Laboratorio de Innovación en Tecnologías Mineras

Introducción a la Minería Subterránea.

Vol. I: Características generales.

2ª Edición. (Serie "Introducción al Laboreo de Minas")

Madrid - 2019

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**Escuela Técnica Superior
de Ingenieros de Minas y Energía**

www.minas.upm.es

ADVERTENCIA

El presente documento ha sido preparado con una finalidad exclusivamente divulgativa y docente. Las referencias a productos, marcas, fabricantes y estándares que pueden aparecer en el texto, se enmarcan en esa finalidad y no tienen ningún propósito de difusión comercial.

Todas las ideas que aquí se desarrollan tienen un carácter general y formativo y el ámbito de utilización se circunscribe exclusivamente a la formación de los estudiantes de la UPM. La respuesta ante un caso particular requerirá siempre de un análisis específico para poder dictaminar la idoneidad de la solución y los riesgos afrontados en cada caso, además de una valoración de su incidencia en los costes de inversión y explotación. Consulte siempre a su ingeniería, consultor, distribuidor y fabricante de confianza en cada caso.

Foto de portada: Jansen mine shaft. BHP Billiton (<https://www.bhp.com/media-and-insights>)

DOI: 10.20868/UPM.book.62723

Archivo Digital de UPM: <http://oa.upm.es/62723/>

Copyright © 2019. Todos los derechos reservados

Juan Herrera Herbert
juan.herrera@upm.es

Universidad Politécnica de Madrid (Technical University of Madrid)
E.T.S.de Ingenieros de Minas y Energía (H.T. School of Mines and Energy)
Laboratorio de Innovación en Tecnologías Mineras (Mining Technologies Innovation Lab)

Calle Ríos Rosas 21
28003 Madrid (España)

Este documento ha sido formateado para su visualización y uso en dispositivos electrónicos y permitir ahorrar en el consumo de papel y tóner. Antes de imprimirlo, piense si es necesario hacerlo.

**Los científicos estudian el mundo tal como es;
los ingenieros crean el mundo que nunca ha sido.**

Theodore Von Karman
(Físico húngaro-estadounidense)

Contenido

1.	LA EXPLOTACIÓN MINERA EN INTERIOR	7
1.1.	Concepto de mina subterránea o “de interior”	7
1.2.	“Desarrollo” de una mina de interior	10
1.2.1.	Consideraciones iniciales	11
1.2.2.	Instalaciones principales.....	13
1.2.3.	Labores de preparación y desarrollo de mina	15
1.3.	Terminología fundamental empleada en minería subterránea	18
2.	TENDENCIAS GENERALES DE DESARROLLO OBSERVADAS EN MINERÍA DE INTERIOR	23
3.	ESQUEMA GENERAL DE UNA MINA DE INTERIOR	27
3.1.	Trazado de una mina	27
3.2.	Características generales de la labor de preparación de una mina de interior	28
3.3.	Accesos (mine access)	31
3.3.1.	Pozos	31
3.3.2.	Planos inclinados	32
3.3.3.	Socavones (Adits)	34
3.3.4.	Pozos inclinados	35
3.4.	Desarrollo y preparación de mina (mine development)	37
3.5.	Importancia de la geomecánica en minería de interior	39
4.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

1. LA EXPLOTACIÓN MINERA EN INTERIOR

1.1. CONCEPTO DE MINA SUBTERRÁNEA O “DE INTERIOR”

Cada yacimiento requiere un modelo específico de excavaciones para su extracción minera. El método de explotación es la arquitectura que permite la extracción de las reservas mineras de una manera tecnológicamente eficiente, compatible con objetivos de desarrollo sostenible y económicamente viable y que, además, dependerá, además, de factores relacionados con:

- La naturaleza del depósito mineralizado.
- Consideraciones técnico-económicas, siendo las más importantes:
 - Potencia del yacimiento.
 - Forma y extensión del cuerpo.
 - Distribución de la mineralización.
 - Propiedades geomecánicas.
 - Disposiciones, normativas y regulaciones.
- La forma en que se realizará el posterior cierre, restauración y abandono de la explotación minera.

En general se llama **mina de interior o subterránea**

al conjunto de pozos, galerías, rampas, chimeneas o coladeros, cámaras para alojamiento de servicios e infraestructuras varias, así como de labores de explotación propiamente dichas, que han sido destinados a permitir la extracción eficiente de un mineral o conjunto de minerales de un yacimiento situado a una cierta profundidad y que no es accesible, tanto económicamente o ambiental o socialmente, por métodos de explotación a cielo abierto.

El diseño de una explotación minera subterránea es el proceso de ingeniería de minas que define tal arquitectura con el soporte del cálculo de los siguientes aspectos asociados a una arquitectura dada:

- Recuperación Minera.
- Dilución.

- Seguridad.
- Coste.
- Rentabilidad y beneficio económico.
- Fiabilidad de las estimaciones de producción.

El programa de producción se refiere a como el diseño se despliega y desarrolla en el tiempo y como se van alcanzando las metas de producción con la herramienta de diseño, gestión, etc. El proyecto, la construcción, operación y cierre de una mina subterránea involucra un amplio conjunto de actividades de excavación y construcción que varían y dependen de:

- Las condiciones del emplazamiento.
- Las condiciones geológicas y geomecánicas del yacimiento.
- Las condiciones de cierre

Plan to mine and mine as planned

Para conseguir la extracción eficiente de las reservas mineras en condiciones de suficiente rentabilidad, seguridad y protección ambiental, todo yacimiento requiere la construcción de un proyecto específico. Este proyecto específico, que se crea en una fase previa a la producción del mineral, es íntimamente

dependiente del método de explotación seleccionado y tiene por finalidad la creación de los componentes básicos del conjunto de la mina y necesarios para asegurar una producción eficiente. Dicho proyecto se articula necesariamente en torno a:

- Los accesos.
- La preparación (construcción) de la mina: excavación y construcción de infraestructura (desarrollo de mina), sostenimiento, ventilación, iluminación, drenaje y gestión del agua, servicios, etc.
- La selección de los métodos de explotación.

Si el yacimiento se encuentra suficientemente próximo a la superficie, es probable que su explotación se inicie con una explotación a cielo abierto y que ésta pase a

ser por interior más tarde.

	MINERÍA A CIELO ABIERTO	MINERÍA DE INTERIOR
VENTAJAS	Alta productividad y bajo coste	Menor producción de estéril
	Inicio de la producción más temprano	Menor impacto ambiental
	Flexibilidad	Menor coste de restauración
	Equipos de mayor tamaño	Mayor precisión en la extracción
	Bajo coste de fragmentación	
	Buena recuperación	
	Buenas condiciones de trabajo	
DESVENTAJAS	Limitaciones por profundidad (ratio estéril/mineral)	Puesta en producción más larga
	Alta inversión	Necesidad de ventilación y control de estabilidad de techos
	Coste de restauración	Trabajo en espacios confinados
	Impacto de la meteorología en la operación	Mayores consideraciones concernientes a la seguridad, lo que hoy día no quiere decir menor seguridad en las operaciones
	Mayor extracción de estéril (escombreras)	Mayor consumo de energía por tonelada producida
	Estabilidad de taludes	Difícil control de leyes y de la dilución
		Ritmos de producción más bajos

1.2. “DESARROLLO” DE UNA MINA DE INTERIOR

En una mina subterránea, tanto los trabajos que se requiere desarrollar como la forma en se realiza el trabajo en sí, vienen marcados por unas características muy especiales a modo de impronta de lo que es una mina de interior. El trabajo en interior y a gran profundidad requiere un tipo de infraestructura especial que se debe construir con carácter previo al inicio de las labores de extracción del mineral. De éste modo se crea una red de pozos, galerías y cámaras conectados con la superficie que permitirán el movimiento de los trabajadores, las máquinas y el mineral dentro de la mina.

La preparación y desarrollo de la mina incluye todas las excavaciones y construcciones que preceden al proceso minero de extracción de mineral, al tiempo que preparan al yacimiento para que pueda llevarse a cabo la producción minera. Incluye por tanto la configuración de una red cuidadosamente planificada de desarrollos mineros que integra:

- Pozos de acceso, producción y/o ventilación (plano inclinado o socavón según proceda).
- Rampas interiores y secundarias
- Túneles y pozos de exploración
- Galerías (principales y secundarias)
- Configuración y preparación de cámaras y tajos
- Pozos auxiliares, piqueras, chimeneas, rampas, etc.

- Infraestructura para el personal
- Infraestructura de servicios auxiliares: ventilación, drenaje, seguridad, etc.
- Infraestructura de trituración
- Estaciones de carga
- Infraestructura para el mantenimiento y estaciones de servicio.

1.2.1. CONSIDERACIONES INICIALES

En la construcción de una mina subterránea, el macizo rocoso en el que se encuentra forma parte de la estructura resistente y condiciona de forma muy directa la forma en que se diseñará y desarrollará la mina. Es por ello que, si no se estudian de forma detallada todas sus características e implicaciones, la aplicación de una u otra metodología de construcción puede no solo aumentar el coste hasta niveles de hacer inviable el proyecto, sino que puede llegar a condicionar totalmente el diseño y por tanto el proyecto en sí.

Además de la elección del sistema y del proceso constructivo, hay otros condicionantes del emplazamiento o de su entorno que han de tenerse en cuenta en todo proyecto de ingeniería, así como la forma en la que están inter-relacionados entre sí, qué aspectos influyen y qué problemas adicionales se plantean. La ingeniería proyectista de una mina subterránea debe tener siempre en cuenta al menos los seis grupos de temas básicos siguientes:

- El objetivo de la mina subterránea.
- La geometría del proyecto: trazado y sección tipo. Cálculos justificativos.
- La geología y la geotecnia del macizo y su

colaboración como parte esencial de la estructura resistente de la mina.

- El sistema o metodología constructiva.
- La estructura resistente. El cálculo
- Las instalaciones para la explotación.

A ellos hay que añadir otros dos grupos de aspectos que no se incluyen aquí porque se estudian usualmente fuera del proyecto propiamente dicho, pero que tienen una enorme influencia en proyectos de gran envergadura y plazo de ejecución muy extenso. Son los relativos a la definición y evaluación de:

- Los riesgos a asumir
- La financiación del Proyecto.

Es muy probable que la Propietaria de la mina aborde estos dos aspectos a través de estudios adicionales, que no suelen ser incluidos ordinariamente en el encargo que hace a su equipo de proyectos o a un proyectista externo que diseñará y planificará la mina. Consecuentemente, lo más probable es que aborde estos estudios con otros consultores externos, que desarrollarán sus trabajos de forma independiente.

Por la trascendencia que posteriormente tiene en el desarrollo del proyecto e incluso en su viabilidad, conviene señalar aquí que muchas de las dificultades encontradas en la construcción y explotación de minas subterráneas han sido consecuencia de que el proyecto no ha tenido en cuenta de manera integral todo el conocimiento y los estudios a los que se refieren los temas recogidos en los otros grupos básicos.

Esta descripción tan resumida de lo que es una explotación minera subterránea no debe ocultar sin embargo la complejidad e intenso trabajo y especialización que son necesarios para conseguir desarrollar un proyecto de interior. Cada mina es diferente en cuanto a ubicación, instalaciones y operaciones subterráneas, como en producción, tecnología, responsabilidad ambiental y resultados. Además, todo ello depende del tipo de mineral que se extrae, su localización y condiciones dentro de la corteza y las formaciones geológicas, así como de aspectos económicos como el mercado del mineral y la disponibilidad de capital. Algunas minas llevan en funcionamiento ininterrumpido desde hace más de un siglo, mientras que en otras acaba de iniciarse la explotación.

1.2.2. INSTALACIONES PRINCIPALES

Para la adecuada explotación de una mina subterránea, es decir, conseguir una productividad suficiente manteniendo al mismo tiempo un alto grado de eficiencia y de seguridad, es necesario acudir a un minucioso estudio de las características del yacimiento y asegurar un diseño de la red formada por los pozos, las galerías, las rampas, las chimeneas y los pozos piqueta o coladeros (es lo que se llama la planificación de la mina) que permitan garantizar la actividad con un coste de inversiones y de operación adecuados.

Este proyecto específico, que se crea en una fase previa a la producción del mineral, es íntimamente dependiente del método de explotación seleccionado y tiene por finalidad la creación de los componentes básicos del conjunto de la mina y necesarios para asegurar una producción eficiente y se articula necesariamente en torno a:

- Los accesos, son las labores mineras que abren el camino desde la superficie al cuerpo mineralizado para su explotación.
- La preparación (construcción) de la mina: desarrollo, sostenimiento, ventilación, iluminación, servicios, etc.
- La selección de los métodos de explotación.

El **pozo** es el acceso más frecuente desde la superficie hacia el interior especialmente cuando las labores de explotación deben realizarse a una cierta

profundidad, aunque en los casos de yacimientos situados a una relativamente menor profundidad, se tiende a construir planos inclinados (o rampas) para el acceso y a acudir a dos tipos de soluciones para el transporte de mineral extraído, haciéndolo bien por camión hasta la superficie o bien por medio de bandas transportadoras.

En superficie se ubican habitualmente las instalaciones para el personal, las oficinas, los castilletes de los pozos, los acopios de mineral, la planta de concentración y las escombreras de estériles. No obstante, una buena parte de la infraestructura de talleres suele ubicarse en interior, muy próximos a los tajos en explotación. La infraestructura de ventilación, tratamiento de efluentes y demás infraestructuras se reparten entre interior y superficie.

El **castillete** es el elemento que tradicionalmente ha identificado la mina en superficie. Se encuentra situado justo encima del pozo y es el que en términos generales facilita la entrada y salida de los mineros, la bajada de los suministros y equipos y la extracción hacia la superficie el mineral y los materiales residuales que procedan. Tanto el pozo como las instalaciones de extracción varían según las necesidades de capacidad, profundidad, características, etc., de la mina.

Desde la infraestructura principal del pozo salen las **galerías laterales** que conectan cada estación del pozo con los frentes de explotación.

Las **rampas** internas son galerías inclinadas que

conectan entre sí los niveles subterráneos excavados a distintas cotas (o profundidades). Todas las galerías

Explotación canadiense de potasa
(Fuente: <http://www.telegraph.co.uk>)

deben disponer de **ventilación** y de servicios de abastecimiento de electricidad, agua, drenaje y bombeo, redes de señalización y comunicación, etc. Antiguamente era algo común que dispusieran también de una red de aire comprimido.

En las minas en operación es obligatoria la existencia de al menos dos accesos tanto por razones de ventilación como por razones de seguridad (salida de emergencia), ya que deben permitir la evacuación del personal en caso de necesidad.

Los pozos y las instalaciones de extracción deben

cumplir una normativa de seguridad muy estricta. El equipo de extracción (constituido por el conjunto de la máquina de extracción, jaulas y skips, sistemas de seguridad y emergencia, frenos y cables) ha de estar diseñado con un amplio margen de seguridad y ser revisado periódicamente. También el interior del pozo debe ser inspeccionado regularmente por personal específicamente formado y entrenado para garantizar siempre las máximas cotas de eficiencia y seguridad.

Para explotar el yacimiento normalmente se trabaja por plantas, excavando una red de galerías transversales que arrancan desde la infraestructura general de acceso (pozos o planos inclinados) y llegan hasta el yacimiento con el fin de permitir el desarrollo de las labores de arranque, carga y transporte del mineral.

El transporte de los materiales se realizaba antiguamente con vagonetas

sobre vía. Aunque hoy en día aún hay explotaciones que continúan utilizando éste sistema, los sistemas más utilizados son la carga y transporte con LHD y camiones de interior, en combinación con sistemas de extracción continuos por banda transportadora. El sistema general de extracción desde el interior de la mina bien puede ser por skip cuando la extracción se hace por pozo, o una banda general de transporte cuando se hace la extracción por plano inclinado. En ocasiones, el mineral también se puede almacenar en cámaras o cavernas de grandes dimensiones, diseñadas y excavadas al efecto, con el fin de que en momentos de alta producción o de avería del sistema de extracción, se extrae la producción de estos almacenamientos.

Labores de desarrollo en el proyecto Chuqui Subterráneo (Chile)
(Fuente: www.nuevamineria.com)

1.2.3. LABORES DE PREPARACIÓN Y DESARROLLO DE MINA

En lo que se refiere a los trabajos de excavación, se deben diferenciar necesariamente los trabajos de construcción de los accesos al yacimiento y de construcción de la infraestructura general de mina (trabajos de preparación general de la mina), de lo que son los trabajos de excavación y preparación de los frentes de explotación, tajos o cuarteles, donde se llevará a cabo la propia explotación del mineral.

Las características que hacen especiales las explotaciones subterráneas incluyen un amplio número de características, pero baste señalar que:

- Desde el punto de vista de la **iluminación**, en

las explotaciones mineras de interior el trabajo se realiza con luz artificial y muy escasa en la mayoría de las ocasiones. Esto obliga a emplear iluminación adicional para el desarrollo de muchas de las operaciones normales.

- Las condiciones de **temperatura**, **humedad**, etc., pueden suponer condiciones de trabajo mucho más incómodas y penosas para los operarios, así como también afectar a los equipos, que estarán sometidos a condiciones adversas que facilitan su deterioro.

- La existencia de **polvo**, **gases nocivos** o **grisú** en algunos casos suponen condiciones adversas que se traducen en un incremento de los riesgos y la peligrosidad de las operaciones.

- Los **espacios reducidos** por los que deben desenvolverse personal, vehículos y maquinaria móvil, suponen la creación de situaciones de riesgo y

la adquisición de destrezas y habilidades específicas para el personal.

Las explotaciones mineras en interior disponen de un grado de **automatización** cada vez mayor, reflejo del espectacular avance habido en las últimas décadas en las técnicas, procesos y equipos.

Características comunes a todas las máquinas de funcionamiento subterráneo son la utilización de

Labores de desarrollo en el proyecto Chuqui Subterráneo (Chile)

(Fuente: www.nuevamineria.com)

Mina subterránea de diamantes de Diavik (Northwest Territories, Canadá)
(Fuente: <http://www.riotinto.com>)

los macizos existentes por encima de los huecos de explotación y que van quedando cubiertos.

Como se verá en los siguientes capítulos, en éstos métodos el relleno y el hundimiento, según sea el caso, deben ser realizados y controlados de forma sistemática y muy precisa. De no hacerlo así, a medida que el hueco se va haciendo más grande, se producirían grandes derrumbamientos incontrolados que supondrían claras situaciones de riesgo contra la seguridad tanto del personal como de la propia mina en conjunto.

Otra característica es que, especialmente en los métodos por hundimiento y aun en el caso de minas ubicadas a profundidades más bien grandes, estos hundimientos progresarán hacia arriba llegando incluso a la superficie, generando graves problemas de subsidencia o hundimientos en la propia superficie. Los hundimientos en superficie comienzan a manifestarse al cabo de unos meses, pero no es raro que ello pueda llegar a suceder al cabo de un año o incluso más tiempo, dependiendo de la profundidad y de la naturaleza de los terrenos. Posteriormente, estos hundimientos en superficie durarán activos varios años hasta que los terrenos se equilibren y se recupere la superficie explotada.

En superficie no solamente se manifiesta un hundimiento, sino también un desplazamiento horizontal en la dirección de la explotación; el

hundimiento, si es en una zona de llanura, puede formar un estanque que requerirá de un bombeo para su desecación, mientras que el desplazamiento horizontal puede provocar fisuras superficiales en los campos y grietas en las construcciones. La zona del borde del hundimiento es la que más afecta a las construcciones, que se desequilibran inclinándose en dirección de la explotación.

Como se verá más adelante, la utilización de métodos de hundimiento es mucho más económico que los métodos por relleno, ya que se evitan los gastos de excavación, transporte y de colocación del material estéril que actúa de relleno. Sin embargo, los métodos por relleno pueden ser adecuados cuando se analiza la posibilidad de dar una utilización a los residuos estériles de planta, siempre que lógicamente se cumplan las condiciones necesarias para que ésta opción sea viable.

También se analizará aquí el caso de las explotaciones en las que se evita la afección a la superficie mediante la realización de una explotación parcial dejando pilares que deberán abandonarse y cuya finalidad es la de ser capaces de resistir el peso de los terrenos suprayacentes al mineral explotado. Estos pilares excavados en mineral pueden tener forma cuadrada o rectangular y llegar a obligar a dejar sin explotar de un 30 hasta un 70 % del yacimiento. Cuanto más profundo sea éste, más importante es la parte de mineral que hay que abandonar; por ello no se practica más que a escasa profundidad, del orden de algunos centenares de metros como mucho y en explotaciones de tipo canteras subterráneas de yeso, de piedra para construcción, explotaciones de carbón, etc.

maquinaria y vehículos sobre ruedas con neumáticos, el uso de motores diésel y la tracción total, habiendo prácticamente desaparecido el uso del carril, aunque existen todavía algunas explotaciones emblemáticas donde el acarreo sobre raíles con el uso de trenes mineros ha demostrado ser un sistema de transporte eficiente para volúmenes y distancias importantes.

En lo referente al método de explotación utilizado para la extracción del mineral, cabe hacer diferentes tipos de distinciones y clasificaciones. Una de ellas sería distinguir entre las explotaciones por relleno, en las que los huecos que van quedando en la parte posterior de los frentes de explotación se rellenan con materiales estériles, traídos desde la superficie o generados durante las labores de excavación de galerías en roca, y las explotaciones por hundimiento, en las que se provoca el hundimiento controlado de

Eagle Mine Layout

1 Guard House	7 Truck Wash	12 Aggregate Storage Building
2 Non-Contact Water Basin	8 Underground Mobile Equipment Shop	13 Backfill Plant
3 Power House	9 Coarse Ore Storage Area	14 Portal
4 Treated Water Infiltration System	10 Contact Water Basins	15 Mine Services Building
5 Cold Storage	11 Temporary Development Rock Storage Area	16 County Road AAA
6 Water Treatment Plant		

Ejemplo de construcción del emplazamiento de una mina subterránea moderna:
Eagle Mine Layout

(Fuente: Lundin Mining (<http://www.eaglemine.com>))

Labores de desarrollo en el Proyecto Nuevo Nivel Mina El Teniente (Chile)

(Fuente: Codelco)

1.3. TERMINOLOGÍA FUNDAMENTAL EMPLEADA EN MINERÍA SUBTERRÁNEA

Se exponen a continuación algunos términos utilizados en minería de interior:

ANCHURÓN: Ensanchamiento grande de una capa de carbón.

ARTILLERO: El que coloca y dispara la pega

ATACADOR: Vara de madera para comprimir en el barreno la dinamita.

BARRENA: Vara metálica que unida al martillo perforador taladra la piedra con el objeto de introducir la dinamita en el hueco formado a tal efecto.

BARRENISTA: Trabajador especializado en el avance de las galerías.

BARRENO o TIRO: Taladro perforado para voladura (también TIRO)

BASCULADOR: Mecanismo donde por medio de un giro de 360° los vagones depositan el carbón y el material estéril en tolvas para su clasificación.

BASTIDOR: Pieza de madera de 2'50 m de largo en forma de semicírculo utilizada para sostenimiento del techo en los talleres.

BOCAZO: Expresión que se utiliza para cuando una pega de dinamita ha resultado fallida o defectuosa provocando en la explosión efectos no deseados.

BULONES: Pernos de anclaje o entibación

BUZAMIENTO: Angulo que el deposito forma con la horizontal

CABECEADO: Forma de semicírculo que se da en la cabeza de las púntalas para que acople el bastidor.

CABEZA y BASE de cámara son las excavaciones superior e inferior de la cámara

CAMA: Se utiliza cuando un vagón ha salido de las vías y se ha volcado en la galería o en el exterior; en este caso se dice que el vagón ha dado cama.

CÁMARA: Hueco creado por la explotación, limitado por pilares.

CARGADORAS: Especie de excavadoras que utilizan los barrenistas para cargar la pega (estériles y carbón que se desprende de esta) en los vagones. Funcionan, dependiendo del tipo que sean, con aire comprimido o electricidad.

CARGUE: Lugar donde se basculan los vagones para ser transportados al lavadero. También es la zona inferior de un taller donde se cargan los vagones con

Kidd Mine site

(Fuente: [http:// www.infomine.com](http://www.infomine.com))

carbón.

CHAPA: Estructuras metálicas que se utilizan en los talleres para deslizar el carbón hacia los cargues.

CHIMENEA: Método de explotación realizado por picadores con el fin de comunicar dos pisos de la mina. Normalmente las chimeneas se realizan perpendicularmente a las galerías.

CHIMENEA: Pocillo de conexión entre dos galerías, para ventilación, paso de mineral ó personal.

CIELO: Limite físico superior de un hueco o cámara

CINTAS DE TRANSPORTE CONTINUO: Mecanismos que recorren algunas galerías de gran longitud que tienen la misión de transportar el carbón y los estériles hacia el exterior de la mina.

COMPRESOR: Máquina que introduce el aire en la mina para respirar y servir de fuente de energía a cargadoras, martillos picadores, martillos, barrenos, además para ventilar los cortes de guía y los talleres a través de mangueras.

COMPUERTAS: Reguladores de la ventilación y del relleno hidráulico

CONTRAATAQUES: Espacio que hay que formar para esquivar una falla que ha surgido dentro de una veta de carbón.

CORONA: Cabeza de corte o zona superior de un rampo.

CORRIDA: Longitud en dirección del yacimiento

CORTES DE GUÍA: También llamado corte o avance de galería. Es el lugar donde los entibadores realizan las labores de desescombro y sostenimiento de la galería que avanza.

COSTERO: En la minería del carbón, expresión que también se utiliza para denominar la roca suelta.

CUADROS: Estructuras metálicas realizadas a base de patucos, trabancas y tresillones que sostienen las galerías de servicio y las generales.

CUCHARILLA: Vara metálica que se utiliza para extraer pequeñas piedras que han quedado en el barreno hecho por los barrenistas para la pega.

CUELE, ZAPATERA, DESTROZA Y CONTORNO: Distintos lugares donde se barrena para producir el efecto deseado al dar la pega.

CUELE: Barrenos de apertura de una voladura

DAR CALE: Expresión que se utiliza cuando un picador a comunicado por medio de una chimenea dos plantas o cuando a comunicado dos talleres.

DILUCIÓN: Porcentaje de estéril o marginal que se extrae con el mineral

EMPUJADOR: Caballete neumático que eleva y empuja el martillo barrenero.

ENCARRILADOR: Pieza metálica que orienta las ruedas de los vagones cuando éstos se han salidos de los raíles.

ENRRACHONAR: Poner rachos o varales entre los cuadros de una entibación.

ENTIBACION: Sistema o técnica de sostenimiento de huecos mineros

ENTIBAR: Función que realizan los entibadores al colocar cuadros, varales o rachos al sanear o ensanchar galerías que se reconquistan.

ESCRAPER: Mecanismo por el que se recoge la pega en la minería del carbón.

ESPEQUES: Piezas metálicas que se utilizan como freno entre las ruedas de los vagones.

ESTAJAR: Limpieza de costeros en el techo que se realiza en las galerías para posteriormente entibar.

EXPLOSOR: Máquina eléctrica que provoca una corriente eléctrica suficiente para conseguir la detonación de la pega.

FONDO DE SACO: Parte final de una explotación donde pueden quedar almacenados gases peligrosos para el minero.

FRACTURACION: Intensidad, frecuencia y forma de presentarse las separaciones entre planos de mineral

GEOTECNIA: Estado de la geometría de las discontinuidades y / o capacidad que los huecos tienen para autoportarse

GRUPO: Instalación minera; lugar de trabajo. Un grupo puede estar constituido por una o varias secciones con distintos accesos a la mina.

GUÍA DE CABEZA: También llamado corte. Es el lugar de una galería general o de servicio donde los barrenistas desarrollan su labor.

GUIA: Galería en mineral y en dirección.

HACHO: Hacha de uso minero.

HASTIALES: Contactos del yacimiento con la roca encajante	estemples.	sostenimiento sin explotar.
HOSPITALILLO: Dispensario médico de la empresa donde se realizan las primeras curas a los mineros accidentados.	MANGÓN RETRACTIL: Tubería plástica extensible que conectada a un extractor desaloja aire y partículas de los cortes o introduce aire en ellos.	PANCER: Cinta transportadora acorazada que se utiliza en los talleres para transportar el carbón o en las guías para sacar el escombro.
HUNDIMIENTO: Parte del taller que ha sido explotada o extraído el carbón y que se va hundiendo por su propio peso a través del tiempo.	MENA: Mineral con contenidos valiosos para su venta y transformación	PATUCO: Pieza metálica en forma de "U" que junto a la trabanca forman los cuadros que sostienen las galerías.
JAIMES O GREMBAS: Nombres de diferentes máquinas que arrastran los vagones o que sirven para transporte de personal. El jaimes funciona con baterías recargables y la gremba a través del tendido eléctrico.	MENSÁFONO: Teléfonos especiales que se utilizan dentro de los talleres y de las galerías.	PEGA DE EXPLOSIVOS: Surtir de dinamita los barrenos para explotar.
JUGADA: Forma de sostener un taller a base de madera o de estemples.	MINADOR: Vehículo mecánico que poseyendo un cabezal perforador realiza galerías sin necesidad de la intervención de dinamita.	PILAR BARRERA: Macizo de protección en los laterales de una cámara
LATERAL o REAL: Galería en roca encajante y en dirección.	MONTERA: Varal o racho metálico que se utiliza para sostener el techo. Las monteras son recuperadas para producir el hundimiento; no así el sostenimiento hecho con madera.	PILAR CORONA: Macizo de protección entre cámaras separando dos subniveles de explotación
LLAVES: Construcción hecha en la entrada a los talleres a base de piezas de roble que tiene como función sostener la cabeza de entrada del taller.	MURO: Es el contacto con pendiente inferior a 90 grados.	PISO: Limite físico inferior de un hueco o cámara
LONGARINA: Freno construido a base de puntalas para asegurar la niveladura de un taller.	NICHO: Lugar donde se deposita la rozadora después de haber realizado su función.	PLANO INCLINADO: Galería inclinada que comunica un piso del subsuelo con el exterior.
MACIZO: Masa de carbón que se deja sin extraer en un primer momento en los talleres para que sirva de sostenimiento del techo.	NIVEL PRINCIPAL: Galería de transporte de mineral hasta pozos de extracción	POTENCIA: Ancho que tiene una capa de carbón entre techo y muro.
MAMPOSTA: Es otro nombre utilizado para los	NIVEL: Galería o grupo de galerías con acceso directo desde el pozo ó rampa de entrada a mina.	POTENCIA: Espesor de la mineralización
	NIVELADURA: Parte alta de una corona o parte alta de un taller que se deja como protección de	POZO: Excavación vertical o de fuerte inclinación para extracción o acceso principal.
		PUNTALA: Pieza de pino que se utiliza para sostener el techo junto a las longarinas y bastidores en un taller

de extracción.

PUNTEROLA: Punta metálica que unida al martillo picador permite la extracción y arranque del carbón.

RACHOS: Piezas de madera de eucalipto utilizadas para entibar; también suelen llamarse varales.

RAMPA: Acceso inclinado.

RAMPLOS Y COLADEROS: Pequeños túneles que se realizan entre chimeneas en los talleres con el fin de comunicar ambas.

REFUGIO: Abrigo para personal o maquinaria

REGADURA: Zona de la capa de carbón que es menos dura y en la que se pica con más facilidad provocando que las partes más duras de la capa se extraigan más fácilmente.

RELEVO: Utilizado para designar un turno de trabajo.

RELLENO: Material estéril que ocupa y entiba un hueco explotado

RETACAR: Incorporar a la pega de dinamita

introducida dentro del barreno un taco de arcilla para hacer presión en la pega.

ROZADORA: Máquina que se utiliza en capas verticales para arrancar el carbón.

SELECTIVIDAD: Proceso de separación del mineral entre las intercalaciones de estéril y / o marginales

SOCAVÓN: Galería de acceso desde el exterior horizontal con pendiente de drenaje

SOLERA: Parte inferior de un frente o tajo de explotación

SUBNIVEL: Galería desde la que se ejecutan labores de arranque y / o carga a una cota determinada.

TAJO: Expresión utilizada para designar el lugar de trabajo asignado.

TALLER: En minería sedimentaria, frente de arranque.

TALLER: Lugar donde se arranca el carbón.

TECHO: Es el contacto con pendiente superior a 90

grados

TRABANCA: Pieza metálica semicircular en forma de "U" que unida al patuco forma un cuadro de entibar.

TRANSVERSAL: Galería perpendicular a la dirección del yacimiento que une lateral y guía.

TRANSVERSALES: Denominado también galería general por donde circula materiales y personas con dirección a los cortes de guías y a los distintos talleres.

TRESILLONES: Pieza metálica rectilínea en forma de "U" que une dos patucos de un cuadro a la distancia de un metro.

VACÍO: Material mineral que no es carbón. También se le denomina estéril.

VARALES: Otra forma de denominar a los rachos. Son piezas de madera de eucalipto de distinta medida que sirven para entibar.

VENTILACIÓN: Circuito de aire para la habitabilidad de personas o máquinas.

ZAFRA: Material arrancado para su carga.

2. TENDENCIAS GENERALES DE DESARROLLO OBSERVADAS EN MINERÍA DE INTERIOR

En los últimos años se ha hecho patente un notable crecimiento en el número de proyectos mineros que hay en cartera para ser ejecutados por minería de interior, y todo apunta a que esta tendencia seguirá creciendo en los próximos 20 años. Por ello, se estima que el número de nuevos proyectos subterráneos a desarrollar superará con toda probabilidad al número de nuevos proyectos a cielo abierto. Una prueba de ello es que una parte cada vez mayor de los desarrollos tecnológicos que se comercializan están fundamentalmente enfocados a explotaciones de interior. De hecho, se espera que el 50% de la producción minera mundial sea subterránea hacia el año 2025. Más aun, desde la óptica de los proveedores de equipos, esos mismos nuevos proyectos unidos a las exigencias de la alta producción que obliga a una demanda de equipos mucho más eficientes y seguros, son un importante desafío para la industria y los proveedores en general.

Las tendencias que se observan en el desarrollo de la minería de interior en general se ven marcadas por un fuerte incremento en tecnología. Con esto se busca disminuir la exposición del operador, aumentar la eficiencia disminuyendo los tiempos muertos, conseguir ahorros en combustible, incrementar la recuperación del mineral, incrementar la seguridad de las operaciones y reducir costes.

La evolución de la industria hacia el uso de las técnicas de explotación en interior se debe a varias razones. La primera es, indudablemente, la **reducción de las leyes medias** de los yacimientos que se ha venido observando. Las reservas que se van incorporando a las carteras de producción se encuentran cada vez a mayor profundidad y en condiciones cada vez más complejas.

La necesidad de buscar mayor rentabilidad es una constante en cualquier industria existente en la actualidad, por tanto, la minería subterránea no está fuera de ese desafío. De hecho, según indican las tendencias en el mundo, la operación minera tiende gradualmente a descender a lo subterráneo; factor que incrementa los costos y obliga a las empresas a buscar mejores métodos de explotación. Esta estrategia no solo afecta a los métodos y herramientas de análisis de las compañías, sino también a los equipos que son utilizados en producción.

Por otro lado, muchos de los grandes yacimientos hasta ahora en explotación por minería a cielo abierto, como es el caso de minas como Chuquicamata, Bingham Canyon y otros, se encuentran próximos al límite de su rentabilidad por cielo abierto con el actual

Incrementos en la mejora de los equipos de iluminación de las unidades de producción

(Fuente <http://www.mining-technology.com>)

método de explotación al tiempo que presentan mejores recursos a mayor profundidad. Para estos grandes yacimientos, la principal ventaja de la minería subterránea respecto a la de cielo abierto es que se modifica el esquema hacia uno en el que sólo se extrae mineral y se reduce en gran medida o se elimina la extracción de estéril. A la no necesidad de extraer materiales estériles se añade la consecuente reducción en el impacto ambiental de la actividad, un

aspecto clave a ser considerado en un entorno social y político cada vez más proclive a la conservación medioambiental.

Equipo LHD Atlas Copco Scooptram ST7LP (Low Profile) con capacidad de trabajo en espacios de 1,600 mm de altura
(Fuente <http://www.atlascopco.com>)

En el mundo de la minería especializada, una de las técnicas de explotación que está en boga es el caving, método utilizado por compañías como Codelco, Freeport McMoRan Copper & Gold, Rio Tinto o NewCrest Mining Limited, entre otras, en múltiples proyectos emblemáticos.

Desde el punto de vista económico, hoy en día los costes de operación de una mina subterránea no necesariamente son mayores que los de aquellas operaciones a cielo abierto, toda vez que en una explotación minera a cielo abierto, a medida que se avanza en su explotación, va profundizando cada vez más la excavación y con ello va aumentando el coste de transporte, al tiempo que también aumenta progresivamente la cantidad de material estéril que se debe remover para extraer la misma cantidad de

mineral. A ello hay que añadir la importante reducción en costes de personal dado que se necesitan menos trabajadores, pero son más especializados.

Del lado de la **seguridad**, los significativos incrementos en los niveles de seguridad de las explotaciones modernas hacen que se hayan reducido enormemente las tasas de siniestralidad en los últimos años. Esta conciencia de que hoy día las explotaciones de interior son más eficientes, cada día más seguras, menos contaminantes, tienen un menor coste energético, utilizan mucha mayor tecnología, son mucho más seguras de materializar y mucho más económicas, son buena parte de las razones por las que la industria las está prefiriendo por ser mucho más competitivas.

Las unidades de carga y los camiones de interior actuales son extremadamente productivos y fiables. A su robustez se une que son altamente maniobrables, de fácil mantenimiento, poseen una enorme capacidad para su tamaño, se ha alargado su vida útil en operación y obtienen un coste de operación por tonelada muy bajo. Pero al mismo tiempo que se mejoran las prestaciones, se avanza en sencillez: no interesa ni a fabricantes ni a operadores el tener equipos altamente tecnificados que no son capaces de operar adecuadamente en las condiciones extremas que requiere la minería subterránea. Ejemplos de estos avances hacia la simplificación están en la introducción de sistemas que permiten un fácil diagnóstico de fallos y averías, así como también un predictivo diagnóstico de estas. También se ha avanzado en la introducción de sistemas que permiten una recolección de datos del equipo que permita generar planes de mantenimiento acordes con los planes de la operación.

Una de las tendencias actuales para aumentar la seguridad en la conducción es el empleo de las transmisiones automatizadas, ya que minimizan el

riesgo de arruinar la caja, aumentan la vida útil y podemos tener conductores menos expertos, tema muy relevante en la actualidad por la falta de conductores con experiencia.

En minería subterránea, las dimensiones de los túneles no permiten equipos de mayor volumen, pero que se han diseñado máquinas con dimensiones aptas para trabajar en los distintos tipos de túneles que se utilizan en las explotaciones existentes. El desarrollo habido en el campo de las unidades de bajo perfil para filones y vetas bajos y extra bajos, para una mayor productividad y un entorno de trabajo más seguro en áreas tan complejas que hasta hace poco estaban consideradas fuera de los límites para las máquinas móviles.

Equipo LHD Scooptram ST14 de Atlas Copco
(Fuente <http://www.atlascopco.cl>)

Por otro lado, los esfuerzos de los fabricantes también se dirigen al desarrollo y aplicación de tecnologías para una minería selectiva y amigable con el medio ambiente en líneas como, por ejemplo, alternativas que reduzcan las emisiones de CO₂ por medio del

desarrollo de LHD eléctricas, el desarrollo de equipos de perforación de bajo consumo que permiten significativos ahorros de energía, el desarrollo de cargadores frontales para minería subterránea tanto diésel como eléctricos, el desarrollo de nuevos equipos de perforación de barrenos profundos, etc.

Camión Sandvik de 60 ton.

El gran desafío de la minería subterránea es la ventilación y tener equipos con bajo consumo de aire permite tener más equipos funcionando dentro de galerías subterráneas.

También son de destacar los avances habidos en las cabinas de los camiones articulados y los cargadores frontales, que ahora son herméticas en la mayoría de los casos, lo que permite lograr gran confort al operador en minería subterránea. En materia de iluminación, los avances en sistemas de alta calidad y prestaciones habidos muy recientemente en equipos mineros, con su correspondiente repercusión en la mejora de la seguridad en el entorno operacional subterráneo.

Se ha incrementado de manera muy notable la versatilidad de estos equipos y su capacidad para operar en las condiciones extremas de la minería de interior. Los operadores demandan equipos con mayor capacidad de carga y más versátiles, que permitan mayor flexibilidad a las operaciones. El block caving, al igual que otros métodos de explotación subterránea, no escapa a la exigencia de que exista una adecuada combinación entre el diseño minero y los equipos disponibles para buscar maximizar la productividad y eficiencia operacionales. Factores tales como capacidad de acarreo, maniobrabilidad en espacios reducidos, facilidad de uso, etc., son determinantes en el rendimiento de la máquina. Ello, sumado a su mantenibilidad, serán las características determinantes a la hora de proceder con la selección de un equipo determinado.

Aumentar la **capacidad de producción**, responder a **necesidades medio ambientales** y proveer **equipos más seguros** son los pilares en que se sostiene la estrategia de los fabricantes y operadores. La globalización de los mercados hace más crítico responder a los requerimientos de equipos de las compañías mineras. Si hoy ya existen problemas de abastecimiento, el futuro de la minería subterránea está obligando a desarrollar equipos que dupliquen y hasta triplican la producción de los equipos actuales. En este punto de seguridad surge otro desafío, que es mejorar la productividad a través de sistemas automatizados integrados entre sí. Uno de los mayores desafíos a los que están respondiendo los fabricantes es lograr implementar la operación de equipos automatizados, automatizar su operación completa mejorando la utilización de los equipos y, en general, optimizando su aplicación. Para esto, resulta fundamental considerar estas condiciones en las etapas tempranas del diseño minero, definiendo los “lay out” que aprovechen las ventajas de este modo de operación.

Son muy interesantes los cambios tecnológicos como los que suponen la introducción de nuevos equipos. Por ejemplo el Modular Mobile Miner (MMM) de Epiroc, para excavación de túneles y galerías de forma mecánica, tipo tuneladora y especialmente diseñado para la minería y que permite excavación de galerías en roca dura con un perfil rectangular, un radio de curva mucho menor que el permitido por las unidades TBM's convencionales, con pendientes de hasta 1:7.

Equipo Atlas Copco Modular Mobile Miner
(Fuente <http://www.atlascopco.com>)

En el campo de la perforación también se han producido avances que intentan responder a las demandas de las empresas mineras que buscan equipos económicos, diseñados para espacios confinados o de difícil acceso, de corto alcance, simples de operar y mantener, fáciles de trasladar y que consuman baja cantidad agua, incorporando los mejores avances en cada uno de sus componentes, al tiempo que se ofrecen soluciones especializadas a cada necesidad y/o desafío particular, y con la mejor tecnología.

La dimensión de los nuevos proyectos mineros permite generar cambios tecnológicos en pos de encontrar herramientas y sistemas que garanticen en mayor medida la **calidad**, **eficiencia** y **control** de las obras. Es ahí donde está el desafío: identificar, adaptar, prepararse e implementar estas tecnologías.

Los avances tecnológicos en perforación están orientados al área de equipos para perforación, voladura y de apoyo a obras subterráneas. Entre estas tecnologías se considera la computerización de los equipos, la utilización de piezas de última generación, el uso de herramientas de predicción de calidad de roca, y herramientas de control de obras ejecutadas.

En cuanto a la aplicación de explosivos en forma de emulsión, cabe señalar que estos se utilizan cada vez más para debido a los problemas de control en la utilización de ANFO, y su alta generación de gases. Se ha extendido la utilización de equipos para inyección de emulsión, con los que se puede definir el factor de carga de cada frente, diferenciar carga por tipo de perforación (contorno, zapatera, corte) y controlar el consumo de los explosivos.

Uno de los últimos desarrollos tecnológicos importantes para el control de las excavaciones es la introducción de escáneres creados para registrar la información relacionada con el contorno de un túnel. Estos escaneos pueden realizarse en distintos momentos y sumar a la información el contorno teórico de la excavación. Existen en el mercado equipos que se instalan en un Jumbo, pero perfectamente puede ser montados en vehículos pickup, una camioneta o un carro independiente.

Otra de las áreas en que están innovando es en la predicción de las condiciones del macizo rocoso en

base a las variables de los equipos de perforación. El concepto consiste en utilizar la presión de avance, rotación y percusión, la tasa de penetración, y otras variables para estimar la calidad de roca en paradas posteriores. Este sistema se denomina Measure While Drilling (MWD)

En relación con los recursos humanos, muchas compañías tienen como política tener una masa crítica de profesionales de élite, que se perfeccionen y tengan las especializaciones necesarias para que en el futuro puedan dirigir las nuevas explotaciones.

A pesar de todos estos avances, la minería tiene aún un poco de arte, no es tan exacta como la ingeniería mecánica o la eléctrica, ya que tiene muchas cosas que se deben ir probando, pero sobre diseños flexibles, capaces de ajustarse y ser más robustos, de tal forma que se consiga aumentar la competitividad y asegurar una rentabilidad fija, lo que finalmente termina siendo positivo para el futuro. Es así como las tendencias generales en minería hacia lo subterráneo generan el impulso a buscar alternativas para producir de una manera más eficiente y segura.

La minería tenderá cada vez más a ser subterránea, y es imperativo encontrar mecanismos para lograr que, a pesar de la complejidad, siga siendo rentable. Por ejemplo, aumentar la capacidad de extracción (más cantidad de mineral en menos tiempo y a menores costos), contar con operadores más especializados y, al mismo tiempo, contar con maquinaria tele-operada. Cada vez escucharemos más el concepto de minería continua, esto es, la extracción sin paradas, de forma simultánea y

Equipo TH680 de Sandvik, utilizado para transporte de mineral en interior

(Fuente: <http://wwwmining.sandvik.com>)

automatizada, desde todos los puntos de extracción de una zona en particular y para esto evidentemente se requerirá de máquinas más eficaces, veloces, con mayor capacidad de carga, automatizadas y en muchos casos, operadas a distancia desde la superficie.

Los mayores desafíos van por la vía de disminuir costos, aumentando la productividad, generar confianza y fiabilidad operativa que permita cumplir con los planes productivos, y que la tecnología utilizada en los equipos sea de fácil uso y mantención para que esta no se convierta en un cuello de botella por su complejidad.

3.ESQUEMA GENERAL DE UNA MINA DE INTERIOR

3.1. TRAZADO DE UNA MINA

En general se llama mina de interior o subterránea al conjunto de pozos, galerías, rampas, chimeneas o coladeros, cámaras para alojamiento de servicios e infraestructuras varias, así como de labores de explotación propiamente dichas, que han sido destinados a permitir la extracción eficiente de un mineral o conjunto de minerales de un yacimiento situado a una cierta profundidad y que no es accesible, tanto económicamente o ambiental o socialmente, por métodos de explotación a cielo abierto.

El trazado de una mina incluye los accesos y las excavaciones necesarias para instalar las infraestructuras con que trabajar en los tajos y preparar la continuidad futura de las operaciones. Entre los elementos rutinarios, realizados todos con técnicas de perforación-voladura-excavación, pero también cada vez más con presencia de medios mecánicos de excavación continua, se encuentran las galerías horizontales, las rampas inclinadas y los pozos verticales o inclinados.

Los aspectos que deben ser analizados en todo proyecto de explotación subterránea incluyen, al menos, los siguientes:

- Accesos:
 - Socavones
 - Planos inclinados
 - Pozos
 - Pozos inclinados
- Máquinas y/o sistemas de extracción.
- Desarrollo de infraestructura de mina. Plan general de infraestructura de mina.
- Preparación de tajos:
 - Perforación
 - Voladura
 - Desescombro
- Sostenimiento
- Transporte de materiales y suministro
- Transporte de materiales arrancados
- Drenaje
- Ventilación
- Iluminación
- Emergencia y rescate
- Selección del método de explotación
 - Productividad
 - Dilución
 - Determinación de la flota
- Estimación de costes
- Abandono y cierre

3.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA LABOR DE PREPARACIÓN DE UNA MINA DE INTERIOR

Uno de los principales problemas a la hora de definir y planificar las labores de preparación de una mina de interior es la decisión sobre el **tipo de labores de acceso** al yacimiento, ya que éstas pueden iniciarse con un pozo, una galería inclinada o por medio de rampas. Esta decisión y el diseño que posteriormente se adopten requiere la toma en consideración de cuatro factores: la profundidad del yacimiento, el tiempo disponible para la preparación, el coste y el tipo de transporte interior y exterior que se elija.

Dada la necesidad de acceder al yacimiento lo más rápido posible, trabajando siempre dentro de un entorno seguro, es imprescindible que las operaciones unitarias que conforman el ciclo de avance, se gestionen y se lleven a cabo de forma que se **minimicen** las pérdidas de tiempo. Por esto, el análisis de cada una de las etapas llevará a un mejor conocimiento de las mismas y permitirá anticipar en algunos casos o mitigar en otros, el tiempo en que se llevan a cabo.

El desarrollo de las labores de acceso al mineral, como pozos y rampas, y son esenciales ya que serán la infraestructura que permitirá la entrada del personal a los niveles de producción, así como la extracción de mineral. Por esta misma razón, deberán atender a parámetros tales como la profundidad del cuerpo mineralizado, su extensión, y tipo de yacimiento, así como también deberán atender al aspecto económico y al método de extracción aplicado, todo ello con el fin de poder satisfacer el acceso al depósito y la producción de mineral y de estéril durante toda la vida de mina.

Para el transporte con cintas, la pendiente de las galerías no debe superar un valor de 1:3, mientras que si se opta por un transporte con camiones se debe

acudir a pendientes comprendidas entre 1:7 y 1:9. En el caso de pozos de extracción, obviamente se mantiene la vertical.

Al aumentar la profundidad, el acceso por planos inclinados o rampas deja de ser interesante, pues su longitud es de tres a nueve veces la necesaria para salvar la misma altura por medio de un pozo vertical. Además, al encarecimiento de la inversión hay que añadir que lógicamente también se encarecen los gastos de transporte y conservación.

Un pozo, según su sección, profundidad, método de profundización y tipo de roca, implica en cualquier caso asumir siempre un coste por metro muy elevado, considerando la perforación, infraestructura, equipos y revestimiento. El coste de la preparación de galerías con pendiente 1:3 viene a ser por término medio la tercera parte del pozo. Así pues, con pendientes inferiores a 1:4 resultan más caras que un pozo vertical. Si puede simultanearse el avance de la galería con la producción de mineral en las explotaciones, de modo que la maquinaria pueda alcanzar la plena utilización, el coste de preparación puede bajar. Si el yacimiento aflora en la superficie y se puede empezar a producir rápidamente en cuanto se accede a él, puede ser tan económico abrir una galería poco inclinada como profundizar un pozo.

El avance específico de una galería inclinada puede ser de unos 23 - 30 m por semana con los métodos convencionales (las perforadoras de plena sección o "topos" no se han generalizado aún en este tipo de trabajos), aunque pueden llegar a lograrse hasta 8 m por día. En pozos poco profundos y sin unos equipos especiales de profundización sólo se logran avances de 5 - 10m por semana. Para los pozos de unos 500 m en los que merece la pena la mecanización, se consiguen avances de 30 m por semana. Esos altos avances se logran con unos equipos de trabajo bien adiestrados y una maquinaria especializada, que solo se encuentran en las empresas que se dediquen a estos trabajos especiales de profundización de pozos. En cambio, una galería inclinada puede avanzarse

con los mineros cualificados de la propia empresa, dotados de unos equipos normales de producción.

Una decisión importante es la del **tipo de transporte** que se elija para la mina. Los camiones pueden subir unas rampas con pendientes de hasta 1:9 a velocidades de 8 a 10 Km/h completamente cargados de mineral; pero deben cargarse en el frente o a través de un coladero, y viajar directamente al punto de descarga.

Si se elige el transporte con vagonetas y la extracción por pozo vertical, los vagones se cargan en la galería de base del piso, a través de un coladero, se transportan hasta el pozo y retornan vacíos. No es un sistema tan flexible como el transporte con camiones. Sin embargo, la velocidad de transporte en el pozo es de 45 a 50 Km. /h en la mayor parte del circuito, con una duración de "cordada" de 40 a 80 segundos para mover de 10 a 20 t de mineral. Cuando el criadero es profundo, el pozo es indispensable para extraer las grandes cantidades de mineral de una forma económica.

Algunos estudios realizados sobre el transporte con camiones por galerías en rampa muestran que éste tipo de acarreo empieza a ser antieconómico cuando los vehículos deben salvar diferencias de nivel comprendidas entre 180 y 240 m.

No obstante, el acceso por galería en plano inclinado es interesante en el caso de emplear cintas transportadoras de materiales. En la práctica, en los yacimientos minerales en forma masiva, es bastante corriente emplear la preparación diseñada en la Figura 1. Los primeros años se extrae el mineral por el plano inclinado, con lo que se da tiempo para profundizar el pozo vertical principal. De esta forma, como normalmente la vida media de la flota de camiones es de 4 a 5 años, se inicia el circuito del

pozo en ese momento, si no fuera preciso hacerlo antes por razones económicas.

En depósitos de filones estrechos, en los que para abrir un paso a los camiones sería preciso franquear los hastiales en las galerías, es mejor emplear vagonetas y profundizar un pozo desde el principio. Es posible realizar el transporte por galerías con pendiente 1/2 (planos inclinados), pero las velocidades máximas serían de 16 a 25 Km /h y, además, las galerías tienen que ser rectas.

Por otra parte, las galerías con rampas en espiral se preparan bien en el muro, y así se evitan las pérdidas por macizo de protección, necesarios al penetrar en el criadero con los planos inclinados. También la dureza de las rocas, el exceso de agua, la presencia de arenas u otros inconvenientes obligan a desechar algunas soluciones técnicas más económicas y a decidirse por el pozo vertical, que resiste mejor y es más fácil de profundizar en terrenos falsos y difíciles.

Desde el pozo o el plano inclinado, según se decida, se avanzan las transversales para cortar el criadero a intervalos regulares prefijados, que completan el acceso al mismo y determinan otras tantas plantas, que lo dividen en pisos de explotación.

La altura de estos pisos depende del método de explotación, de la pendiente del criadero y de otras características del mismo. Con unas fuertes pendientes la altura oscila entre 50 m y 90 m, pero no todos los pisos se preparan de igual forma para el transporte. En la figura se muestra un esquema de una mina en la que se conectan varios pisos con rampas de bajada de mineral hasta una estación de molienda común.

Además, los pisos se conectan verticalmente por medio de chimeneas de paso o de ventilación según los casos. Las chimeneas se perforan en la masa mineral por sistemas cíclicos convencionales de

JUAN HERRERA HERBERT (2019). **INTRODUCCIÓN A LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MINERÍA SUBTERRÁNEA**

perforación, voladura y carga, o bien con unas perforadoras especiales de chimeneas. Las chimeneas cortas o coladeros, hasta 8 m., se suelen avanzar a mano de modo convencional. Las más

largas deben mecanizar su avance y dividir la sección en dos compartimentos separados; el más pequeño sirve para ventilación y paso, y el mayor para almacenar la roca arrancada.

Fuente: AngloAmerican (<https://www.angloamerican.com>)

3.3. ACCESOS (MINE ACCESS)

El acceso a un yacimiento explotable por métodos de interior se puede hacer de varias formas. Atendiendo a la inclinación o pendiente que sigan, las vías de penetración en el subsuelo se pueden clasificar en:

- Pozo vertical o simplemente pozo (Shaft or vertical shaft).
- Plano inclinado o rampa (Slope / Ramp).
- Socavón (Adit).
- Pozo inclinado (Inclined shaft).

Cabe también distinguir las chimeneas y coladeros que, como se verá más adelante, no se pueden

considerar propiamente pozos, aunque tengan algunas similitudes.

La decisión sobre el tipo de acceso más adecuado para un proyecto de explotación subterránea es uno de los principales aspectos que deben afrontar los ingenieros de desarrollo de mina y de planificación cuando se estudia la viabilidad de un proyecto. El estudio de las implicaciones económicas de optar por un pozo vertical frente a las implicaciones de optar por planos inclinados debe ser realizado con gran meticulosidad y atención, ya que son muchos los factores que influyen en la selección de un tipo de acceso u otro, y que van desde la profundidad del yacimiento y de las labores previstas, las

características geotécnicas, los ritmos de producción, las dimensiones, disponibilidad de capital y financiación, los costes operativos, etc.

Un aspecto clave a tener en cuenta es que es extraordinariamente caro pasar, una vez construido un proyecto minero, de un sistema de transporte por rampa a un sistema de transporte por pozo, así que los ingenieros de desarrollo de mina y de planificación deben considerar en el proyecto el conjunto de todo el desarrollo minero y sus posibles ampliaciones o expansiones en cualquier dirección y, especialmente en profundidad.

3.3.1. POZOS

Los pozos pueden ser verticales (el caso más frecuente) o inclinados con respecto a la vertical. Son excavaciones, generalmente verticales, de sección limitada con relación a la profundidad, que se realiza para proporcionar acceso a los trabajos subterráneos y posibilitar la comunicación entre el exterior y el interior, o entre las distintas plantas ya en el interior de la mina. La función del pozo es múltiple: se utiliza para el descenso y la subida del personal, para la extracción del mineral, para la introducción de materiales de relleno en galerías ya explotadas, para el descenso o subida del material de trabajo, etc. Por todo ello se deduce su gran trascendencia en el buen funcionamiento de la mina.

- Su diámetro puede variar entre 1 ó 2 metros, para pozos de servicio, hasta 8 ó 10 metros en minas importantes.
- Pueden tener secciones circulares o elípticas, que resisten mejor las presiones del terreno, o rectangulares (prácticamente desaparecidos), que presentan un mayor coeficiente de utilización, aunque las dimensiones de su sección vienen fuertemente influenciadas por las necesidades de ventilación de la mina.
- Alcanzan varios centenares de metros de profundidad.
- Suelen llevar entibación, sobre la que se apoyan las guías por las que se mueven las jaulas o skips.
- Constituyen la forma más rápida para cubrir distancias verticales. Para crear un pozo se excava la roca avanzando en sentido vertical y, normalmente, esta operación, que suele asignarse a contratistas especialistas, ya que se requiere personal especializado y equipos específicos.
- En la superficie, sobre la boca del pozo, se construye una estructura llamada castillete cuya misión es evitar la entrada de aguas pluviales al interior, así como albergar

distintos mecanismos (poleas por las que corre el cable de la jaula, etc.).

Los pozos verticales son el método preferido para depósitos de profundidades superiores a los 300 m pero su ritmo de desarrollo es lento y los costes de construcción son muy altos. Por ello, para yacimientos situados por encima de la profundidad antes señalada, se recomienda la construcción de planos inclinados. En las explotaciones en las que el acceso y la extracción del mineral se hacen por pozo, la entrada y salida del personal se hacen con compartimentos denominados jaulas que están destinados a la entrada y salida del personal. Análogamente se hace con los suministros.

En los pozos, la construcción está orientada a la máquina de elevación que es el sistema de extracción. La jaula y el skip se mueven a lo largo de la caña del pozo sobre unas guías (guionaje) que puede ser rígido o semi-flexible. La máquina de extracción, constituida por el malacate y las poleas, es

accionada por motores eléctricos de CA o CC. El malacate (polipasto de grandes dimensiones) se instala en una sala o casa de máquinas de elevación mientras que las poleas se montan sobre la cabeza de un castillete o torre. El enganche del skip y/o de la jaula se hace a través de un cable de acero de grandes dimensiones que es accionado por el malacate.

Los pozos se ubican generalmente de tal manera que las distancias horizontales en el cuerpo de mineral se minimizan al tiempo que se mantiene un pilar entre mineral y pozo y se tienen en cuenta las consideraciones geotécnicas y ambientales.

Entre las ventajas de los pozos, están el que soportan altas capacidades de producción, y son eficientes para el transporte de personal, material y roca. Entre las desventajas se encuentran el alto gasto de inversión de capital inicial, un tiempo de espera largo para la producción, y la dificultad en el transporte de equipos de gran tamaño

3.3.2. PLANOS INCLINADOS

El plano inclinado o rampa, es de características similares al concepto de socavón, solo que construida en pendiente descendente. Permite un acceso rápido a los depósitos superficiales o relativamente poco profundos, facilitando el desarrollo de la mina, pero es frecuente que se excaven con pendientes longitudinales de aproximadamente el 10 y 12 por ciento con un rango ocasional, dependiendo de la finalidad del plano inclinado, comprendido entre un 10% y un 15% pudiendo llegar en algunos puntos muy específicos y raras ocasiones, hasta un máximo de un 20%.

El desarrollo en profundidad se hace desde un portal (el modo habitual). El método de extracción varía mucho de unas minas a otras, ya que en éste tipo de accesos no se usan medios sobre carriles, sino maquinaria y medios de transporte sobre neumáticos o bien se instalan cintas transportadoras. La entrada y salida del personal, así como la entrada de suministros, se hace con vehículos, por lo que, en su trazado, los planos inclinados deben tener los radios de giro adecuados para la mayor parte si no la totalidad de los equipos que deben acceder.

Los sistemas de rampas se utilizan comúnmente debido a que permiten la circulación de los equipos de un nivel a otro sin la necesidad de proceder a desmontar, transportarlo de un nivel a otro y proceder a montarlo de nuevo, como a menudo sucede con un sistema de pozo vertical.

Para la extracción de mineral por un plano inclinado se utilizan fundamentalmente dos métodos distintos: el transporte por camión y el transporte por banda transportadora. El transporte por camión es adecuado

JUAN HERRERA HERBERT (2019). INTRODUCCIÓN A LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MINERÍA SUBTERRÁNEA

para un tonelaje de hasta 3000 t/d, mientras que las cintas transportadoras se recomiendan para operaciones de gran tonelaje.

Poco a poco, el transporte por planos inclinados se ha venido convirtiendo en las últimas décadas en una alternativa cada vez más atractiva frente a la extracción por pozo, fundamentalmente por los cambios habidos en general en las tarifas eléctricas y

las importantes mejoras tecnológicas en los camiones de interior (que progresivamente se han venido haciendo más grandes, más potentes y mucho más eficientes) y sistemas de transporte por banda. Esto ha venido haciendo que las bases para los estudios económicos sobre los que basar las decisiones sobre los accesos a construir en un emplazamiento, hayan cambiado.

Entre otras ventajas de los planos inclinados se encuentran el menor coste de desarrollo frente al de los pozos, la facilidad de acceso para los equipos y el corto período de iniciar las operaciones mineras. Las desventajas incluyen tasas de desarrollo verticales bajas, el aumento de las necesidades de ventilación debido a la utilización de equipos diésel, y el aumento del trabajo para apoyar las operaciones de camiones.

Entrada en plano inclinado de la nueva mina de carbón de Cerredo (España), propiedad de las empresas Minera del Norte y Coto Minero Cantábrico

(Fuente: <http://deleonvengo.blogspot.com.es>)

3.3.3. SOCAVONES (ADITS)

Los socavones son usualmente galerías horizontales (túneles) excavadas en la ladera de un monte para acceder a un depósito mineral. Proporcionan un acceso horizontal o muy próximo a la horizontal, que es utilizable tanto para el personal, la entrada de

suministros y materiales, ventilación, la extracción de mineral y el drenaje.

Se pueden utilizar para la entrada y salida de varios tipos de equipos, tanto sobre carril (ferrocarril minero) como sobre ruedas y sin utilización de vehículos sobre

carril. Son una alternativa económicamente interesante cuando el yacimiento está por encima de la cota o elevación general de piso o a la cota del socavón.

Entrada en socavón en Halfmile Mine
(Fuente: Trevali Mining Corporation)

Entrada en socavón en una mina de carbón
(Fuente: The Washington Post)

3.3.4. POZOS INCLINADOS

La utilización de los pozos inclinados está limitada a depósitos relativamente poco profundos y, debido a que se desarrollan en un plano inclinado, las longitudes de desarrollo para una profundidad dada son de tres a cinco veces más largas que para un pozo vertical. En algunos casos pueden seguir la inclinación del cuerpo mineral.

Los pozos inclinados presentan muchas ventajas, especialmente en aquellos casos en los que la alternativa de un pozo vertical requeriría un importante desarrollo lateral para alcanzar el yacimiento. Los pozos inclinados permiten un acceso más rápido al yacimiento y permiten reducir las necesidades de desarrollo, con lo que se reducen las inversiones, con los consiguientes ahorros en costes y en tiempo.

Las ventajas de un pozo inclinado con respecto a uno vertical podrían resumirse en:

- Menor requerimiento de desarrollo lateral para alcanzar el yacimiento.
- El desarrollo de mina se mantiene siempre próximo al yacimiento.

- Menores requerimientos para el malacate y la instalación de poleas.
- Menores necesidades de inversión en comparación con un pozo vertical.

A pesar de estas ventajas, los pozos inclinados son percibidos como intensivos en cuanto a mano de obra y operacionalmente mucho menos eficientes que los pozos verticales. Uno de los mayores aspectos negativos es la dificultad para el avance de la excavación durante su construcción por las dificultades para retirar los materiales excavados y las dificultades para la maniobra de la maquinaria durante su avance.

Pozo inclinado de la Compañía Minera Los Quenuales S.A.
(Fuente: <http://www.jrcing.com.pe>)

Pozo inclinado de la Luotuoshan Coal Mine (ChinaCoal)

3.4. DESARROLLO Y PREPARACIÓN DE MINA (MINE DEVELOPMENT)

La etapa de desarrollo corresponde a la de construcción de toda la red de galerías, cámaras para servicios (talleres, almacenamientos de materiales, polvorines, alojamiento de machacadoras, instalaciones para el personal, etc.), rampas, chimeneas, piqueras, etc., necesarias para permitir la posterior preparación de los tajos y poner la mina en producción. Desde éste punto de vista, podrían definirse las galerías como pasos subterráneos que permiten el acceso del personal a los frentes de trabajo, el traslado del mineral hasta la estación del pozo, el transporte del material etc. En las galerías se sitúan las vías o cintas transportadoras para la evacuación del mineral y todo tipo de conducciones, desde cables eléctricos hasta tuberías de aire comprimido.

El **desarrollo de la mina** se puede clasificar en dos fases básicas:

1. Preproducción y
2. Conjuntamente con producción.

En términos generales, el desarrollo de mina se puede describir como el trabajo necesario para hacer que un depósito mineral sea accesible para su explotación minera. Debido a la naturaleza diversa de los yacimientos, el desarrollo se lleva a cabo tanto en la roca estéril como en mineral. Por razones económicas, siempre se intenta minimizar el desarrollo en la roca estéril, pero es imposible construir una mina sin un desarrollo de labores de infraestructura en roca encajante. Si se atiende a la calidad de la roca en la que se realiza el desarrollo,

siempre será preferible realizar el desarrollo fuerte y competente que no en rocal débil y poco competente.

El **desarrollo de preproducción** es la cantidad o grado de desarrollo necesario para acceder al yacimiento y para proporcionar un número suficiente de puntos de trabajo para la producción preliminar. En términos generales el desarrollo de preproducción mínimo suficiente es el que se lleva a cabo para facilitar al menos un año completo de producción.

El **desarrollo llevado conjuntamente con la explotación**, es el desarrollo necesario para mantener un mínimo de producción de la mina en un momento dado, sin comprometer la marcha regular de la mina por insuficiencia en el desarrollo.

En los criaderos en masa, una vez cortado el mineral con el transversal de acceso desde el pozo, se prepara una planta abriendo una red de galerías que delimitan en la misma una serie de secciones o cuarteles, a cada una de las cuales corresponde un punto de carga, pocillo o piquera.

Las explotaciones están situadas en la parte de criadero comprendido entre dos plantas consecutivas y se inician cargando el mineral arrancado en los puntos de carga (PC) y sacándolo por la planta inferior.

Estas explotaciones consisten en labores que abren espacios libres en los que tienen salida las voladuras,

hasta ampliar la explotación a las dimensiones de trabajo normal.

En algunas minas se suprimen los puntos de carga individuales y se usa como cargadero el fondo de la explotación. El mineral se vuela de forma continua, cae al fondo y allí se caiga directamente.

Las explotaciones se realizarán por cualquiera de los métodos que se utilizan en minería de interior según las características de las rocas de los hastiales y del propio mineral. Se pueden dejar macizos para proteger las galerías y chimeneas, o para separar las cámaras y huecos de las explotaciones. El macizo de la galería se deja horizontalmente a lo largo de la misma y sobre ella, o alrededor de ella si la potencia del criadero es mayor que la sección, para protegerla

y dejar espacio donde montar los cargaderos (sino se prescinde de ellos, en cuyo caso se suprime este macizo). También para proteger la galería de cabeza y las explotaciones que están sobre ella. Se deja un macizo de protección inferior horizontal por debajo y a lo largo de la misma. En muchos casos se recuperan estos macizos al abandonar la galería, lo que suele hacerse por cualquiera de los métodos de "mallas cúbicas", o "rebanadas rellenas" en caso de minerales resistentes; si el mineral es débil, se vuelan los macizos en masa o se hunden sobre el hueco de la explotación inferior.

En los criaderos estrechos en forma de filón sólo se necesita una galería en cada planta, que se adapta al contorno del criadero, y los cargaderos se disponen en línea a intervalos adecuados.

La preparación de cualquier tipo de criadero se planifica por adelantado y se completa durante su avance, al arrancar el mineral. En filones estrechos, las galerías de base se realizan unos metros y se preparan por adelantado los cargaderos en este hueco. De este modo, la preparación de cargaderos, guías y chimeneas puede avanzar adelantándose en 1,5 a 2 años, creando explotaciones de reserva que pueden ponerse en explotación en 4 ó 5 meses.

En las explotaciones que se llevan con relleno, los coladeros pueden dejarse dentro de éste, colocando un revestimiento con mampostería, cuadros de entibación y tablas, o bien con tubos de chapa prefabricados; en los dos últimos casos, estos revestimientos se apoyan sobre vigas empotradas, de madera o de hierro. El diámetro interior suele ser suficiente para permitir fijar escalas. Los pocillos de servicio pueden tener secciones de 2,5 x 2,5 m y estar dotados de instalaciones de extracción. Si el método de explotación suprime los coladeros y se carga con palas mecanizadas automotoras, se pueden preparar rampas en el muro del criadero. En otros casos los

coladeros se perforan dentro del mineral del macizo de la galería de base.

Los **cargaderos** son las labores y dispositivos que regulan la carga del mineral en los elementos de transporte, y son intermedios entre el arranque y el transporte y la extracción. Se preparan en el macizo inferior, en la base de las explotaciones o cámaras, o bien comunicados con ellas a través de un sistema de coladeros y rampas de paso de mineral. Cuando están directamente en la base de una cámara tienen la forma de coladeros, embudos o tolvas. La forma se fija por el tipo de carga del mineral.

Pueden disponerse cargaderos de gran capacidad para cargar el mineral a un camión volquete, o instalar varios cargaderos pequeños a lo largo de la galería de base para cargar en vagones de mina. La disposición puede ser simple o doble y simétrica.

El mineral puede caer por gravedad a través de una tolva reguladora, o por un coladero situado entre el relleno y montado sobre el piso de la cámara. Las compuertas reguladoras causan interrupciones en la producción al atascarse con losa bloques grandes, por lo que deben evitarse estos colocando en el paso de mineral una rejilla formada por barrotes de acero, separados de modo que no dejen pasar los trozos grandes de roca

Ejemplo esquema de carga directa con equipo LHD.

o mineral, mientras los tamaños más pequeños pasan con facilidad; la separación entre barras varía según los casos entre 0,3 m y 0,6 m.

Los bloques que no pasan se “taquean” o rompen con cargas (“tacos”) de explosivos o con martillos hidráulicos. Cuando el atasco se produce en el interior de los pasos o coladeros, se “taquean” con cargas explosivas que se fijan en el extremo de una pértiga para introducirlas y se disparan desde fuera, en lugar seguro. En los coladeros entre relleno las rejillas se colocan en su boca superior, en el piso de la explotación. Del mismo modo se protegen las chimeneas de paso o ventilación.

Cuando se elimina el cargadero y el macizo inferior de la cámara, para cargar con pala o sistema LHD, el diseño se indica en la siguiente. La parte baja de la corona permite un buen control de la salida del mineral.

En caso de no eliminar los coladeros, el mineral arrancado por la voladura en la explotación cae a

través de ellos por gravedad a una galería de arrastre y taqueo. En ella, la cuchara de una arrobadera o scráper puede arrastrarlo por el piso de la galería hasta un coladero de carga por el que cae, a través de una rejilla, a los vagones situados en la galería de base.

En muchos métodos de explotación, particularmente en los métodos ascendentes, se suele bajar el mineral a través de rampas y coladeros hasta la planta general de transporte situada en la cota más baja de la mina. En esta planta se instalan la molienda y un sistema de transporte principal mecanizado, lo que resulta más económico y productivo que montar pequeñas instalaciones en cada planta, de modo que haya uno para cada tipo o ley de mineral y otro para los estériles. El vaciado de estos almacenes o tolvas se hace automáticamente por dispositivos mecánicos, y el mineral pasa previamente por un sistema de

molienda primaria para adecuar la granulometría a las condiciones de transporte. Un sistema intermedio enlaza este almacén con el sistema general de transporte, bien por cintas o bien por vagones.

La mayoría de los grandes cargaderos de mineral se perforan en la roca de los hastiales, a lo largo del criadero. Los coladeros entre el relleno, revestidos con tubos de chapa prefabricados, suelen tener una vida equivalente a 100.000 – 150.000 t de mineral cargado; así, en caso de explotaciones de 100 m de largo y 12 m de potencia, la altura útil del piso quedaría limitada a 30 m aproximadamente. Pero por razones económicas la altura de pisos debe ser lo mayor posible, por lo que habrá que preparar más de un coladero con entubado de acero, lo que puede encarecerlo. La alternativa es preparar los coladeros en el hastial de la roca.

3.5. IMPORTANCIA DE LA GEOMECÁNICA EN MINERÍA DE INTERIOR

La Mecánica de Rocas puede definirse como la ciencia que trata de la respuesta de las rocas a los campos de fuerzas presentes en su entorno físico. Su importancia se debe, por una parte, de la búsqueda de explicaciones cualitativas y cuantitativas a los fenómenos naturales y, por otra, como consecuencia de la actividad de los ingenieros que tratan de encontrar las mejores soluciones técnicas para controlar el terreno en las minas y en las obras civiles y militares.

Las respuestas a los interrogantes que plantea la práctica de ingeniería se hallan con frecuencia aplicando el sentido común, una vez que el marco geológico-geotécnico que encuadra el problema ha sido suficientemente aclarado. La presencia de

discontinuidades constituye el factor esencial del comportamiento mecánico de un medio rocoso, cualquiera que sea la escala considerada. La rotura de los macizos rocosos se produce casi siempre según superficies de discontinuidad preexistentes. El agua circula preferentemente por las discontinuidades, y las fuerzas hidrodinámicas que produce se orientan básicamente de acuerdo con ellas.

Actualmente se está imponiendo el término Ingeniería de Rocas para designar la correcta combinación de ciencia y experiencia que permite dar soluciones razonables a los problemas con que se enfrenta el ingeniero. Como sucede en todas las disciplinas, en la Mecánica de Rocas no existe una teoría unitaria,

sino soluciones más o menos exactas a problemas individuales que al agruparse constituyen el cuerpo de esta materia.

El especialista en Mecánica de Rocas no puede obtener soluciones a los problemas planteados más que a partir de modelos constituidos por elementos estructurales de comportamiento mecánico bien definido. Pero, todo modelo, independientemente de que sea matemático o físico, supone una simplificación y esquematización de la realidad.

La resolución de cualquier problema geotécnico en la mina requiere, en general, la realización de tres modelos:

JUAN HERRERA HERBERT (2019). INTRODUCCIÓN A LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MINERÍA SUBTERRÁNEA

- El modelo geológico, que compendia los caracteres litológicos, estructurales e hidrogeológicos del macizo rocoso.
- El modelo geomecánico que resulta de completar el anterior mediante las propiedades mecánicas de las rocas y de las discontinuidades existentes en el macizo.
- El modelo matemático, que permite, mediante la aplicación de formulaciones matemáticas al modelo geomecánico, predecir el comportamiento de la mina.

Independientemente de su complejidad, los modelos utilizados no representan más que unos comportamientos esquemáticos a partir de los datos estructurales y mecánicos que se posee sobre el

macizo rocoso. La auscultación de la mina durante su explotación constituye, por consiguiente, un complemento indispensable para verificar que el comportamiento del terreno no difiere de lo previsto, en caso contrario, para detectar a tiempo las anomalías.

El lugar de la Mecánica de Rocas en la investigación minera resulta evidente si se considera que la extracción de depósitos minerales necesita comprender los aspectos que condicionan:

- La definición de los yacimientos minerales
- La desintegración de las rocas
- El control del terreno
- La manipulación de los materiales
- El control de la mina en todas sus facetas

Los tipos de control del macizo rocoso que deben considerarse, varían desde el mantenimiento rígido del terreno mediante pilares, pasando por diferentes grados de cierre de los hastiales y de descenso del techo, hasta el hundimiento completo de la masa mineral y del estéril suprayacente.

Cuando se diseña una nueva estructura subterránea en roca o se evalúa la estabilidad de una ya existente, se deben determinar los aspectos siguientes:

- Tensiones y deformaciones que se producen en la estructura como resultado de las fuerzas externas e internas.
- Capacidad de la estructura para resistir estas tensiones y deformaciones. El límite de esta capacidad se estima generalmente por la tensión necesaria para producir la rotura de la estructura, aunque algunas veces la deformación excesiva puede también constituir una limitación.

Diseñar una estructura en roca es, por lo general difícil. Una de las principales dificultades proviene de que las rocas se hallan sometidas a tensiones desconocidas, debidas principalmente al peso del recubrimiento y a las fuerzas tectónicas. Aunque el estado tensional de la corteza terrestre podría estimarse suponiendo que es debido solamente al peso de los terrenos suprayacentes, las medidas efectuadas muestran que las estimaciones realizadas sobre esta base suelen ser completamente erróneas.

La dificultad en obtener una información sobre las propiedades mecánicas del macizo rocoso antes de la apertura de la cavidad es otro inconveniente. Los materiales de construcción pueden producirse de acuerdo con unas especificaciones determinadas, y

Labores de exploración geológica desde el interior.
(Fuente: Lundin Mining)

En la minería subterránea el control del terreno es básico tanto en la elección del método de explotación como en el dimensionado de la mina, y en la minería a cielo abierto constituye el elemento primordial en el diseño de los taludes. El control del terreno es también una de las consideraciones más importantes para seleccionar la forma de explotar un criadero, por lo que debe ser también un aspecto primordial en cualquier estudio del método de explotación que se realice. Cada yacimiento, por sus características geológicas consiste en una combinación diferente de factores de los cuales se derivan unos determinados comportamientos del terreno al extraer el mineral.

las estructuras convencionales diseñarse para utilizar, dichos materiales; sin embargo, el diseño de estructuras subterráneas se ve dificultado por la escasez de información acerca del comportamiento y propiedades del macizo rocoso.

El tercer problema surge al tratar de calcular las tensiones y deformaciones en diferentes partes de la estructura, ya que, a medida que la forma de las cavidades se hace más compleja, o el macizo rocoso más heterogéneo, la estructura resulta difícil de tratar matemáticamente, y es preciso recurrir a modelos numéricos y medidas "in situ".

Las bases de diseño en minería subterránea son casi opuestas a las utilizadas en la ingeniería civil. Además, consideraciones económicas suelen hacer necesario extraer el mayor porcentaje posible del

criadero, por lo que el tamaño y número de pilares, machones, u otros soportes estructurales abandonados, se reducen al mínimo. Las minas tienen una vida corta comparada con la de las estructuras convencionales y este aspecto, junto con las ventajas económicas que reporta operar con coeficientes mínimos de seguridad, son dos facetas del diseño exclusivamente mineras. Por fortuna, el desarrollo de una mina es normalmente tan lento que suele haber numerosas oportunidades para experimentar, y modificar el proyecto de acuerdo con los resultados obtenidos

En el diseño inicial de una mina además de la Mecánica de Rocas debe utilizarse la experiencia, sobre todo si ésta ha sido adquirida en estructuras equivalentes, rocas similares y profundidades comparables a las de la mina que se trata de diseñar.

Más adelante, conforme se van recogiendo datos sobre las propiedades del macizo rocoso y sobre el campo tensional, las hipótesis de partida deben reconsiderar y el diseño modificarse en consecuencia. No hay otra alternativa para proyectar minas aunque en algunos casos se ha conseguido realizar buenos proyectos abriendo cámaras experimentales, galerías y pozos, para obtener información geológica, mejores muestras para los ensayos de determinación de las propiedades mecánicas de las rocas, y medidas del campo natural de tensiones en el macizo rocoso. La evaluación de la estabilidad de estructuras rocosas existentes presenta menos dificultades, ya que, al tener acceso a la mina, pueden realizarse las observaciones y medidas que aconseja la naturaleza del problema.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Herrera Herbert, Juan; Castilla Gómez, Jorge (2014) "Introducción a las Características de la Minería Subterránea (Apuntes)". Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Ingeniería Geológica y Minera. Laboratorio de Tecnologías Mineras.

Pla Ortiz de Urbina, Fernando (1994). "Fundamentos de laboreo de minas". Universidad Politécnica de Madrid. ISBN 84-85616-05-7

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGIA
LABORATORIO DE INNOVACIÓN EN TECNOLOGÍAS MINERAS

TECHNICAL UNIVERSITY OF MADRID
HIGHER TECHNICAL SCHOOL OF ENGINEERING IN MINES AND ENERGY
MINING TECHNOLOGIES INNOVATION LABORATORY