

ESPECIAL TÉCNICO

Ilustración: Fabián Rivas

## TÚNELES Y VENTILACIÓN: A UN PASO DE LA MINERÍA 5.0

La automatización del ciclo constructivo de túneles ha sido el gran logro de los proveedores en estos dos últimos años, opinan los expertos, acercando cada vez más a la industria minera hacia la operación 100% remota. *Por Marina Parisi*

Imagine construir 600 metros de túnel: eliminar todos los riesgos asociados a la tronadura; asegurar la estabilidad del macizo rocoso y las paredes del túnel; implementar un eficiente sistema de ventilación y más encima construir todo esto en un breve lapso de tiempo optimizando los costos. Si todo ello no es un trabajo titánico, entonces ¿qué es?

“La construcción de túneles en minería subterránea es una ciencia en sí misma”, asegura Raúl Castro, académico asociado del Departamento de Ingeniería en Minas de la Universidad de Chile e investigador principal de AMTC (Advanced Mining Technology Center).

Lo anterior cobra especial sentido para Juan Alvarado W, superintendente de Ingeniería Faena Cabildo de Grupo Minero Las Cenizas, “debido a la disminución de las leyes del mineral, que hoy obliga a tener operaciones más eficientes y optimizar el costo por tonelada”.

Por este motivo, la empresa minera ha abrazado los desarrollos tecnológicos disponibles, para inyectar más velocidad al desarrollo de las obras. “De hecho, hemos finalizado la construcción del túnel de rampa principal de 600 metros ciega y con mucho éxito, incorporando ventilación auxiliar y VOD (Smart Ventilation), a fin de

garantizar el flujo de aire para las operaciones críticas”. Adicionalmente, “estamos implementado sensores para medir la calidad del aire, temperatura, humedad y velocidad en sectores de mayor producción y en zonas estratégicas”, explica el superintendente. “Así, controlamos las condiciones ambientales y ajustamos los sistemas de ventilación en tiempo real, y en caso de una emergencia, podemos actuar rápidamente evitando incidentes”.

Gracias a este sistema de ventilación inteligente, el grupo minero además garantiza la seguridad de sus trabajadores, recalca Alvarado, “junto con optimizar la distribución del aire y minimizar el consumo de energía, reduciendo los costos y mejorando la eficiencia energética.”.

### ADIÓS EXPLOSIVOS

¿Sabía que ahora la construcción de túneles ya no requiere de tronadura? La automatización ha llegado con fuerza a la minería, “gracias a las tuneleras tipo TBM (Tunnel Boring Machine)”, describe Alvarado, “que generan soluciones ambientalmente más sustentables, sin tronaduras ni emisiones, disminuyendo



Foto: U de Chile

⌘ Raúl Castro, académico de la Universidad de Chile e investigador principal de AMTC.



Foto: GM Las Cenizas

⌘ Juan Alvarado W, superintendente de Ingeniería Faena Cabildo del Grupo Minero Las Cenizas.



Foto: Consultora Asefortmec

⌘ Bernardo Ojeda, instructor de Obra Minera de Consultora Asefortmec.

el riesgo para los trabajadores y los equipamientos”.

Se trata de equipos gigantes que cuentan con una rueda de corte giratorio, accionada por motores hidráulicos que posibilitan la rotación estable de la rueda. Además, incluyen una cámara de presión, un tornillo sin fin y una correa transportadora para sacar las rocas extraídas, además de varios vagones. “La tunelera opera como si fuese un enorme tornillo”, grafica Castro, “la rueda giratoria se apoya en el macizo, empuja y va sacando tierra y rocas”.

Con todo, el rendimiento de esta tunelera depende del tipo de roca, advierte el investigador. “Una parte del proyecto hidráulico Alto Maipo (ubicado a 50 km al sur de Santiago) se hizo con tuneleras, pero los rendimientos no fueron los esperados. Cuando la roca es muy competente (dura) el ideal es utilizar explosivos y cuando ésta es blanda o fracturada, hay que utilizar tuneleras. Lo importante aquí es que hay un enfoque claro de la industria minera, que es utilizar medios mecanizados para construir túneles”. Castro va aún más lejos y plantea que “el desarrollo de túneles en minería ha experimentado importantes avances, convirtiéndose en un proceso cada vez más mecanizado, automatizado y electrificado, mientras que las compañías mineras están introduciendo procedimientos cada vez más eficientes. Todo ello nos hace pensar

que estamos cada día más cerca de la Minería 5.0, o bien, la construcción de túneles en forma totalmente remota”. Similar es la visión de Bernardo Ojeda, instructor de Obra Minera de Consultora Asefortmec, afirmando que “ante desafíos como potenciales accidentes durante la excavación u operación, inestabilidad en las paredes del túnel, ventilación inadecuada con la consecuente exposición a gases tóxicos, los proveedores han respondido con novedosos desarrollos tecnológicos”. Uno de ellos es la perforación mecanizada, indica el experto, “que aleja a los trabajadores del riesgo ante un potencial evento, excavando en forma más precisa y rápida frente a los métodos tradicionales. Además, estos equipos realizan el ciclo completo (perforación, inyección de mezcla de hormigón, instalación de pernos y malla), reduciendo el tiempo de construcción y optimizando los costos”.

En esta misma línea, también sobresalen los equipos automatizados que operan en forma autónoma o semiautónoma, detalla Ojeda, que junto con mejorar la seguridad, también minimizan la sub-excavación y sobre-excavación.

Un caso de éxito que resume todo lo anterior, añade el instructor, es el de una empresa minera emplazada en la Región de O’Higgins. “La faena implementó sistemas de fortificación mecanizada en su yacimiento subterráneo, para lo cual utilizó tecnologías

⌘ “Las tuneleras tipo TBM son más sustentables, sin tronaduras ni emisiones y menor riesgo para los trabajadores”, sostiene Juan Alvarado W, superintendente de Ingeniería Faena Cabildo del Grupo Minero Las Cenizas.



Foto: Metro de Quito



En Latinoamérica las tuneladoras se han masificado para la construcción de túneles viales, líneas de Metro y en general para obras civiles, mientras que para minería aún no se han explotado todos los beneficios de la tecnología.

“Estamos cada día más cerca de la Minería 5.0 o la consagración de la actividad totalmente remota”, enfatiza Raúl Castro, académico de la Universidad de Chile e investigador principal de AMTC.

de avanzada que permiten reforzar paredes y techo del túnel de manera rápida y eficiente, realizando el ciclo completo de trabajo. Gracias a estas tecnologías, la faena aumentó la seguridad de sus trabajadores y mejoró la estabilidad de sus galerías mineras”. “Este enfoque integral en la gestión de la seguridad y la eficiencia operativa, ha posicionado a esta compañía como un referente en la región”, subraya Ojeda.

#### DRONES Y DIGITALIZACIÓN EN LÍNEA

A juicio de Ojeda, una de las soluciones más utilizadas para inspeccionar y mapear túneles mineros de manera rápida y precisa, son los drones. “Estos proporcionan información detallada acerca de la estabilidad de las paredes del túnel, calidad del material excavado y progresión del trabajo, mejorando la planificación y seguridad de todo el proyecto. Además, pueden tomar imágenes para posterior análisis”. De igual forma, las tecnologías digitales de monitoreo en tiempo real se han vuelto imprescindibles para el desarrollo de tunneling, opina el experto de Consultora Asefortmec. “Ello gracias a que detectan cambios en las condiciones del túnel, como también movimientos de tierra, fluctuaciones en la temperatura o la presión, alertando a los trabajadores

de posibles peligros. Con el uso de estas tecnologías también es posible determinar el grado de sismicidad del macizo rocoso y la ubicación del evento”.

Otro ejemplo: los fabricantes de explosivos han estrenado productos bombeables, agrega Castro, con una eficiente resistencia al agua, reduciendo la filtración de la emulsión en el entorno y brindando con ello menor impacto ambiental. “De igual forma, y a objeto de evitar el carguío de los explosivos en forma manual, los proveedores han desarrollado nuevas tecnologías que permiten mecanizar esta tarea, eliminando el riesgo para el trabajador”.

Una vez realizada la tronadura hay que esperar que los gases disipen y aquí entra en acción la ventilación, sostiene el investigador del AMTC. “El desafío aquí es cómo controlamos y suministramos el aire requerido 24/7, sin elevar excesivamente el costo de la operación energética, ya que se trata de un consumo de varias centenas de metros cúbicos de aire por segundo, siendo justamente este ítem el principal gasto que enfrenta una mina subterránea”.

En este ámbito los proveedores también han estrenado innovaciones, enfatiza Alvarado, “como tecnologías de ventilación que incluyen nuevos diseños de mangas y variadores de frecuencia que minimizan el gasto energético”.

A lo anterior Castro suma todo el abanico de instrumentación de medición de gases hoy disponible, que permite cumplir con todas las exigencias de la actual normativa.

¿Qué nos depara el futuro? “los proveedores de tecnologías para tunneling entienden muy bien los requerimientos de la industria minera, y en los dos últimos años han hecho un esfuerzo importante por mecanizar casi todo el ciclo constructivo del túnel; desde perforación, carguío de explosivos y tronadura hasta ventilación”, asegura el investigador. “Cada vez más la tecnología se acerca al objetivo de las faenas subterráneas, que es poder construir y operar túneles totalmente a distancia”.