

DESAFÍOS PARA EL SECTOR

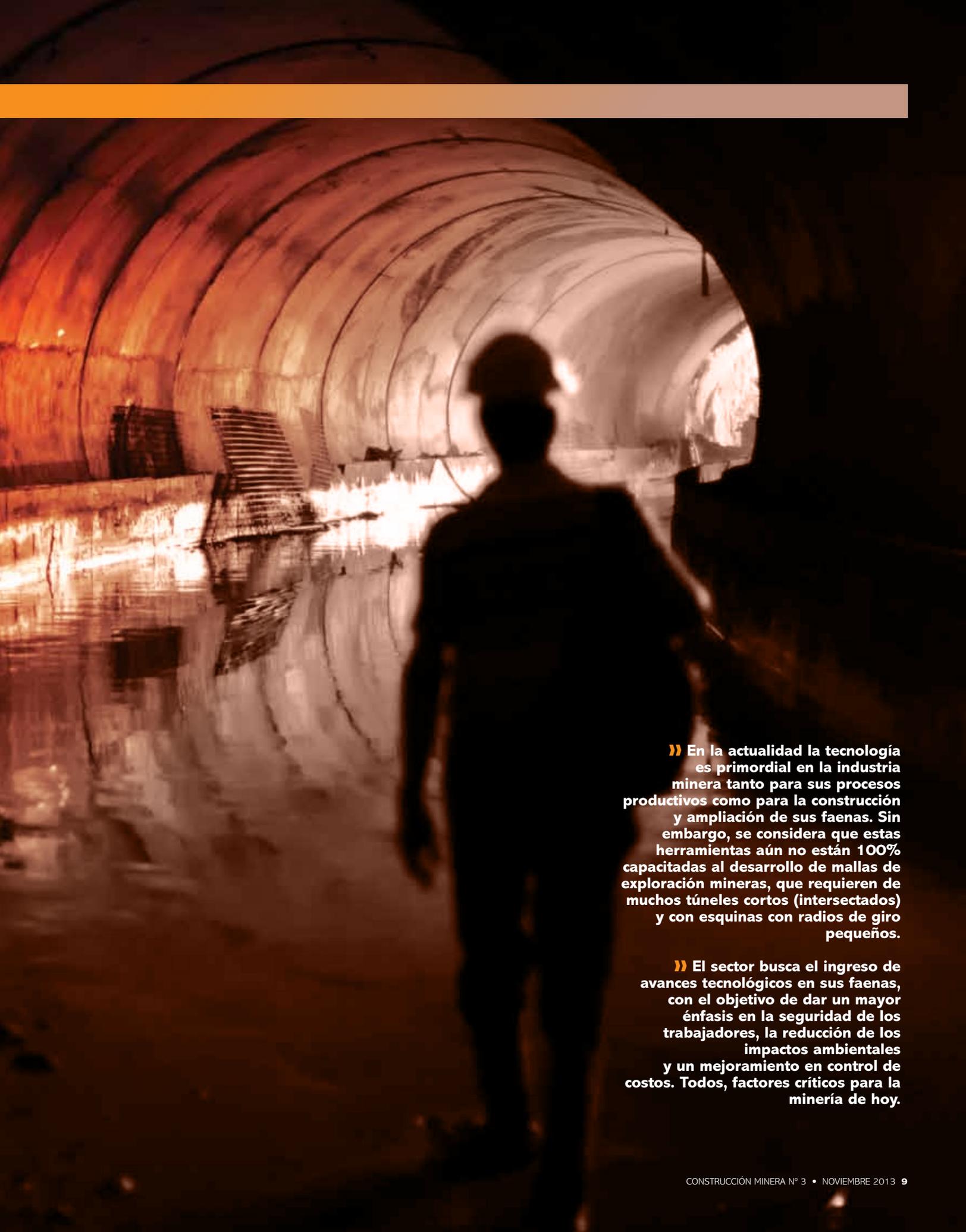
Desarrollo de la construcción subterránea

Patricia Avaria R.

PERIODISTA CONSTRUCCIÓN MINERA

EN LA ACTUALIDAD, el estado del arte en el diseño y construcción de obras subterráneas permite anticipar de mejor forma los riesgos geotécnicos asociados a la construcción, los cuales pueden ser encauzados en esquemas contractuales adecuados a la naturaleza de las obras subterráneas; por lo menos eso es lo que creen los expertos.

También se nota que la industria de la construcción de obras subterráneas dispone hoy de un amplio abanico de metodologías constructivas, situación que permite abordar las diferentes condiciones de las obras en forma eficiente, económica y segura. Así lo manifestaron importantes expertos de la industria en el seminario "Desafíos en Túneles y Espacios Subterráneos", organizado por el Comité de Túneles y Espacios Subterráneos, CTES-Chile, de la Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT, en Edifica-ExpoHormigón 2013. Oportunidad en la que algunas ideas coincidieron en que actualmente se ha logrado un mayor grado de mecanización y automatización del proceso de construcción, además de identificar importantes innovaciones en los ámbitos de prospección, excavación, soporte, impermeabilización y extracción de marina, asociados al proceso de construcción; no obstante, aún queda espacio para seguir avanzando.



» En la actualidad la tecnología es primordial en la industria minera tanto para sus procesos productivos como para la construcción y ampliación de sus faenas. Sin embargo, se considera que estas herramientas aún no están 100% capacitadas al desarrollo de mallas de exploración mineras, que requieren de muchos túneles cortos (intersectados) y con esquinas con radios de giro pequeños.

» El sector busca el ingreso de avances tecnológicos en sus faenas, con el objetivo de dar un mayor énfasis en la seguridad de los trabajadores, la reducción de los impactos ambientales y un mejoramiento en control de costos. Todos, factores críticos para la minería de hoy.

Toda la tecnología que se utiliza, según enfatizan los expertos, posee como objetivo dar un mayor énfasis en la seguridad de los trabajadores, la reducción de los impactos ambientales y un mejor control de costos, todos ellos factores críticos para la minería de hoy.



Seminario
"Desafío en Túneles y
Espacios Subterráneos",
realizado en
Edifica-ExpoHormigón
2013.

Las obras subterráneas en el ámbito de la minería, concentran cerca de la mitad de los montos de inversión en proyectos del país (US\$ 112,6 mil millones aproximadamente). Entre ellas, destacan los túneles y cavernas que son parte de las faenas estructurales de Codelco, tales como el nuevo Nivel de Mina de El Teniente, la Mina Chuquicamata Subterránea y el plan de expansión Andina 244. En el sector de energía, que también concentra parte importante de las inversiones, destacan el desarrollo de los túneles de las centrales Alto Maipo de AES Gener y Los Córdobes de Endesa, que deberían empezar sus obras prontamente. Finalmente, en el ámbito de la infraestructura, ya ha comenzado la construcción de las líneas 3 y 6 de Metro Santiago, con 37 km de extensión, junto con los proyectos de la autopista subterránea Américo Vespucio Oriente y de la autopista Costanera Central y los trasandinos, así como son los túneles viales Agua Negra y Las Leñas y el túnel para Ferrocarril Corredor Bioceánico Aconcagua.

Al respecto, Carlos Zeppelin, presidente de la CDT, afirmó que "el crecimiento económico, las inversiones, los avances tecnológicos y nuestra propia geografía, son algunos de los argumentos que nos demuestran que los proyectos de túneles se multiplicarán en los próximos años". Entonces, ¿cuáles son los principales desafíos para el sector? Esta es una pregunta que estructura el quehacer diario de los diversos actores involucrados en estas faenas. Tecnología y seguridad parecen ser las claves.

CONTEXTO

La construcción de obras subterráneas es una actividad que se remonta a los mismos orígenes de la humanidad. Inicialmente se trataban de primitivas faenas excavadas de modo manual y sin soporte activo, que dependían mayormente de la capacidad auto-soportante del terreno. Muchas de estas construcciones antiguas, que datan de periodos anteriores a Cristo, aún existen y son operacionales al día de hoy.

Alexandre Gomes, presidente del Comité de Túneles y Espacios Subterráneos de Chile, CTES-Chile, aseguró que solo a partir del siglo XIV las técnicas y la preponderancia de este tipo de construcciones comenzaron a progresar hacia el estado del arte actual.

Asimismo, Gomes destacó que las obras subterráneas entregan soluciones óptimas para muchos de los problemas y desafíos globales que enfrenta y enfrentará la humanidad en los próximos años, como "la aceleración de la urbanización y el crecimiento de las grandes urbes, el aumento de la población mundial, requerimientos de transporte, la escasez de agua y energía, los efectos del cambio climático y la extracción de minerales a mayor profundidad".

Todas estas situaciones corresponden a un impulso inexorable al continuo desarrollo tecnológico y el aumento del uso de soluciones subterráneas para dar respuesta a muchos de estos desafíos. En este contexto, las perspectivas y proyecciones del desarrollo de túneles en Chile se



GENTILEZA CODELCO

Proyecto Nuevo Nivel Mina, El Teniente. Obra minera subterránea que es parte del desarrollo estructural de Codelco.

relacionan, de acuerdo al presidente de CTES-Chile, con una búsqueda de una mayor “integración a las políticas públicas y planificación urbana; aumento en automatización y mecanización de la construcción; un crecimiento en los temas de seguridad y salud (construcción y operación), avances en el conocimiento científico civil, geotécnico, materiales, tecnológicos y geofísica; incorporación de conceptos de sustentabilidad a los proyectos y mantenimiento de túneles antiguos y, finalmente, obtener mejores sistemas contractuales (compartir riesgos / risk-sharing)”.

MEJORA CONTINUA EN TECNOLOGÍA SUBTERRÁNEA

Pocos pueden discutir que una coordinación temprana con los proveedores de tecnología, especialmente en las etapas iniciales de planificación de las operaciones subterráneas, resulta beneficioso para el éxito de la planificación de la obra, puesto que se establecerían asociaciones estratégicas que permitirían ahorrar tiempo, reducir costos y compartir riesgos en los desarrollos. En la actualidad la tecnología es primordial en la industria minera tanto para sus procesos productivos como para la construcción y ampliación de sus faenas. Justamente por ello, existe un sinfín de equipos para la minería subterránea, los cuales cumplen con las diferentes necesidades que el mandante exige y el contratista requiere.

Respecto de los futuros proyectos de expansión minera

subterránea, que requerirán de largos túneles para sus obras de infra-estructura, el presidente de CTES-Chile explica que, “estos casos pueden, en función del tipo de terreno a ser excavado, constituir oportunidades de implementación de métodos de excavación mecanizados de gran escala”, refiriéndose al uso de máquinas como la Tunnel Boring Machine, TBM (máquina capaz de excavar a sección completa, a la vez que colabora en la colocación de un sostenimiento si este es necesario, ya sea en forma provisional o definitiva)”.

Entre los anhelos de la industria minera sobre las nuevas tecnologías, se destacan la búsqueda por sistemas de fortificación más eficientes y chancables, menores requerimientos de ventilación, mejores sistemas de marina (simultaneidad de operaciones), diseño para aplicación en roca competente, con diferentes secciones y radio de giro compatibles con P/B Caving (malla tipo El Teniente), un radio de giro de 12 metros, capacidad de retroceder y una fortificación incluida, todas características que exponen el avance tecnológico del año.

Javier Vernier, gerente comercial de Herrenknecht, actor relevante en el mercado de las TBM a nivel mundial, asegura que se vienen nuevas infraestructuras de alta capacidad para mantener a las personas, los bienes y los recursos en movimiento. “Túneles más largos y profundos en todo tipo de geología para cada tipo de tráfico y utilidad del túnel; y espacios subterráneos con diámetros grandes, los que po-



Tipos de excavaciones

Para la construcción subterránea existen diferentes tipos de excavaciones. Los más usuales pueden ser resumidos en términos del método convencional y del mecanizado, respectivamente. Alexandre Gomes, dice que dentro del sistema convencional hay algunas diferencias entre excavaciones en roca y en suelo. El primero, consiste en el uso de explosivos para desmontar la roca, con posterior instalación de soporte mediante shotcrete y pernos, con eventual instalación posterior de un revestimiento secundario o final.

El método en suelo, utilizado en Metro Santiago es el NATM (Nuevo Método Austriaco de Construcción de Túneles), corresponde a una excavación cíclica, mediante el uso de retro-excavadoras adaptadas e instalación contemporánea de un soporte de cascara doble de shotcrete de carácter permanente. En algunos casos, como en el proyecto Mapocho Limpio, para aguas servidas, también se ha aplicado el sistema de soporte mediante steel-liners inyectados, que reemplazan al shotcrete como elemento de soporte en túneles de pequeño diámetro.

Y por último, **el sistema mecanizado** consiste en la utilización de máquinas tuneladoras TBM, equipo que sirve para la construcción de túneles urbanos y mineros. Esta técnica permite perforar el túnel a frente completo, donde la máquina actúa como una broca de excavación continua del macizo, lo que es seguido de la instalación más automatizada de los elementos de soporte. Asimismo, también se puede mencionar el uso de raise-borers, que corresponde a otro tipo de excavación mecanizada para la construcción de piques verticales e inclinados.



drían ser construidos por los siguientes equipos Shaft Sinking Jumbo; TBM; Pipe Jacking; Raise Boring Rig, RBR; la Boxhole Boring Machine, BBM y la Mobile Tunnel Miner, MTM", detalló.

Toda la tecnología que se utiliza, según enfatizan los expertos, posee como objetivo dar un mayor énfasis en la seguridad de los trabajadores, la reducción de los impactos ambientales y un mejor control de costos, todos ellos factores críticos para la minería de hoy (vea un completo reportaje sobre este tipo de equipos en la página 56).

SUBSUELO MINERO: TAREA PENDIENTE

Según señalan los expertos, en el ámbito minero, las técnicas de fortificación en subsuelo, aún presentan falencias que deben ser resueltas. "Hace solo 30 años usábamos madera. Hoy tenemos acero y hormigón. Sin embargo, con estos materiales experimentamos problemas en el chancado, aguas abajo del proceso", así lo manifestó Ernesto Arancibia, director del Proyecto de Minería Continua

de la Corporación Nacional del Cobre, Codelco.

Una posible solución a este problema sería la consideración de elementos de soporte "chancables", como los componentes poliméricos, cuya principal ventaja sería que pueden ser chancados sin reducir la vida útil de los sistemas productivos.

Sin embargo, quizá lo más preocupante según este experto, es que "hoy no contamos con equipos 100% aptos para el desarrollo de infraestructuras subterráneas, ya que interfieren mucho en los procesos mineros", para ello se necesita de una construcción de túneles de calidad y segura.

A modo de ejemplo, Arancibia detalló que las tuneladoras aún tienen un desempeño "muy limitado en sectores con curvas; sin embargo, la nueva estrategia que se implementa, busca metodologías que garanticen una mayor precisión en la apertura de los socavamientos para provocar el menor daño al cerro y ahorrar recursos y tiempo en retiro de material y de personas".

Respecto de este desafío, el profesional de Codelco agregó que las velocidades con que se desenvuelven las tuneladoras "representan un tema pendiente que mejorar, por lo que estamos instaurando un sistema de minería subterránea continua, la cual consta de mayor innovación, mecanización y menos mano de obra, como por ejemplo en el proyecto Nuevo Nivel Mina, El Teniente".

SOLUCIONES CONTRACTUALES

Los principales actores de la industria en torno a la construcción subterránea, deben procurar resolver, previo al inicio de la obra, dos aspectos de vital importancia: Los contratos de los proyectos (Mandante- Contratista) y los riesgos que se presentan al desarrollar la obra. Luis Valenzuela, consultor de Arcadis Chile, cree que en el desarrollo de las obras subterráneas siempre se está expuesto al peligro. "Ningún proyecto de construcción está libre de riesgo. Este se puede administrar, minimizar, compartir, transferir o aceptar. No puede ser ignorado".

De acuerdo a lo anterior, el profesional de Arcadis, recomendó que el contrato de construcción de túneles tendría que ser un acuerdo sobre cómo dividir las responsabilidades, riesgos y costos entre el dueño/inversionista y el contratista. Además, de un incentivo a la cooperación y no la confrontación entre las partes.

El experto aseguró que resulta vital realizar un análisis de riesgo en el manejo contractual, que comprenda ingeniería conceptual, diseño y licitación y la construcción del proyecto. No obstante, "las diferencias de interpretación de los términos contractuales pueden surgir en algún momento, provocando importantes perjuicios por retrasos o aumento en los costos operativos", advirtió Valenzuela (para mayor información revise reportaje en pág.20).

Ante ello, además del esquema convencional de resolución de controversias, que parte en el nivel más "operativo" hasta llegar al arbitraje o los tribunales de justicia, destaca una instancia previa al arbitraje, denominada Dispute Resolution Board, DRB, que —de acuerdo a las diversas experiencias— habría obtenido buenos resultados en la gran minería.

En términos generales, este sistema consiste en un pa-



GENITILEZA ANGLAMERICAN

TBM

UNA TUNELADORA TBM es una máquina capaz de excavar túneles a sección completa, a la vez que colabora en la colocación de un sostenimiento si este es necesario, ya sea en forma provisional o definitiva. 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 siete 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" (ver Revista BiT N°77 pág. 27).

nel de expertos elegido y financiado por ambas partes, cuya actuación se produce desde el inicio del proyecto.

Existe estadística internacional muy positiva en el uso de los DRB, especialmente en el Reino Unido y Estados Unidos. En el caso de Chile, este sistema de solución de posibles controversias "comenzaron a aplicarse hace cinco años en contratos relacionados con túneles en la minería, con un 100% de éxito", aseguró el experto de Arcadis.

SEGURIDAD: PREOCUPACIÓN PERMANENTE

Según la Asociación Chilena de Seguridad, ACHS, la industria minera al año 2012 ha registrado 25 víctimas de accidentes fatales, gran parte de ellos con menos de un año de experiencia. A la luz de estos datos, el sector tiene permanentemente sus ojos puestos en la seguridad y protección de los trabajadores mineros.

Respecto de los principales riesgos a los que se enfrentan los trabajadores del sector del subsuelo minero y las medidas de seguridad que la industria debe seguir y cumplir, Rodrigo Barahona, especialista Senior Sector Minería de la ACHS, indica que toda obra subterránea debe tener y contar con medidas de ventilación, iluminación, programas para el control de derrumbes y automatización de operaciones.

El representante de la ACHS, agregó además que pese a la mecanización y automatización de los procesos se deben considerar los resguardos de uso de elementos básicos de seguridad dentro de la faena como por ejemplo, cascos, linternas, guantes, zapatos, autorescatador, entre otros".

La seguridad en minería ha mejorado sustancialmente en los últimos años, pero aún existe mucho por hacer en la pequeña minería, de hecho, "el concepto de accidentabilidad cero se maneja en forma transversal, pero en la pequeña minería está en una situación más compleja que la

mediana y gran minería", indicó Barahona.

Según este profesional, en la pequeña minería se desarrollan muchas actividades manualmente, los sistemas de fortificación se estructuran con acuñaduras básicas, "no hay una fortificación importante (sin cálculos), los costos asociados para el uso de equipos mecanizados y automatizados para este tipo de minería son reducidos y complejos en inversión, aquí hay mundos muy opuestos".

Aunque se aleja del mundo minero, en el ámbito de la excavación de suelos en medio urbano, es posible destacar la seguridad de las construcciones subterráneas de Metro de Santiago, cuya ejecución bajo el estricto control y monitoreo del comportamiento de las excavaciones, ha permitido que el nivel de accidentabilidad este bastante controlado.

Barahona afirmó que debido a que en las excavaciones de suelo se utilizan maquinarias mecanizadas, retroexcavadoras o algunos martillos percutores, éstos van generando el desprendimiento de la frente, "por lo que es clave el control topográfico y geodésico, que consiste en las mediciones finas respecto a potenciales de formaciones que puede sufrir la cavidad de un túnel, es decir, en obras de metro se dejan puntos de referencia (PR) cada ciertos tramos en el cual la topografía va controlando a través de mediciones potenciales deformaciones que generen alguna condición de riesgo, que afecte a nivel de superficie, como al interior del túnel", detalló.

En las últimas décadas, la industria ha incorporado importantes tecnologías y nuevos procesos en la construcción subterránea, todo con el fin de alcanzar una eficiencia que permita reducir tiempo de ejecución y competir en los actuales mercados. Además, todos los actores nacionales esperan que dichas mejoras prosigan en forma sostenida en los próximos años, con el fin de transformar a Chile en uno de los principales desarrolladores de la tunelería en el mundo. //