

# NUEVO ACCESO NORORIENTE A SANTIAGO

# MÁXIMA VELOCIDAD

El trazado discurre por una caprichosa geografía. No quedó más alternativa que un diseño complejo que recurre a viaductos y túneles para salvar las múltiples dificultades del terreno, especialmente en el sector oriente. La Autopista Acceso Nororiente a Santiago avanza a toda velocidad en la tierra como en el cielo. Una obra que influye directamente sobre más de 500 mil habitantes de los sectores norte y oriente de la Región Metropolitana.

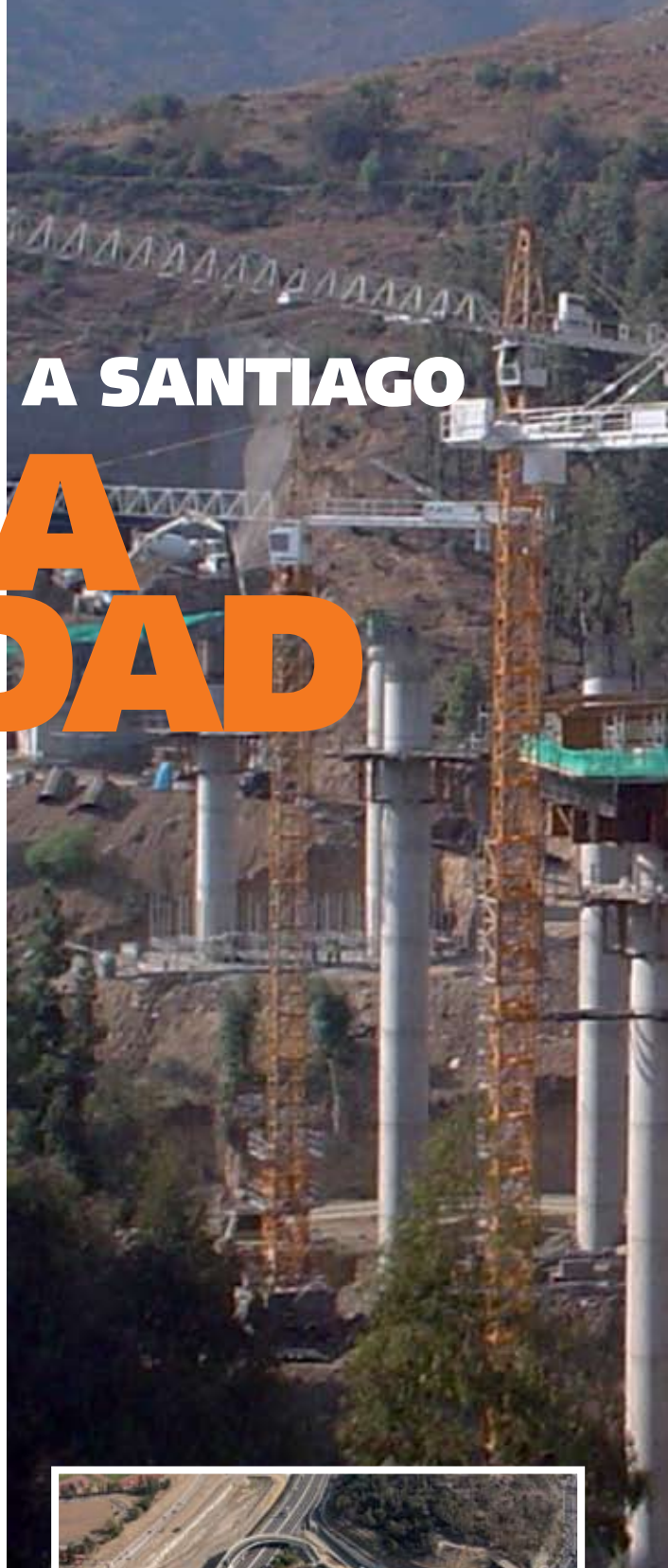
PAULA CHAPPLE C.  
PERIODISTA REVISTA BIT

**S** E IMAGINA RECORRER en poco más de diez minutos el trayecto existente entre las comunas de Vitacura y Colina. ¿Imposible? Para nada. La explicación se encuentra en la nueva Autopista Acceso Nororiente, que con una longitud total de 21,5 km, va tomando forma a toda velocidad, superando complejos desafíos constructivos con la aplicación de tecnología de punta.

El tema se presenta atractivo, y lo es. “Este contrato es una de las obras más complejas que se ha construido en el país en los últimos años, ya que cuenta con más de 3.000 m lineales de túneles, más de 1.000 m de viaductos, 5 enlaces y distintas tipologías de puentes”, lo confirma el gerente general de la Sociedad Concesionaria, Carlos Barrientos.

De esta forma, el trazado de la autopista se divide en tres sectores, comenzando en el oriente con el Enlace Centenario, que resuelve la interconexión entre Américo Vespucio, Costanera Norte, Santa María y la autopista a través de una conexión de tres niveles, con 13 ramales y lazos. “Un nudo de alta complejidad técnica porque concentra gran parte de los posibles tipos de puentes, desde metálicos en curva hasta losas postensadas hormigonadas in situ”, cuenta Guillermo García, gerente de la constructora Sacyr Chile S.A. para este proyecto.

Luego continúa el sector Oriente, que junto al Centenario abarca las comunas de Vitacura, Huechuraba y Colina. Éste consiste en un complejo trazado







## FICHA TÉCNICA

**Proyecto:** Nuevo Acceso Nororiental a Santiago

**Mandante:** Ministerio de Obras Públicas (MOP)

**Unidad Ejecutora:** Coordinación de Concesiones de Obras Públicas

**Concesionaria:** Sociedad Concesionaria Autopista Nororiental S.A.

**Constructora:** Sacyr Chile S.A.

**Longitud trazado:** 21,5 km

**Movimiento de Tierras:** Más de 5 millones de m<sup>3</sup>, con cortes de hasta 45 metros

**Inicio de obras:** Enero 2006

**Duración obras:** 36 meses

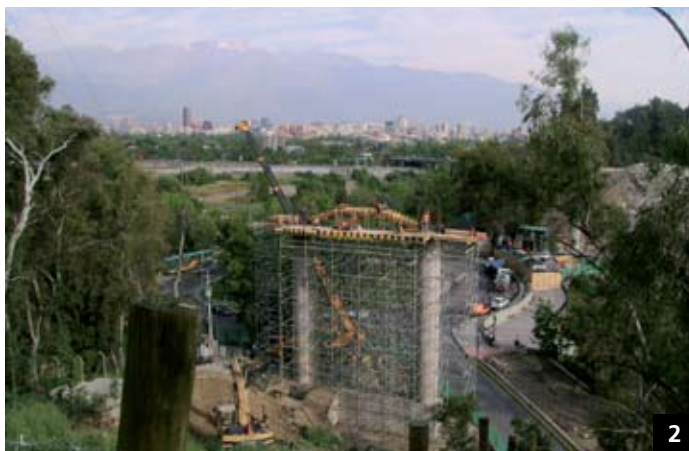
**Plazo de entrega:** Marzo 2009

**Plazo de la concesión:** 40 años





1



2



3



4

#### PASO A PASO VIADUCTO I

1. Construcción de las primeras pilas apoyadas en base a zapata de fundación directa.
2. Sistema de cimbra para el montaje de la estructura metálica.
3. Montaje de Dovelas con grúas de 550 toneladas.
4. Vista panorámica de la superestructura del puente.

de montaña con túneles, viaductos, enlaces y pasos superiores. Destacan el Viaducto Quebrada El Salto (210 m, con pilas entre 15 y 19 m de alto), el Viaducto Bosques de Santiago (270 m, con pilas entre 20 y 46 m de alto) y los túneles en los cerros Manquehue I (157 m), Manquehue II (el derecho 732 m y el izquierdo 805 m) y Montegordo (1.609 m).

Finalmente, el sector Poniente atraviesa la zona de proyectos inmobiliarios en el valle de Chicureo, y se extiende desde el enlace Avenida del Valle hasta la intersección con Ruta 5 Norte, contemplando empalmes en desnivel con un total de 7,7 km que ya se encuentran habilitados y funcionando.

La obra diariamente pone a prueba a más de 1.000 profesionales, entre técnicos, administrativos y obreros, que trabajan para llegar a la meta: fines de 2008. Los máximos desafíos se centran en la construcción de tres monumentales viaductos y cuatro túneles. En la tierra como en el cielo, un reto a la ingeniería.

#### Viaducto I Quebrada El Salto

Se emplaza dentro del Enlace Centenario a 25 m de altura por sobre el nivel de la rotonda La Pirámide, ubicada al poniente del colegio Saint George. "La estructura consta de un tablero conformado por una losa de hormigón sobre 2 vigas metálicas continuas tipo cajón, y se apoya sobre 2 cepas y estribos extremos", indica Daniel Gajardo, Jefe de la Oficina Técnica de Sacyr del Acceso Nororiente. El viaducto, que se comenzó a construir en los últimos meses de 2006 y que en la actualidad se encuentra en etapa de terminaciones, totaliza 210 m de longitud estructurada con 3 vanos cuyas longitudes parciales son de 55, 95 y 60 metros. El puente posee 4 pistas de circulación de 3,5 m de ancho cada una, más una mediana central de 3 m y bermas exteriores de 2 metros.

En tierra, la estructura se compone de 2 cepas constituidas en base a una zapata de

fundación directa apoyada en roca, que recibe dos columnas circulares compactas de 2 m de diámetro unidas mediante un dintel superior que sostiene las vigas metálicas. Los estribos extremos también tienen zapatas de fundación directa sobre roca, a partir de las cuales se inician muros que contienen las tierras de los accesos.

Los protagonistas del proyecto coinciden: El desafío técnico más relevante fue la edificación de la superestructura, particularmente el montaje de las vigas metálicas y hormigonado del tablero proyectado con juntas sísmicas de dilatación en las zonas extremas adyacentes a los estribos.

Los elementos metálicos se fabricaron a modo de dovelas –cada una de ellas pesa del orden de las 20 t– en una maestranza y luego fueron trasladados a obra donde se unían en tramos especificados para su montaje con grúas de 550 toneladas.

Antes del hormigonado del tablero, se planificó y ejecutó un monitoreo de las deformaciones de las vigas metálicas con el objeto de optimizar el vaciado de concreto en áreas definidas, evitando sobrepasar los valores de diseño de los distintos compo-

## PASO A PASO VIADUCTO II

1. Construcción de las primeras pilas en base a una zapata de fundación directa.
2. Avance del hormigonado y estructura metálica de las pilas.
3. La estructura consta de un tablero conformado por una losa de hormigón sobre siete vigas pretensadas apoyados sobre dinteles de gran envergadura.
4. Panorámica actual del viaducto.



nentes de las vigas metálicas.

“La aplicación de la solución mixta, estructuras metálicas y hormigón, se basó en la luz necesaria entre pilas porque las vigas de hormigón, después de los 45 m, no son prácticas de ejecutar”, indica René Labra, inspector fiscal del MOP para este contrato de concesiones.

Un tema aparte es la logística. El enlace Centenario era un nudo crítico de tránsito. Prueba superada porque la obra se ejecutó sin interrumpir el flujo vehicular de las vías existentes. “Han sido intervenciones mínimas de cortes de tránsito y aislamiento de los sectores en un radio de 150 m, coordinados con autoridades locales y Carabineros de Chile, y que se originan producto de las tronaduras necesarias para el movimiento de tierras que permitiría dar cabida al perfil tipo de cada uno de los ejes que componen el Enlace Centenario, principalmente aquellos que se desarrollan en las proximidades de Américo Vespucio y Autopista Costanera Norte. Se trabajó con desvíos y rara vez con cortes de tránsito, los que se limitaban a cinco o seis minutos de duración, indica Claudio Morales, jefe del tramo.

Como el viaducto se encuentra en una zona de gran tráfico, debido al enlace La Pirámide y el colegio Saint George, se aplicaron planes de contingencia y una serie de medidas mitigatorias como señalética pertinente para orientar a los usuarios, la ejecución de monitoreos semanales y quincenales para la medición del ruido y la restricción de la circulación de camiones en horarios punta, conforme a lo exigido por la SEREMI de Transportes y Telecomunicaciones en las aprobaciones de los desvíos de tránsito que ésta ha autorizado para la construcción del Enlace Centenario.



## Viaducto II Bosque Santiago

Se sitúa en el tramo oriente, sobre una fuerte depresión del terreno, previo al túnel Manquehue I y pasando a 46 m de altura de la quebrada. El puente consta de un tablero conformado por una losa de hormigón con juntas sísmicas de dilatación en los extremos sobre 7 vigas pretensadas de hormigón. Éstas se apoyan sobre dinteles de gran envergadura, “suficientemente largos como para reducir en 10 m la longitud de viga necesaria para cubrir el vano proyectado en 45 metros”, comenta Gajardo. La continuidad del tablero sobre el dintel se logró a través de la materialización de una losa conectada mediante loseta de continuidad al tablero sobre vigas. El viaducto totaliza 261 m de longitud estructurado con 6 vanos cuyas longitudes parciales van desde 40 a 45 metros. El puente será de 4 pistas de 3,5 m de ancho cada una, más una mediana central de 3 m y ber-



mas exteriores de 2 metros.

En tierra los desafíos no fueron menores. La infraestructura está conformada por 5 cepas estructuradas en base a una zapata de fundación directa apoyada en roca que recibe dos columnas anulares de 2,5 m de ancho y 3,35 m de longitud, con alturas variables de 21,9 m hasta 46 m para la cepa ubicada al fondo de la quebrada. De esta manera, las columnas se unen mediante un dintel superior en donde se apoyan las vigas de hormigón. Los estribos extremos se construyeron sobre zapatas de fundación directa sobre roca.

Atención. La historia no termina aquí. Los retos técnicos más importantes se asocian a la construcción de los poderosos dinteles de 13,5 m de longitud y 20,8 m de ancho, conformados por vigas invertidas de hormigón armado y una esbelta losa de fondo. ¿Qué peculiaridades tiene este viaducto? Primero. Se ampliaron los dinteles, en casos estándar son del ancho de las pilas. La explicación: “Teníamos dificultad para colocar las vigas, por ello las acortamos. Así, en la zona de los dinteles de las pilas se postensan para aligerarlas de acero”, dice Guillermo García.

Segundo. El moldaje de los dinteles representa uno de los encofrados suspendidos más grandes. Esta solución se analizó en Estados Unidos porque los elementos son más grandes



**En el Viaducto III, por su complejo trazado, también se ocupará la máquina lanzadora de viga. En la imagen se aprecia el lado sur del Manquehue II.**



de lo habitual, y se necesitaba reducir la longitud de las vigas (de 45 m pasaron a 35 m). “Con este sistema lográbamos acortar las vigas, siendo más manejables para introducirlas en la obra porque la geografía era de complicado acceso”, comenta García.

Un tercer punto. Como este puente posee un diseño geométrico en curva y se ubica en un sector cuya topografía es compleja, donde el trazado obliga a salvar las quebradas del sector a una altura superior a los 40 m y dada la poca disponibilidad de espacio para la generación de plataformas de trabajo, se necesitó traer a Chile una Viga Lanzadora capaz de garantizar movimiento tanto en el sentido longitudinal como en el sentido transversal.

### Viaducto III Las Canteras

Ubicado en el sector oriente. La quebrada Los Almendros se salvó con dos viaductos: Canteras Izquierdo y Canteras Derecho. Cada estructura consta de un tablero conformado por una losa de hormigón con juntas sísmicas de dilatación en los extremos sobre 4 vigas pretensadas prefabricadas de hormigón armado y apoyadas sobre dinteles de gran envergadura, similares a los del viaducto Bosque Santiago.

El viaducto izquierdo totaliza 151 m de longitud en tanto que el viaducto derecho alcanza a 141 m de extensión, ambos estructurados con 4 vanos cuyas longitudes parciales van desde los 32,55 hasta los 43,85 m en el lado izquierdo y desde 34,07 hasta 36,44 m para el lado derecho.

La infraestructura se conforma de 3 cepas estructuradas en base a pilote único de 2,5 m

de diámetro apoyado en roca que se conecta a una columna anular del mismo diámetro exterior que recibe a un dintel superior de 10,5 m de largo y 10,7 m de ancho, en donde se sustentan las vigas de hormigón. “Por las irregularidades detectadas en el suelo de apoyo, los estribos extremos se especificaron con zapatas de fundación directa sobre mejoramiento en el caso del estribo de entrada y sobre una batería de pilotes con dado de amarre conformado por unidades de 1,5 m de diámetro para el estribo de salida”, explica Daniel Gajardo. El desafío técnico más importante estuvo en la construcción de los pilotes con excavaciones ejecutadas manualmente y con equipos pequeños por la imposibilidad de llegar hasta el lugar con una máquina pilotera.

### Túnel: Manquehue I

Si en las alturas hubo desafíos, los cerros también impusieron retos. Los túneles del sector Oriente se construyeron a la medida. Anote estas cifras: Túnel Montegordo, con una longitud de 1.609 metros. Túneles de Manquehue II (el derecho de 732 m y el izquierdo de 805 m). Túnel de Manquehue I,

### SACYR EN CHILE

El grupo Sacyr Vallehermoso es actualmente el principal operador de infraestructura concesionada en Chile. El consorcio, a través de su filial Itínere Chile y su constructora Sacyr Chile S.A. construyó y controla las autopistas Elqui (La Serena-Los Vilos en el Norte); Los Lagos (Río Bueno-Puerto Montt en el sur); Rutas del Pacífico (Santiago-Valparaíso en la zona central); Litoral Central (Cartagena-Argarrobo) y las urbanas Nororiente y Américo Vespucio Sur, ambas en Santiago.

previsto como túnel falso de 157 m, pero que finalmente se construyó como túnel convencional o en mina.

Este último se roba la película. Actualmente terminado, salvo detalles menores, y con un ancho de excavación de 23,01 m y una sección de excavación de 204,4 m<sup>2</sup>, se convertirá en uno de los túneles con la sección circular más ancha del mundo.

Preste atención. Originalmente en el proyecto “había una solución de ‘falso túnel’, que consistía en excavar a lo largo del cerro y construir dos túneles falsos de hormigón y volverlos a rellenar”, comenta Guillermo García. Pero dado los problemas surgidos en la zona por concepto de movimientos de tierra, por no disponer de acceso por camino La Pirámide y por restricciones municipales, “buscamos una alternativa, y surgió la posibilidad de hacer los dos túneles en uno solo”, explica Lisardo Fernández, jefe de túneles de Sacyr.

Empecemos bajo los cerros. Cuando se decidió atacar la construcción del Manquehue I en mina, el MOP recordó la necesidad de mantener la funcionalidad vial. Esto impulsó la si-



**RECORRIDO DEL PROYECTO.**  
Parte en el Enlace Centenario y termina en la Ruta 5, a la altura del km 18,5.

guiente sección funcional: cuatro pistas de circulación de 3,5 m; dos bermas exteriores de 1,5 m; dos bermas interiores de 1,2 m; mediana de 0,6 m; dos aceras de 0,75 metros. Un ancho útil de 21,5 metros. ¿Misión imposible? Casi. El ancho era justamente la complejidad principal. ¿Cómo avanzar en una bóveda tan grande? "Como en este túnel la sección es mucho mayor, se hizo por etapas. Fue así como se incorporó, tanto como para el Manquehue I como para la construcción de los demás túneles, un Jumbo robotizado de tres brazos de Atlas Copco (Más información en Revista BIT 60, página 22, www.revistabit.cl). Esta máquina es capaz de perforar con precisión la secuencia de tiros que conforman la sección circular de 70 m<sup>2</sup> de un túnel, automáticamente, mediante la coordinación de sus brazos con martillos perforadores para roca, sin utilizar operador", indica García. En el caso del Manquehue I, como la sección era más grande de lo habitual, se hizo en dos etapas: Primero un avance que excava la parte superior del túnel hasta la mitad, conocido como

## TECNOLOGÍA DE PLASMA

Como la zona del Bosque de Santiago (Parque Metropolitano) se trata de un área residencial y hay cables de alta tensión, limitaba la aplicación de voladuras convencionales a cielo abierto, por lo que se empleó el "Sistema de Plasma". Se hace la secuencia, se colocan los cartuchos con siete o diez barrenos, se activan con la corriente eléctrica obteniendo la fracturación de la roca pero sin proyección de material.

También se ha usado "Voladura Controlada" con explosivo convencional, pero disminuyendo la carga. Se tratan de hacer los tiros más juntos y tapándolos con una malla se ha conseguido hacer voladuras pequeñas de 500 m<sup>3</sup> o 1000 m<sup>3</sup> sin proyecciones de escombros.

"avance", y en una segunda fase que remata la parte inferior, llamada "destroza". Según el tipo de material encontrado al interior, se avanza desde los 0,5 m a los 1,2 m por jornada de 24 horas.

Paralelo al sistema de excavación, que fue mixto (mecánico y voladura), se diseñaron tres tipos de sostenimientos: el primero sin cerchas o marcos metálicos para RMR (Índice Geomecánico) superiores a 50 puntos; el segundo, mixto para terrenos con una calidad comprendida entre 50 y 40 puntos; y el tercero, a base sólo de cerchas, para RMR inferiores a 40 puntos y emboquilles (intersección del talud y del túnel).

Vamos por parte. Si el suelo era malo, se

hacía un sostenimiento con marcos metálicos. "Se usaron cerchas HB280, que son de gran envergadura, poco aplicadas en túneles viales. Es un perfil gigantesco, hablamos de 28 cm de hierro. Primero se llevó a cabo la fase de instalarlos cada metro, en aquellos sectores donde el terreno era de mala calidad. Posteriormente se utilizó una retroexcavadora y una máquina elevadora. Luego venía el shotcrete", relata el experto en túneles. Si el suelo era bueno, se avanzaba con el Jumbo y se revestía con shotcrete.

Además, en todos los túneles se aplicó un novedoso sostenimiento para la bóveda. El uso de pernos de aluminio tipo Swellex 16, que reemplazan al que se hace mediante barras de

BIT 61 JULIO 2008 ■ 35

# Francisco Petricio

Trae a Chile la plancha de Acero  
Japonesa

más resistente al impacto y la abrasión

# EVERHARD®



## UTILIZADA EN

- Palas, Tolvas y Buldózers.
- Chancadores para la Minería.
- Piezas de Desgaste.
- Revestimientos para Mezcladores y Agitadores.

### ANTOFAGASTA

(55) 658 700  
cgarcia@fpetricio.cl

### IQUIQUE

(57) 409 000  
mnavarro@fpetricio.cl

### ALTO HOSPICIO

(57) 499 012  
rhidalgo@fpetricio.cl

### CALAMA

(55) 346 223  
carolina\_guarda@fpetricio.cl

### SANTIAGO

(2) 347 3200  
emunoz@fpetricio.cl



PERFIL TÍPICO SECCIÓN TÚNEL MONTEGORDO



PERFIL SECCIÓN TÚNEL MANQUEHUE I



Comparación de la sección funcional del túnel Manquehue I con la del Montegordo. Al lado, imagen real del Manquehue I, donde destaca su ancho de 21,5 metros.

inyección de mortero especial de cemento. “Estos pernos comienzan a trabajar desde el primer momento de su instalación, sin la necesidad de esperar tiempos de fraguado y de producción. Ésta se duplica respecto de los métodos tradicionales”, apunta Fernández.

Radialmente y entre las cerchas iban los pernos Swellex para dejar cosidas las posibles cuñas de rocas que se pudieran formar. Al ser tan grande la sección las cuñas podían ser poderosas. La contribución del Swellex a la construcción de los túneles fue valiosa. Un perno aporta una resistencia a la tracción, es decir, soportar una cantidad de toneladas. Por proyecto se iban a aplicar unos bulones (pernos) de hierro de 4 m e inyectados con lechada. ¿Qué ocurre con la lechada? Tarda en fraguar, y no se logra avanzar hasta que esa resistencia no tuviese una determinada cantidad de kilos. Esto queda en el pasado con los Swellex. “Son pernos de fricción que se inflan con aire y agua, se taladran y automáticamente entran en carga deformándose y cubriendo toda el área”, apunta Fernández.

Otro dato. “El pasar de un túnel falso a uno en mina minimizó los volúmenes de excavación en unos 400 mil m<sup>3</sup>, así como en aproximadamente 150 mil m<sup>3</sup> de rellenos”, expresa Lisardo Fernández. La adecuada decisión se refleja en el avance, que alcanzó una velocidad de excavación de 2,1 m/día,

completándose en cinco meses.

¿Qué queda por hacer hoy? Al cierre de esta edición se terminaba con los servicios, algunos sectores de hormigones y con la impermeabilización. Se terminaron seis boquillas o portales, equivalentes a un 90% de avance.

### Impacto ambiental y medidas de mitigación

“El proyecto fue sometido a la normativa medioambiental vigente donde se evaluó el impacto y las medidas de mitigación, compensación y/o restauración que se debían tomar”, apunta René Labra del MOP.

Como ejemplo más relevante se encuentra lo aplicado en el sector del Condominio El Almendral, que se ubica cercano al trazado de la Autopista en las proximidades del Viaducto Las Canteras y Portal Sur del Túnel Manquehue II, donde destacan, entre otras medidas, la aplicación de 160 m lineales de paneles acústicos –de 4 m de altura– para la atenuación de las emisiones de ruido durante la etapa de construcción, mediciones diarias de ruido de acuerdo a la normativa DS 146. “La Sociedad Concesionaria reglamentó el uso de maquinaria y vehículos para mantener los niveles de presión sonora dentro de los rangos legales. Asimismo, deben hacer mediciones de ruido y tomar las medidas correspondientes en caso de superar la norma”, indica el inspector del MOP.

Más medidas mitigatorias y compensatorias: Humectación en el proceso de excavación para evitar material particulado en suspensión; aplicación de 160 m lineales de doble hilera de cerco formado con pilares de acero y 580 m lineales de malla bizcocho y rashell; plan de comunicación a la comunidad; habilitación de caminos para el tránsito de la maquinaria al interior de la faja; aplicación de pretil de tierra para contener la posible caída de material; atravesos peatonales y vehiculares, y la protección de la fauna. Asimismo, para mitigar el impacto de los grandes terraplenes que se requieren en el paso de la autopista por el sector del Bosque de Santiago del Parque Metropolitano, se ha considerado la incorporación de Muros Ecológicos, consistentes en muros de tierra armada que producen un menor impacto debido a que éstos logran una mayor pendiente que los terraplenes comunes.

A toda velocidad se concreta una nueva puerta de acceso a Santiago. Un gran desafío a la ingeniería, con retos en la tierra como en el cielo. ■

[www.sacyr.com](http://www.sacyr.com)  
[www.concesioneschile.cl](http://www.concesioneschile.cl)

### EN SÍNTESIS

**La quinta autopista urbana de Santiago, que a julio lleva cerca de un 85% de avance y que debería estar operativa el 2009, destaca porque sus mayores desafíos constructivos se dieron en Viaductos y en Túneles. En las alturas y en tierra, los retos fueron y siguen siendo potentes. Tecnología de punta, logística y medidas de mitigación medioambientales, también están ligados a un proyecto que se anota como un reto a la ingeniería moderna.**

### AMPLIANDO EL PUENTE CENTENARIO

Al puente Centenario se le están eliminando las veredas peatonales con el objetivo de ampliarlo a cuatro pistas por lado. ¿Cómo se logrará? Mediante el uso de Fibra de Carbono. Este sistema de refuerzo se compone de láminas de resina epóxica, conocidas por su alta relación resistencia/espesor, que establecen una integridad estructural de manera similar a la de adherir bandas de acero. En ambos costados se hará una hendidura transversal a lo largo de la nueva pista. Estas láminas van espaciadas cada 14 cm y a una profundidad de entre tres a seis centímetros.





**DELLORTO**

La Creatividad no Tiene Límites  
Nuestros Vidrios Tampoco



[WWW.DELLORTO.CL](http://WWW.DELLORTO.CL)



Una empresa  
**CAH**  
PLC

**SOLUCIONES TECNOLÓGICAS DE CALIDAD INTERNACIONAL**

VIDRIOS LAMINADOS, TEMPLADOS, TERMOPANELES, SERIGRAFIADOS, ARQUITECTÓNICOS,  
INDUSTRIALES, ESPECIALES, HERRAJES Y ACCESORIOS • TEL.: 562-7511800