

El río Mapocho estará libre de aguas contaminadas en el 2009. Bajo tierra se construye un colector interceptor de 28,5 km de longitud, que correrá paralelo al río, y lo saneará de las 21 descargas de aguas servidas que se vierten a su cauce. Este colector interceptor se construirá mediante túneles, en la mayor parte de su recorrido, por lo que será imperceptible para la población. Un nuevo aire se respira en las riberas del entrañable río que atraviesa la capital, hay olor a limpio.

# MAPOCHO URBANO OLOR A LIMPIO

PAULA CHAPPLE C.  
PERIODISTA REVISTA BIT

**U**N TÚNEL DE 28,5 KM DE LARGO se construye bajo tierra. Es el proyecto Mapocho Urbano Limpio (MUL), un viejo anhelo de los capitalinos (más información en Revista BiT N° 56, Septiembre 2007, página 44, [www.revistabit.cl](http://www.revistabit.cl)) que promete devolver a la ciudad de Santiago un río libre de aguas servidas.

A toda velocidad marchan las obras del interceptor. El tiempo apremia, "Tenemos 18 meses para estrenar un río saneado de las 21 descargas de aguas contaminadas generadas por 1,5 millón de habitantes de 14 comunas de la Región Metropolitana", comenta Luis Fuentes, gerente de ingeniería de Aguas Andinas.

Tres métodos constructivos y cerca de 2.000 personas trabajando día y noche para completar un proyecto que a futuro, en conjunto con las plantas la Farfana y el Trebal, más una tercera planta de tratamiento, permitirá sanear la totalidad de las aguas servidas de la ciudad de Santiago. El interceptor se inicia en la Rotonda Pérez Zujovic y a lo largo de su recorrido, atravesará las comunas de Las Condes, Providencia, Santiago, Recoleta, Independencia, Quinta Normal, Cerro Navia, Pudahuel y Maipú.



TUNNEL LINER





## FICHA TÉCNICA

**Obra:** Mapocho Urbano Limpio (MUL)

**Mandante:** Aguas Andinas

**Comunas beneficiadas:** 14

**Extensión:** 28,5 km

**Constructoras:** OAS y OHL

**Ingeniería:** Aguas Andinas

**I.T.O.:** Geolav Ltda.

**Sistemas constructivos:** Tunnel Liner, Túnel NATM y Zanja

**Plazo construcción:** 18 meses

**Fecha término:** 2009

**Inversión:** US\$ 113 millones

LUIS PADILLA



TÚNEL NATM



TRAMO ZANJA



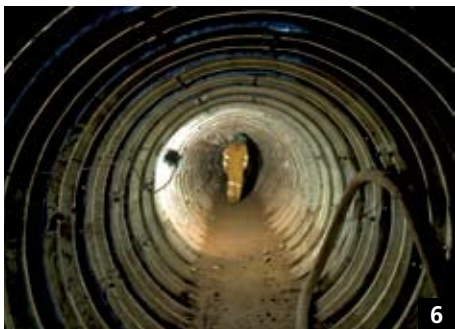


GENTILEZA AGUAS ANDINAS



## TUNNEL LINER

1. Armado de liner para el pique, las piezas de anillo se arman en terreno mediante pernos cuello cuadrado.
2. Listo los liners del pique, se inyecta hormigón entre el anillo y el terreno.
3. Vista panorámica del pique construido.
4. Panorámica de los frentes de trabajo del túnel.
5. Detalle del apriete de los pernos.
6. Obra terminada de colocación de liner.
7. Se instalan mallas sobre los anillos y se hormigona.



## Métodos constructivos

La historia ha sido larga: "Hace un par de años atrás, cuando empezamos a estudiar esta obra, vimos qué métodos constructivos se aplicarían, finalmente las alternativas adoptadas fueron el tunnel liner, el túnel NATM y la excavación en zanja o cajón de hormigón", recuerda Fuentes.

Para construirlo, el ducto se dividió en tres tramos, con objeto de poder acortar plazos de construcción, tener mayor cantidad de proponentes en la licitación, disminuir riesgos, entre otros factores evaluados. El tramo Oriente, que se inicia en la rotonda Pérez Zujovic hasta el centro de Santiago, el tramo Centro, desde el centro de Santiago (puente Los Carros) hasta Américo Vespucio, ambos construidos por OAS, y el tramo Poniente, desde Américo Vespucio hasta La Farfana, ejecutado por OHL.

Atención. El caudal de diseño del interceptor es de 19 m<sup>3</sup>/seg y las diferentes formas y dimensiones quedan determinadas por la profundidad de instalación, el tipo de terreno y caudal portado. Así, en la zona oriente es un tubo circular de 1.400 mm de diámetro, a medida que incrementa su caudal se eleva a 1.600 mm en el centro y en Américo Vespucio supera los 2.000 mm de diámetro. Cerca de la desembocadura se transforma en una sección rectangular de 3x3,5 m aproximadamente, para responder

al mayor caudal.

El objeto del colector interceptor, como su nombre lo indica, es captar todas las descargas de aguas servidas que actualmente se vierten al Río Mapocho. El caudal interceptado será conducido a las plantas de tratamiento y así se evitará la contaminación de los caudales que portea el Río. Un dato no menor: El interceptor se instala a una profundidad variable, comenzando en aproximadamente 4 m en la Rotonda Pérez Zujovic y llegando a alrededor de 12 m en Pudahuel. El escurrimiento será absolutamente gravitacional; en todo el trayecto no está considerado ningún tipo de elevación.

## Tramo Tunnel Liner

Comienza la aventura bajo tierra. Vamos de Oriente a Poniente. "Nuestro contrato son 17 km, comienza en la Rotonda Pérez Zujovic y termina en el sector del Aeropuerto. Este tramo se construye bajo el método de tunnel liner", indica Felipe do Prado Padovani, gerente de desarrollo de negocios de la constructora brasileña OAS.

Por la extensión del tramo, lo lógico era construirlo con máquinas tuneladoras, pero OAS se enfrentó a su primera disyuntiva: los diámetros del recorrido varían en extremo, empezando en 1,4 m y terminando en 3 m; ante tal panorama la tuneladora no se hacía rentable, obligando a disponer de máquinas

En una primera etapa, y antes de llegar al río, parte de las aguas del interceptor se depurarán en La Farfana y El Trebal, a la espera que se construya una tercera planta contigua a esta última, en la comuna de Padre Hurtado (ver Tabla). Revista BiT bajó a las profundidades para observar los avances y desafíos del Mapocho Urbano Limpio. Una gran aventura subterránea que ya huele bien.



## SEGURIDAD SUBTERRÁNEA

Para ambas constructoras la seguridad ha sido prioritaria. “Tenemos un procedimiento que se debe cumplir. No podemos avanzar más de los anillos que están aprobados (hasta cuatro por frente), a fin de evitar riesgos en la seguridad de los trabajadores. Todos deben andar dentro de la faena con sus implementos mínimos de seguridad y hay prevenicionistas permanentes”, comenta Padovani de OAS.

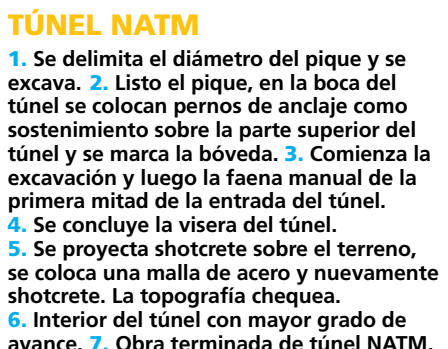
Para OHL la seguridad no es menor. A pesar que el tramo es relativamente corto, desde el inicio de los piques se notan las medidas: andamios potentes a modo de escaleras que conectan la superficie con la galería del túnel. “Cuando se trata de ventilación y vías de evacuación las medidas de seguridad son exigentes, hay prevenicionistas día y noche y una iluminación apropiada para trabajar en un ambiente sano”, comenta Vizuet.

de variados tamaños para ejecutar la obra. “Decidimos construir el tramo completo bajo la modalidad de tunnel liner, definido previamente por Aguas Andinas, apuesta que a la vez significa que esta obra sea una de las más largas de América en aplicar esta tecnología”, explica Padovani.

¿Qué es y cómo se hace? En teoría es fácil, sólo en teoría, porque este método constructivo requiere de precisión y expertise. El tunnel liner “es un sistema constructivo sobre la base de una estructura flexible de acero corrugado, conformada por planchas que permiten el armado total desde su interior. Se caracteriza por hacer excavaciones sin interrumpir el tráfico”, indica Horacio Pinochet, gerente comercial de Instapanel, una de las empresas proveedoras del producto (llamado tunnel liner “®”).

Entremos en el túnel. Primero se construyeron 53 piques de 4 m de diámetro, entre 10 a 8 m de profundidad y dispuestos cada 300 m promedio. Primera dificultad que resolver: “Bajo los 4 m de profundidad de los piques terminamos de excavar manualmente, ya que el brazo de la excavadora llega hasta los 3,60 m, sumado a que en algunas comunas fue imposible ingresar con maquinaria, en parte por el ruido y por el acceso”, comenta Padovani.

Concluido el pique, que también se construye con tunnel liner, viene el turno del tú-



## TÚNEL NATM

1. Se delimita el diámetro del pique y se excava.
2. Listo el pique, en la boca del túnel se colocan pernos de anclaje como sostenimiento sobre la parte superior del túnel y se marca la bóveda.
3. Comienza la excavación y luego la faena manual de la primera mitad de la entrada del túnel.
4. Se concluye la visera del túnel.
5. Se proyecta shotcrete sobre el terreno, se coloca una malla de acero y nuevamente shotcrete. La topografía chequea.
6. Interior del túnel con mayor grado de avance.
7. Obra terminada de túnel NATM.

nel, que avanza en ambos sentidos. Ponga atención: “En la boca del túnel se hace una excavación superior con martillos percutores o cangos, se instala una primera plancha en la clave, que sirve de visera, luego se continúa con la excavación, que en promedio avanza 50 centímetros. Se empieza la excavación simétrica al eje vertical del túnel, se instalan las planchas laterales y se procede a darle un torqueo leve de pernos cuello cuadrado para ajustar y cerrar el anillo. Finalmente, se le da el apriete definitivo con el

anillo totalmente cerrado”, explica Horacio Pinochet.

Si cree que ahí terminó todo, es mejor que siga leyendo. La característica de la técnica consiste en que, entre el suelo y los anillos queda un espacio libre de 5 cm ¿Para qué? A lo largo de la circunferencia del anillo hay orificios, “a través de los cuales se inyecta una lechada en base a pomacita, que se extrae de la excavación, mezcla que se coloca entre la tierra y el anillo, éste último que, gracias a su forma nevada y corru-



### TRAMO ZANJA

1. Se hace la excavación. 2. Se construye un radier y se hormigona. 3. Se coloca la armadura de la losa de fondo y la de los muros. 4. Se aplica la armadura de la losa superior para hormigonar. 5. Vista exterior del cajón con la impermeabilización de membrana asfáltica aplicada. 6. Obra terminada por dentro.



gada, ayuda a sostener el peso del terreno”, indica Valtericio Passos, jefe de producción y terreno de OAS.

El apriete definitivo de los pernos se hace con una llave punta corona, pero “sólo cuando se cuadra todo el anillo, y eso lo va dando la dirección del tramo, ya que el túnel no va en línea recta. Luego verificamos con el topógrafo, inyectamos y seguimos avanzando”, comenta Passos.

Alto, aún no terminamos. Tras colocar los liners y unir los piques, se limpia el túnel y se colocan mallas de fierro, se instala moldaje curvo y se hormigona. “El agua servida es muy corrosiva, por lo que debe ir en contacto con el hormigón y no con el túnel propiamente tal”, apunta Padovani.

A mitad de camino pasó algo. “Decidimos traer desde Brasil mano de obra especializada (10 personas) en túneles”, comenta Padovani. ¿El resultado? En algunos tramos donde el suelo permitía un mayor grado de avance, se pasó de 2 m lineales diarios de avance a 8 m lineales diarios, es decir, cuatro anillos por frente de trabajo. Hay dos claves en este avance: por un lado la experiencia de estos profesionales en trabajos en suelos adversos, que a su vez capacitaron a profesionales chilenos; y por otro, la planificación con topografía. “Se optimiza el chequeo topográfico proporcionando un avan-

ce más acelerado de las obras”, señala Valtericio Passos.

Primero se aprobó avanzar dos anillos por día, por cada frente de trabajo. Tras chequeos del suelo, se certificó avanzar cuatro anillos por día, en el fondo se avanza ocho anillos por lado. Se opera con grupos de trabajo de unas nueve personas, que atacan ambos frentes del túnel: dos excavan, dos transportan y una maneja el huinche con el material.

### Túnel NATM

Llegamos al Poniente de Santiago, al cruce de Américo Vespucio con el Aeropuerto. Ahora entramos en las obras de la constructora española OHL. “Nuestro contrato contempla la ejecución de 8 km, que van desde el sector del aeropuerto, pasando por La Farfana y descargando al río. De oriente a poniente, primero hacemos 4 km con el método de túnel NATM y luego 4 km finales con el método de excavación en zanja o cajón de hormigón”, explica Jesús Vizuete, gerente de operaciones de OHL para esta obra. Para atacar ambos tramos, se construyeron 15 piques, con una distancia aproximada de 600 m entre cada uno.

En un primer momento, los primeros 4 km estaban previstos con el sistema liner, pero OHL propuso el sistema NATM, basado en la auscultación o monitoreo previo para ir justificando el tipo de sostenimiento del túnel. “Si bien el método no es nuevo, es una innovación en este tipo de túnel porque se utiliza en túneles más grandes, con secciones entre 60 a 120 m<sup>2</sup> y aquí hablamos

### GESTIÓN DE AUTOCONTROL

“Esta obra debe quedar bien a la primera y esa es la presión para todos los profesionales que participan en ella”, indica Sergio Velasco, inspector técnico de obras de Geolav Ltda.

Como I.T.O. están ejerciendo una supervisión del autocontrol, que se define como una instancia en donde ambas constructoras receptionan la parte operativa y de ejecución de las obras. “Y nosotros supervisamos qué tal lo están haciendo. El balance ha sido positivo”, apunta el profesional.

También se fiscaliza la seguridad. “Parte importante es la prevención de riesgos, en el sentido que deben estar dadas las condiciones para que el trabajo se desarrolle sin riesgos para las personas, no obstante han habido eventos, por fortuna han sido accidentes menores”, sentencia Velasco.

GENTILEZA AGUAS ANDINAS

## PLAN DE SANEAMIENTO DE LA REGIÓN METROPOLITANA

	1999	2008	2011
<b>N° de plantas</b>	6	14	16
<b>Caudal tratado</b>	0,48 m <sup>3</sup> /s	12 m <sup>3</sup> /s	19 m <sup>3</sup> /s
<b>Biosólidos</b>	0 ton/día	600 ton/día	1.100 ton/día
<b>Población saneada</b>	180.000	4.600.000	6.050.000
<b>Cobertura</b>	3%	70%	100%
<b>Inversión total</b>	-	MM€ 400	MM€ 600

de 10 a 12 m<sup>2</sup>", expresa Vizuete.

El primer reto consistió en elegir la maquinaria, que para secciones pequeñas es escasa, así como para los sistemas de extracción. Mientras en los túneles grandes la extracción de material se produce directamente con camiones y palas cargadoras, aquí se hace en baldes pequeños, de forma casi manual. Para excavar en tanto, se usan gatos hidráulicos o máquinas excavadoras Bobcat que, al mismo tiempo que excavan, retiran la marina. En la galería de acceso al túnel, una grúa de levantamiento de 5 t adosada a la superficie del pique, saca los baldes con la marina.

Ya en el túnel se avanza paso a paso, en otras palabras, a la vez que se hace la excavación, se va sosteniendo el terreno con armadura y hormigón proyectado. La faena es así. La Bobcat excava la parte central del círculo del túnel y se termina a mano con martillos percutores. Se retira la marina y se vierte en un capacho para enviarla por el pique hacia la superficie.

La faena concluye cuando se shotcretea un primer sello de 3 cm que solapa la armadura, luego se colocan 9 cm, y finalmente un recubrimiento exterior de 6 cm. "Avanzamos 2 m por frente al día, en to-

tal 4 metros por pique. Por cada pique o pozo de ataque hay un equipo de 12 trabajadores que atacan ambos frentes", indica Vizuete.

### Tramo Zanja

Son 4 km finales que interceptan, a través de un bypass, con La Farfana, hasta donde llega el agua para su tratamiento, antes de volver al río Mapocho nuevamente. "Es una fase diferente, que viene a continuación del túnel NATM, pero con menos dificultades en el seguimiento y en el proceso de ejecución, salvo por la existencia de numerosos servicios", comenta Vizuete.

No se confunda, la excavación en zanja no entra a la planta, sino que OHL debe construir un bypass conector por donde ingresa el agua. "Nuestras obras pasan a los pies de la planta, hay una toma desde el mismo cajón que estamos haciendo, un ducto de 1,20 m por donde entrará el agua. En rigor pasarán por el cajón 19 m<sup>3</sup>/seg, pero a la planta ingresarán 2 m<sup>3</sup>/seg", indica Vizuete.

Debido a la topografía del terreno, el cajón va adquiriendo variadas dimensiones a medida que avanza el recorrido, pero en general son de 9 m<sup>2</sup> con hormigón H30



LUIS PADILLA

Panorámica desde la superficie del pique en túnel NATM. Se observa la grúa de 5 t que extrae la marina del túnel y baja el material.

# MEMBRANAS PARA IMPERMEABILIZACION

♦Vulkem® ♦Paraseal® ♦TREMproof®



## Sistemas de impermeabilización para:

- Estacionamientos
- Azoteas
- Losas de Jardines
- Jardineras
- Muros de fundación
- Muros contra terreno

**TREMCO**  
Commercial Sealants & Waterproofing

PRODUCTOS CAVE S.A.  
Panamericana Norte 18.900 • Interior  
Lampa • Casilla 52470 • Correo Central  
Santiago • Fono: (+56 2) 270 9900  
Fax: (+56 2) 270 9980  
Página Web: www.tremcosealants.com  
www.productoscave.com

An RPM Company





GENTILEZA AGUAS ANDINAS

### LA SOLUCIÓN TÉCNICA

1. En la actualidad, la descarga de las aguas va directo al río.
2. El interceptor se instala a una profundidad variable, comenzando en 4 m en la Rotonda Pérez Zujovic y llegando a los 12 m en Pudahuel.
3. La solución es que el ducto intercepta las aguas que corren por los actuales tubos de descarga.

## INNOVACIONES BAJO TIERRA

Para mejorar el rendimiento, OAS analizaba, al cierre de esta edición, una forma más rápida de extraer la marina hacia el exterior. “Estudiamos colocar un carro anexo a rieles para extraer la marina hacia la entrada del pique. Se está diseñando, esperamos que ayude bastante porque el túnel en algunos tramos es muy pequeño y hay que andar casi gateando”, adelanta Felipe Padovani.

de resistencia. “Se hacen in situ con un molde prefabricado de EFCO, que es un carro que hormigona cada 12 m con juntas. Primero se construye la losa, y sobre ella circulan las ruedas del carro que van haciendo la parte de cierre del cajón”, indica el profesional de OHL.

El cajón “se dividió en cuatro tramos, desde el tramo cero hasta el cuatro. Cada tramo es de sección distinta, adecuándose a las necesidades de estrechez del terreno. En el tramo 1, el ancho de la sección es de 4 m de ancho por 2,30 m de alto; el tramo 2 y 3 se estrechan a 3 m de ancho con 2,90 y 2,80 m de alto, respectivamente. Finalmente el tramo 4 es de 3x3,5 metros. Hecho el cajón, se impermeabiliza y se rellena con la misma pomacita sacada de la excavación.

Dijimos que en este tramo final los desa-

fíos estaban dados por los servicios. Sólo una muestra: En la fotografía inferior se observa “la existencia de una planta elevadora de Aguas Andinas, lo que obligó a hacer un quiebre, una desviación para la zanja”, comenta Vizuete. La tubería de descarga que se aprecia en la imagen y que proviene de la misma planta, se sujetó con un apero de vigas metálicas para liberar el paso del cajón.

Para quienes creen que el río quedará transparente, se equivocan. No será cristalino, debido a que arrastra lodo procedente de la Cordillera, pero sí estará a salvo de aguas servidas. Un proyecto relevante, como señaló la Presidenta Michelle Bachelet al inaugurar las obras: “Estamos poniendo término a una historia de polución y de maltrato al río. Cuando estas obras estén terminadas el próximo año, la capital de Chile tendrá otra cara que ofrecer porque el Mapocho habrá vuelto a ser el río que era cuando Pedro de Valdivia fundó Santiago del Nuevo Extremo”. Vuelve el olor a limpio. ■

[www.aguasandinas.cl](http://www.aguasandinas.cl)

**TRAMO EN ZANJA.**  
Se observa la solución que se aplicó para sostener una tubería procedente de una planta de descarga de Aguas Andinas y que sujetó con vigas de acero. Por debajo va el cajón.



LUIS PADILLA

### EN SÍNTESIS

En 2009, acercarse al río Mapocho será un verdadero placer. Un río limpio de aguas servidas, un antiguo sueño que está en vías de hacerse realidad. Los desafíos en terreno no han sido pocos, un interceptor de 28,5 km que tomará las descargas de aguas servidas, obligó a utilizar tres métodos constructivos, cada uno con ventajas y dificultades.

# HAY VIDA BAJO TIERRA (...Y LA CIUDAD NO LO NOTA)



Por años, la instalación de TUNNEL LINER® Instapanel® para canalizar las aguas lluvia, ha sido absolutamente silenciosa.

- Rapidez de construcción
- Evita desvíos e interrupciones del tránsito
- Sin costos de demolición y reconstrucción superficial
- Se adapta a sus necesidades



[www.instapanel.cl](http://www.instapanel.cl)