LITORALPRESS

Fecha: 12-06-2025
Medio: Revista Nueva Minería & Energía
Supl. : Revista Nueva Minería & Energía
Tipo: Noticia general
Título: **INNOVACIÓN BAJO TIERRA**

Pág. : 56
Cm2: 504,9

Tiraje: Sin Datos
Lectoría: Sin Datos
Favorabilidad: No Definida

Foto: Arbol Minero.

## CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE TÚNELES MINEROS:

# INNOVACIÓN BAJO TIERRA

Expertos analizan los desafíos técnicos y económicos de la implementación de estas vías subterráneas a mayor profundidad, destacando la incorporación de tecnología avanzada y nuevas metodologías constructivas. *Por Horacio Acuña*

A lo largo del tiempo, y con el auge de la industria minera en Chile, la ley de los minerales -es decir, la concentración de metal útil en la roca extraída- ha disminuido progresivamente. Esto se debe al agotamiento de yacimientos de alta ley, que son más fáciles y rentables de explotar.

Este fenómeno ha obligado a las compañías a procesar volúmenes crecientes de material de menor ley para obtener la misma cantidad de metal, lo que generalmente implica excavar a mayores profundidades o explotar depósitos más remotos y complejos.

Penetrar más en el subsuelo, sin embargo, conlleva desafíos técnicos adicionales: ventilación, estabilidad de las excavaciones, manejo de aguas subterráneas, aumento de temperatura, seguridad del personal y mayores costos operacionales debido a la creciente complejidad y a la necesidad de tecnología especializada.

En este contexto, tres expertos analizan los principales retos actuales y cómo se están enfrentando con soluciones innovadoras.

### COSTOS OPERACIONALES

Iván Rayo, past president de la Asociación de Empresas Consultoras de Ingeniería de Chile (AIC), señala que la construcción de túneles en minería subterránea es una actividad continua, acompañando el avance de la explotación. "A medida que las áreas productivas se profundizan, emergen nuevos desafíos operacionales", afirma.



www.litoralpress.cl

LITORALPRESS

Fecha: 12-06-2025
Medio: Revista Nueva Minería & Energía
Supl. : Revista Nueva Minería & Energía
Tipo: Noticia general
Título: **INNOVACIÓN BAJO TIERRA**

Pág. : 57
Cm2: 476,2

Tiraje: Sin Datos
Lectoría: Sin Datos
Favorabilidad: No Definida

Foto: AIC

**Iván Rayo,**
past president de AIC.

Foto: JRI Ingeniería

**Pablo Rojas,**
gerente en JRI Ingeniería.

Foto: JRI Ingeniería

**Matías Ordóñez,**
ingeniero de proyectos en JRI Ingeniería.

Foto: USM

**Marcelo Rojas,**
profesor de minería de la USM, sede Viña del Mar.

Según Rayo, los túneles no solo permiten el transporte de mineral, sino también el acceso a infraestructura crítica, como ventilación (inyección de aire limpio y extracción de aire contaminado), suministro eléctrico y comunicaciones. "A mayor profundidad, la operación se encarece por factores como el acceso, la energía requerida y la remoción de escombros", explica.

Una visión similar comparten Pablo Rojas, gerente de la unidad de negocios de minería, y Matías Ordóñez, ingeniero de proyectos de JRI Ingeniería, quienes destacan que "las condiciones geomecánicas se vuelven más complejas, lo que exige una caracterización detallada del macizo rocoso y un mapeo geológico continuo, para diseñar soluciones de sostenimiento eficaces y mantener los rendimientos de desarrollo minero similares a las condiciones más superficiales".

Desde su perspectiva, "la gestión de aguas subterráneas también se vuelve crítica, al igual que la ventilación y climatización, que deben responder a mayores exigencias térmicas y de calidad del aire", indican.

Agregan que la logística de transporte de personas, equipos y materiales, sumada a la planificación de rutas de evacuación y la coordinación de sistemas de comunicación, exigen una coordinación meticulosa para garantizar seguridad y eficiencia operativa.

Marcelo Rojas, profesor de minería de la Universidad Técnica Federico Santa María (Utfsm), sede Viña del Mar, complementa: "A mayor profundidad, los túneles están sometidos a esfuerzos inducidos más intensos por el peso del macizo rocoso. En minas como El Teniente, estos esfuerzos pueden provocar fenómenos como estallidos de roca, capaces de dañar seriamente las estructuras".

## MATERIALES PARA FORTIFICACIÓN

Frente a este escenario, Iván Rayo destaca que los proveedores están desarrollando continuamente tecnologías más eficientes para perforación, tronadura y fortificación. "En ciertos casos, se han implementado máquinas de excavación a sección completa (TBM), que ofrecen ventajas en rendimiento y costos, aunque su uso tiene condicionantes técnicas que hacen que sea una buena opción para ciertos casos", sostiene.

Ordóñez y Rojas agregan que, en minas profundas, la elección de materiales de fortificación adecuados es clave para enfrentar entornos de altos esfuerzos. "Se ha incrementado el uso sistemático de cables de anclaje, mallas metálicas y pernos de acero de alta resistencia, junto con mejoras en los aceros, lo que eleva los factores de seguridad y reduce daños ante estallidos de roca", explican. En desarrollos verticales, como chimeneas, destacan el uso de liners y shotcrete reforzado, que ofrecen mayor resistencia a la deformación".

Aunque estas soluciones pueden extender los tiempos de instalación, su

> "La implementación de protocolos de operación específicos para equipos autónomos en ambientes profundos, sumado al uso de sensores y detectores de presencia, permite una interacción segura entre personas y máquinas", destacan Matías Ordóñez y Pablo Rojas, de JRI Ingeniería.

LITORALPRESS

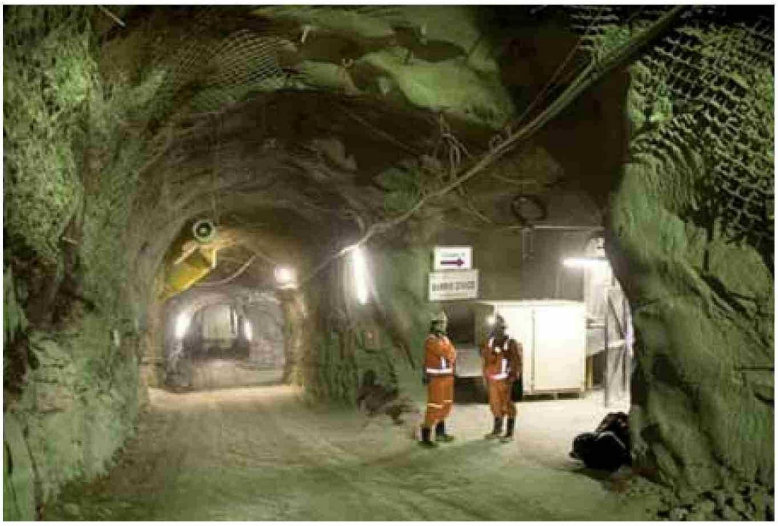
Fecha: 12-06-2025
Medio: Revista Nueva Minería & Energía
Supl. : Revista Nueva Minería & Energía
Tipo: Noticia general
Título: **INNOVACIÓN BAJO TIERRA**

Pág. : 58
Cm2: 468,8

Tiraje: Sin Datos
Lectoría: Sin Datos
Favorabilidad: No Definida



Foto: Codelco



Las últimas tecnologías permiten generar un cambio clave en la forma en que se gestionan la seguridad y la operación en minería subterránea de gran profundidad.

implementación reduce significativamente los costos asociados a reparaciones posteriores.

Marcelo Rojas coincide y menciona el uso de pernos helicoidales cementados, pernos cable, mallas con shotcrete y marcos de acero en zonas críticas.

## VENTILACIÓN

La ventilación es uno de los principales desafíos en túneles profundos. Según los especialistas de JRI, hoy se emplean sensores en tiempo real que monitorean gases, temperatura y presencia de equipos o personas, lo que permite activar sistemas de ventilación por demanda, optimizando el consumo energético.

Además, se utilizan ductos con bajo coeficiente de fricción y ventiladores con variadores de frecuencia (VDF), lo que optimiza la eficiencia energética. "Técnicas para reducir la resistencia al flujo de aire en desarrollos verticales también contribuyen a mejorar la circulación en zonas profundas", explican.

Iván Rayo añade que se requieren entre 40 y 50 cfm (pies cúbicos por minuto) de aire por tonelada de mineral removido para disponer de un ambiente adecuado. "Una mina mediana que extrae 30 a 40 mil toneladas diarias necesita más de 1,5 millones de cfm, lo que implica equipos, obras mineras y suministro energético".

> "En la medida que la mina se profundiza resulta más complejo y más caro el transporte de mineral a superficie", asegura Iván Rayo, past president de la AIC.

En este punto, la electromovilidad surge como una alternativa eficiente, pues requiere menos ventilación. "Las minas modernas a nivel mundial y algunos proyectos en Chile ya están evaluando operación full eléctrica, en todos los equipos móviles", asegura el representante de AIC.

Marcelo Rojas, por su parte, detalla que en zonas alejadas de la ventilación principal se utilizan mangas con ventiladores axiales y detectores portátiles de gases, mientras que el sistema general emplea ventiladores centrífugos para inyección y extracción de aire.

## TECNOLOGÍA Y SEGURIDAD

Los expertos coinciden en que la automatización ha mejorado tanto la seguridad como la eficiencia. "La minería subterránea moderna ha evolucionado hacia operaciones con el mínimo de trabajadores. Para esto, se ha desarrollado tecnología de equipos autónomos y telecomandados a distancia desde centros de operación en superficie, mejorando la seguridad de las personas y la productividad de la operación", sostiene Iván Rayo.

Ordóñez y Rojas añaden que las tecnologías avanzadas reducen la exposición directa del personal en frentes de trabajo, a la vez que incrementan la eficiencia operativa mediante la automatización y el control remoto.

Finalmente, Marcelo Rojas subraya que el monitoreo constante del estado de los túneles es fundamental: sensores que miden esfuerzos, y escaneos láser capaces de detectar deformaciones mínimas, son herramientas esenciales para mantener la seguridad en entornos de alta exigencia estructural.

Con todo, la construcción de túneles mineros a mayores profundidades implica importantes desafíos técnicos, pero la incorporación de tecnología avanzada y mejoras en los procesos constructivos están permitiendo mantener la continuidad y eficiencia de estas obras claves para la industria minera del país.



www.litoralpress.cl