

Los Bronces, tuneladora en Túnel Sur

La aplicación de una máquina tuneladora para construir un túnel de 8.125 m de longitud, ha sido uno de los grandes retos técnicos del proyecto Túnel Sur en Los Bronces. Aspectos logísticos, de montaje y operación de la tuneladora, fueron planificados hasta el más mínimo detalle.

Paula Chapple C. y Alejandro Pavez V.

AUNQUE CHILE es uno de los países mineros más importantes del mundo y está dentro de aquellos que emplean un alto nivel de tecnología, la utilización de máquinas tuneladoras ha sido escasa en túneles mineros comparada a los países vecinos. No obstante, esta realidad parece formar parte del pasado, ya que en 2011 se desarrolló el Proyecto Construcción Túnel Sur - Los Bronces, que nace como una necesidad del mandante Anglo American, de un acceso permanente, expedito y seguro para sondear en el Yacimiento Sulfatos. Para lograrlo, "se decidió utilizar una tecnología de punta, más segura y que presentaba los mejores plazos de ejecución, mediante la excavación mecanizada en base a la utilización de una "Máquina Tuneladora" o Tunnel Boring Machine, conocida como TBM", comenta Vicente Irrázaval, vicepresidente de exploraciones de Anglo American.

Si bien el túnel no es parte directa del Proyecto de Expansión Los Bronces (ver recuadro), cuando se ponga en operación la explotación del yacimiento, éste contribuirá con minerales de mayor contenido de cobre, que pueden ser minerales de reemplazo o nuevas expansiones. De esta forma, la construcción del túnel evitó inconvenientes climáticos, con un ac-



GENTILEZA ANGLIO AMERICAN



CARACTERÍSTICAS TBM

MARCA: SELI, Italia
TIPO: Doble Escudo Universal (DSU)
DIÁMETRO CABEZA: 4,50 metros
PESO CABEZA Y ESCUDOS: 200 toneladas
DIÁMETRO CORTADORES: 19 pulgadas
NÚMERO CORTADORES: 28
CARGA MÁXIMA POR CORTADOR: 300 kN
LARGO BACK UP: 70 metros
PESO BACK UP: 70 toneladas
PESO TOTAL TBM: 270 toneladas



FICHA TÉCNICA

TÚNEL SUR - LOS BRONCES

UBICACIÓN:

División
Los Bronces a
65 km
de Santiago y a
3.500 m sobre el
nivel
del mar

MANDANTE:

Anglo American

TECNOLOGÍA USADA:

TBM y método
Drill & Blast

CONSORCIO:

Dragados Besalco

INVERSIÓN

APROXIMADA

DEL TÚNEL:

US\$ 60 millones



ceso permanente y seguro para la evaluación del área del proyecto.

El túnel sur tiene 8.125 m de longitud, y se construye desde un portal ubicado a 3.608 metros sobre el nivel del mar, en la División Los Bronces. Se ejecuta en un sólo frente, por tanto se trata de un túnel ciego que no sale a la superficie, y que ha demandado numerosos retos técnicos y logísticos.

LA TUNELADORA

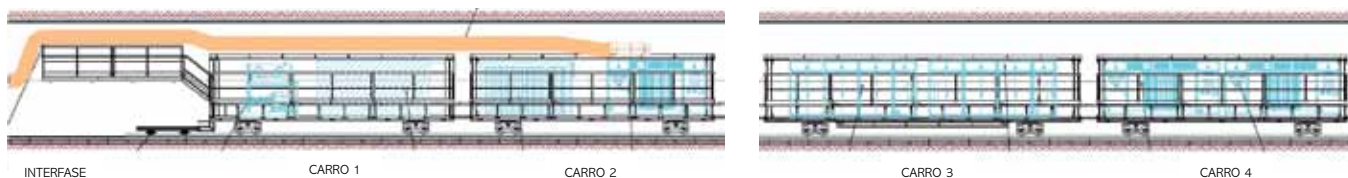
Sin lugar a dudas, la TBM es la gran protagonista de esta obra de ingeniería, no sólo porque ésta es la segunda experiencia de su aplicación en Chile (en túneles mineros), sino por el desafío que implica utilizar una máquina especializada y de grandes dimensiones. Anote: se trata de una tecnología

de doble escudo universal, con un diámetro de 4,5 m y 90 m de longitud.

La decisión de utilizar este desarrollo “se tomó en base a tres variables: la seguridad, el diseño y el plazo de ejecución del túnel, en conjunto con la iniciativa de Anglo American, de reintroducir la tecnología al país, generar innovación y hacer un aporte efectivo al futuro de la ingeniería minera (tunelera) del país”, comenta Vicente Irrázaval. Ante la alternativa tradicional de construcción de túneles en base al método de perforación y tronadura (Drill & Blast), las ventajas en seguridad al utilizar la TBM eran evidentes, toda vez que evita la ejecución de aproximadamente 3.500 tronaduras con explosivos, con la consecuencia directa de no tener que transportar ni manipularlos; también se elude la presencia de gases pro-

SECTORES DE LA TBM

Al lado, se muestra un corte transversal del sector 1 y 2 de la TBM. El sector 1, incluye la Cabeza de Corte, Escudo Delantero y Escudo Telescópico. El sector 2 en tanto, está formado por el Escudo de Grippers y el Erector de Dovelas. Abajo, el sector 3 o Back Up, compuesto a su vez por siete carros ferroviarios, en donde se encuentran instalados todos los equipos que hacen posible su funcionamiento. En resumen, los tres sectores de la máquina miden en conjunto 90 m de largo.



ducto de los explosivos y las detonaciones en el interior del túnel, mejorando considerablemente la ventilación en su interior. Asimismo, “estructuralmente la excavación se ve menos ‘golpeada’, quedando una terminación más sana y sin incidencias hacia el interior del macizo rocoso”, detalla Irrarázabal. Su utilización también trae consigo una disminución importante en el número de trabajadores que participan en la operación, en que las horas de exposición a los riesgos son menores.

La TBM está conformada básicamente por tres sectores: 1. Cabeza de Corte, Escudo Delantero y Escudo Telescópico. 2. Escudo de Grippers y Erector de Dovelas y 3. El Back Up, compuesto por 7 carros ferroviarios, donde se encuentran instalados los equipos que hacen posible su funcionamiento. Si bien estos segmentos conforman la TBM como un todo, cuando la tuneladora avanza, no avanzan las tres partes en forma simultánea, quedando postergado el avance del Escudo de Grippers y Erector de Dovelas para una secuencia posterior del ciclo.

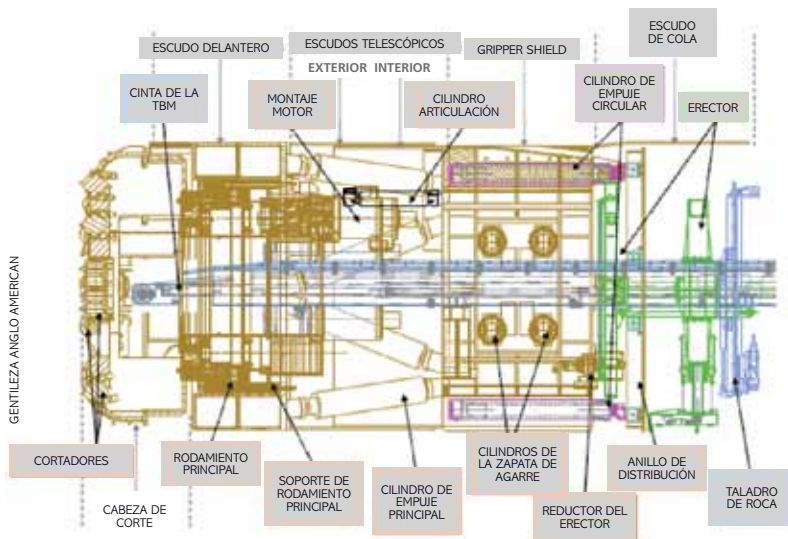
La TBM excava a través de la generación de círculos concéntricos en el frente del túnel, producidos por la penetración en la roca de los 28 cortadores de la cabeza de corte, la que a su vez es empujada por 8 cilindros de empuje principales (hidráulicos) generando contra el frente un empuje total de 8.700 kN (kilo newton, unidad de fuerza). Para generar la “reacción” necesaria para esta fuerza, la TBM se “ancla” lateralmente al túnel ya excavado, a través de dos zapatas o “Grippers”. La penetración de los cortadores va generando

“surcos” en la roca, cada vez más profundos, a medida que impulsan los cilindros de empuje principal, hasta que se genera la rotura de la roca entre dos “surcos” consecutivos, desprendiendo una lámina de roca llamada “chip”. “Cada cortador tiene potencia para cortar 5 toneladas. La revisión y mantención de estas piezas se ejecuta todos los días. Con 2 cm de desgaste se deben reemplazar, en cambio, los cortadores centrales se pueden desgastar un poco más, ya que los importantes son los periféricos, puesto que son los que dan el diámetro de la excavación. Si estos están desgastados no abarcarán el espacio que la máquina necesita para avanzar”, comenta Florencio Pollo, jefe de maquinaria de SELI, empresa italiana fabricante de la TBM. Los “chips” generados, son capturados por 4 tolvas o palas, que tiene la cabeza de corte cuando gira en sentido de los punteros del reloj, y son vaciados en un buzón que los traspasa a la cinta transportadora de la tuneladora.

En el último carro del Back Up, el N°7, el material que circula en la cinta TBM, es traspasado a otra cinta transportadora, anclada al túnel ya terminado, encargada de sacar el material hasta la superficie, donde es almacenado en un acopio a la salida del portal. La máxima potencia del sistema se genera cuando la TBM está excavando y avanzan los cilindros de empuje principales, por lo que es durante esta operación (la excavación) cuando los sectores 1 y 3 se desplazan a la velocidad de penetración de los cilindros de empuje principales.

Cada ciclo de excavación es de 1,40 m, por lo que una vez terminado, se recogen los grippers y cilindros de empuje principales, quedando listos para iniciar un nuevo ciclo de excavación. A esta operación se le conoce como “Regripping” y es durante ésta cuando el sector 2 avanza los 1,40 m excavados. Lo anterior se explica porque, por diseño, la TBM puede instalar la fortificación, pernos y malla, en paralelo con la excavación, con lo que se gana tiempo en el ciclo global, y la fortificación se hace precisamente en el sector 2. Para su desplazamiento, la tuneladora se soporta según el sector que se trate. “Es así como el sector 1 se soporta directamente sobre la roca excavada; el sector 2 en forma independiente sobre la estructura de la TBM en el área del sector 1 y el sector 3 sobre rieles de acero, que se apoyan y fijan a dovelas de piso, elementos prefabricados de hormigón armado”, detalla Irrarázabal. Del mismo modo, en cada sector de la TBM hay personal especializado en las actividades que allí se ejecutan. Así, en el erector de dovelas trabajan 6 personas; 3

COMPONENTES TUNELADORA (CORTE TRANSVERSAL)





GENTILEZA ANGLIO AMERICAN

TBM EN EL INTERIOR DEL TÚNEL SUR

1. Frente de la tuneladora dispuesta en la caverna.
2. Detalle de uno de los carros ferroviarios que componen el Back Up.
3. Cabina de control desde donde se opera la TBM.
4. La máquina excava a través de la generación de círculos concéntricos en el frente del túnel, producidos por la penetración en la roca de los 28 cortadores de la cabeza de corte.



instalando las dovelas de piso y 3 en fortificación; en el Back Up trabajan 12 personas, entre las cuales se encuentran el operador de la TBM, el maestro mecánico y electrónico de la máquina y personal de apoyo, como eléctricos, mecánicos, soldadores, supervisores, encargados del ingreso de materiales y de prolongar la cinta transportadora, entre otras faenas.

EL TÚNEL

La TBM es de fabricación italiana, por lo que su diseño y ensamblaje para la entrega a Anglo American, se hizo en este país. Como parte de este proceso, el fabricante, la empresa SELI, armó la TBM en sus talleres cercanos a Roma y conectó las principales funcionalidades, para hacer un chequeo completo en el lugar de su fabricación, lo que mejoraba la respuesta ante la ocurrencia de una falla grave de operatividad que se detectara durante las pruebas en frío y la recepción.

Luego de recibida en Roma por el mandante, fue desarmada y enviada a Chile vía marítima, donde se generaron más de 90 bultos para completarla. La fábrica envió una comitiva de técnicos expertos, cuya misión era la de armar el equipo nuevamente, de preferencia frente al portal de entrada al túnel. A su llegada a Chile, se trasladaron los 90 bultos que conformaban la TBM, desde el puerto de Valparaíso hasta la División Los Bronces y de ahí al Portal del Túnel, ubicado a 3.608 m de altura, en pleno invierno, con temperaturas de hasta -25°C, con caminos cortados por la nieve y/o congelados por el frío y con un acceso al túnel particularmente estrecho y desalineado respecto a su eje.

Dadas las características del punto donde se construyó el portal, en la ladera de un cerro, no existía espacio suficiente para hacer el montaje del equipo en el exterior, de acuerdo a lo que habitualmente sucede en proyectos parecidos, por lo



GENTILEZA BESALCO

ESPECIALISTAS NACIONALES

Si bien el armado, operación y mantenimiento de la TBM corre de parte del fabricante SELI, tanto Anglo American como el contratista Besalco han previsto la necesidad de formar especialistas nacionales, para la ejecución de futuros túneles con TBM en el país. Para cumplir este objetivo, hace unos 10 meses se ha comenzado con la formación de Operadores TBM, primero, y de especialistas Eléctricos y Mecánicos en la mantención de la TBM, a continuación. "Al día de hoy, los cuatro turnos de trabajo cuentan con operadores nacionales y se espera completar igual número de eléctricos, mecánicos y electrónicos para cuando termine la excavación. La supervisión de los turnos de trabajo siempre ha estado a cargo de profesionales nacionales", detalla Vicente Irrázabal.



GENTILEZA ANGLO AMERICAN



LOGÍSTICA

1 y 2. Esta operación acarreoó una serie de inconvenientes con el traslado, ingreso y manipulación de las partes más pesadas del equipo: por ejemplo, el rodamiento principal de 40 toneladas y las dos piezas de la cabeza de corte, de 18 y 25 toneladas respectivamente (en la foto), debieron trasladarse en un camión de cama baja. Las condiciones climáticas sumaron un reto adicional a las maniobras.

MONTAJE PIEZAS TBM

3, 4 y 5. Montaje Cabeza de Corte, compuesta de 28 cortadores y 4 palas.

RETIRO DE MARINA

Las láminas de roca o "chips" generados por los discos de corte, son capturados por tolvas, y vaciados en un buzón que los traspasa a la cinta transportadora de la TBM.





Dependiendo del tipo de roca hallada en el interior del túnel, se aplicaron dovelas metálicas (abajo) y pernos helicoidales en conjunto con malla Acma (en la foto).



que fue necesario iniciar las excavaciones con el método Drill & Blast y construir una caverna subterránea, de 8,60 x 6,80 x 95 m, para ensamblar finalmente la TBM, y desde ese punto continuar el túnel mediante la máquina tuneladora. Desde el inicio hasta los 500 metros, hubo que sortear una roca de mala calidad. “Una roca fracturada o diaclasada, litología de origen ígneo (tipología de roca resultante de la cristalización de un material fundido o magma), y que por algún motivo, al entrar en contacto con el aire o con el agua, sufrió un proceso de enfriamiento brusco y se quebró”, comenta Miguel Bustamante, administrador de obra de Besalco. ¿Cómo se sorteó el

problema? “Para solucionarlo, aplicamos hormigón proyectado y dovelas metálicas. Después de los 500 metros, cambiamos la fortificación de dovelas metálicas, a la de pernos y malla Acma, que deja la superficie del túnel expuesta”, prosigue Julio Espinoza, gerente general de Dragados Besalco, consorcio que ejecuta el proyecto.

Pero no era la única sorpresa que les esperaba. A los 100 m, el cerro dijo otra cosa, las excavaciones se encontraron con una importante falla justo en el área de la caverna. “Se solucionó sellando con hormigón proyectado, esperamos que se estabilizara y luego pusimos marcos de acero, aislando la zona que queda entre los marcos y el levante del cerro con hormigón liviano”, comenta Bustamante. Fue así como ante la mala calidad del terreno, se terminó por avanzar con excavadora y martillo picador, para evitar posibles derrumbes del techo del túnel. En suma, fueron 185 metros excavados en base a perforación tradicional en conjunto con equipamiento más bien manual.

Pero hay más. Otro desafío llegó de la mano de una abundante napa de agua, de la que salían caudales promedio entre los 200 y 300 lt /segundos. “La máquina, como es de última tecnología, tiene muchos componentes electrónicos que deben permanecer aislados de la humedad, no solamente del agua que gotea del cerro, sino que de la humedad que hay en el aire, y que se condensa en los elementos electrónicos”, apunta Bustamante. En paralelo, “nuestro plan de suministro



PROYECTO EXPANSIÓN LOS BRONCES

La división Los Bronces se encuentra ubicada en la Región Metropolitana, a 65 km de Santiago y a 3.500 m sobre el nivel del mar. Los Bronces es una mina de cobre y molibdeno que se explota a rajo abierto. El mineral que se extrae es molido y transportado por un mineroducto de 56 km a la planta de flotación Las Tórtolas, en la que se produce cobre y molibdeno contenido en concentrados. Actualmente, se encuentra implementando el proyecto desarrollo Los Bronces, cuyo objetivo es aumentar su capacidad productiva.



de agua provenía de un embalse ubicado cerro abajo, en base a un sistema de impulsión que fue diseñado y construido para llegar al portal del túnel. Sin embargo, el agua subterránea, causante de numerosos problemas, a la larga, fue una ayuda porque se reutilizó en las faenas al interior del túnel", cuenta Espinoza. En resumen, "de lo transcurrido a la fecha (enero 2011), en que se han avanzado 4.000 metros, lo más complicado ha sido excavar los primeros 2 kilómetros en una roca de pobre calidad geotécnica y el ingreso de grandes caudales de agua de infiltración", prosigue Julio Espinoza.

Otro reto adicional. Es una tecnología nueva en el país, de hecho este proyecto es el segundo que se aplica en túneles mineros. La primera experiencia con TBM se desarrolló en el túnel acueducto Río Blanco, en el Teniente, en el año 1993. Se excavó un túnel de 4,6 metros de diámetro y 11 km de largo, de los cuales 10 km se ejecutaron con TBM y 1 km con método tradicional. Ante la escasa experiencia, "no existían especialistas en su operación, mantención y reparación. Por este motivo, dentro del alcance de la compra de la TBM, se incluyó que la operación, mantenimiento y reparación estuviera a cargo del fabricante SELI", detalla Vicente Irarrázabal.

Durante los primeros 2 km de excavación, se debieron enfrentar una serie de inconvenientes externos que, sumados a los propios de la marcha blanca de la TBM, hicieron que la operación en este primer tramo del proyecto, fuera particularmente lenta y llena de complejidades, dentro de las cuales se pueden destacar: la familiarización del equipo de trabajo/mantención con el proyecto, el primero que ejecutaban en roca y en las inmediaciones de una mina en explotación; la incidencia del ciclo hielo-deshielo que afectó al macizo rocoso hasta los 380 m de profundidad; la aparición de un caudal de agua de infiltración considerablemente mayor al esperado; el trazado original del túnel, paralelo a la ladera del cerro y la

En Italia se realizaron las pruebas de armado y funcionamiento del Back up o carros de apoyo. Éstos ingresaron prearmados al túnel.

adaptación humana, profesional y cultural que debieron afrontar los profesionales de distintas nacionalidades que participan en el proyecto. Todo lo anterior ha sido superado a partir de agosto de 2010, un año después de iniciada la excavación con la TBM.

AVANCE

Para el futuro no se esperan sorpresas importantes en cuanto a la geología del macizo rocoso, esperándose se mantenga en andesitas y cuarzo monzonitas, que son rocas más competentes, ideales para ser excavadas con TBM. Operativamente se prevé la instalación de dos Booster adicionales (motores tensadores) para la cinta transportadora, lo que implicará la excavación de sendas estocadas (ensanches) en el túnel, que se deberán efectuar utilizando el método tradicional de Drill & Blast.

Según datos aportados por Dragados Besalco, "se ha alcanzado un rendimiento promedio de avance en los últimos meses, del orden de los 22 m por día, en que el récord fue de 36,9 m diarios (no obstante, el domingo 23 de enero pasado, se logró excavar 46,1 metros en el día) y, a la fecha se han completado 4.000 metros excavados de avance del túnel. Finalmente, el último desafío que se generará una vez que se concluya la construcción del Túnel Sur, será el desarme y retiro de la TBM, que habrá que realizar en el interior del túnel, en vista que éste no tiene salida al exterior", relata Miguel Bustamante. Previendo esta operación, el diseño de la tuneladora consideró que la cabeza de corte se conformara de dos partes, las cuales son "colapsables", lo que permitirá su retiro una vez que la máquina se desarme, faena que estará a cargo del fabricante. Un desarrollo innovador para la construcción de túneles en Chile, un gigante subterráneo. //