



La ejecución de una conexión vial de 1,8 km bajo el Cerro San Cristóbal más la construcción de la vialidad exterior de 2,2 km, totalizando 4 km de extensión, genera múltiples elementos de estudio como el sistema constructivo, las detonaciones, la aplicación de innovadores equipos de perforación y la utilización de avanzadas tecnologías para la seguridad del tránsito. El trazado merece un análisis especial.



# TÚNEL SAN CRISTÓBAL

# PROFUNDOS DESAFÍOS

MARCELO CASARES  
EDITOR REVISTA BIT





Imágenes virtuales de los futuros accesos norte al túnel San Cristóbal por el sector de La Pirámide.

**S** I POR UN SEGUNDO se repasa las congestiones vehiculares más afamadas de la ciudad de Santiago, seguramente el “taco de La Pirámide” estará entre las top ten. No es para menos, casi no deben existir capitalinos que no hayan pasado interminables minutos, tal vez horas, esperando que avance la interminable hilera de autos en ese tramo de la Avenida Américo Vespucio.

Claro, algo había que hacer porque esta incómoda situación no se encuentra en línea con la ciudad moderna que se sueña para el Bicentenario. Entonces, nada mejor que hacer una vía para unir a las comunas del sector norte de Santiago (Huechuraba y Recoleta) con la comuna de Providencia, atravesando el Cerro San Cristóbal. Tras una serie de modificaciones, que no estuvieron exentas de polémica (ver recuadro Dos caminos), se definió un trazado de 1,8 km subterráneos.

El proyecto consiste en un contrato de



### FICHA TÉCNICA

<b>Nombre:</b>	Concesión Variante Vespucio-El Salto-Kennedy
<b>S. Concesionaria:</b>	Sociedad Concesionaria Túnel San Cristóbal S.A.
<b>Presupuesto Oficial:</b>	2.500.000 UF
<b>Etapa del Contrato:</b>	Construcción
<b>Estado del Contrato:</b>	Con Obras Iniciadas
<b>Presupuesto de Inversión:</b>	2.468.294 UF
<b>Presupuesto de Obras:</b>	1.680.835 UF
<b>Decreto de Adjudicación:</b>	D.S. N° 1129 del 26.11.04
<b>Fecha Inicio Concesión:</b>	21.02.05
<b>Plazo Concesión (Meses):</b>	384 originalmente; 390 modificado (Según Res 1402)
<b>Fecha Término Concesión:</b>	21.02.37 originalmente; 21.08.37 modificado (según Res.1402)
<b>Fecha Inicio Etapa Const.:</b>	01.03.05
<b>Plazo Construcción (meses):</b>	34 originalmente; 40 modificado (Según Res 1402)
<b>Fecha Término:</b>	21.06.08

## TÚNEL SAN CRISTÓBAL Y LAS CONCESIONES EXISTENTES Y FUTURAS



Concesión denominada “Variante Vespucio-El Salto-Kennedy” que conectará Américo Vespucio en el sector El Salto, comuna de Huechuraba, con las avenidas El Cerro y Kennedy, pertenecientes a las comunas de Providencia y Las Condes respectivamente, formando parte del anillo intermedio propuesto por el Plan Regulador Metropolitano de Santiago. Pero ya está dicho, como en el medio hay un cerro la materialización de esta iniciativa requiere de la ejecución de una serie de obras, destacándose obviamente la construcción de dos túneles unidireccionales con una longitud de 1,8 km, cada uno. Además, se realizarán 8 galerías

de interconexión, 1,8 km de camino unidireccional de 2 pistas de 3,5 m de ancho con mediana de ancho variable y bermas de 1,5 metros. A esto se suma la implementación de dos portales de cobro electrónico, el suministro e instalación de equipos de ventilación, iluminación, comunicación y control de incendios en los túneles, y las conexiones al nudo vial Américo Vespucio-El Salto, al de Kennedy-Lo Saldes, y a la Avenida El Cerro. Las obras se iniciaron en diciembre de 2005 y el plazo de entrega se extiende hasta el 21 de junio de 2008.

Cada faena encierra su grado de complejidad por los aspectos relacionados con su



Ejecución de faenas y accesos en el sector sur del túnel San Cristóbal.

ejecución, pero también por las medidas que se deben tomar para que produzcan el menor impacto posible en el entorno, en especial si consideramos que en la zona se encuentra uno de los parques más importantes del país y barrios tradicionales como el de Pedro de Valdivia Norte.

### El túnel

Para la construcción de los dos túneles unidireccionales, que totalizan 3.656 metros, se utilizó la metodología del Diseño Estructural Activo (DEA), que básicamente considera el empleo de cálculos tenso-deformationales sumamente afinados. Éstos se retroalimentan durante la construcción, por medidas de convergencias para comprobar y mejorar las previsiones de cálculo. Los principios del DEA se sustentan en un buen conocimiento de las características del terreno, utilizando para ello la clasificación de BIENIAWSKI para estimar las propiedades del macizo. De esta manera, durante la construcción a través de la caracterización de los frentes de avance se escoge el sostenimiento tipo diseñado, luego, mediante la medición de las convergencias se verifica el comportamiento tenso-deformational real del terreno con lo proyectado. En caso de existir diferencias apreciables, se modifican las características del sostenimiento.

El sistema de excavación (mediante explosivos, mecanizada o mixta), los pases de avance en metros y la tipología de los sostenimientos utilizados en la construcción del túnel (pernos de sostenimiento, marcos TH-29, sellado del perímetro con shotcrete de 3 cm de espesor, y capa de sostenimiento de espesor variable, contra bóveda de hormigón armado y revestimiento de shotcrete de 5 cm de espesor mínimo) varía según el tipo de roca que presenta el macizo.

Entonces, el primer paso consistió en el análisis del tipo de material que compone la geología del Cerro San Cristóbal. Se detectó una sucesión de andesitas, tobas y brechas volcánicas, rocas intrusivas, depósitos cuaternarios no consolidados (suelo), depósitos eluviales, depósitos de falda y de fondo de quebrada. Entre las conclusiones sobresale que el lado norte (Américo Vespucio) y el sur (El Cerro) presentan notables diferencias en la composición rocosa. “A través de sondajes y estudios geoelectrónicos evaluamos la calidad de la roca que varía



según su humedad, resistencia a la compresión y fractura. Nos encontramos en el norte con rocas de gran consistencia, mientras en el sur predominaban los elementos fracturados con depósitos con material de baja calidad”, afirma Carlos Uribe, Inspector fiscal del Ministerio de Obras Públicas.

Ahora que el cerro ya no tenía secretos, se definieron dos sistemas de excavación para los túneles. En el sector sur se realiza principalmente de manera mecánica empleando martillo hidráulico y pala excavadora. A medida que avanza la faena, se fortifica la abertura con marcos metálicos TH-29 y shotcrete. Sistema aplicado hasta alcanzar roca de mejor calidad que permita el uso de explosivos y fortificación con pernos y shotcrete.

En cambio, en el lado norte la faena se pone más interesante ya que por la mayor consistencia del macizo se utiliza excavación con explosivos empleando avanzada maquinaria tipo jumbo para la perforación de los tiros. Se aplican diagramas de disparo normalmente a sección completa con 96 a 102 tiros, y largos de perforación desde 1,8 a 4,6 m dependiendo de las restricciones de ruido a generar, competencia de la roca y cercanía a fallas. El explosivo consiste en una emulsión PDBG para la carga de columna, más Tronex plus como carga de fondo y Softron para el recorte. Se emplean tres tipos de detonadores según la tronadura. Para la explosión estándar se usan los detonadores Nonel serie MS y LP, más cordón detonante y mecha compuesta (sin restricción ruido y vibraciones). Para tronadura controlada se aplican los NONELES EZTL más cordón detonante y mecha compuesta (restricción de vibraciones) con descarga tiro a tiro. Por último, para explosión silen-



Los túneles se fortifican a través de la aplicación de shotcrete de espesor mínimo de 5 cm y la colocación de pernos de anclaje. Faenas en el sector norte.

cia se utilizan los NONELES EZTL más racimos de tubos de iniciación NONEL y mecha compuesta (restricción de ruidos).

### Bajando el volumen

No por casualidad se emplean tres detonadores distintos, porque una de los grandes desafíos de esta obra consiste en disminuir el impacto acústico. “Las emulsiones son similares, la diferencia radica en los detonadores y por eso hemos probado todas las tecnologías disponibles para realizar con eficiencia la faena pero también para disminuir el nivel de ruido. Asimismo evaluamos

un sistema electrónico que cuesta 20 veces más que el estándar, pero que no presenta grandes diferencias en términos acústicos sólo en relación a la calidad del corte”, señala Uribe.

Antes de comenzar con las medidas de mitigación, hay que dejar en claro que las detonaciones se escuchan y la onda sonora que generan, por ejemplo, hace vibrar los ventanales de las oficinas de la Ciudad Empresarial.

En este aspecto se pueden diferenciar dos escenarios. En el sector norte las zonas

# Muros de Contención

**BOTTAI**  
SOLUCIONES EN CONCRETO



### VENTAJAS:

- Son transportables
- Son reutilizables
- Son fabricados a medida
- Tienen un fragüe controlado a vapor
- Control de calidad en fábrica
- Entrega de certificados de calidad
- Asesoría en la utilización de sus productos

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

comercialbottai@bottai.cl

Fono: (56-2) 413 1200

Fax : (56-2) 413 1235





Planta general del Proyecto

## TECNOLOGÍA EN LAS PROFUNDIDADES

El Cerro San Cristóbal se atraviesa con tecnología. Se trata de dos túneles de dos pistas cada uno, ambas en sentido unidireccional que suman un total de 3.656 m, con restricciones de trazado para una velocidad de proyecto de 80 Km/hora, con una pendiente longitudinal de 2,5 %, condición que permite aumentar la capacidad vehicular y disminuir la emisión de contaminantes.

Para mayor seguridad, se facilita el acceso a los servicios de emergencia o mantenimiento, y se ha previsto la interconexión de los túneles a través de una galería vehicular constituida por una pista de 3,80 m de ancho con un gálibo mínimo de 3,70 metros. Además, para una evacuación rápida de los usuarios en caso de incidentes graves se proyecta la construcción de 7 galerías peatonales constituidas por una escalera de 1,80 m de ancho y una rampa de 2,20 m de ancho con un gálibo mínimo de 3,70 m, distanciadas unos 200 m entre bocas consecutivas. En total son 8 galerías considerando la vehicular de emergencia. En las proximidades de la galería vehicular se diseñaron bahías de estacionamiento (una en cada túnel).

Los servicios previstos para el funcionamiento de los túneles incluyen:

- Turbinas tipo jet para la impulsión del aire de ventilación.
- Luminarias para asegurar los niveles de iluminación requeridos.
- Paneles esmaltados en su cara visible (mejoran las condiciones de iluminación).
- Bandejas para la conducción de cables.
- Red húmeda en acero para conducir agua a presión contra incendios.
- Colector aguas de drenaje.
- Grupo electrógeno diesel y sistema de alumbrado de emergencia anti-incendio.
- Detectores (humos, utilización de extintores, CO<sub>2</sub>, partículas en suspensión), cámaras de TV, y sistema de poste SOS cada 150 metros.
- Sistemas de control de tráfico, de comunicaciones (usuarios – centro de control) y de altoparlantes.
- Centro de control.

residenciales cercanas a la obra son Bosques de La Pirámide (1.600 m) y El Salto (700 m), además del parque industrial de Huechuraba a 600 metros. Inicialmente se restringieron las tronaduras a horario diurno y con menor intensidad. A medida que se avanzó con la ejecución del túnel se pudo aumentar la carga de explosivos, para finalmente hacer tronadura sin restricción en la actualidad. “El impacto acústico producido por las tronaduras en el norte, si bien inicialmente fueron objeto de quejas por parte de sectores como el condominio Bosques de La Pirámide, siempre estuvo acorde con el DS. 146/97 del MINSEGPRES. No obstante se realizaron restricciones de horarios para no causar una mayor molestia a los vecinos en la noche, porque la disminución del ruido de fondo provoca un aumento en la percepción de la tronadura sin que esto genere incumplimiento en lo normativo”, asegura Uribe.

A la fecha (noviembre de 2006), por el avance de los túneles de la zona norte (586 y 566 m), y la ejecución de 2 galerías de comunicación entre dichas construcciones (situación que ayuda a la dispersión del ruido) se han liberado todas las restricciones para las tronaduras.

En el sector sur también se alzaron las voces de los vecinos por ruidos molestos por efecto de las tronaduras. No es para menos, ya que sólo a 150 m de la faena se encuentra el barrio Pedro de Valdivia Norte. Por ello, se mantiene la restricción de ejecución diurna con un avance máximo de 2,8 m con detonaciones controladas, con monitoreo de ruidos para ver el efecto acústico en el medioambiente. Hay que subrayar que debido a las condiciones geológicas del lado sur, a la fecha se han llevado efectuado sólo 53 tronaduras en contraposición a las 196 ejecutadas en el sector norte.

Según la Inspección Fiscal del MOP, con estas medidas más el uso de pantallas acústicas en el sur y cortinas de caucho doble en la boca del túnel se ha logrado restringir los niveles de ruido a los límites impuestos por el DS N° 146/97.

Hay otra preocupación de peso entre los vecinos a la obra, ¿tiembla la tierra con las detonaciones? En la concesionaria son terminantes. “No”. ¿No se producirán fisuras en las casas cercanas? “No”. Entonces, ¿por qué se mueven los ventanales? La explicación no tarda en llegar. “Las medicio-



## EL DERRUMBE

El 18 de noviembre se produjo un deslizamiento de talud en el sector de La Pirámide, a 200 m de donde se construye el acceso norte al túnel San Cristóbal. Si bien el incidente no produjo daños a personas ni tampoco llegó a las pistas de la vía, ocasionó el cierre del camino La Pirámide durante cuatro horas con una congestión de taco que superó los tres kilómetros. El deslizamiento involucró unos 6.000 m<sup>3</sup> de tierra, abarcó una franja de 60 m de largo, 25 m de alto y entre 3 y 4 m de profundidad. La ladera del cerro en este sector se encontraba protegida con 12 centímetros de hormigón proyectado (shotcrete) y pernos de anclaje de 3 m de largo en su sección superior. Hasta fines de noviembre, se realizaba una investigación para determinar las causas del accidente, aunque se descartó que el evento fuera ocasionado por las tronaduras, porque éstas provocan nula vibración y se realizan a más de 800 m, de los cuales más de 500 m están dentro del túnel.

nes realizadas con sismógrafos (geófonos) en distintos puntos próximos a las faenas dan 0. Es decir, no se registra ningún movimiento del suelo a causa de las tronaduras y se descarta cualquier riesgo para las construcciones vecinas. Las vibraciones que se perciben en grandes ventanales se producen a causa de las ondas sonoras, pero no por otra razón", afirma Rüdiger Trenkle, gerente técnico de la Concesionaria Túnel San Cristóbal.

## Jumbo poderoso

No se trata de la expansión incontenible de una cadena de supermercados, pero fortalezas no le faltan al jumbo utilizado para hacer las perforaciones de los tiros en la excavación de los túneles. Si bien se trata de una maquinaria utilizada habitualmente en

la minería chilena, para este proyecto se adquirieron tres maquinarias, dos de las cuales corresponden al último modelo y ése no es un tema menor.

"Su operación es completamente computacional. Se cargan en su memoria los diagramas de tiro y éstos se ejecutan en forma perfecta. No hay margen de error por acción humana. En caso de existir alguna modificación de último momento, el operador puede intervenir el programa", comenta Uribe.

Sin rodeos, el equipo es top. Sus tres brazos logran perforaciones impecables, es una maquinaria silenciosa, cuenta con avanzados programas computacionales, posee poderosas perforadoras hidráulicas y requiere de un solo operador.

"Esta tecnología entrega alto valor agre-



Imagen virtual con los accesos que tendrá en el futuro el túnel San Cristóbal en el sector sur.

MESE MÜNCHEN INTERNATIONAL

# 2007

# bauma

23 - 29/4 MÚNICH

CON MINING

## NOVEDAD

Encargue gratuitamente el Newsletter de bauma, con los últimos desarrollos, novedades e informaciones de contexto:

[www.baumanews.de](http://www.baumanews.de)

### THE NUMBER ONE

Extraordinarias perspectivas para la feria mundial número uno de la industria de la construcción y la minería. Bauma volverá a batir récords en 2007:

- 3.000 expositores de 48 países
- 540.000 m<sup>2</sup> de exposición: la mayor feria del mundo
- Máxima participación internacional gracias al fomento de contactos
- Óptima y fructífera incorporación de la oferta del sector minero

Infórmese en bauma 2007 sobre las últimas novedades de toda la industria de la construcción y la minería. El liderazgo y la fuerza innovadora de la feria a su servicio.

[www.bauma.de](http://www.bauma.de)

ufi Approved Event

Cámara Chileno-Alemana de Comercio e Industria  
Santiago de Chile - Tel. (02) 203 53 20 - Fax (02) 203 53 25  
ferias@camchal.com - [www.camchal.com](http://www.camchal.com)

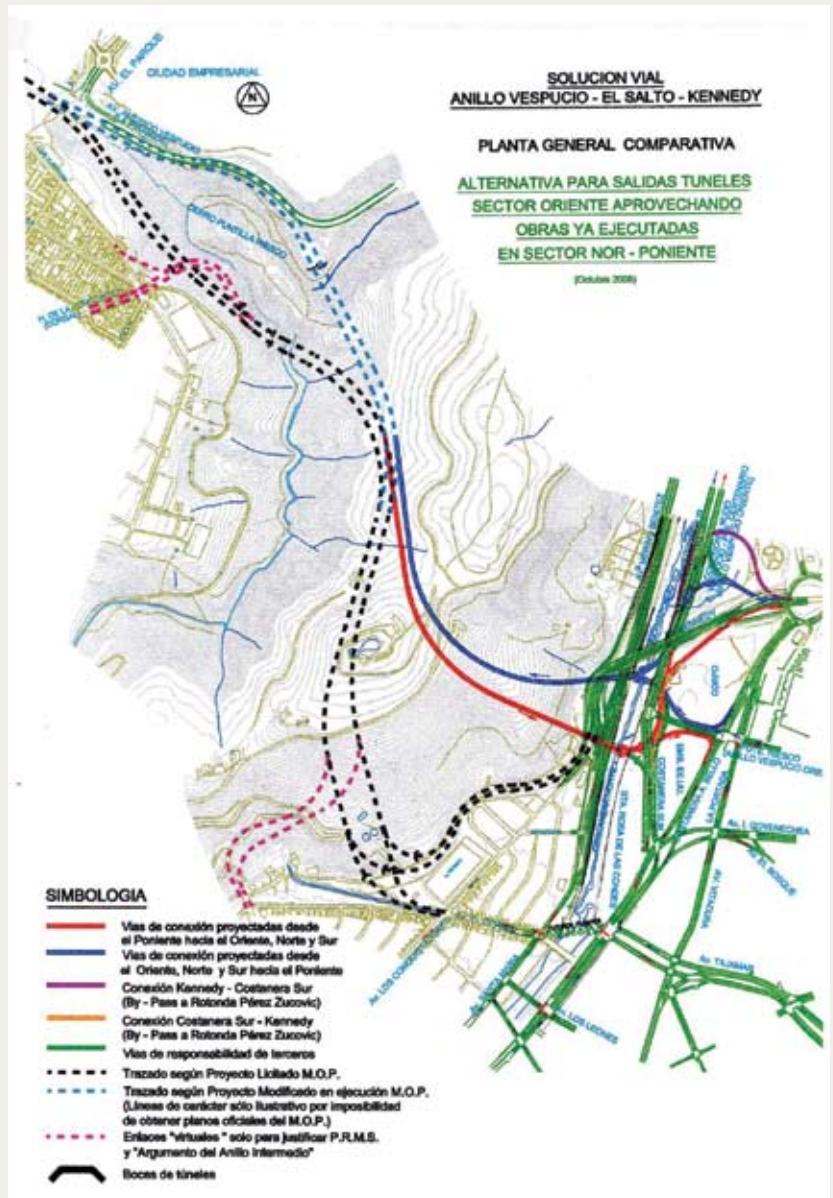
## DEBATE: DOS CAMINOS

El trazado del proyecto no estuvo exento de polémica. “Hemos presentado una alternativa concreta para la salida oriente de los túneles que aprovecha las obras que se encuentran en ejecución (ver plano). Sin embargo, esta propuesta no ha sido considerada por el Ministerio de Obras Públicas. Nuestros abogados están recurriendo a la Justicia con el fin de detener las obras y hacer valer nuestros derechos y las disposiciones legales y ambientales vigentes”, señala Juan Luis Moure, vicepresidente de la Junta de Vecinos de Pedro de Valdivia Norte.

El autor de la propuesta alternativa, el ingeniero Samuel Tupper, quien también es el autor de la Idea Privada original de la Concesión, señala sus ventajas: “Manteniendo toda la conectividad necesaria, y aprovechando las obras ya ejecutadas el diseño de la nueva solución no afecta en absoluto al barrio Pedro de Valdivia Norte y evita todas las obras proyectadas en esa zona, especialmente los cruces con semáforos múltiples de Avenida El Cerro con Los Conquistadores y Santa María, y el colapsado nudo Lo Saldes”. Para Tupper otras ventajas trascendentes radican en que, “mediante la habilitación de la Costanera Sur y enlaces complementarios, alivia en gran medida la congestión vial de la rotonda Pérez Zujovic y permite cerrar el Anillo Vespucio Oriente, ahorrando al mismo tiempo cuatro puentes y dos viaductos”.

En la Inspección Fiscal del MOP explican que el proyecto consiste en una conexión vial y no en una autopista, y por ello no resulta descabellado que la salida de los túneles sea a la Avenida El Cerro. “Hay que conectar este proyecto con la ciudad en algún punto y ese punto es la Avenida El Cerro, porque ése es el objetivo de la concesión unir Huechuraba con Providencia. Tal vez en la hora de mayor circulación se produzcan tacos, pero serán mucho menores a los que se originan actualmente en La Pirámide”, argumenta Carlos Uribe. El profesional señala que antes de que entre en operación la concesión se le cambiará la cara a la Avenida El Cerro y su actual “pista y media” por sentido se ensanchará en 1,5 m por cada lado, para contar con dos pistas estándar, y se construirá un bandejón central que incluirá la iluminación, similar a la estética que presenta la Avenida Los Leones incluyendo el componente peatonal.

En relación a la propuesta de trazado de los vecinos, Uribe sostiene que resulta inviable porque “no se puede construir un túnel



### Propuesta de trazado de túnel presentada por Junta de Vecinos de Pedro de Valdivia Norte.

con este nivel de curvatura y con pendientes tan pronunciadas porque dificulta ostensiblemente el tránsito. Además, esa alternativa representa un aumento de costos del orden de los US\$ 12 millones”.

La Comisión de Obras Públicas de la Cámara de Diputados, luego de escuchar a los vecinos acordó, por unanimidad, oficiar al Ministro Bitrán y a la Comisión Echeñique, asesora del MOP, a fin de que estudien las proposiciones de solución vial propuestas por la Junta de Pedro de Valdivia Norte, así como también citar al Ministro para recabar informaciones sobre la Concesión en general y sobre el derrumbe que la afectara recientemente. Al cierre de esta edición, el ministro de Obras Públicas, Eduardo Bitrán, se presentaba ante dicha Comisión.





## En la ejecución de los túneles se emplean jumbos de última generación que destacan por perforaciones perfectas, avanzados programas computacionales y poderosas perforadoras hidráulicas.

gado. Antes en esta faena era insoportable el ruido. Nuestros diagramas promedio por tronadura son de 100 tiros de 4 m de largo. Esta faena el jumbo la ejecuta en una hora y media. Hace cinco años una actividad idéntica demandaba unas 3 horas y hace una década un día completo”, agrega Uribe.

El rendimiento de este equipo explica en buena parte los niveles de avance que alcanza la obra, con unos 8 m diarios, a través de dos tronaduras cada 24 horas. Estos resultados se obtienen en el lado norte, “superando las expectativas originales”. La idea es que los frentes que trabajan simultáneamente en el lado norte y sur se encuentren entre abril y junio del 2007. “Esto nos dará un año para ‘vestirlo’, es decir, instalar los servicios y pavimentar”, dice Uribe.

### El entorno

La instalación de faenas, la logística y la protección del entorno resultan otros elementos fundamentales en la ejecución de esta conexión vial, porque no se puede olvidar que las faenas se ejecutan en el Parque Metropolitano de Santiago, uno de los principales pulmones verdes de la capital.

En el lado norte, las instalaciones para los trabajadores, materiales y maquinarias se

localizan en un espacio ganado al cerro ocupando cerca de 0,4 hectáreas. En el lado sur la instalación de faena se realizó en una “zona eriaza, donde no había vegetación, sin afectar en lo más mínimo el parque”, asegura Trenkle.

Como en todo proceso de excavación, se deben retirar altos volúmenes de material, labor que realizan en camiones con capacidad de hasta 20 m<sup>3</sup>. En el lado norte, se diseñó un camino provisorio interior con el objetivo de evitar la congestión de las calles aledañas. En el sector sur los camiones salen por una calle interna que conecta con la avenida Los Conquistadores. En ambos casos, se lavan las ruedas de los vehículos y se encarpan antes de salir del lugar de faena.

En cuanto al parque, también se realizaron medidas de mitigación para reducir el impacto de las obras según el Estudio de Impacto Ambiental Referencial (EIAR) elaborado por el MOP. Allí se establecen acciones para la protección de la fauna como la captura y relocalización de dos especies de reptiles en categoría de Conservación, encontradas en sector norte de La Pirámide y liberadas en el sureste cerca del Jardín Chagual en condiciones ambientales adecuadas para su refugio y desarrollo.

En términos de flora, el EIAR incluye la corta y reforestación de bosque. En el norte se aprueba la corta de 0,8 hectáreas y la reforestación con especies como Quillay, Espino, Huingán y Pimientos en el año 2007. En el sector sur se definió intervenir 1,8 hectáreas, para reforestarlas el año próximo. Ambas actividades fueron autorizadas por el SAG y CONAF, respectivamente, y fiscalizadas por la Inspección Fiscal.

El proyecto apunta a dar más señales de transparencia y se encuentra estudiando la implementación de un sistema de monitoreo con cámaras IP operando inalámbricamente (WIFI), para que desde cualquier computador se pueda observar el desarrollo de la obra.

Se espera que a más tardar el 21 de junio de 2008 esta conexión vial entre en operación, dejando en el olvido uno de los tacos con más historia de Santiago. ■

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

[www.elsalto-kennedy.cl](http://www.elsalto-kennedy.cl)

### EN SÍNTESIS

**El túnel San Cristóbal unirá las comunas del norte de Santiago (Huechuraba y Recoleta) con Providencia y Las Condes. Se trata de una conexión vial que incluye un túnel de 1,8 km bajo el Cerro San Cristóbal y la ejecución de la vialidad exterior de 2,2 km, totalizando 4,0 km de extensión. En la construcción se utiliza avanzada tecnología como un jumbo que se caracteriza por su rapidez y exactitud. El trazado de esta vía genera polémica, existiendo una alternativa de diseño presentada por los vecinos de Pedro de Valdivia Norte.**