



GENTILEZA GEOCONTROL

TÚNELES

INNOVACIÓN BAJO TIERRA

El sistema de concesiones, las expansiones de la red de Metro, la llegada masiva de soluciones constructivas extranjeras y la creciente actividad minera marcan las nuevas tendencias en la ejecución de túneles en Chile. Nuevos elementos de sostenimiento y fortificación, la automatización de maquinarias y modernos software de simulación y levantamiento tridimensional, representan sólo algunas de las innovaciones introducidas en los últimos años. Descendemos a las profundidades para detallar las novedades aplicadas en emblemáticos proyectos subterráneos de nuestro país. Además, desde el fondo de la tierra buscamos desentrañar la pregunta que se hace el sector: ¿Por qué en Chile aún no se utilizan las máquinas tuneladoras? Hay respuestas.

DANIELA MALDONADO P.
PERIODISTA REVISTA BIT

LA INVITACIÓN ES UNA SOLA: Un viaje al centro de la tierra. No se trata de leer la maravillosa obra de Julio Verne, pero no se puede negar que la construcción de un túnel significa ingresar a una nueva dimensión. La oscuridad, la humedad y el polvo constituyen sólo algunos de los ingredientes que hacen atractiva esta aventura. Además, sabemos de memoria que por la caprichosa geografía de nuestro país y la intensa actividad minera, resulta indispensable proyectar un nuevo túnel prácticamente a diario.

El objetivo es claro. En este artículo repasaremos algunas de las últimas novedades técnicas en la construcción de túneles en Chile y el mundo. Tras la investigación, se observan desarrollos en diversas áreas vinculadas con esta infraestructura como nuevos productos para sostenimiento y fortificación, innovación en maquinaria, sofisticadas tecnologías para simulación y las monumentales máquinas tuneladoras, que aún no desembarcan en nuestro país, más allá de alguna experiencia aislada. Ahora sí, no olvide colocarse los elementos de seguridad

y a descubrir algunas de las innovaciones que encontramos bajo tierra en la construcción de los más recientes túneles chilenos. Encienda la linterna, hay mucho para ver.

Productos para sostenimiento y fortificación

¿Por dónde empezar? No es fácil. Los nuevos desarrollos de la industria apuntan a brindar nuevas soluciones en las más diversas áreas relacionadas con la construcción de túneles. Desde avanzada maquinaria hasta complejos software. Sin embargo, en esta descripción de novedades comenzamos con los productos para sostenimiento y fortificación de corredores como las fibras sintéticas y aditivos. Empezamos.

Fibras para sostenimiento: Tradicionalmente en los métodos constructivos de túneles en los que se utiliza el hormigón proyectado o shotcrete, éste es reforzado con el uso de mallas de acero, las que quedan embebidas entre las capas de shotcrete. En reemplazo de esta malla, surgió la fibra de acero, solución que al mezclarla y dispararla a presión, junto al hormigón, produce una capa autocompactante que



GENTILEZA SANDVIK

Con el uso mixto de shotcrete y malla de acero se logra el doble de capacidad de soporte, asegura el proveedor.

mejora la durabilidad, y las propiedades mecánicas del hormigón proyectado (resistencia a la flexión, mayor ductilidad y resistencia a la fatiga y al impacto).

Durante la construcción de la Central Ralco, Ingendesa en colaboración con proveedores de fibras, efectuó exhaustivos ensayos en laboratorio para validar el uso de las fibras de acero como técnica de sostenimiento. "La incorporación del uso de fibras como alternativa a la tradicional malla de refuerzo reticulada, ha permitido mejorar significativamente los ciclos de excavación, además del aporte en prevención de riesgo al evitar la presencia directa de personal en la frente de avance antes de la aplicación del hormigón", comenta Gonzalo Chamorro, jefe especialidad obras civiles de Ingendesa. Esta fibra llegó a Chile hace algunos años, sin embargo, en el último período se ha masificado especialmente en los proyectos de metro y en las autopistas urbanas.

Fibra sintética estructural: Bajo el mismo concepto anterior pero más reciente, este producto consiste en filamentos de polipropileno de 50 milímetros de largo que se aplican a la masa del hormigón, cuando éste se mezcla en la planta o en el camión mixer, y se proyectan junto al shotcrete. Con este refuerzo, no es necesario colocar la malla tejida de acero, una faena riesgosa que demanda en promedio unas tres o cuatro horas.

En 2002, la Superintendencia de Geomecánica de la División El Teniente decidió investigar si esta fibra sintética estructural, ya utilizada en países como Australia y Sudáfrica, podría reemplazar a la malla de acero bajo condiciones de carga estática. Para esto, y acogiendo una solicitud de la empresa Grace Construction Products decidió realizar ensayos de laboratorio y una prueba industrial para validar técnicamente y en terreno el desempeño de este tipo de fibra. Grace encargó este estudio a la Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad Católica de Chile (DICTUC), que efectuó pruebas con tres dosificaciones distintas. Los resultados fueron favorables. Con la incorporación de la fibra sintética denominada Strux 85/50, con una



GENTILEZA GRACE CONSTRUCTION PRODUCTS

dosificación de 7 kilos por m³ de shotcrete y aplicando una capa de shotcrete de 10 centímetros, se logra un comportamiento similar al shotcrete de igual espesor con malla tejida, en cuanto a capacidad de carga y absorción de energía. Además, los estudios realizados por la empresa SPG S.A. indicaron que esta tecnología alcanza disminuciones de tiempo del orden del 30% al 60%. Por otra parte, se reducen considerablemente los riesgos de accidentes al no tener que utilizar la malla y al aumentar la resistencia del hormigón.

Adicionalmente, esta solución permite modificar la cantidad de fibra suministrada al hormigón. Al aumentarla por ejemplo, se incrementa la resistencia y si hay lugares con rocas más duras se disminuye el volumen aplicado. Los estudios también mostraron las ventajas del comportamiento de ambos sistemas (fibra y malla) empleados en conjunto. "Con una capa de shotcrete con fibra sintética y la colocación posterior de la malla de acero se logra incrementar al doble la capacidad de soporte. Un proyecto que demanda tres años, se podría hacer en dos", enfatiza Bernardo Vicencio, asesor técnico comercial de Grace Construction Products, empresa que importa este producto desde Estados Unidos.

En 2004, la División El Teniente comenzó la aplicación de la fibra sintética en un túnel de ventilación denominado Adit 72. Además, ha especificado el uso mixto de shotcrete y malla de acero a la vista o protegida por una capa de shotcrete no estructural, en la recuperación de 25.000 m² de túneles y galerías. Esta fibra también se aplicó en túneles de centrales hidroeléctricas, en la Línea 4 del Metro y en diversas obras de infraestructura minera.

www.graceconstruction.com

Aditivos para el hormigón: Además de fibras, llegaron a Chile nuevos aditivos que aumentan la resistencia del shotcrete una vez proyectado. En marzo de 2006 se lanzó un hiperplastificante con nano compuestos líquidos que actúan en forma similar a las mezclas con sílice en polvo, sin embargo, su condición líquida permite una serie de ventajas técnicas y medio ambientales. La incorporación de nano compuestos disueltos junto con el agua de amasado se dispersa en la masa del hormigón, rellenando



Con la utilización de aditivos líquidos para fortificación se minimiza la generación de polución, se reducen los tiempos de carguío, además de conferir un alto grado de resistencia e impermeabilización.

GENTILEZA SIKA S.A. CHILE



GENILEZA SANDVIK

En el Túnel San Cristóbal se utilizó un moderno jumbo computarizado que, gracias a un software, realizaba una perforación exacta.

los espacios entre partículas de cemento y áridos finos confiriendo características de impermeabilidad y mayor durabilidad a la estructura al reducir la relación agua/cementante, junto con mejorar su trabajabilidad y elevar sus resistencias mecánicas, señalan en Sika Chile, empresa que fabrica el producto denominado Viscopcrete 30 – HS CL.

El nanosilíce se encuentra en el aditivo modificado y en combinación con otras materias primas, entre las que se encuentran aditivos hiperplastificantes (policarboxilatos complejos), que le confieren las características necesarias para competir técnicamente con diseños de hormigón que contienen sílice.

Como adición activa en hormigones destaca por reducir la exudación, disminuir el rebote en el shotcrete y aumentar la densidad del producto final. Además, aminora considerablemente la polución que se genera con soluciones similares. Entre las obras realizadas con este producto destaca el Túnel El Salto-Kennedy con 35.000 m³ de hormigón proyectado y la extensión a Maipú del Metro, con 10.000 m³ del mismo material. www.sika.cl

Equipos computarizados para perforación

El método de perforación y tronadura (drill and blasting) se caracteriza por la repetición cíclica de las diferentes actividades. Cada ciclo permite el avance de la construcción y cualquier error en la perforación resulta sumamente complejo de rectificar en los trabajos posteriores. Para lograr más exactitud y rapidez en esta fase, se han desarrollado equipos de perforación modernos que incluyen tecnologías computacionales. “Se trata de jumbos que poseen en su cabina computadores con un avanzado software que indica el tipo de perforación que debe hacer la máquina”, señala Ernesto Romero, product line manager de Sandvik Chile.

Esta maquinaria consta de un motor diesel. Por su parte, cada brazo cuenta con un motor eléctrico, que al accionar un sistema hidráulico permite su movimiento. A su vez, cada extensión consta de vigas, barras, brocas y un martillo hidráulico, que operan siguiendo las indicaciones del sistema de control automático bajo la supervisión de un operador. “Los equipos se adaptan a las necesidades del terreno con uno, dos o tres brazos, más el canasto de apoyo, teniendo un gran alcance de perforación”, comenta Romero.

Hay más datos. “Los equipos incorporan un sistema de control que realiza funciones automáticas en los procesos de perforación como auto-emoquillado y protección anti atasco”, comenta Baudilio Guerrero, key account manager de Atlas Copco Chilena S.A.C.

Estas maquinarias aseguran un posicionamiento y perforación exactos, preprogramando la perforación, basadas en un diagrama de

disparo. Su utilización aumenta la productividad y optimiza los costos, enfatizan los proveedores. El primer equipo con sistema de control automatizado lo trajo Atlas Copco en 1998. En 2000 la empresa Sandvik importó desde Finlandia una maquinaria computarizada para perforaciones en la central Ralco. Para las perforaciones del túnel San Cristóbal incorporaron una maquinaria traída a Chile especialmente, donde se usaron barras de 4,80 m con un avance de 2,50 m por minuto (más información sobre el Túnel San Cristóbal en BIT 52, pág. 26).

www.sandvik.com; www.atlascopco.cl

Tecnologías de la información

Sistemas de simulación computacional: Los proyectos de excavación subterránea para túneles se caracterizan por ser emprendimientos de gran envergadura. La incertidumbre y complejidad de las operaciones asociadas a este tipo de construcción y el corto plazo disponible para la ejecución, convierten a la planificación y análisis de operaciones en una etapa clave. En este contexto, surgen los sistemas computacionales de simulación. Un software que permite crear un modelo digital que incluye interacciones en el tiempo entre equipos, personal y materiales e incorporar lógica, variabilidad e incertidumbre, además de asignar prioridades a los recursos, elementos que en un análisis tradicional es casi imposible añadir.

Un modelo de simulación reproduce la lógica operacional de funcionamiento mediante reglas lógicas y de operación. Se puede introducir en el programa los datos de la topografía del lugar, los accidentes geográficos y los caminos, entre otros, y se visualiza el

ALGUNOS MÉTODOS CONVENCIONALES PARA LA EJECUCIÓN DE TÚNELES

MÉTODO A TAJO ABIERTO: Excavaciones con taludes o con paredes entibadas, utilizando puntales.

Sistema utilizado en los primeros años de la construcción subterránea del Metro. Genera inconvenientes al producir serias alteraciones a la vialidad urbana.

NATM: Método austriaco que consiste en la excavación secuencial a sección completa de la sección transversal de un túnel, seguida cíclicamente de la instalación inmediata de un revestimiento primario que combina el uso de hormigón proyectado reforzado con mallas o fibras metálicas, pernos de anclaje, marcos metálicos y/o barras de refuerzo, otorgando al terreno un confinamiento suficiente para que éste pueda participar activamente en la función portante. En una segunda fase se coloca el revestimiento definitivo, cuya misión es la de soportar las cargas del terreno una vez deteriorado este sostenimiento primario. (Más información sobre este método en BIT N° 39, pág. 22).

PERFORACIÓN Y TRONADURA O DRILL AND BLASTING: La excavación se hace en base a explosivos, generalmente dinamita. Su uso adecuado es muy importante para la seguridad del personal y el éxito de la tronadura.

HISTORIA Y PRESENTE

La construcción de túneles se remonta a los tiempos prehistóricos cuando el hombre realizó excavaciones para el transporte de agua, extracción de minerales y para fines religiosos y militares. Desde entonces, la tecnología involucrada en la construcción de túneles se ha desarrollado hasta vencer casi cualquier obstáculo geográfico.

Chile se encuentra cubierto por un alto porcentaje de cerros, montañas y lomajes, lo que exige una cantidad considerable de obras subterráneas. En 1910 parte la construcción de túneles ferroviarios y 39 años después comienza la incursión en túneles viales. Un hito lo marca el túnel El Melón ejecutado en 1994 bajo la modalidad de concesiones, es decir con la conservación, mantención y operación de la infraestructura del túnel, a cargo de la empresa concesionaria. A partir de allí firmas extranjeras, también estimuladas por una creciente actividad minera, comenzaron a introducir tecnologías e innovaciones en nuestro país.

Los proyectos subterráneos de túneles urbanos de Metro también introdujeron importantes avances. "En los proyectos de Metro se han construido túneles de estación (cavernas) de hasta 175 m² de sección (17 m de ancho por 14 m de altura) excavados sólo a 7 ó 9 m por debajo de las calles de la ciudad con el método NATM. Estos inmensos túneles son de los más grandes diseñados con este método en el mundo", indica Leonardo Bustamante, jefe del grupo de túneles de Ingeniería.



GENTILEZA GEOCONSULT



El peso del desarrollo se tradujo en beneficios concretos. "Durante los primeros años de tunelaje del Metro, la tasa de avance promedio en

la excavación fue inferior o llegó a un máximo de 1 m diario. Hoy en día, el avance promedio alcanza hasta 2,5 m diarios", agrega Alexandre R.A. Gomes, gerente general de la empresa austro-chilena Geoconsult.

Las autopistas urbanas y el túnel bajo el cerro San Cristóbal también han incluido modernas soluciones. "Las máquinas computarizadas utilizadas en el tramo El Salto-Av. Kennedy fueron las más grandes usadas en Chile. Además, se incluyeron software de simulación de incidencias que definieron las ocho galerías con las que cuenta", comenta Rüdiger Trenkle, gerente general de la concesionaria Túnel San Cristóbal.

movimiento de tierra que se deberá realizar. En el modelo también se pueden introducir datos como la velocidad con que se mueven los camiones, tiempo de carguío y de descarga, tiempos de viaje, etc. De esta manera, con el modelo se pueden calcular tiempos de espera, utilización de recursos, rendimientos de la operación, costos, etc. Además se puede estimar los cambios en el sistema al aumentar o disminuir recursos, cambiar la lógica de operación o cuáles serían las pérdidas si algo fallara.

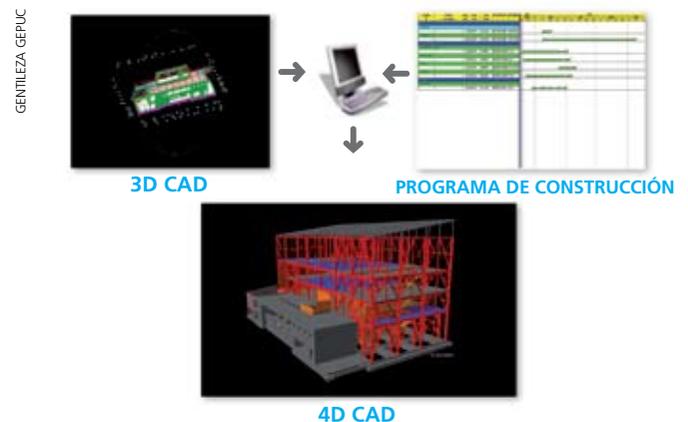
Para proyectos mineros y para la construcción subterránea del Metro se han utilizado programas de simulación que han estimado los tiempos que demorarán las distintas faenas, identificándose mejoras de hasta un 50% en la productividad de la operación.

Por otro lado, a través de una visualización en cuatro dimensiones, que incluye un programa de construcción con un diseño en tres dimensiones, se observa el avance que tendrá la obra si se incorporan ciertos métodos y maquinarias. La cuarta dimensión está dada por el tiempo. Con una modelación multidimensional se define una programación que incluye múltiples secuencias constructivas. "La implementación de sistemas de visualización como CAD 3D o CAD 4D reducen hasta un 15% los costos y los plazos asociados a un proyecto, además de incrementar la productividad en un 15%", señala Luis Fernando Alarcón, director del Centro de Excelencia en Gestión de Producción de la Pontificia Universidad Católica de Chile, GEPUC.

Además, con el uso de un sistema de seguimiento y control denominado P+C Project Plus Control®, se puede observar el avance de las obras, permitiendo el control en forma remota del estado de los proyectos a través de Internet. www.gepuc.cl

Fotografías digitales para evaluaciones geológicas: "Los estudios son concluyentes: en la construcción de una obra subterránea mientras mayor es la investigación geotécnica previa, menor es la variación en el costo y el plazo", señala Roberto Morrison, gerente general de Soletanche Bachy Chile S.A. Y es que conocer las características geométricas de las superficies resulta de alta importancia a la hora de proyectar y evaluar la construcción de un túnel.

La empresa austro-chilena Geodata Andina desarrolla en nuestro país un sistema de levantamiento tridimensional basado en fotografías digitales de alta definición para evaluaciones geotécnicas y geológicas. Este sistema se basa en la ciencia "visión por ordenador", que



La implementación de sistemas de visualización reducen hasta un 15% los costos y los plazos asociados a un proyecto.



GEODATA ANDINA S.A.

El sistema de levantamiento tridimensional, basado en fotografías digitales de alta definición, realiza evaluaciones geotécnicas y geológicas.

mediante imágenes digitales obtiene un modelo tridimensional interactivo denominado "imagen 3D". El sistema se compone de una cámara digital convencional calibrada, un software reconstructor y un software para efectuar las mediciones. La toma de las imágenes en terreno no requiere de conocimientos específicos y se realiza por medio de la cámara calibrada. La posición desde donde se realizan las fotografías es libre, no requieren de georeferenciación y sólo se debe considerar que la separación entre ambas fotos sea de 1/5 a 1/8 de la distancia que separa al observador del objeto.

Una vez que se obtienen las fotografías en terreno, éstas se procesan en un software de manera de obtener una imagen tridimensional real, compuesta por la textura fotográfica combinada con la información tridimensional de la superficie. Desde la imagen tridimensional se extrae información geométrica que evalúa las características métricas de la imagen, tales como distancias, posiciones, áreas y especialmente para la evaluación geológica, la orientación de discontinuidades, espaciamiento y persistencia, entre otras características.

El usuario tiene la posibilidad de desplazar, acercar o alejar la imagen, mediante el mouse. Gracias a una serie de herramientas que posee el programa, se puede medir la distancia entre dos puntos, además de determinar la posición relativa de un objeto de la imagen. El software además, posee herramientas orientadas al análisis geotécnico, que incluye fallas, estructuras y orientaciones.

"Esta tecnología realiza evaluaciones geotécnicas y geológicas sin necesidad de ingresar en áreas que normalmente son peligrosas como bancos y bermas de los rajos o tajos abiertos de las minas o los frentes

de avance en un túnel, aumentando sustancialmente los rendimientos y la seguridad", comenta Silvano Pozza, gerente técnico de Geodata Andina S.A. Adicionalmente, el sistema destaca por la libertad con la que pueden ser tomadas las fotografías y por la posibilidad de generar una imagen 3D con sólo dos imágenes digitales. Esta tecnología se aplica en diversos proyectos extranjeros de Asia, Norteamérica, Europa y Australia desde 2004, mientras en Chile se utiliza desde 2006 en distintas obras civiles y mineras. www.geodataandina.cl

Máquinas tuneladoras en Chile

Una tuneladora o TBM (Tunnel Boring Machine) corresponde a una máquina capaz de excavar túneles a sección completa a través de un método mecanizado. La excavación se efectúa mediante una cabeza giratoria equipada con elementos de corte y accionada por motores hidráulicos. La primera y única tuneladora para roca dura que se utilizó en Chile corresponde a la máquina Wirth TBS III 520 E que comenzó sus operaciones en 1991 con el objetivo de efectuar un túnel de 11 km de largo y 4,6 m de diámetro de tipo aducción en Río Blanco de la División El Teniente. "Algunos especialistas tienen una percepción de que esta experiencia fue un fracaso, debido a los problemas que se enfrentaron. Sin embargo, si se revisan detalladamente los antecedentes, se puede ver que fue una experiencia exitosa", comenta Alfonso Ovalle, principal mining engineer de la empresa Amec. Veamos.

Los estudios geológicos realizados correspondieron a mapeos superficiales, entregándose muestras de roca, pero sin realizar estudios muy profundos. A las pocas semanas de haber comenzado la faena, se observó que los cortadores no eran capaces de avanzar bien por el tipo de roca que existía, deteniéndose la obra y solicitando cortadores nuevos al extranjero. Aunque el túnel estaba presupuestado realizarlo por un solo frente, mientras llegaban los nuevos cortadores, se avanzó con el método de perforación y tronadura por el otro frente. Hubo también inconvenientes hacia el final de la construcción de la obra. Un aluvión inundó el túnel por la sección que avanzaba con el método convencional. "Finalmente, se perforaron 9 km con la tuneladora, con un costo de US\$1.000 por metro y 2 km con el método de perforación y tronadura, a un costo de US\$1.200 por metro. El rendimiento promedio de la TBM fue de 285 m por mes, demorándose 3 años en total, tal como se había presupuestado", concluye Ovalle.

La segunda experiencia chilena corresponde a una tuneladora de escudo abierto que se utilizó en 1997 para ejecutar la construcción del



- Encofrados para Edificación.
- Andamios de Fachada y Mantención Industrial.
- Obras Civiles y Mineras.

DESAFIOS SIN LIMITES



Vizcaya 325, Pudahuel, Santiago • Fono 599 0530 • Fax 599 0535
 General Borgoño 934, Antofagasta • Fono 55-256 770 • Fax 55-246 960
 O'Higgins 940, Concepción • Fono 41-2522 930 • Fax 41-222 8321

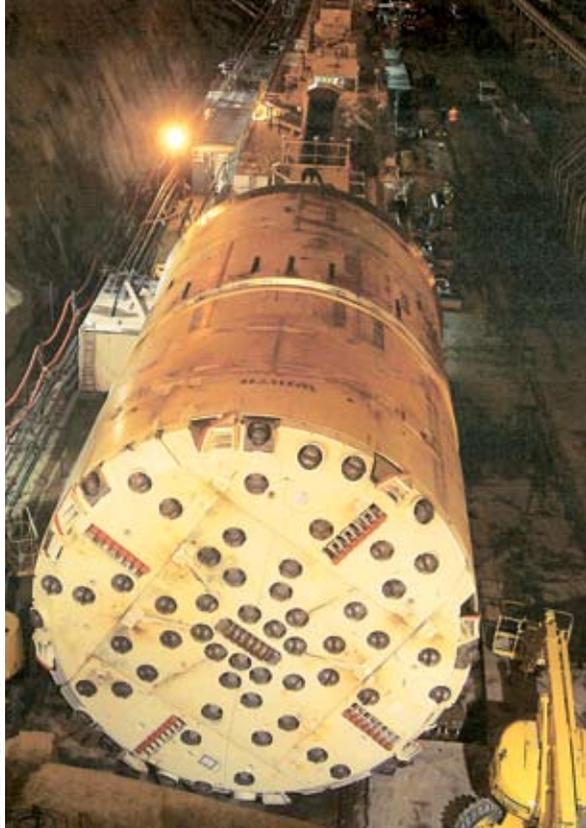
www.ulma.cl

colector de aguas servidas Valparaíso-Viña del Mar. La ejecución del túnel se realizó con una tuneladora solicitada por Soltanche Bachy a CSM Bessac, habilitada con un brazo de excavación hidráulico, compatible con un martillo neumático para la demolición de bloques. Este tipo de tuneladora exigió la ejecución de inyecciones de impermeabilización y consolidación, tanto en la zona de excavación (para evitar la pérdida de presión de la cámara hiperbárica de trabajo a través del suelo) como en los piques (para consolidar la interfase suelo-pozo). En algunas zonas de excavación se encontró gran cantidad de bloques los que eran removidos con el brazo de la tuneladora y de ser necesario eran demolidos con martillos neumáticos manuales o martillos especiales instalados en el brazo de la tuneladora. En las zonas donde el frente presentaba un alto porcentaje de roca, se emplearon explosivos. Parte de estos trabajos se realizaron 4 m debajo de fundaciones de edificios de 18 pisos, efectuando un control topográfico en superficie.

Según los profesionales entrevistados, no hubo más experiencias con tuneladoras en el país. Poco, casi nada considerando su aplicación masiva en Europa. Hay explicaciones.

La primera experiencia con TBM fue considerada como un fracaso por la mayoría de los profesionales del sector, lo que marcó un precedente importante en futuros emprendimientos. Pero hay más razones: "Debe existir un proyecto de envergadura que justifique la gran inversión que demandan. Con túneles superiores a 10 km, comienzan a justificarse", comenta César Balcázar, ingeniero de la gerencia de estudios de Más Errázuriz Construcciones S.A., empresa con experiencia en la construcción de túneles y diversas obras subterráneas. Además, los túneles a excavar con estas maquinarias deben tener radios de curvatura elevados porque las máquinas no aceptan curvas cerradas, y la sección tiene que ser circular en túneles excavados con cabeza giratoria. Por otra parte, señala Alfonso Ovalle, los riesgos de atrapamiento de la tuneladora por derrumbe en caso de mala calidad de roca, pueden tener graves consecuencias si no se está bien preparado para ello, por lo que es necesario una selección adecuada de la tuneladora y de contratistas experimentados para desarrollar la obra.

Se han realizado estudios que han arrojado resultados más favorables hacia los métodos convencionales. "En el año 2004 desarrollamos un estudio de factibilidad del uso de máquinas tuneladoras para la Lí-



GENTILEZA GEOCONTROL

En Chile existen escasas experiencias con la aplicación de tuneladoras principalmente por las dificultades que presentó el primer proyecto y por la alta inversión que requieren.

nea 4 del Metro. En ese momento, debido a las restrictivas condiciones de plazo impuestas a este proyecto, los resultados del estudio indicaron que el método de excavación convencional era el más apropiado ya que tenía un menor costo, generaba más beneficios a la industria local y significaba riesgos más bajos al programa de construcción del proyecto", indica Alexandre Gomes, gerente general de Geoconsult, empresa austro-chilena especialista en planificación, diseño y consultoría en obras subterráneas, geología e ingeniería ambiental y estructural.

Otra de las dificultades se encuentra en la condición geológica de nuestra cordillera. "Por ser de una edad muy joven, la calidad de la roca es muy heterogénea y con muchas alteraciones, por lo que la máquina no puede trabajar regularmente", señala Balcázar.

"En los últimos 15 años, el desarrollo tecnológico de las máquinas tuneladoras ha traído enormes progresos, los que se han traducido en mejoras en rapidez, seguridad, precisión y menores costos. Las TBM son altamente necesarias para Chile y su futuro", concluye Herbert Siller, representante de Herrenknecht, empresa alemana que abarca el 65% del mercado mundial de máquinas tuneladoras.

Tuneladoras en el mundo

En numerosas ciudades del extranjero se utilizan máquinas tuneladoras debido a las malas condiciones del suelo y para mitigar riesgos asociados al uso de métodos convencionales (Ver recuadro Métodos convencionales para la ejecución de túneles).

Estas máquinas han evolucionado tecnológicamente y en la actualidad excavan en diversas condiciones y calidades de terreno.

En el caso de suelos blandos y/o con presencia de agua, se utilizan máquinas con frente cerrado, del tipo EPB (Earth Pressure Balance) o tipo mixto (Slurry-Shield), según las condiciones existentes. Durante la excavación, estas máquinas trabajan con compensación de presiones en el frente, contrarrestando las presiones de agua y suelo del medio

Montaje de la tuneladora de escudo abierto utilizada en 1997 para ejecutar la construcción del colector de aguas servidas Valparaíso-Viña del Mar.



GENTILEZA SOLETANCHE BACHY CHILE S.A.



GENTILEZA: HERRENKNECHT

Las máquinas tuneladoras cuentan con interesantes perspectivas en nuestro país, especialmente en proyectos mineros.

Conclusiones

En base a lo expuesto por los diferentes profesionales entrevistados por Revista BiT, se establecen las siguientes conclusiones:

- Una parte importante de las nuevas tecnologías se relaciona con el desarrollo de túneles mineros. A esto se suma la expansión del Metro y las autopistas urbanas, siendo clave el sistema de concesiones. Un punto importante: Casi no se asumen riesgos porque las innovaciones se aplican en Chile tras comprobar su éxito en el extranjero.
- Las nuevas fibras sintéticas generan cambios importantes en la construcción de túneles. Estos filamentos de polipropileno de 50 mm de largo se aplican a la masa del hormigón, y se proyectan junto al shotcrete. Este refuerzo elimina la malla tejida de acero, alcanzando disminuciones de tiempo del orden del 30% al 60%. Es más, los proveedores sostienen que "un proyecto que demanda tres años, se podría hacer en dos".
- Los jumbos utilizados en el método de perforación y tronadura (drill and blasting) avanzan a pasos agigantados. Los nuevos modelos incluyen un software sofisticado con capacidad para programar las perforaciones, logrando enorme precisión y alta velocidad en la ejecución de este sistema constructivo.
- Las nuevas tecnologías de la información también tienen mucho que decir en la concepción de un túnel. Por ejemplo, la implementación de software de visualización como CAD 3D o CAD 4D reducen hasta un 15% los costos y los plazos asociados a un proyecto. Además de incrementar la productividad en un 15%. Como se ven, cifras sumamente atractivas.
- En Chile existen escasas experiencias en la aplicación de máquinas tuneladoras. Las razones se basan en el sinnúmero de dificultades que enfrentó uno de aquellos proyectos, en la alta inversión que requieren estas tecnologías (se justificaría en corredores de más de 10 km), y por las heterogéneas características geológicas de nuestra cordillera. Sin embargo, esta tecnología cuenta con interesantes perspectivas en nuestro país especialmente en proyectos mineros. ■

circundante y minimizando las perturbaciones al entorno.

En el caso de excavación en roca, se han desarrollado máquinas del tipo "doble escudo", donde el delantero contiene el rodamiento principal y el sistema de accionamiento de la rueda de corte, y el trasero incorpora los "grippers" o zapatitas de fijación de la máquina contra la roca sana, así como el equipo auxiliar de empuje que actúa contra los anillos del revestimiento prefabricado para el avance en roca alterada.

Cuando se avanza en roca sana, utiliza los grippers para lograr la reacción que le permite excavar el módulo de avance como lo hace una tuneladora convencional de roca.

Si por el contrario la roca es inestable y no soporta el empuje de los grippers, el telescopaje se cierra y la máquina trabaja como un escudo simple. Terminado el avance se inicia la colocación del revestimiento a la vez que se avanza, reduciendo el plazo de ejecución, señala Felipe Mendaña en su publicación sobre el Túnel ferroviario de Guadarrama, el más largo de España. Otro proyecto a destacar son los túneles para la Línea 9 del Metro de Barcelona (BiT 47, marzo 2006, página 56).

En la construcción de túneles, tanto en el extranjero como en Chile, existen más tendencias novedosas. Por ejemplo, hay innovaciones en ventilación a través de la implementación de sistemas de monitoreo remoto y soluciones especiales que permiten manejar el humo en caso de incendio. A esto se suma el uso de sistemas de gestión de tráfico y avanzados pórticos de peaje, indispensables en un túnel moderno. Los detalles de estas y otras soluciones para túneles quedarán para otra ocasión, cuando volvamos a hacer un viaje al centro de la tierra.

www.geoconsult.at, www.maserrazuriz.cl,
www.ingendesa.cl, www.tunelsancristobal.cl

ARTICULOS RELACIONADOS EN ESTA EDICIÓN
Prevención de incendios en túneles, pág. 56
Seguridad en túneles, pág. 62
Túnel que atraviesa Los Pirineos, pág. 66

BIT 60 MAYO 2008 ■ 29

Construcción de Soleras In Situ

Soleras tipo A recta
MINVU y MOP

Soleras tipo C
MINVU y MOP

Soleras tipo A Especiales

Soleras tipo Manquehue

Soleras Badén

Soleras con Zarpa



HORMITEC
INGENIERIA Y CONSTRUCCION LIMITADA
San Martín de Porres 11121 Parque Industrial Puerta Sur
San Bernardo Fono: 490 8100 - Fax: 490 8101
www.soleras.cl



iiMantenga controlada su calefacción!!

[AHORRE ENERGÍA]



N U E V O

GRAUBLOCK TÉRMICO

Graublock Térmico es un bloque prefabricado de hormigón al cual se le han adicionado materiales especiales que han mejorado las cualidades de aislación térmica del bloque tradicional, esto permite cumplir con las nuevas normativas vigentes **hasta la zona III**, **ii**sin incorporar aislantes complementarios!!.

- Mayor aislación térmica.
- Buena resistencia a la compresión.
- Baja absorción de humedad.
- Más liviano que el bloque convencional.



Lo dicen nuestros clientes...

“Las soluciones especializadas en el mercado Inmobiliario, que ofrece planOK, se traducen en un Servicio de Gestión Integral para este rubro. Así mismo, el Servicio de Postventa lo evalúo con un 7, siempre están ahí”.

Raimundo Swett Amenábar
Gerente Comercial
Alterra Desarrollos Inmobiliarios S.A.



Productos y Servicios



DTP

DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE PROYECTOS INMOBILIARIOS
Asesoría y Servicios para la coordinación, distribución y control documental.



GCI

GESTIÓN COMERCIAL INMOBILIARIA
Administración Eficiente desde la cotización hasta la recuperación de la inversión.



ET

ESTUDIO DE TÍTULOS Y ARCHIVO LEGAL
Eficiencia y Ahorro en distribución de antecedentes.



PVI

GESTIÓN DE POST VENTA INMOBILIARIA
Control de gestión sobre solicitudes y reclamos de propietarios.



SAF

SISTEMA DE APROBACIÓN DE FACTURAS EN LÍNEA
Optimización del Proceso; facturas no “viajan”.