

Metro Valparaíso:

A un metro del mar

El primer metro regional se construyó en la V Región y con vista al mar. El desafío mayor consistió en construir un túnel en un terreno arenoso y con alta presencia de agua. La solución llegó en forma de pared moldeada.

.....

Marcelo Casares / Editor Revista BIT

Hay que ser sinceros. Si bien la belleza de su paisaje y la calidez de su gente convierten a Viña del Mar como uno de los destinos más atractivos del país, la Ciudad Jardín ofrecía algunas espinas en cuanto a tránsito y transporte. Los embotellamientos causaban más de un dolor de cabeza a propios y extraños, amargando buena parte del veraneo o del fin de semana. Claro que las autoridades no estaban en la playa tomando sol, porque ya entre 1969 y 1986 se desarrolló un programa de tres etapas para mejorar la interconexión vial entre Viña del Mar y Valparaíso. Hubo avances, pero había que dar un paso más. Hacía falta una IV Etapa.

En esta última fase se resuelven los problemas generados por el paso del tren por el centro de Viña del Mar, entre Caleta Abarca y Chorrillos, dando vida al Metro Valparaíso, un sistema de transporte público urbano eficiente, seguro y ambientalmente sustentable, que se desplaza por el corredor Limache-Puerto. El Proyecto IV Etapa se puso en marcha en el año 2000, con un presupuesto de US\$ 334 millones y dividido en tres subproyectos:

Subproyecto Mejoramiento Integral Merval: Renovación de la infraestructura ferroviaria entre Estación Limache y Estación Puerto (43 km) y la totalidad del equipamiento. Además, en la infraestructura ferroviaria se reemplazaron el balasto, los durmientes, las vías férreas y se rehabilitaron las 16 estaciones que se mantienen a nivel. La renovación del equipamiento considera el reemplazo de la electrificación, la señalización, el sistema de comunicaciones y la instalación de un nuevo sistema de control de tráfico y de un conjunto automatizado.

Subproyecto Túnel Ferroviario: Hundimiento de la actual vía férrea entre Capuchinos y Chorrillos (5,2 kilómetros) en Viña del Mar, y la

construcción de cuatro estaciones subterráneas: Miramar, Viña del Mar, Hospital y Chorrillos.

Subproyecto Par Viana - Alvares: A raíz del hundimiento de la vía férrea, se habilitó el par Viana - Alvares entre Caleta Abarca y Chorrillos con un perfil total de 45 metros de ancho. Así, se generó una avenida urbana que conecta el Troncal Sur y la Avenida España con veredas de 7 metros de ancho, 3 pistas por sentido más una mediana central de 12 metros de ancho que permite habilitar pistas de viraje a la izquierda en los lugares requeridos.

Si bien cada subproyecto demandó esfuerzos y tecnologías, el hundimiento de la vía férrea concentra gran parte de los principales desafíos de la obra. No es para menos, ya que la construcción de este túnel se presentaba casi tan complejo como hacer castillos en la arena. Una faena que se podía escurrir de las manos si no se aplicaban las técnicas más apropiadas.

TAJO ABIERTO

Con el proyecto en marcha, la gerencia que encabeza la IV Etapa adjudica mediante licitación pública el desarrollo de la ingeniería básica al consorcio chileno holandés Arcadis - Geotécnica - Bow / Infra Ltda., incluyendo el análisis hidrológico, geológico, sísmológico y topográfico de la zona, junto con el diseño de las estaciones y la definición del sistema constructivo del túnel. El estudio culminó en septiembre del 2001 con conclusiones contundentes. El suelo compuesto principalmente por arena saturada, sumado a la presencia de agua a escasa profundidad y la necesidad de mantener en funcionamiento el tren y la circulación vial, impulsaron a los proyectistas a optar por una solución de tajo abierto.



Estación Viña del Mar.

FICHA TÉCNICA

Metro Valparaíso

Recorrido: Valparaíso - Limache

Estaciones: 20

Extensión: 43 kilómetros

Duración trayecto: 50 minutos

Inversión: US\$ 334 millones

Inauguración: 23 de noviembre del 2005

Flota: 27 trenes de dos coches

Túnel

Extensión: 5,2 kilómetros,
entre estaciones Miramar
y Chorrillos

Ancho: 8 metros

Altura: 5,77 metros

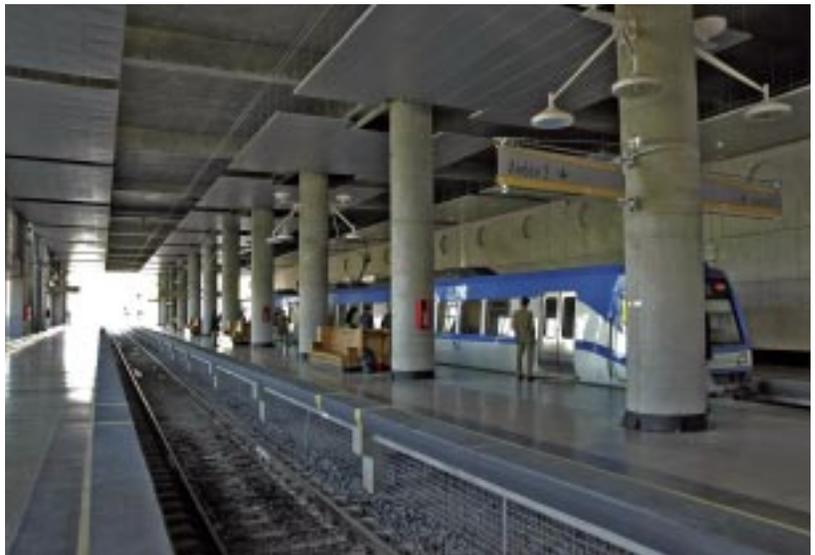
Ancho estaciones: 13 metros

Longitud estaciones: 105 metros

La estación Puerto en Valparaíso forma parte de un proyecto arquitectónico que incluye la construcción de un nuevo edificio en sus alrededores.



La cercanía al mar y las áreas verdes le otorgan un mayor atractivo al Metro de Valparaíso.





Pared moldeada. Primero se realiza un muro guía de 1 metro de profundidad (fotos 1, 2 y 3). A continuación se realiza la excavación con maquinaria tipo «clamshelles» y se aplica bentonita en suspensión para dar estabilidad a las paredes (foto 4). Luego se coloca la enfierradura de acero (foto 5) y finalmente se hormigona.

La medida no fue para nada apresurada, se evaluaron con detenimiento otras alternativas como máquinas tuneladoras y el sistema New Austrian Tunnelling Method (NATM) aplicado en la construcción de las líneas del Metro de Santiago (ver BIT 39, página 22). La primera solución se descartó por su alto costo. Si bien esta tecnología, utilizada comúnmente en Europa, resulta eficiente para un suelo con las características de Viña, la extensión del túnel y el presupuesto establecido no hacían viable una inversión de este tipo. El NATM, que consiste en hacer un pique y excavar desde ese punto, no es factible por el tipo de terreno. «El suelo de Santiago presenta un alto contenido de grava que posibilita la aplicación del NATM, ya que el túnel cuenta con la capacidad de autosostentarse hasta la aplicación del shotcrete. En cambio aquí el terreno es inestable, y ni bien se comience con la excavación se derrumbaría por la presencia del agua, igual que cuando se hace un pozo en la playa», afirma José Fernando Aguirre, gerente de Proyecto IV Etapa Metro Valparaíso.

La técnica del tajo abierto tampoco sería sencilla, porque a causa del suelo arenoso durante la excavación se desmoronarían las paredes laterales. Por ello, fue necesario recurrir a la construcción de paredes moldeadas a ambos lados del túnel en toda su extensión (5,2 km) con un espesor que va desde los 60 a los 80 centímetros y una profundidad variable de 18 a 24 metros. Hay que decir que la construcción del túnel, incluyendo las paredes moldeadas, se dividió en cuatro tramos: B Capuchinos - Miramar, C Miramar - Viña

del Mar, D Viña del Mar - Hospital, y E Hospital - Colegio Alemán. Los tramos B y C se adjudicaron a la empresa de origen brasileño Mendes Junior & Asociados y el sector D y E fue para la compañía española OHL. Como se verá más adelante, hubo diferencias entre los métodos que utilizaron ambas firmas.

PARED MOLDEADA

Hasta ahora, todo claro. Entonces, el punto de partida para la ejecución del túnel fue la construcción de la pared moldeada, cuyas obras se iniciaron en diciembre del 2002. Primero se hizo un muro guía de un metro de profundidad, con hormigón simple para que la máquina excavadora trabaje centrada, sin desviaciones. Se comenzó con la excavación. Atención, porque no se utilizó moldaje tradicional, ya que las paredes de la zanja cumplen esa función. Sin embargo, como la fragilidad del suelo puede ocasionar desmoronamientos, la zanja se rellenó durante la excavación con bentonita en suspensión que aportó estabilidad mientras se avanzaba en la excavación. Ésta se efectúa a través de maquinarias tipo «clamshelles» (almejas) colgadas de cables o a través de equipos hidráulicos.

Una vez que se alcanzó la profundidad deseada, a través de grúas se suspende en el aire la enfierradura de acero inoxidable para finalmente colocarla en la zanja. A continuación, según explica Ricardo Nicolau, jefe de ingeniería de Arcadis Geotécnica, en el libro «Metro Valparaíso», se aplica el hormigón estructural, colocan-

do un tubo especial o manga que permite comenzar el llenado desde el fondo hacia arriba. Así el hormigón desplaza por densidad al gel de bentonita, rellenando en forma compacta la zanja con hormigón. El resultado consiste en una pared de hormigón armado, construida en tramos de cinco metros, de alta resistencia estructural y que permite sostener el terreno para que se excave a plomo desde una de sus caras.

«Las paredes moldeadas se construyeron para hacer el sostenimiento durante el período de excavación del túnel, ésta era la principal finalidad. Sin embargo, al contener el terreno colaboran estructuralmente de forma indirecta con la estabilidad del túnel», señala Aguirre.

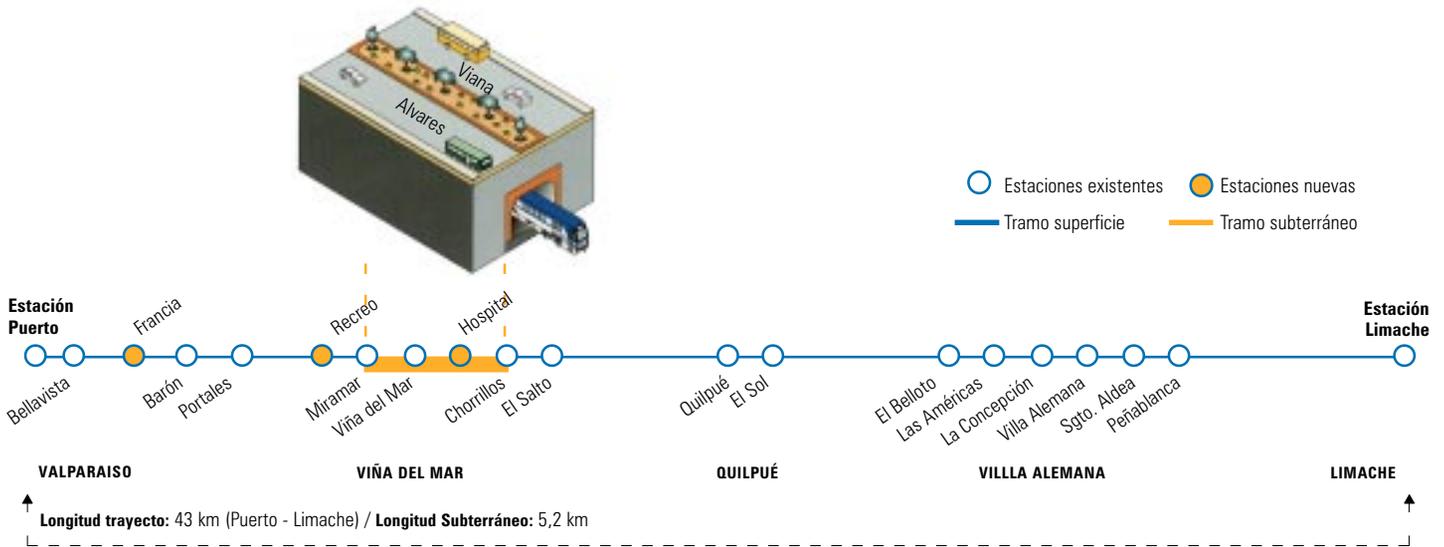
EL TÚNEL

En el 2004 se inicia la excavación masiva del túnel en los 9 metros que separaban la Pared Moldeada Norte con la Sur, en las estaciones el ancho alcanza los 14 metros, con el objetivo de llegar hasta los 18 metros de profundidad. Se utilizó maquinaria convencional como las retroexcavadoras. Para evitar que durante esta faena colapsen los muros pantalla a causa de la presión del terreno y las napas freáticas, se coloca una estructura de pilares. Mendes Junior, al optar por paredes moldeadas de 60 cm de espesor, debió colocar puntales rígidos cada tres metros con un reducido espaciamiento, lo que dificultaba el proceso de excavación. En cambio, OHL ejecutó una pared de 80 cm que le permitió trabajar con un menor número de puntales y con mayor espaciamiento facilitando la faena de extracción.

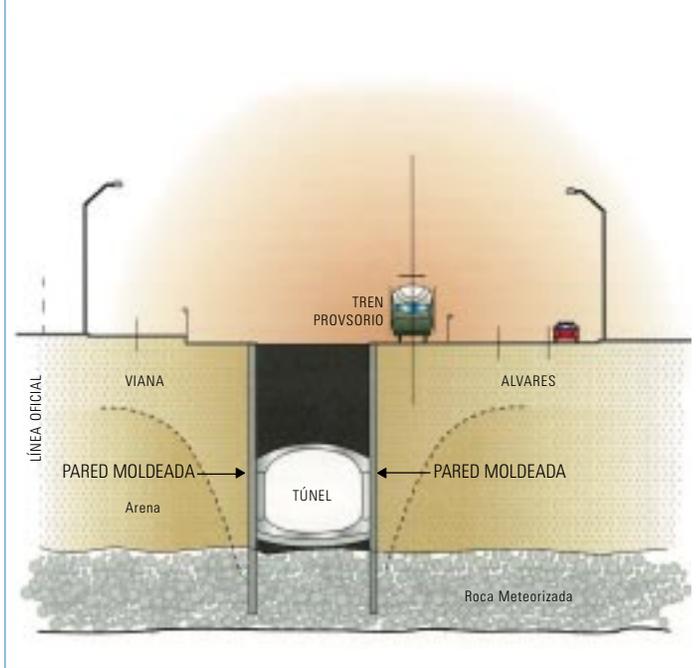
«Se excava hasta llegar a la cota de sello de fundación y ahí se construye la losa base del túnel», señala Aguirre. En esta faena se empleó hormigón estándar y moldaje metálico. Hasta allí llegan las coincidencias entre las constructoras que participaron del proyecto. En las etapas posteriores tomaron vías distintas. Mendes Junior construyó las paredes del túnel con el sistema tradicional de moldaje metálico y en la parte superior colocó un elemento de hormigón prefabricado, que se instaló con pernos de anclaje al muro. «La novedad se centró en esta estructura superior prefabricada, que además servía como moldaje para la losa superior del túnel simplificando el proceso», acota Aguirre.

Claro que en cuanto innovación, OHL fue un paso más allá. Antes de extraer una sola palada de arena, un grupo de ingenieros

RECORRIDO Y UBICACIÓN TÚNEL



TÚNEL EN LA ARENA



españoles observó las características de la obra y después de múltiples alternativas, optaron por diseñar una máquina especial para el hormigonado del túnel, fabricada en Europa y ensamblada en el lugar de la faena.

Esta máquina tiene la forma y las dimensiones del túnel. Es una especie moldaje deslizante longitudinal que se moviliza por rieles colocados en la losa inferior del túnel, con paneles ajustables por computadora, y tiene 12 metros de largo. Se coloca la enfierradura y se llena de hormigón. Después de 24 horas la máquina se retrotrae y avanza al tramo siguiente. Si bien en ese lapso el hormigón no se seca completamente, ya queda con una resistencia adecuada para retirar el moldaje. «Con esta solución el rendimiento de OHL era muy rápido, disminuyendo en más del 30% el plazo de ejecución. Así, esta empresa pudo terminar las obras dos meses antes de lo previsto», dice Aguirre.

Hubo otro desafío para el proceso porque los problemas financieros de Medes Junior obligaron a los mandantes a concluir anticipadamente el contrato. «Cuando esta empresa entró en crisis llevaba un avance cercano al 90% de las obras. Entonces, liquidamos el compromiso, contratamos las 600 personas que estaban trabajando con ellos y asumimos el rol de constructora hasta la finalización del túnel. Un inconveniente que solucionamos tomando las medidas adecuadas en el momento oportuno», cuenta Aguirre.

Más datos del túnel. El espesor de los muros alcanza los 50 centímetros y se hicieron juntas dilatación cada 25 metros.

AGUA VA

Construir un túnel en las cercanías del mar representó todo un reto para las empresas ejecutantes. Sin embargo, se tomaron las precauciones del caso en cada una de las fases del proyecto. El

primer gran interrogante consiste en saber si se utilizaron materiales especiales para la enfierradura y el hormigón que componen la pared moldeada, que se encuentre en contacto permanente con la napa freática. La respuesta es no, porque el agua es dulce por lo tanto no cuenta con los niveles de corrosión propios de la salada.

Más allá de sus características, el vital elemento está presente y con fuerza en algunas zonas. De hecho, es tal la cantidad de agua que en las estaciones Chorrillos y Miramar se tuvo que anclar con cables de acero inoxidable la losa de fundación del túnel a una roca que se encuentra a unos 40 metros de profundidad. Además, la parte superior se ancló a la pared moldeada.

Para evitar que el agua ingrese se tomaron más precauciones. Se recubrió el túnel con membrana de PVC impermeable, se aplicaron sellos longitudinales en las juntas de dilatación y se inyectaron soluciones impermeabilizantes en zonas de filtración. Pero al parecer, aún no se inventó una fórmula infalible. «No hay hormigón impermeable, se pueden aplicar miles de aditivos pero siempre nos vamos a encontrar con filtraciones. Llegamos a la conclusión que

es más barato y eficiente eliminar el agua que eventualmente pudiese ingresar con bombas, sentinas y sistemas escurrimiento», explica Aguirre.

Por otra parte, nadie olvida que vivimos en una zona sísmica. Por ello, el diseño del túnel contempló esta variable. Si bien el espesor de las paredes no varía del estándar, la diferencia va por dentro, en la cantidad de enfierradura que se emplea: El doble de proyectos similares en zonas sin riesgo sísmico.

El criterio que se aplica en esta materia es el mismo para las grandes obras: la construcción debe resistir sin problemas estructurales el sismo de diseño y no colapsar en el evento del «sismo máximo creíble» que es parámetro de estos casos.



José Fernando Aguirre,
gerente de Proyecto IV Etapa
Metro Valparaíso.



La constructora OHL diseñó una máquina especial para el hormigonado del túnel, fabricada en Europa y montada en el lugar de la faena. Se obtuvieron altos rendimientos

PROYECTO INTEGRAL

Claro que no todo es túnel en el Metro de Valparaíso, los restantes 38 kilómetros encierran elementos interesantes como la baja intervención que causaron las obras. No se interrumpió el servicio de trenes, ni el flujo vehicular en arterias clave como Alvares y Viana de Viña del Mar.

En Valparaíso, a causa del proyecto de borde costero, el Metro debió adaptarse a un nuevo concepto de urbanismo. Por ello, se debieron incluir zonas de áreas verdes que no estaban contempladas originalmente. Además, las estaciones cuentan con un diseño abierto e integrado en la ciudad. «Las estaciones son muy transparentes, se simplificaron techos y estructuras para evitar contaminación visual. Las barandas se vidriaron completamente y la catenaria (tendido eléctrico) se modificó para eliminar el máximo de postes», dice Aguirre. Las estaciones fueron construidas por la alianza de firmas compuesta por Edeco y DLP, utilizando como materiales hormigón, madera y vidrio.

La estación Puerto en Valparaíso forma parte de un atractivo proyecto arquitectónico, compuesto por la remodelación del antiguo edificio de la estación y la construcción de un nuevo edificio. De hecho, el diseño de la estación se hizo en la misma línea que tendrá la futura edificación de siete pisos que contempla comercio, oficinas y hotelería, cuya inauguración se prevé para el 2007. El

proyecto elaborado por la oficina de arquitectura de Murinho y Asociados se desarrollará sobre los antiguos andenes en dirección al oriente siguiendo la línea del recinto portuario por el mar y la avenida Errázuriz hacia la ciudad. En el edificio primará el concepto de sustentabilidad, a través de un bajo consumo energético con dos fachadas de cristal paralelas que generan un espacio intermedio de ventilación.

Pero volvamos a subirnos al metro, y allí se nota que los carros también son nuevos. Se trata de una flota de 27 trenes de dos coches conectados entre sí. El material rodante pertenece a la empresa francesa Alstom, y el modelo llegado a Chile (X-Trapolis) sólo se había utilizado anteriormente en Melbourne, Australia. El tren tiene una capacidad de 398 pasajeros, una velocidad máxima de 120 kilómetros por hora, un largo de 24 m, un ancho de 3,04 m, una altura de 3,74 m, 144 asientos y espacios destinados a sillas de ruedas. «Esta nueva flota incorpora moderna tecnología y los coches se adaptan perfectamente a las necesidades de un metro regional», concluye Aguirre.

El último dato interesante consiste en que la renovación de la vía férrea y la catenaria se licitaron en forma conjunta, recayendo la responsabilidad en el consorcio compuesto por Siemens, Icafal e Icil - Icafal. Un hecho poco habitual pero imprescindible en este proyecto, por la necesidad de que el antiguo tren debía funcionar hasta la puesta en marcha del nuevo metro.

El 23 de noviembre finalmente se cortó la cinta de inauguración del Metro Valparaíso, que genera un fuerte impacto social uniendo en sólo 50 minutos el trayecto Valparaíso - Limache, un recorrido que en bus puede alcanzar las dos horas. Testigos de los beneficios que depara esta obra serán 22 millones de pasajeros anuales y el mar. **B**

EN SÍNTESIS

El Metro de Valparaíso forma parte del proyecto IV Etapa que resuelve los problemas generados por el paso del tren por el centro de Viña del Mar, entre Caleta Abarca y Chorrillo. La IV Etapa se divide en tres subproyectos: Mejoramiento Integral, que comprende la renovación de la infraestructura ferroviaria, el Túnel Ferroviario, y Par Viana - Alvares.

El hundimiento de la vía férrea concentra los principales desafíos de la obra. El suelo compuesto principalmente por arena saturada, sumado al agua a escasa profundidad, entre otros, originaron una solución de tajo abierto, pero con la construcción de paredes moldeadas a ambos lados del túnel que evitaron el derrumbe de los muros laterales.

