con conexión al futuro terminal intermodal Quinta Normal y, en una etapa posterior al denominado tren interurbano Melitren. (Ver Figuras N° 6 y 7)

La estación Quinta Normal por sus dimensiones ha requerido utilizar, las mejores técnicas de pilotaje, con pilotes perforados a máquina y pilas excavadas a

mano, de más de 25 metros de profundidad, y un sistema de construcción denominado losa previa, con gran cantidad de elementos prefabricados, que han permitido mantener habilitado el tránsito en Avenida Matucana con mínimos desvíos.

### Referencias

- Manual de Túneles y Obras Subterráneas, Carlos López Jimeno, Madrid - 1997.

Figura N°7

## Extensión Poniente Metro Línea 5

