

CONCLUSIONES

Jueves, 20 de septiembre de 2018

LA TUNELERÍA COMO EJE ESTRATÉGICO DE UN PROYECTO MINERO



EXPOSITOR: Dr. José Galera, director general de Toro Mining Consultants.

FICHA TÉCNICA

Conferencia:

La Tunelería como eje estratégico de un proyecto minero

Expositor:

Dr. José Galera, director general de Toro Mining Consultants.

Presidente de mesa:

Ing. Roberto Maldonado, segundo vicepresidente del Instituto de Ingenieros de Minas del Perú.

Antecedentes

La minería desde sus orígenes, ha estado a la vanguardia del desarrollo científico y tecnológico. En el siglo XVIII se fundaron las primeras escuelas de minas (Freiberg, 1765), geometría, mineralogía, mineralurgia y metalurgia. En América destaca la Academia de Minería de Potosí (1778) y el Real Seminario de Minería (México 1785, dos años antes que París). Además, Fausto y Juan José Elhuyar descubren el wolframio y Andrés del Río, el vanadio, en México.

En el siglo XIX se desarrolla la geología y otras ciencias de la tierra afines. En el XX destaca la geoestadística (escuela de Fontainebleau), economía, geotecnia, y la mecánica de rocas. Finalmente, en el siglo XXI hablamos de avances en sustentabilidad ambiental, seguridad, y productividad, en lo que la minería peruana está a la vanguardia.

Entre los hitos de la minería en Perú a lo largo del tiempo, destacan las primeras explotaciones industriales: Huamanga (1557), Huancavelica (1563) y Castrovirreyna (1569). En 1683 se disponen las primeras Ordenanzas Mineras y, en 1828, Mariano Eduardo del Rivero funda la Escuela de Minas de Lima, que en 1876 con la implementación de la Escuela Especial de Ingenieros de Construcciones Civiles y de Minas, crea las bases de la actual Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

El siglo XX, trae consigo el auge de la minería y la inversión extranjera, en su mayoría de operaciones a tajo abierto. En la actualidad el Perú es una potencia minera mundial. La inversión, tras tocar fondo en 2016 (US\$ 3,334 millones), se prevé ascienda a unos US\$ 5,000 millones este año.



En cuanto a la minería de socavón, según estadísticas del Ministerio de Energía y Minas (Minem) existe un total de 190 concesiones mineras subterráneas registradas, que suponen el 38% de las unidades en operación.

Destacan las minas de Milpo, Atacocha, Volcan, Cobriza, Morococha, Casapalca, Santa Luisa; San Rafael, San Vicente; Marsa, Horizonte, Poderosa, Orcopampa, entre otras. En algunos tajos se planifica su fondo óptimo, lo que hará necesario explotar yacimientos más profundos mediante este método.

Es de prever que los nuevos descubrimientos sean más profundos, requiriendo mayoritariamente, del uso de minería subterránea, con infraestructuras más complejas y mayores distancias de transporte, aunque este tipo de operaciones tienen la ventaja de poseer una huella ambiental menor.

La minería subterránea peruana presenta hoy, mayores exigencias, que se han visto satisfechas con el avance de la tecnología. Las empresas mineras han apostado por la innovación con el objetivo de mejorar la seguridad y la productividad de sus unidades.

Esto exigirá, en particular: incrementar la eficiencia en la construcción de túneles (infraestructuras mineras), aplicar las mejoras tecnológicas provenientes de la tunelería civil y otras mejoras técnicas, en especial de la excavación mecanizada de túneles (TBM). A ello se suma, contar con diseños de ingeniería más fiables y representativos del comportamiento del terreno.

Los retos actuales en el diseño de túneles están asociados a:

Caracterización geomecánica.

- a) Parámetros mecánicos (resistencia y deformabilidad) representativos de los macizos rocosos a gran escala.
- b) Las tensiones naturales.
- c) Los modelos sintéticos.

Cálculos tenso-deformacionales precisos y representativos.

- d) Valoración del efecto frente (cálculos 3D).
- e) Interacción con rajo, otras infraestructuras y subsidencia.
- f) Cavernas y piques.

Además de excavaciones subterráneas a gran profundidad (estallidos de roca cada vez más importantes) y empleo de la información adquirida para mejorar los diseños, "Design as you go".

Con relación a la resistencia del macizo rocoso, a partir del criterio del Hoek-Brown (1980), se han hecho numerosos intentos basados en ensayos de laboratorio e in situ para determinarla. La última aportación significativa es del 2002.

En cuanto a los cálculos tensodeformacionales representativos debe tomarse en cuenta que los riesgos constructivos en una obra subterránea se derivan de los condicionantes geológicos, geomecánicos e hidrogeológicos existentes en el terreno.

La metodología de diseño debe estar basada en la predicción del comportamiento del terreno para un proceso constructivo dado. Los modelos de cálculo deben ser alimentados con propiedades mecánicas y condiciones de contorno (tensiones naturales) representativas y estos deben ser armónicos con el método de cálculo. Finalmente, los análisis retrospectivos, "back analysis" constituyen una valiosa herramienta para disponer de predicciones más certeras.

En el caso de las excavaciones subterráneas a gran profundidad, en macizos rocosos de buena calidad geomecánica (UCS y rigidez elevados, y escaso fracturamiento) sometidos a estados tensionales elevados, se pueden generar estallidos de roca.

Los parámetros que intervienen en estos estallidos son: profundidad y estado tensional, litología (resistencia y rigidez), estructuras y fracturamiento, calidad del macizo rocoso y tensiones inducidas por excavaciones vecinas.

Por esta razón, es importante incorporar el uso de información que se va adquiriendo durante la excavación y sostenimiento del túnel (mapeo litológico y estructural del frente, mapeo geomecánico, convergencias, etc.) para entender mejor y de manera predictiva su comportamiento geomecánico (tenso - deformacional).

Además, hay que realimentar los diseños previos a la construcción, con esos datos: "design as you go". En un proyecto subterráneo, la ingeniería en terreno adquiere

una mayor relevancia, basada en un riguroso seguimiento geomecánico de la obra.

La tunelería en la minería subterránea mejora la eficiencia en la construcción de la infraestructura, aplicando las mejoras tecnológicas de la actividad civil en cuanto a perforación y tronadura, excavación a sección completa y optimización del ciclo de avance, y en especial, con el uso de la excavación mecanizada de túneles (TBM).

En cuanto a las innovaciones en la excavación con tronadura, tenemos que la imprecisión de los sistemas pirotécnicos conlleva un pobre control de los tiempos, que es relevante sobre todo en la aparición de tiros quedados y la sobre excavación.

En ese sentido, la tendencia es el empleo de conexasión mixto: detonadores electrónicos en contorno (precisión) y detonadores a fuego en destroza (economía).

En tronaduras de gran longitud de pase, este sistema permite mejores avances respecto a la perforación. En casos de necesidad de limitar las vibraciones, con detonadores electrónicos se puede cuadruplicar respecto a sistemas pirotécnicos.

De otra parte, los métodos de sección completa exigen, desde el punto de vista del terreno, que la excavación se comporte elásticamente o su plastificación sea mínima y controlada, y que el frente de excavación sea estable.

Si esto se consigue, se pueden obtener excelentes rendimientos, evitando las sollicitaciones tensionales adicionales que se generan cuando se realiza la destroza de un túnel finalizado el avance.

Para la optimización del ciclo de avance se requiere el empleo de explosivos no encartuchados, maquinaria automatizada y adecuada como: jumbo robotizado de 2 o 3 brazos, palas cargadoras o similar de elevada capacidad, robots de shotcreteado y equipos de apernado, camiones polivalentes y bien dimensionados, estocadas para acopios intermedios y maquinaria auxiliar adecuada (acuñadura, carga explosivo, etc.).

Existen tres tipos de TBM de roca: TBM abierta (Main beam o topo), doble escudo y escudo simple. En estos casos, el Rock Mass Excavability Index RME (Bieniawski; et al, 2006) es una herramienta de gran utilidad para seleccionar el tipo de TBM más adecuado a las características del terreno.

En la actualidad existe también el Mobile Miner desarrollado por Epiroc, que entrará en competencia con las TBM.



Dr. José Galera e Ing. Roberto Maldonado.

Entre los ejemplos de aplicación de la excavación mecanizada de TBM, i los túneles de la Ruta 68 en Chile, cuyo avance fue de 3,758 m en 16 meses, es decir, un promedio de 117.4 m/mes, y los túneles de la CH La Confluencia, que implica obras subterráneas que suponen un total de 24.25 km, con una sección útil de 6x5.9 m en los túneles principales: Portillo (11.5 km) y Tinguiririca (9.2 km).

En minería tenemos el túnel sur de los Bronces de Anglo American en Chile, que proyectó en 2006 un túnel para exploración minera. Las obras se adjudicaron al Consorcio Besalco-Dragados en diciembre de 2007 y la TBM partió en 2010. El túnel posee 8 km de longitud y una sección de 15.9 m², correspondientes a un diámetro de 4.5 m y se ubica a 3,600 m sobre el nivel del mar.

Fue necesario iniciar el túnel con perforación y tronadura y construir una cámara de montaje de la TBM. Además, se decidió el empleo de un doble escudo híbrido, capaz de compatibilizar dovelas con soportes convencionales.

Otro ejemplo, es la excavación del proyecto hidroeléctrico Cheves, que posee 19 km de túneles y el complejo de casa de máquinas, con dos cavernas de 500 y 160 m², donde los rendimientos fueron notables con 140 metros de avance al mes.

Conclusiones

1. La minería ha estado desde sus inicios modernos ligada a la innovación tecnológica. Esta tendencia debe proseguir.
2. La tunelería ligada a la infraestructuras minera puede tomar de la obra civil los avances en perforación y voladura, la excavación de túneles a sección completa y la optimización del ciclo de avance con equipos automatizados y altas prestaciones.
3. La tunelería relacionada a las infraestructuras mineras debe incorporar los avances en la excavación mecanizada de túneles (TBM).
4. Los diseños de ingeniería deben estar basados en precisos modelamientos sustentados por una correcta caracterización del terreno, incluyendo análisis retrospectivos.
5. Durante el desarrollo de la tunelería, la ingeniería debe tener un rol activo y capacidad de mejorar los diseños.
6. Sería conveniente encontrar figuras de riesgos compartidos entre la minera y la constructora de modo que se facilite la introducción de nuevas tecnologías.

Aportes de la sala

- Las primeras TBM para minería se aplicaron en excavación de minas de carbón en los años 80 y 90, ahora tienen un boom, y los fabricantes se han adaptado a todo tipo de condiciones, como el desarrollo de doble escudo para terrenos de mala calidad.
- Hace 34 años la frase en la construcción de túneles era "un muerto por cada kilómetro de avance", ahora después de 30 años ese índice se sitúa en 0.1. Antes el mejor túnel era el que no se construía, en la actualidad, el futuro es prometedor, cada vez se hacen más túneles, no solo en minería sino también en hidroeléctricas, presas, etc.
- En casos de macizos rocosos inestables, son importantes los estudios geomecánicos previos y conocer los esfuerzos naturales con la tecnología existente, como sondeos de estimación de tensiones basados en datos geológicos.
- Para que una mina pueda usar TBM, se debe evaluar básicamente los plazos y costos, ya que la máquina tarda en llegar aproximadamente un año y el costo fluctúa entre los 20 a 35 millones de dólares, con una importante inversión inicial.