



GOBIERNO DE CHILE
SERVICIO NACIONAL DE
GEOLOGÍA Y MINERÍA

RIESGOS EN LA MINERÍA SUBTERRÁNEA

ERIK MUÑOZ DEL PINO

ABRIL DEL 2002

ÍNDICE

Contenidos	Pag.
CAPÍTULO 1. Introducción	1
CAPÍTULO 2. Generalidades	3
2.1 Operaciones básicas de una mina	
2.2 Métodos de explotación	9
CAPÍTULO 3. Riesgos en la Minería Subterránea.	7
3.1 Riesgo un concepto clave	
3.2 Administración de riesgos	9
3.3 Clasificación del riesgo	
3.4 Elección del método de explotación.	9
3.5 Riesgos asociados a la mecánica de rocas.	
3.6 Clasificación geomecánica de rocas	9
3.7 Elección de equipos en minería subterránea	
3.8 Elección de elementos de soporte y fortificación	9
3.9 Riesgos asociados a la explotación subterránea	9
CAPÍTULO 4. Riesgos asociados al método de explotación	7
4.1 Riesgos asociados al método Cámara y Pilares	
4.2 Riesgos asociados al método Cámara Almacén	
4.3 Riesgos asociados al método Corte y Relleno	



Gobierno de Chile
Servicio Nacional de
Geología y Minería

.

4.4 Riesgos asociados al método Hundimiento por Bloques	
4.5 Riesgos asociados al método Hundimiento por Subniveles	
4.6 Riesgos asociados al método Explotación por Tajos Largos	
4.7 Riesgos asociados al Pirquineros	
CAPÍTULO 5. Bibliografía.	7

INTRODUCCION

Nuestra sociedad moderna necesita un suministro de metales, minerales, y combustibles para su subsistencia. Una gran parte de las materias primas para estos productos tiene su origen en yacimientos muy por debajo de la superficie de la tierra. La minería subterránea nos da los medios para utilizar tales recursos.

Históricamente, la explotación subterránea de minerales ha sido considerada como una de las actividades más riesgosas que realiza el hombre. Impactantes accidentes, con centenares de muertos, han avalado tal aseveración. Es frecuente ver en la prensa tragedias que enlutan a la minería mundial.

Son muchos los factores de riesgos presentes en las faenas subterráneas. Las características de la roca, el uso de explosivos, la presencia de gases tóxicos o inflamables, el empleo creciente de máquinas y equipos, la presencia de aguas subterráneas, las probabilidades siempre latentes de incendios, etc., conforman un espectro de riesgos de alto potencial de severidad. A lo anterior debe adicionarse los errores de diseño o ejecución de los propios mineros.

Desde tiempos remotos los hombres han excavado la tierra en busca de minerales. Originalmente las labores fueron simplemente una extensión de pequeños laboreos superficiales. A medida que las necesidades de materias primas iban creciendo y los yacimientos profundizándose, se fueron desarrollando métodos y equipos de explotación cada vez más eficientes y sofisticados.

La minería exige una planificación cuidadosa y extensiva de tales excavaciones, al objeto de que la misma funcione adecuadamente.

GENERALIDADES

La minería subterránea es la técnica utilizada para recuperar minerales de los yacimientos situados por debajo de la superficie terrestre. Para tal fin, la minería subterránea necesita un sistema de excavaciones que permita llegar a las zonas de minerales contenidos en la roca.

2.1 Operaciones básicas de una mina

Todos los yacimientos mineros requieren un modelo específico de excavaciones de preparación, que se disponen en una fase separada, antes de la producción del mineral. Esta fase se efectúa en conexión con el método de explotación seleccionado.

Existen componentes básicos de excavación de roca para la producción eficiente de un yacimiento mineralizado, y esta dado por:

- Accesos
- Preparación de la mina
- Métodos de Explotación

Los accesos son labores mineras que abren el camino desde la superficie al cuerpo mineralizado para su explotación.

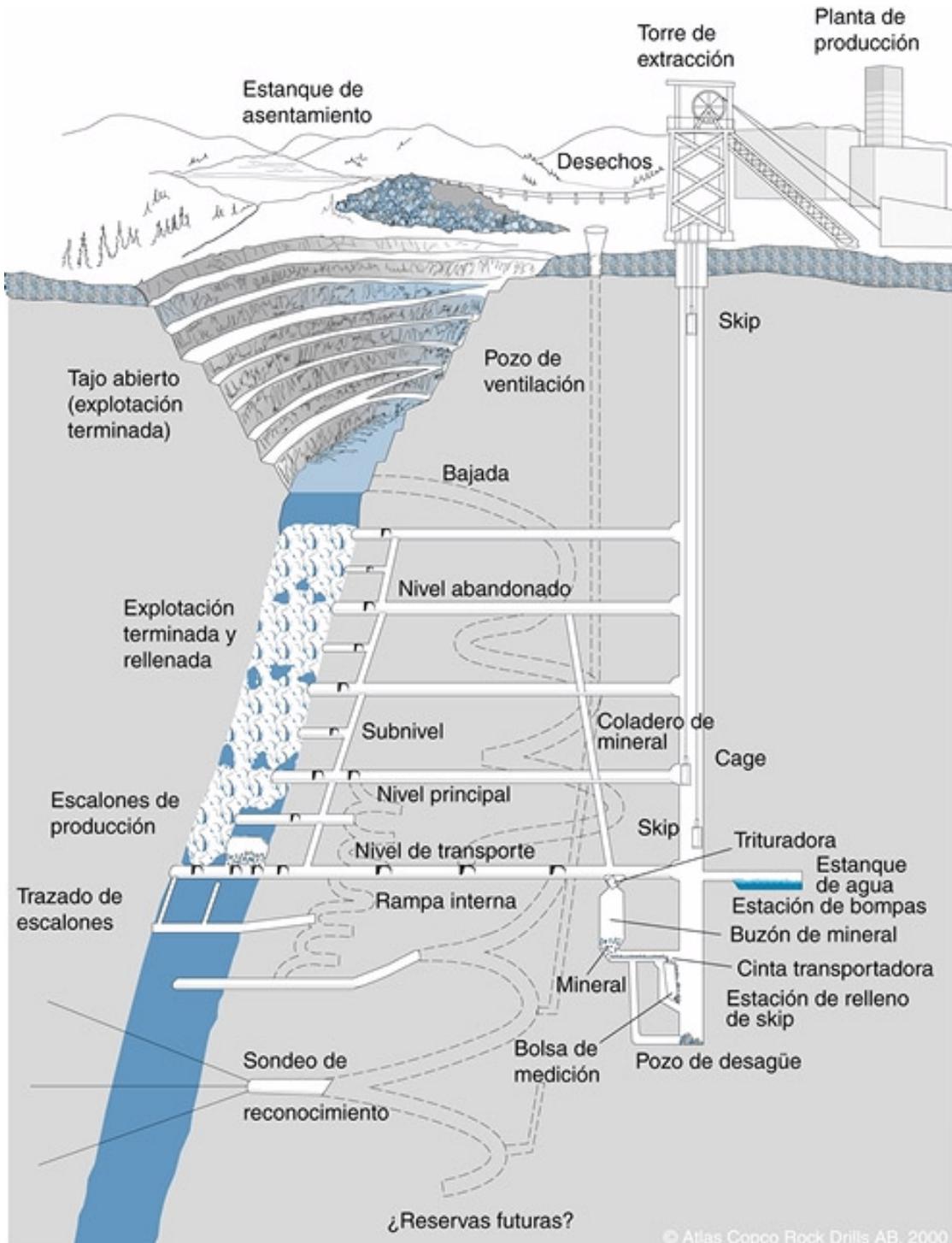
La preparación se define como una red cuidadosamente planificada de desarrollos mineros como galerías, socavones, piques, chimeneas, rampas, o toda forma básica de excavación de rocas. La preparación esta íntimamente conectada con los métodos de explotación y define la infraestructura de la mina.

Los métodos de explotación son la forma o el sistema asociado a la explotación del yacimiento, y dependerá de factores relacionados con la naturaleza el depósito mineralizado, y de consideraciones técnico económicas, siendo las principales: potencia del yacimiento, Forma y extensión del cuerpo, distribución de la mineralización, propiedades geomecánicas, disposiciones



GOBIERNO DE CHILE
SERVICIO NACIONAL DE
GEOLOGÍA Y MINERÍA

generales, situación geográfica, etc.



Disposición típica de la preparación de una mina

2.2 Métodos de explotación

Existe un centenar de métodos de explotación subterráneos considerando sus variantes. El método depende de una serie de factores relacionados con la naturaleza del yacimiento y de consideraciones técnico económicas. Los métodos subterráneos tradicionales y más característicos se pueden clasificar en:

Cámaras y Pilares

En de explotación el mineral se excava todo cuanto se puede, dejando secciones de mineral como pilares para soportar el techo. Las dimensiones de las cámaras y los pilares dependen de la estabilidad del techo y del mineral mismo, la potencia del yacimiento y el empuje de la roca. La explotación tiene como objetivo extraer el máximo de mineral sin poner en peligro las condiciones de trabajo.

Los pilares se disponen generalmente en forma regular. Pueden ser circulares, cuadrados o tener la forma de paredes alargadas, separando las cámaras. El mineral que queda en los pilares puede ser extraído por despinalamiento como una operación final en la mina, pero en general se considera como no recuperable.

Las aplicaciones de este método esta determinado en:

- Yacimientos horizontales o con poco buzamiento, máximo de unos 30° .
- Yacimientos en que la roca tenga una estabilidad aceptable en el techo y el mineral.

El método de cámaras y pilares es el único que es práctico para explotar capas horizontales de poca potencia. Este método se usa mucho en la explotación de depósitos estratificados de origen sedimentarios tales como esquistos mineralizados de cobre y minerales industriales tales como caliza, sal y carbón. La aplicación de este método se puede dar básicamente en tres condiciones:

El sistema más conocido es aplicable a yacimientos horizontales o casi horizontales, y puede ser usado también en yacimientos inclinados de mas potencia. Lo característico es que las cámaras tienen un suelo con pendiente moderada, permitiendo el uso de equipos móviles.

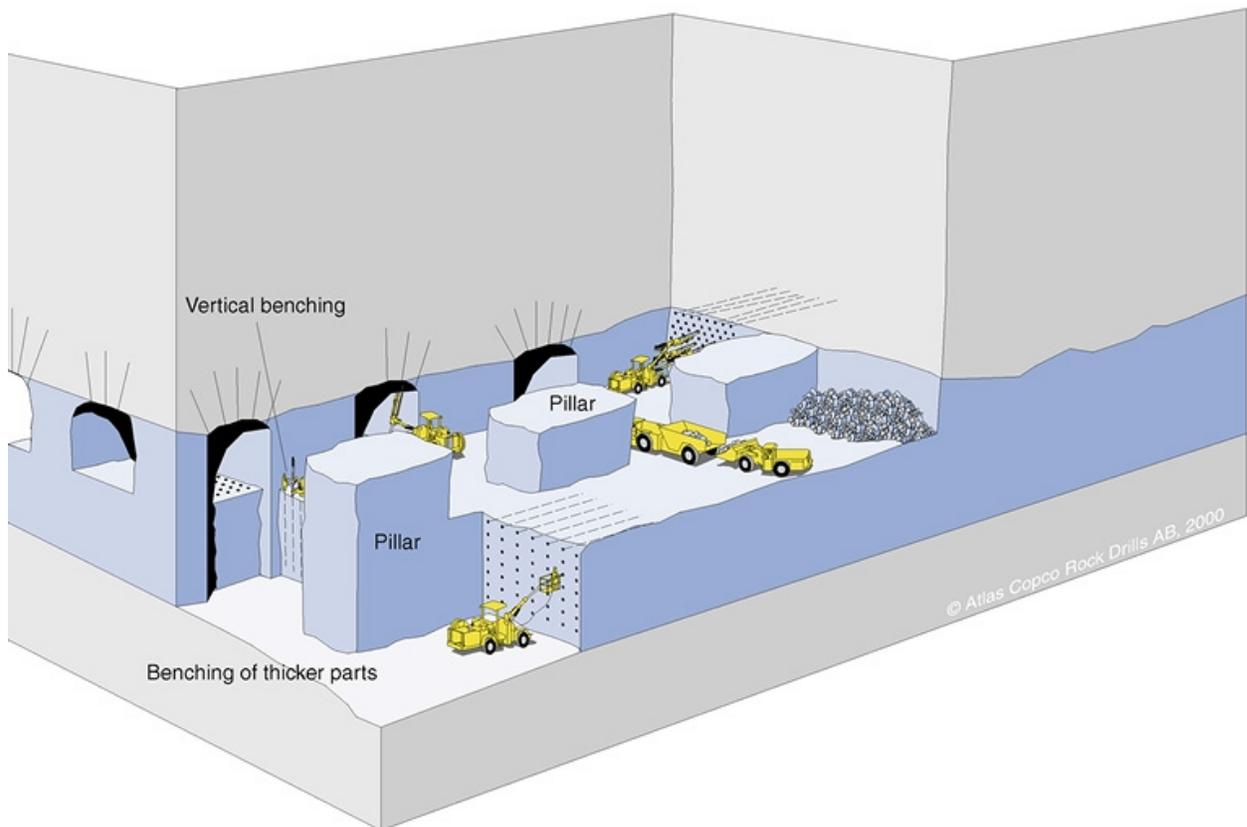
El segundo sistema es aplicable a yacimientos inclinados con un buzamiento de alrededor de 20° a 30° . Aquí se hace la excavación hacia arriba a lo largo del buzamiento. La pendiente del

suelo de la cámara impide el uso de equipos móviles.

El tercer sistema es una adaptación a un yacimiento inclinado del método de excavación plana. Una disposición especial de excavaciones y secuencia de extracción de mineral resulta en áreas de trabajo con pisos de inclinación moderada, permitiendo el uso de equipos móviles.

La explotación por cámaras y pilares de depósitos casi horizontales, es un método que favorece el uso de equipos mecanizados. La disposición de la mina es esquemática, se pueden establecer varias áreas de producción y la comunicación es simple. Todos son factores que forman la base de una alta utilización de hombres como maquinaria en un proceso eficaz de explotación.

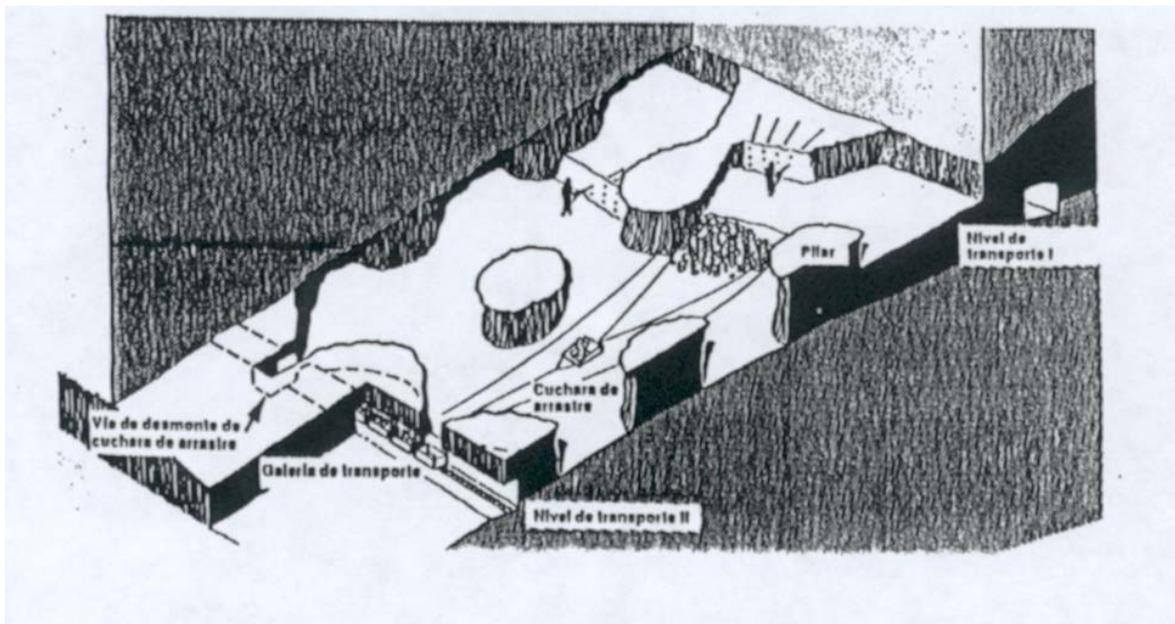
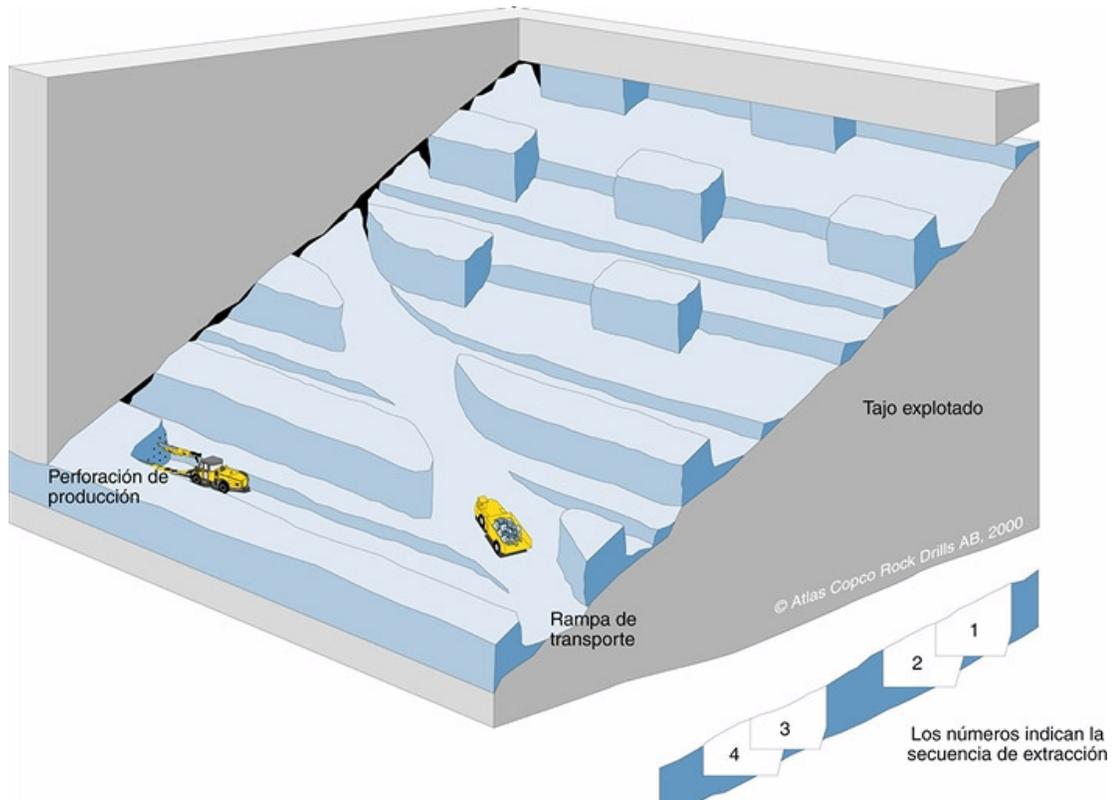
Los esquemas siguientes muestran las diferentes alternativas del método.



Explotación por cámaras y pilares en un yacimiento horizontal



GOBIERNO DE CHILE
SERVICIO NACIONAL DE
GEOLOGÍA Y MINERÍA



Explotación por cámaras y pilares de un mineral inclinado

Realce por Subniveles

El realce por sub niveles es igual que cámaras y pilares, es un método de explotación donde se extrae el mineral y se deja el tajo vacío. Las cámaras tienen con frecuencia grandes dimensiones especialmente en altura. El método en sí se utiliza en yacimientos verticales o de fuertes pendientes.

Para evitar el derrumbamiento de las paredes del tajo, se dividen los yacimientos más grandes en otros más pequeños a través de cámaras independientes. Las secciones de mineral entre cámaras permanecen intactas, a modo de macizos verticales que sirven para soportar el techo. Tales soportes pueden ser verticales y horizontales, teniendo en algunos casos espesores considerables. La explotación se lleva a cabo desde los subniveles y niveles horizontales a intervalos verticales fijos. Los subniveles se preparan dentro del yacimiento entre los niveles principales. El mineral se fractura mediante perforación y tronadura desde las galerías de los subniveles. La voladura separa una franja vertical grande de mineral que se desmenuza y cae al fondo de la cámara, desde donde se lleva al nivel horizontal principal.

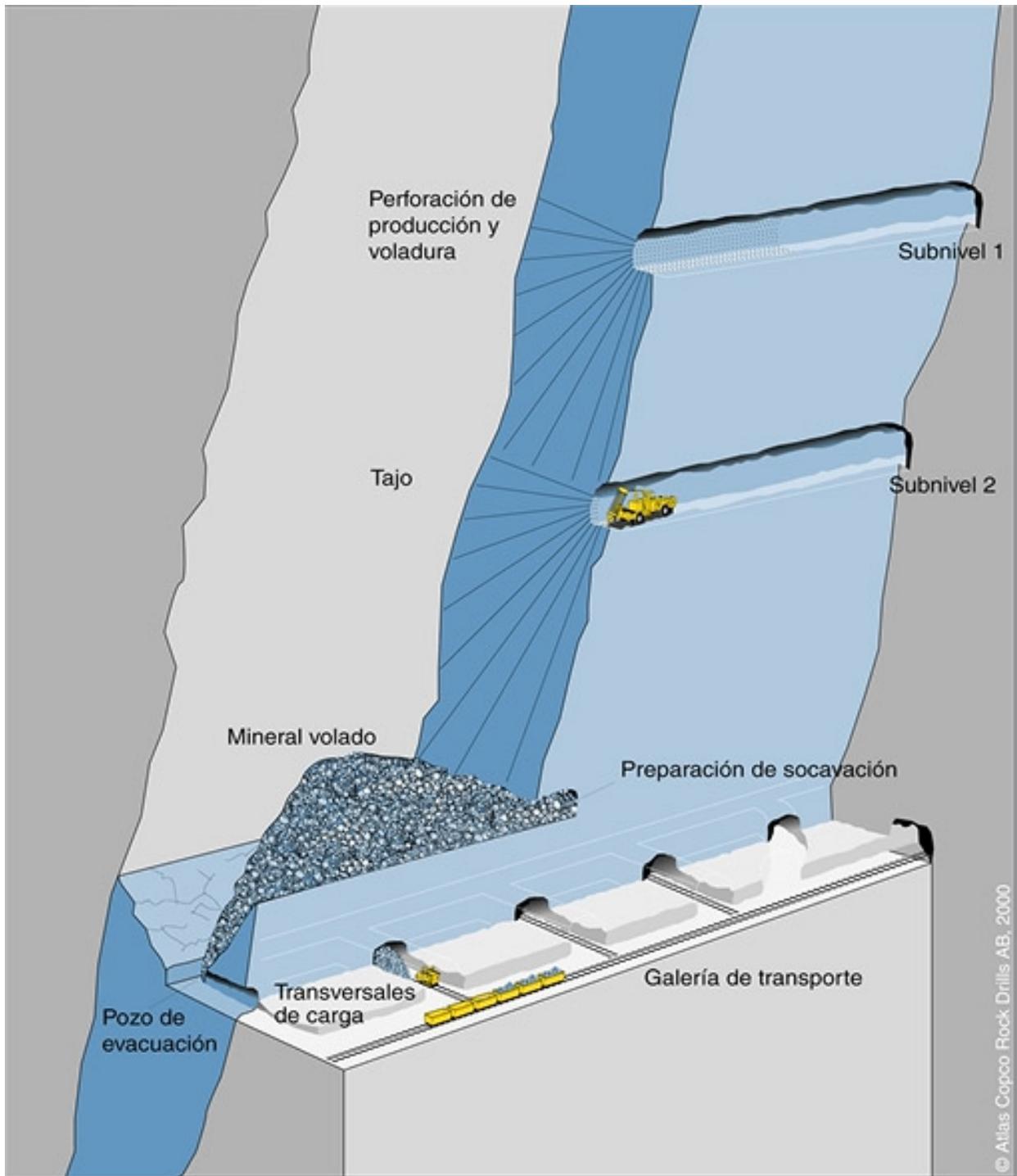
La preparación de un realce por subniveles requiere básicamente de galería de transporte principal debajo del tajo, chimeneas para la preparación de y acceso a los subniveles, perforación a las galerías dentro del depósito en los subniveles, corte inferior en la base del tajo, sistema de carga evacuación para permitir la recuperación del mineral con seguridad y un realce en ranura al final del tajo, agrandándolo más tarde a una ranura completa.

La perforación de producción dentro del realce por subniveles se realiza con barrenos largos y varillaje extensible, o mediante técnicas de voladura de barrenos largos que emplean martillos en fondo para la perforación. La perforación se puede realizar con mucha antelación a la extracción del mineral. Se perforan grandes secciones de mineral que se dejan en su lugar y se vuelan cuando es necesario. El hecho de que la perforación es una operación independiente, con un gran número de metros perforados de cada galería, favorece la aplicación de equipos de perforación mecanizados y especializados.

El realce por subniveles se usa normalmente en yacimientos con las siguientes características:

- Fuerte buzamiento. La inclinación del muro debe ser superior al ángulo de reposo
- Muro y techo estables
- Mineral competente

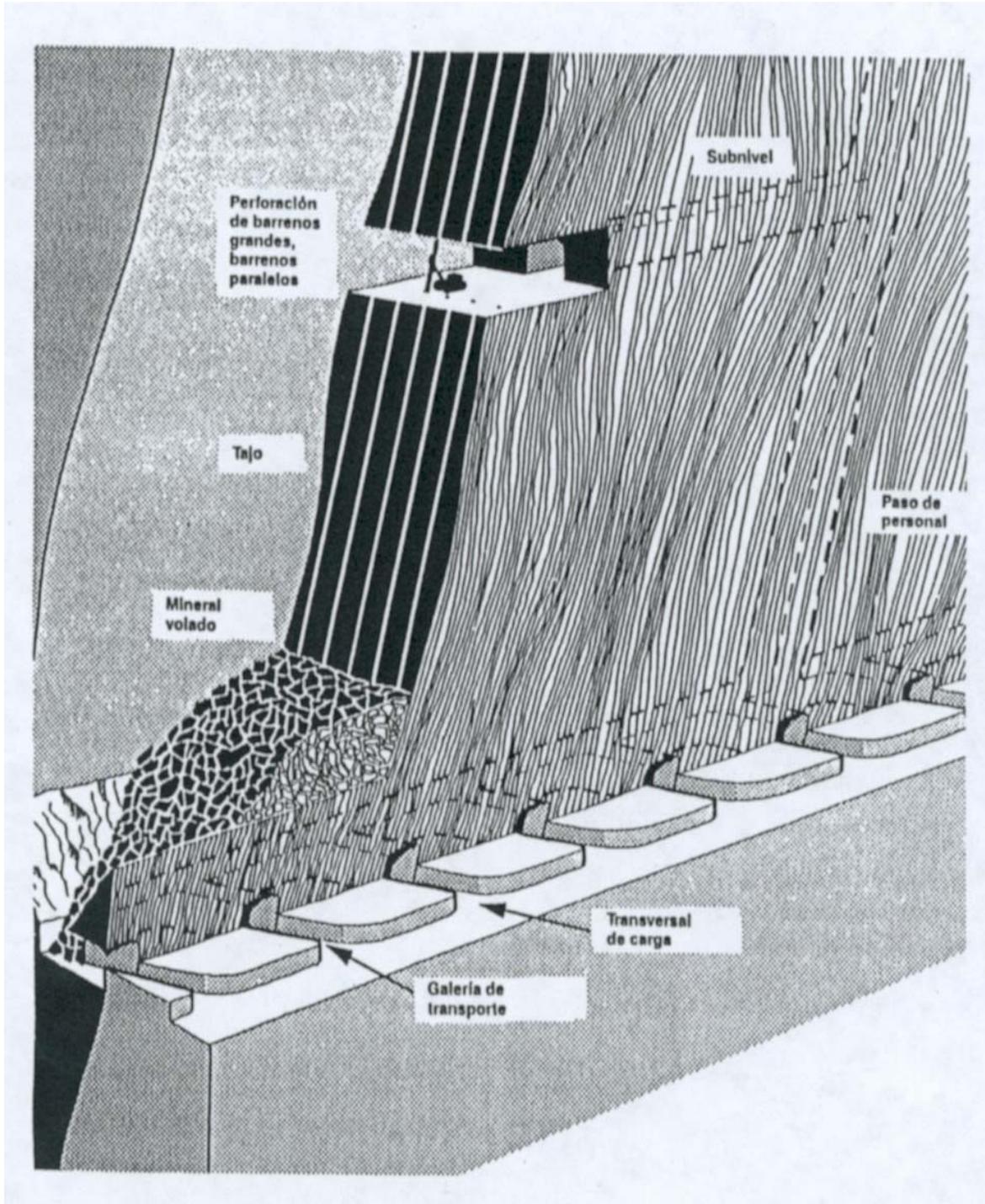
- Límites regulares del depósito



Realce por subniveles usando cueles en anillos y transversales de carga



GOBIERNO DE CHILE
SERVICIO NACIONAL DE
GEOLOGÍA Y MINERÍA



Realce por subniveles usando voladura de barrenos grandes

Cámara Almacén.

En la explotación por cámara almacén el mineral se arranca por franjas horizontales empezando desde la parte inferior del tajo y avanzando hacia arriba. Parte del mineral volado se deja en el tajo excavado, donde sirve como plataforma de trabajo para la explotación del mineral de arriba y para sostener las paredes del depósito.

La roca aumenta su volumen ocupando cerca de un 70% por la voladura. Por esto se debe extraer continuamente un 40% del mineral fracturado, para mantener una distancia conveniente entre el techo y la superficie del mineral volado. Cuando el arranque haya avanzado al límite superior del tajo planeado, se interrumpe el arranque y se puede recuperar el 60% restante del mineral.

Los yacimientos pequeños pueden explotarse en una sola cámara, mientras que los más grandes deben dividirse en cámaras separadas. Los pilares entre cámaras estabilizan los techos y puede recuperarse generalmente al final de la extracción

La explotación por cámara almacén se utiliza en yacimientos con las siguientes características:

- Gran buzamiento; el ángulo de buzamiento debe ser mayor al ángulo de reposo
- Mineral firme
- Techo y muro comparativamente estables
- Límites regulares de mineral
- El mineral no debe degradarse durante su almacenamiento.

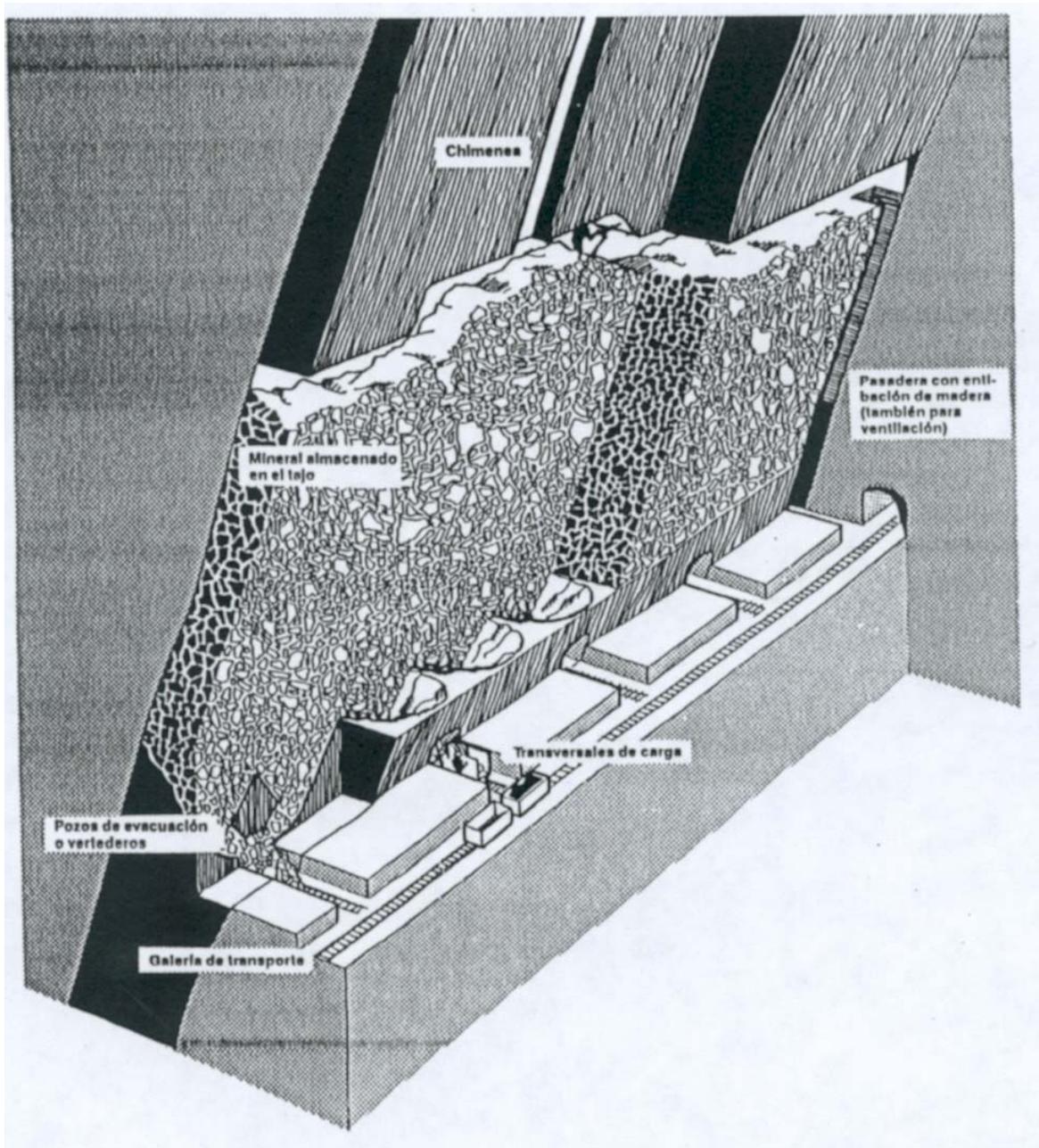
La preparación para la explotación comprende de galería de transporte a lo largo del fondo del tajo, transversales que penetran en el depósito bajo el tajo, chimeneas estrechas y tolvas desde las transversales hasta el corte inferior, socavación de la parte inferior del tajo a un nivel de 5 - 10 metros por encima de la galería de transporte y chimenea desde el nivel de transporte pasando por la socavación hasta el nivel principal de arriba, para dar acceso y ventilación al tajo.

El sistema de cámaras-almacén fue un método muy utilizado en la minería subterránea, en aquellas épocas en que pocas eran las máquinas que existían. Su ventaja consistía en que el mineral podía verterse directamente dentro de las unidades de transporte a través de tolvas, con lo que se eliminaban los trabajos de carga manual. Los inconvenientes del sistema son: mucha mano de obra, condiciones de trabajos difíciles y peligrosos, baja productividad y que el grueso del



GOBIERNO DE CHILE
SERVICIO NACIONAL DE
GEOLOGÍA Y MINERÍA

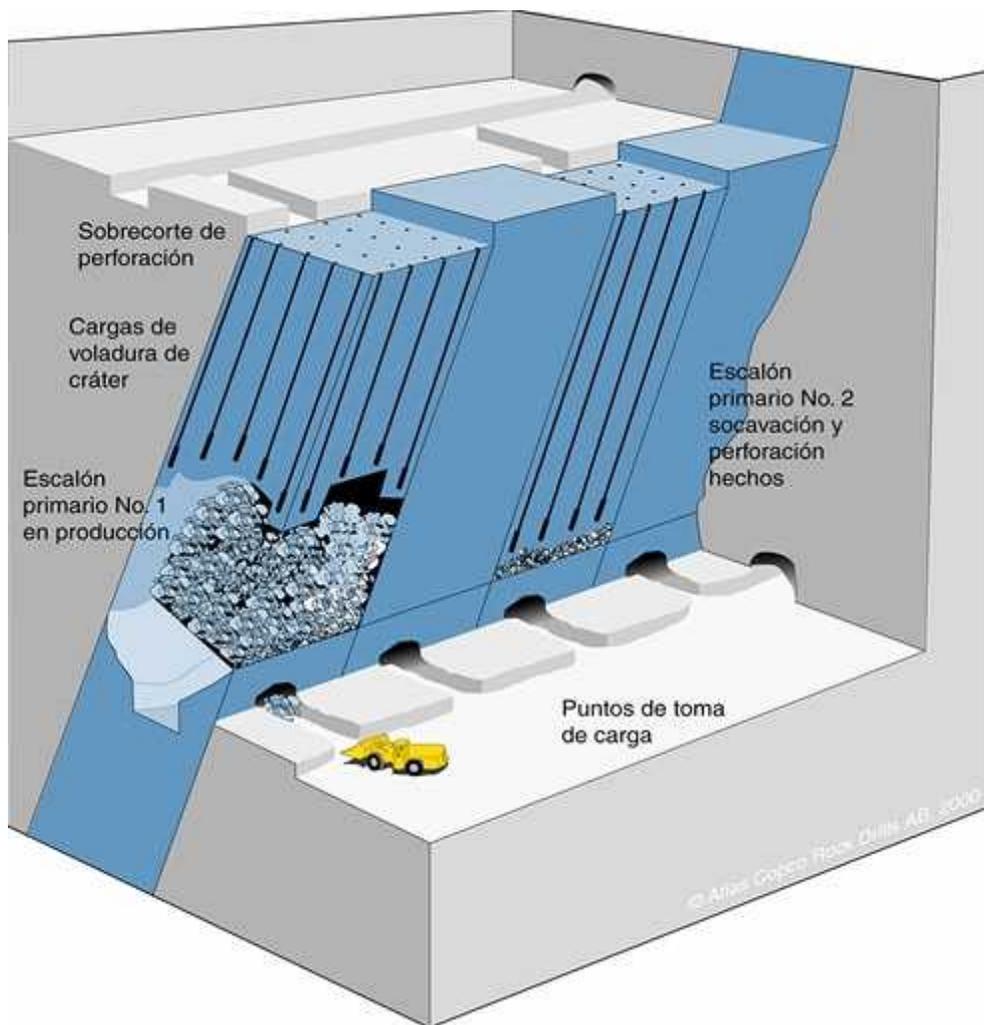
mineral permanece en la galería durante mucho tiempo.



Explotación por método cámara almacén

Gradas de Retroceso Vertical (VCR)

Explotación de gradas de retroceso vertical, Vertical Cráter Retreat (VCR), es un método de explotación que se usa desde hace pocos años. El principio se basa en una singular técnica de voladura, voladura de cráter. Dicho método está patentado en Canadá y es similar al de Cámaras-Almacén. El mineral se excava en subniveles horizontales y las labores de arranque comienzan desde abajo y avanzan en sentido ascendente. El mineral fracturado puede permanecer en la galería soportando los hastiales.



Explotación por gradas de retroceso vertical (VCR)

El mineral se extrae desde el fondo de la galería a través de un sistema de tolvas similar al

método anterior. El mineral, dentro de una galería, se perfora hacia abajo desde la sobreexcavación, con martillos en fondo.

Los barrenos que llegan a la excavación, tienen un diámetro de 170 mm. , son paralelos entre sí y se cargan desde la sobreexcavación con cargas concentradas especiales, situadas a una distancia fija por encima del frente horizontal inferior de la galería. La voladura fragmenta el mineral a un tamaño tal, que el mismo puede ser manipulado por cargadores LHD.

La Explotación por gradas en retroceso vertical depende en técnicas de carga y voladura que otros métodos de explotación. Es importante que esta fase de la operación sea desarrollada y refinada en la mina para que funcione con seguridad. Una voladura que no rompa la franja completa de mineral puede significar que esa parte del mineral debe ser sacrificado

Corte y Relleno

En este sistema el mineral se excava en subniveles horizontales, comenzando desde el fondo de la galería y avanzando en sentido ascendente.

El mineral volado se extrae completamente de la cámara. Cuando se ha excavado todo el subnivel, se cubre el volumen correspondiente con material de relleno, que sirve para soportar las paredes como de plataforma para continuar los trabajos de minería siguientes.

El material de relleno puede ser el escombros producido en los trabajos de preparación de la mina que se extiende por medios mecánicos sobre la galería.

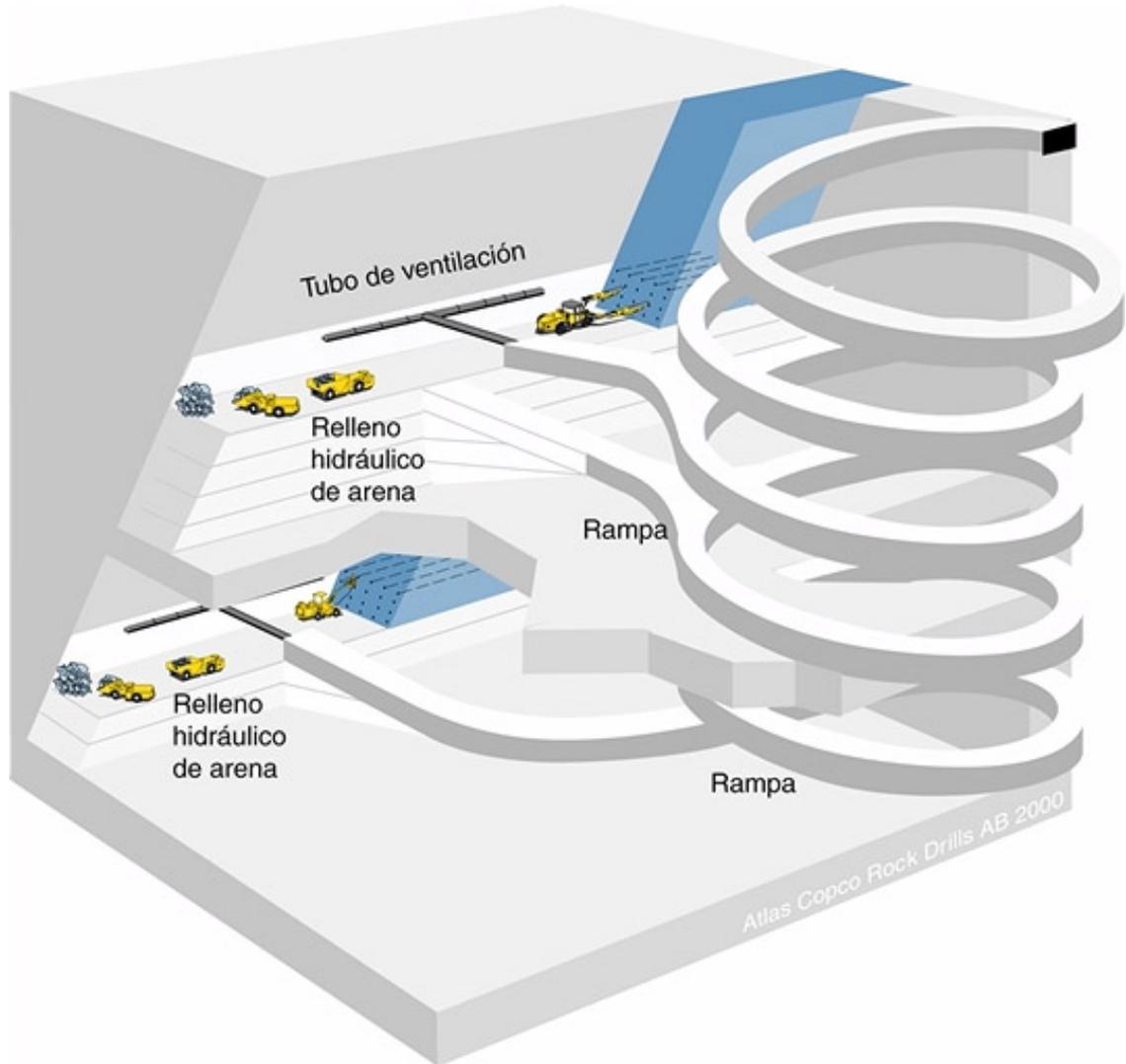
El relleno que mas predomina es el relleno hidráulico, donde el material es un estéril finamente molido, procedente de la planta de relleno de mineral, que se mezcla con agua, y se transporta al interior de la mina por medio de tuberías.

La explotación por corte y relleno puede ser utilizada en yacimientos de fuerte buzamiento con mineral relativamente firme.

Este método ofrece una ventaja en términos de selectividad en comparación con los otros métodos que se pueden usar en depósitos similares, y se caracteriza por la explotación discontinua del mineral de las galerías, debido a las interrupciones que son necesarias para las fases de distribución del material de relleno.



GOBIERNO DE CHILE
SERVICIO NACIONAL DE
GEOLOGÍA Y MINERÍA



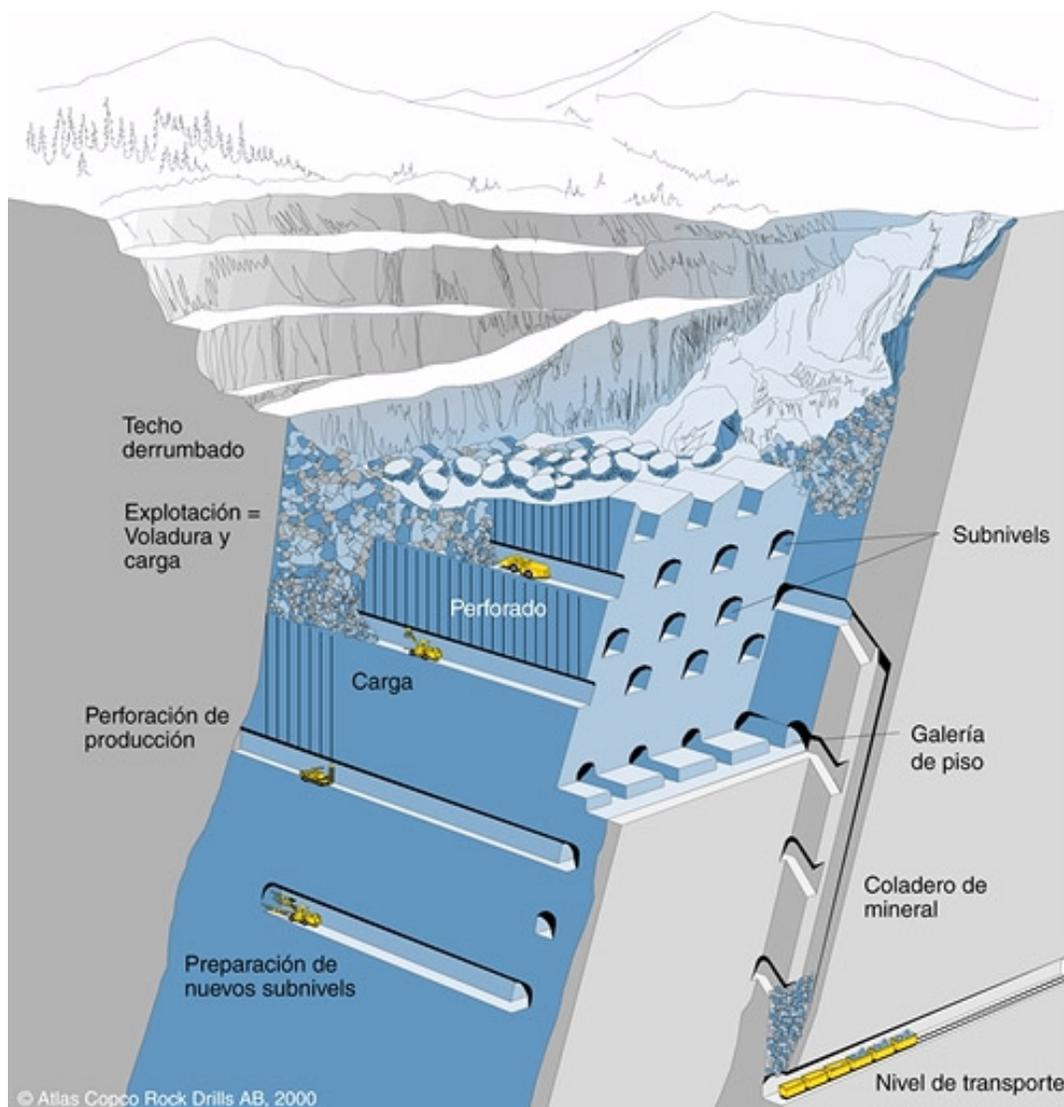
Explotación por corte y relleno

Hundimiento por subniveles

Todos los métodos de hundimiento funcionan con el principio de que la roca mineralizada y la roca circundante se fractura bajo condiciones mas o menos controladas. La extracción de mineral crea un área de hundimiento en la superficie que se encuentra encima del depósito.

Un proceso completo y continuos de fracturación es importante, ya que las cavidades subterráneas no sostenidas corren un alto riesgo de desmoronamiento inesperado, con efectos secundarios serios en la operación de explotación.

En el hundimiento por subniveles se divide el mineral en subniveles con un espaciamiento vertical relativamente estrecho, normalmente 8 a 15 metros. Cada subnivel es preparado con una red regular de galerías, cubriendo una sección completa de mineral. En depósitos anchos se colocan las galerías como transversales que pasan por el mineral desde una galería en el muro. Las galerías se trazan en paralelo en yacimientos estrechos.



Hundimiento por subniveles

El volumen de mineral inmediatamente por encima de cada galería de subnivel se perfora con barrenos largos en forma de abanico. La perforación se realiza como una operación separada mucho antes que la voladura. Se pueden perforar varios subniveles antes de que comience la voladura y la carga.

La voladura en cada nivel comenzará en el techo o en el extremo del depósito y retrocederá hacia el piso. La extracción de mineral retrocede normalmente a lo largo de un frente aproximadamente derecho, lo que significa que se puede trabajar simultáneamente en galerías adyacentes.

El hundimiento por subniveles se usa en yacimientos de fuerte buzamiento y en yacimientos con condiciones verticales grandes. Un requerimiento mínimo para estabilidad en el mineral es que las galerías de subnivel sean auto sustentable, necesitando refuerzos sólo ocasionales. La roca en el techo debe seguir la extracción de mineral en una cavidad continua y se debe permitir que se hunda la superficie. La dilución con estériles y las pérdidas de mineral son factores que influyen en la aplicación del método.

Hundimiento por bloques.

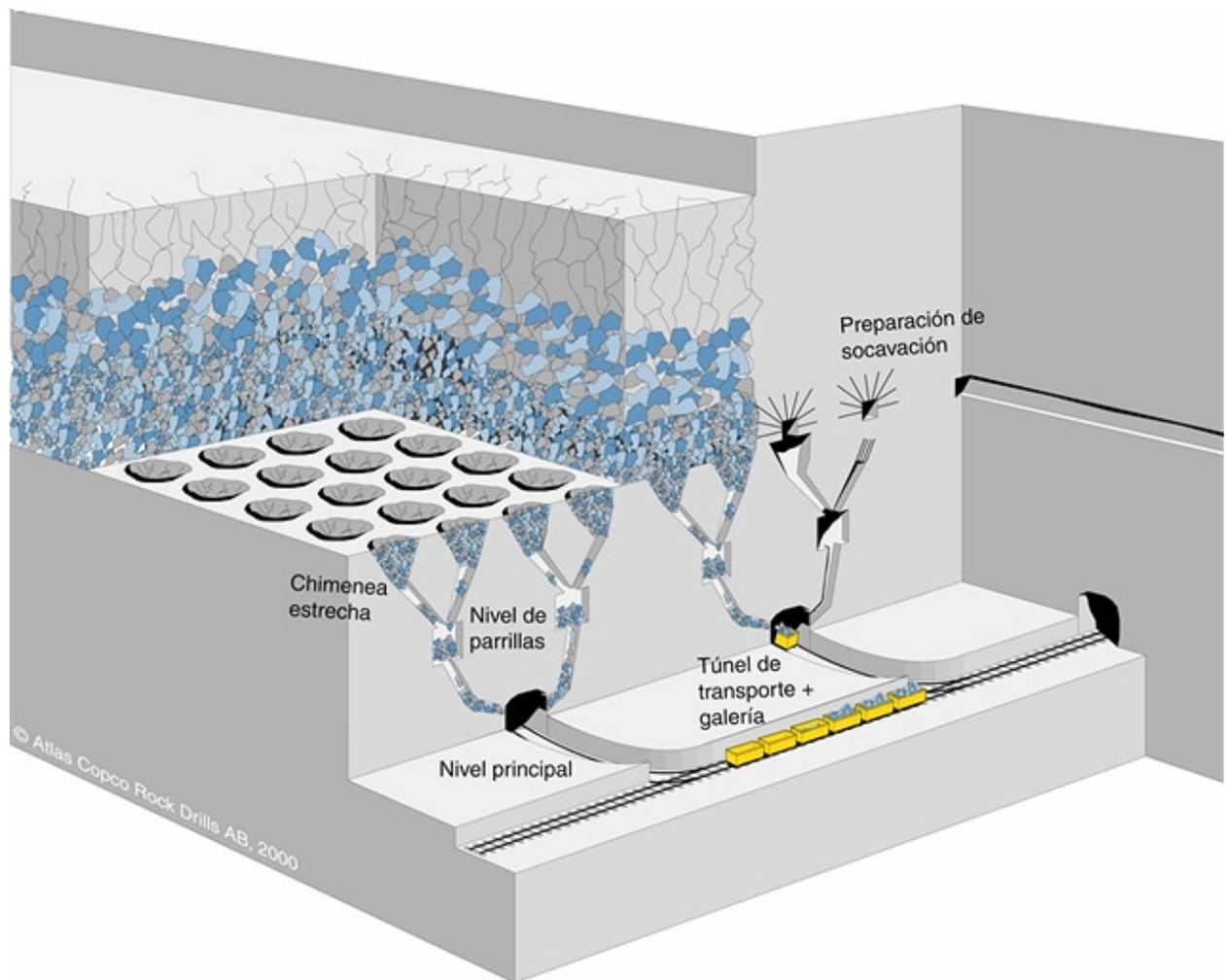
En el hundimiento por bloques se fractura y se rompe el mineral por sí sólo, por tensiones internas y gravedad. Por esto se requiere sólo un mínimo de perforación y voladura para la producción de mineral. La palabra bloque se refiere al plan de explotación por medio del cual se divide un yacimiento en secciones grandes, bloques, con una sección cuadrada, y un área de varios miles de metros cuadrados.

Cada bloque es socavado completamente; se excava una abertura horizontal en la parte inferior del bloque, para sacar el soporte de la roca de encima. Las fuerzas de gravedad, en el orden de millones de toneladas actúan en la masa de roca. Se realiza una fracturación sucesiva que afecta a todo el bloque. Ascende la presión de la roca en fondo del bloque, triturando el material a fragmentos que pueden ser manejados en labores de evacuación o por cargadores.

El hundimiento de bloques se utiliza para yacimientos grandes y masivos con:

- Fuerte buzamiento o, en un depósito masivo con gran extensión vertical
- Roca que se hunda y se rompa en fragmentos manejables.
- Superficie que permita hundimiento.

La preparación de hundimiento de bloques tradicional considera: Un sistema de galerías de carga-acarreo debajo de cada bloque, coladeros de mineral o chimeneas estrechas hasta en nivel de parrillas, un nivel de parrillas donde se puede controlar la fragmentación y se puede realizar voladura secundaria, un segundo juego de chimeneas desde el nivel de parrillas a tolvas en el nivel de socavación y socavación del bloque.



Hundimiento por Bloques

Todas las excavaciones debajo del bloque explotado están sujetas a una alta presión de roca. La sección transversal de las galerías y otras excavaciones se mantiene por esto lo más

pequeña posible. Frecuentemente es necesario un fuerte refuerzo con hormigón. La fase de preparación en una mina con hundimiento de bloques es un proceso complicado que se requiere varios años para empezar la producción.

El hundimiento de bloques es un método de explotación económico bajo condiciones favorables. Las desventajas son la extensa preparación y el tiempo que se tarda antes de que la producción alcance su capacidad máxima. Hay ciertos riesgos tales como el derrumbamiento y la fragmentación que se encuentran fuera de control del minero. Es difícil tratar con enganches y bloques grandes en un ámbito fracturado.

Explotación por Tajos Largos.

En la aplicación por tajos largos se extrae el mineral a lo largo de un frente de trabajo de ancho con una extensión longitudinal grande.

El área de arranque cerca del frente se mantiene abierta para dar espacio para el personal y el equipo de explotación. Se puede dejar que se hunda el techo a cierta distancia detrás del frente de trabajo.

La explotación de tajos largos es aplicable a yacimientos de poca potencia y estratificados con un espesor uniforme y una extensión horizontal grande.

El yacimiento puede ser representado por una veta de carbón, una capa de potasa o un aglomerado aurífero. La explotación es aplicable en roca tanto dura como blanda, ya que el área de trabajo a lo largo del frente de explotación puede ser sostenida cuando sea necesario.

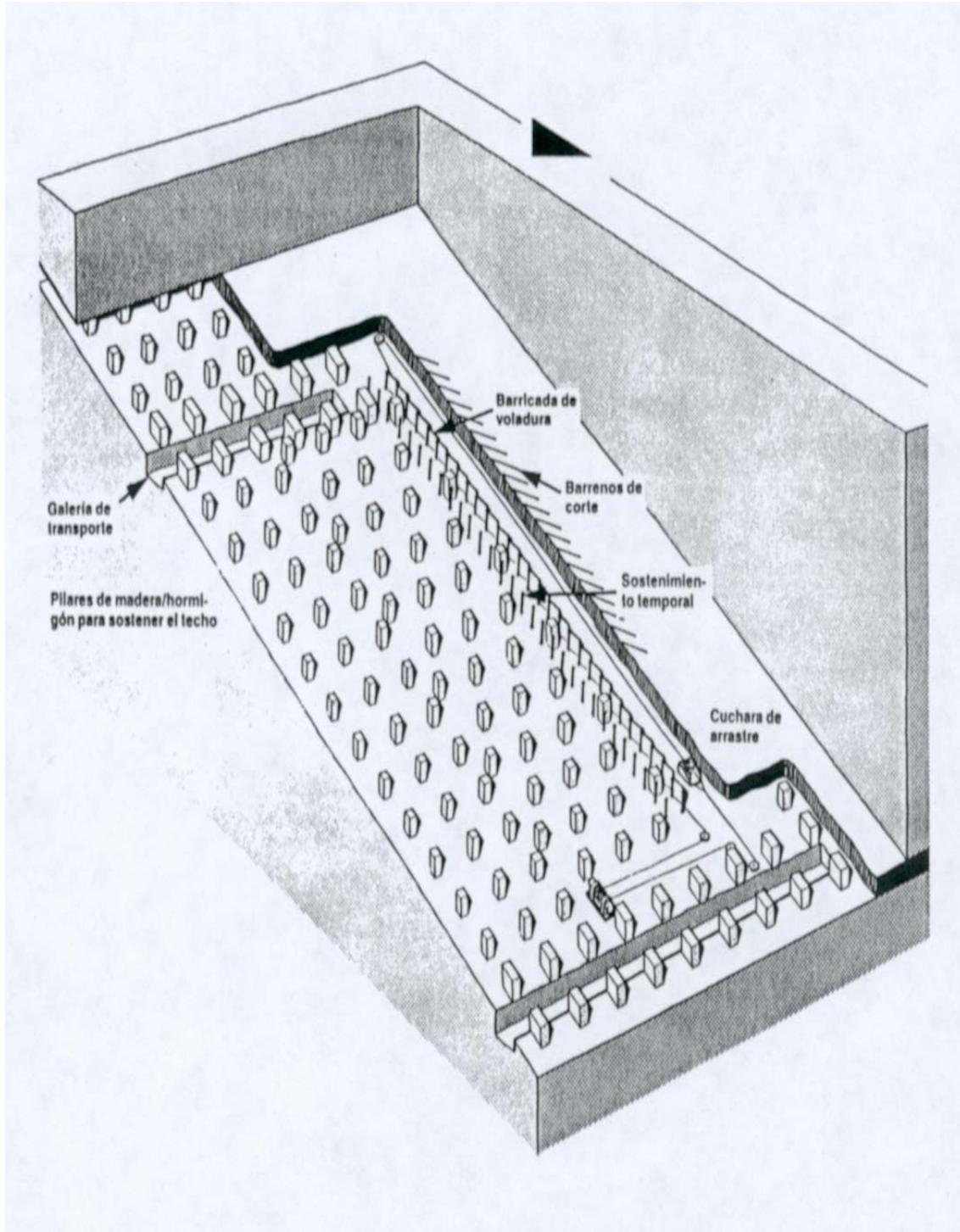
La preparación consiste básicamente de una red de galerías de transporte que se requieren para dar acceso a las áreas de explotación y para el transporte del material arrancado.

Las galerías de transporte se pueden disponer normalmente en forma esquemática, ya que el depósito se extiende por una amplia área, y tiene forma de una capa plana. La distancia entre dos galerías de transporte adyacentes determina la longitud del frente de tajos largos.

En condiciones de roca dura se excava por perforación y voladura convencionales. Se perforan barrenos cortos a lo largo de la frente e forma de corte lateral. En minerales blandos (carbón), no se necesita perforación y voladura sino que puede cortarse mecánicamente.



GOBIERNO DE CHILE
SERVICIO NACIONAL DE
GEOLOGÍA Y MINERÍA



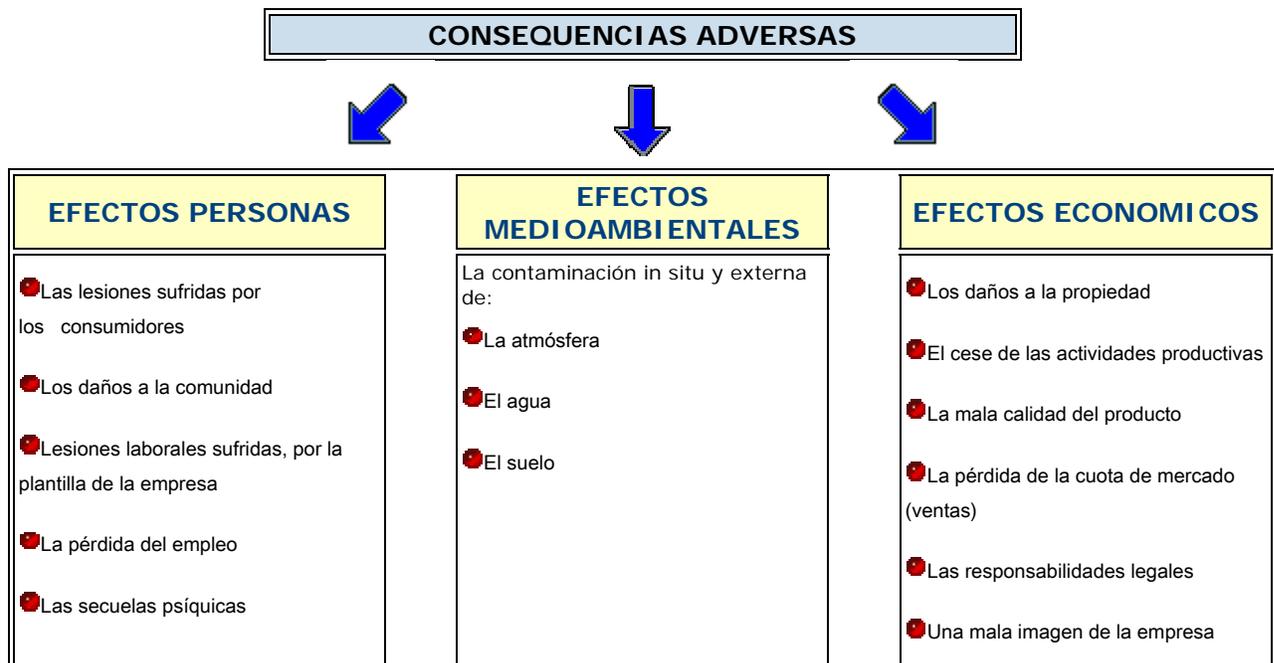
Explotación por tajos largos

RIESGOS EN LA MINERÍA SUBTERRANEA

3.1 Riesgo un concepto clave

Un riesgo se define como una característica física o química de un material, proceso o instalación que tiene el potencial de causar daños a las personas, a la comunidad o al medio ambiente.

Los estudios de evaluación de riesgos (ER) ofrecen a las organizaciones una serie de datos que contribuyan a mejorar la seguridad y la gestión de los riesgos, con la finalidad de reducir o eliminar los riesgos inherentes a los diversos tipos de actividades y procesos. De esta forma, estos estudios son "esfuerzos organizados para la identificación y el análisis de las situaciones de riesgo asociadas a las actividades de los procesos". En resumen, los estudios de ER se utilizan para detectar aquellos puntos débiles en el diseño y el funcionamiento de las instalaciones que pueden ocasionar vertidos accidentales de productos químicos, incendios, explosiones y otros daños con consecuencias adversas.



El riesgo está definido académicamente como “Contingencia o proximidad de un daño” o “Cada una de las contingencias que pueden ser objeto de un contrato de seguro”

En materia de Seguridad, el Riesgo es un concepto clave. ¿Qué es el riesgo? ¿Es algo negativo per se o es a veces necesario? ¿Podría decirse que en ocasiones es positivo o siempre es algo de lo cual debemos prescindir?

La palabra riesgo, en su origen arábigo, significa “ganarse el pan”, lo que implica que, para ganarse el pan, para subsistir, es preciso correr riesgos. Es decir, los riesgos son propios de toda actividad humana.

Pero el riesgo, en general, tiene una doble connotación, positiva y negativa; ganancias y pérdidas; éxitos y fracasos.

Se debe tener presente que tanto el cambio, como la innovación, el desarrollo y el progreso, son imposibles de concebir y de conseguir sin que el factor riesgo se interponga como una variable relevante en nuestras decisiones y acciones

Riesgo Puro: Son aquellos que sólo ofrecen las alternativas de pérdidas o no pérdidas, pero en ningún caso ganancias.

Caen dentro del ámbito de la Seguridad y si no se administran adecuadamente generan enfermedades profesionales o accidentes varios entrañando daños a personas, equipos maquinarias e instalaciones y, etc.

Riesgo Especulativo: Pueden derivar pérdidas o ganancias. Impulsan a la acción de emprender; obviamente el impulsor es la expectativa de ganancias, aunque siempre existirá la amenaza de que la acción termine en pérdidas.

Estos riesgos son abordados normalmente por las empresas cuando se emprende una campaña publicitaria, cuando se contrata a un alto ejecutivo, etc.

3.2 Administración de Riesgos.

La Administración de riesgos orientada al manejo de los estos, establece:

- a) No arriesgue más de lo que puede aceptar perder, es decir, no hay que exponerse a riesgos cuyas pérdidas potenciales sean de una magnitud tal que no estemos

dispuestos a aceptar o soportar.

- b) No arriesgue mucho por poco. No correr ciertos riesgos cuyas pérdidas potenciales sean significativas, cuando con una pequeña inversión de dinero, tiempo, de esfuerzo o de comodidad, podemos eliminar, minimizar o transferir ese riesgo.
- c) Considere las posibilidades. Antes de correr un riesgo determinado, considere cuáles son las probabilidades que están a su favor, para ganar si se trata de un riesgo especulativo o para no perder si se trata de un riesgo puro, y cuáles son las probabilidades que están en su contra, para perder.
- d) Transfiera el riesgo. Esta es la cuarta alternativa, y consiste en traspasar a un tercero la responsabilidad de asumir y financiar las pérdidas. El caso de los Seguros y Contratistas son las formas más comúnmente utilizadas para la transferencia del riesgo.

Dado que la ausencia total y permanente de los riesgos es una condición utópica, irreal e inalcanzable, cada vez cobra mayor vigencia el concepto de grado de aceptabilidad de los riesgos.

Algo seguro - se dice - cuando los riesgos son aceptables, porque no provocarán más daño que el que estamos dispuesto a aceptar, si actuamos con conocimiento y prudencia

3.3 Clasificación del riesgo

Riesgo de Diseño:

Son aquellos que deben ser considerados cuando seleccionamos el método de explotación, y que tienen que ver con la proyección de las labores, equipos y componentes en general de lo que integra la infraestructura de cualquier método, podemos mencionar:

- Ventilación acorde con la producción
- Fortificación cuando se requiera
- Diseño de labores hay que considerar estructura geológica y estabilidad de pilares.
- Distribución adecuada de las labores en el método
- Forma y dimensiones de la sección de las labores

- Toda instalación tiene que ser debidamente reglamentada
- Señalización completa y fácil de entender.

Riesgos de Operación

Los riesgos de la operación se deben a factores que interactúan para generar un accidente, como son:

- Factor humano: Conocimientos, entrenamiento, habilidad y motivación.
- Factor de la mecanización: Mantenimiento, desgaste, tecnología, etc.
- Factor ambiental: Pisos, iluminación, visibilidad, etc.

Riesgos de operación se presentan en las operaciones minera de:

1. Perforación de rocas : En desarrollos de labores (avances)
En producción.
En perforación secundaria
2. Tronadura : Carguío de tiros
Quemada
3. Carguío de mineral : Equipo cargador (pala, cargado frontal)
4. Transporte : Camiones de bajo perfil
5. Servicios : Huinches, cables, baldes y plataformas
Aire comprimido

En todo riesgo operacional hay que individualizar sus causas y posibles consecuencias para tomar las medidas preventivas para evitar lesiones a personas como daños a equipos e instalaciones.

3.4 Elección del método de explotación

En la elección del método de explotación, intervienen fundamentalmente los siguientes factores:

- Características Geográficas
- Características Geológicas y Físicas del yacimiento.
- Condiciones Económicas

Características Geográficas

- Los aspectos más importantes dentro de este factor son:
- Profundidad
- Cercanía a un lugar poblado
- Clima.

Características Geológicas y Físicas del Yacimiento.

- Las propiedades más importantes que deben conocerse en un yacimiento para elegir el sistema de explotación adecuado son las siguientes:
- La forma del yacimiento o cuerpo mineralizado
- Potencia si se trata de una veta o manto
- Manteo si se trata de una veta o manto
- Diseminación de las leyes si se trata de un yacimiento masivo.
- Profundidad respecto de la superficie
- Dimensiones del yacimiento, su cubicación.
- Naturaleza mineralógica de los componentes de la mena.
- Sus leyes o repartición de la mineralización en el interior del cuerpo mineralizado.
- Características mecánicas (resistencia a la tracción y la compresión) de la roca que constituye el cuerpo mineralizado y de la roca encajadora.

Condiciones Económicas.

La explotación de un yacimiento debe realizarse al menor costo posible. Debido a que tanto el costo de acceso, desarrollos y preparación propios del método de explotación son elevados. Intervienen además en las condiciones económicas el sistema de extracción, el tratamiento o procesamiento del mineral, inversiones en equipos, materiales y otros.

Las condiciones presente y futuro del mercado permiten determinar si un yacimiento de ciertas características Geológicas y físicas es explotable o no. También puede ser factor determinante el ritmo de explotación o el grado de selectividad alcanzable.

Hay una tendencia importante que lleva a explorar yacimientos de leyes cada vez más bajas, debido principalmente a dos causas:

- El agotamiento de los yacimientos de leyes altas.
- La necesidad del abastecimiento constante del mercado.

Para solucionar estos problemas se recurre a dos alternativas:

- Seleccionar en el interior del yacimiento las zonas más ricas, lo que nos lleva a los métodos selectivos.
- Explotar grandes masas de baja ley, con costos también bajos debido al gran tonelaje; esto nos lleva a los métodos altamente mecanizados. En este caso se juntan las condiciones geográficas y humanas

Tipos De Yacimiento

- Masivos : Cobre Porfídico (Teniente, Salvador)
- Manto : Paralelos a la estratificación, Potencia limitada (Tabulares)
- Veta : Claramente delimitado por roca no mineralizada (Gran inclinación)
- Lente o Bolsón : Yacimiento aislado
- Placeres : Oro, Plata

3.5 Riesgos asociados a la mecánica de rocas

Mecánica de Rocas

Es la ciencia teórica y aplicada del comportamiento de la roca y de la masa rocosa; y es una rama de la mecánica relacionada con la respuesta de la roca y masa rocosa a los campos de fuerzas presentes en su ambiente físico

Geomecánica.

Es la disciplina que esta relacionada con el comportamiento mecánico de todos los materiales geológicos: rocas, discontinuidades geológicas, y materiales tipos de suelos

Ingeniería De Rocas

Es la disciplina que esta relacionada con la aplicación de los principios de la ingeniería mecánica para el adecuado diseño de estructuras en la roca, generadas por la actividad minera

Principios De La Mecánica De Rocas

La aplicación de la mecánica de rocas a la ingeniería de minas, se basa en:

- Toda masa rocosa puede ser perfectamente identificada por un conjunto de propiedades mecánicas, las cuales pueden ser medidas mediante ensayos de tipo estándar
-
- El comportamiento mecánico de una estructura minera excavada puede ser evaluado adecuadamente utilizando los fundamentos básicos de la mecánica clásica
-
- La capacidad de poder predecir y controlar el comportamiento mecánico de la masa rocosa, puede beneficiar económicamente la operación minera

Estructura De La Masa Rocosa.

Los materiales ingenieriles con los que usualmente trabaja la mecánica clásica, son continuos, homogéneos, isótropos, lineales y elásticos, a diferencia de la masa rocosa que difícilmente muestra en la realidad estas propiedades.

Componentes De La Masa Rocosa

Roca o material rocoso.- Es el conjunto de partículas minerales o no, consolidado y cementado, que en la masa rocosa forma bloques de rocas intactos entre las discontinuidades.

Masa Rocosa.- Es la masa rocosa en situ, la cual contiene sistemas de discontinuidades naturales (Estructuras geológicas)

Roca Fragmentada.- Se refiere a la masa rocosa que ha sido perturbada por un agente mecánico, tal como la tronadura, en que la estructura básica de ella ha sido destruida.

Discontinuidad.- Es todo rasgo estructural que divide la masa rocosa en bloques aislados e intactos y que tiene una baja o nula a la resistencia a la tracción

Propiedades Índices

- Índice de Poros
- Porosidad
- Grado de saturación
- Contenido de Agua
- Densidad
- Peso Específico

Ensayos De Laboratorio De Mecánica De Rocas

Compresión uniaxial.

$$F_c = Q/A$$

F_c : Esfuerzo de ruptura en compresión simple (kg/cm²)

Q : Carga máxima de compresión, o de ruptura (kg)

A : Área en que se aplica la carga (cm²)

Tracción Uniaxial

$$Et = Ft/A$$

Et : Resistencia ala Tracción (kg/cm²)

Ft : Fuerza de tracción máxima, o de ruptura (kg)

A : Área en que se aplica la fuerza de tracción (cm²)

3.6 Clasificación geomecánica de rocas

Toda excavación subterránea es una estructura extremadamente compleja, donde no siempre el ingeniero tiene los datos necesarios para determinar el diseño de fortificación adecuado. La mayoría de las técnicas o herramientas teóricas sólo le permiten estudiar o simular el comportamiento de una variable en particular, pero no la influencia de varios parámetros simultáneamente como ocurre en la realidad.

De aquí el importante papel que juega el criterio ingenieril, la experiencia práctica del diseñador y la importancia de asimilar determinadas condiciones del problema en estudio, al de otros lugares o faenas, a través de un sistema común de clasificación de rocas.

Los sistemas de clasificación de rocas que han sido desarrollado en el tiempo, tienen diversos grados de complejidad, destacándose entre ellos los siguientes esquemas generales:

Sobre la base de una descripción esencialmente geológica, relacionada a su génesis, litología asociada al contenido mineralógico y características estructurales presentes.

Sobre la base de sus propiedades físicas, de su resistencia mecánica y de deformación de la roca intacta, ya sean aisladas o combinadas.

Sobre la base de una combinación de los esquemas anteriores.

Sobre la base de propiedades de la masa rocosa, con clara orientación ingenieril relacionada con excavaciones subterráneas y superficiales.

El primer intento de clasificar la roca in situ lo realizó Karl Terzaghi en 1946, basado en apreciaciones cualitativas y exento de mediciones directas, y hoy sólo tiene un interés histórico.

Un gran avance en el desarrollo de los sistemas de clasificación se produjo al introducir el primer sistema de clasificación basado en la medición directa de algunos parámetros de interés, lo cual se realizó en la escuela de Zalsburgo en 1962.

En la actualidad existen diversos sistemas de clasificación de rocas, y los más usados en el ámbito ingenieril son los siguientes:

Sistema Q (Rock Mass Quality) del NGI

Sistema RMR (Rock Mass Rating) del CSIR (

Sistemas RMS (Rock Mass Strength) y Sistema Laubscher.

Sistema Deere (RQD)

Sistema de Clasificación Q (NGI).

Esta clasificación ha sido propuesta por Barton, Lien y Lunde del Geotechnical Institute (NGI), y esta basada en el estudio de una gran cantidad de casos de estabilidad en excavaciones subterráneas. Es un indicador de calidad de roca, cuyo valor numérico se obtiene de la siguiente expresión:

$$Q = [RQD/J_n] \times [J_r/J_a] \times [J_w/SRF]$$

Donde:

RQD Índice de calidad de roca.

Jn Número asociado al conjunto de fracturas.

Jr Indicador de las imperfecciones de las fracturas.

Ja Número asociado a la alteración de fracturas.

Jw Factor de reducción debido a la presencia de agua en las fracturas.

SRF factor de reducción de esfuerzos.

El valor de cada uno de los seis parámetros básicos del sistema Q se obtiene en tablas, y según el valor del índice Q, se puede establecer cualitativamente la calidad de la roca, de acuerdo al siguiente criterio.

Valor de Q	Calidad de Roca
0.10 - 1	Muy mala
1 - 4	Mala
4 - 10	Regular
10 - 40	Buena
40 - 100	Muy buena
100 - 400	Extremadamente buena

Sistema RMR.

Este sistema de información está basado en información obtenida de excavaciones en rocas sedimentarias y es mucho más ampliamente usado en el ámbito de la ingeniería civil, aunque se ha aplicado en la minería con algunas modificaciones introducidas por Laubscher.

De acuerdo a este sistema de clasificación, la masa rocosa debe ser dividida en regiones de similares características estructurales, y para obtener el RMR se requiere cuantificar los siguientes parámetros.

- Resistencia a la compresión de la roca
- RQD Como lo define Deere
- Espaciamiento de las estructuras
- Condición de las estructuras
- Condición de agua

La resistencia a la compresión puede ser determinada en probetas de roca o mediante el índice de carga puntual.

El RQD y el espaciamiento de las estructuras se aplican tal como han sido definidos técnicamente.

La condición de las estructuras es un valor que involucra la apertura de ellas, su continuidad, la rugosidad de sus superficies y resistencia de ellas (dura o blanda), y el tipo de relleno presente.

La condición de agua involucra el efecto de la presión de agua, o flujo de ella, en la estabilidad de una excavación subterránea.

El sistema pondera cada uno de estos parámetros individualmente de acuerdo a un rango de valores, y la suma de cada ponderación, en términos de un valor numérico, lleva al valor final de la clasificación o valor RMR.

Este valor final puede ser ajustado considerando la orientación de las discontinuidades, lo cuál permite asignar un grado de competencia a la masa rocosa y encasillarla en una clase específica.

El grado de competencia va desde la clase I (que corresponde a una roca de muy buena calidad), hasta la clase V (que corresponde a una roca de muy mala calidad).

A cada clase así definida se le asigna un tiempo de permanencia de acuerdo al ancho de la excavación, además de la cohesión y ángulo de fricción de la masa rocosa en términos de un

rango de valores.

Sistema de Clasificación de Laubscher.

Este sistema resulta de la modificación introducida por D. Laubscher al sistema RMR en base a su experiencia obtenida en la minería de África, por lo cual es ampliamente usado en aplicaciones mineras, en particular para diseño de excavaciones subterráneas y soporte

En este sistema los cinco primeros parámetros se mantienen, pero las cinco clases originales se dividen cada una en dos sub clases, A y B, generándose nuevos rangos y ponderaciones para el RQD y la resistencia de la roca intacta (IRS).

Los parámetros relativos al espaciamiento y condición de estructuras son evaluados en forma diferente en este sistema.

En el primer caso, la ponderación considera el espaciamiento de dos o tres sistemas estructurales, mínimo, medio y máximo, asignándoles un valor comprendido entre 0 y 30. Para ponderar la condición de estructuras se le asigna un valor inicial de 30, el que se reduce porcentualmente de acuerdo a una tabla que considera aspectos de gran escala y pequeña escala así como el grado de alteración y tipo de relleno presente.

Una vez determinado un valor de clasificación inicial, rating básico, el sistema considera un proceso de ajuste a dicho valor para incluir los efectos combinados de la tronadura, el campo de esfuerzos inicial y el inducido por la excavación, los cambios de esfuerzos producto de la explotación, y degradación de la roca.

3.7 Elección de equipos en minería subterránea

A principio de este siglo se hacía a mano todo el trabajo en la explotación subterránea. Las perforadoras neumáticas fueron las primeras herramientas para eliminar la perforación a mano; la pala oscilante se hizo cargo de algo del duro trabajo de carga. Este era el nivel de mecanización hasta el principio de los años 60 cuando entra poco a poco una maquinaria más compleja en las labores subterráneas.

Perforación

La perforación de roca es un procedimiento fundamental para arrancar mineral en la minería subterránea. La perforación tiene una gama de aplicaciones grande y variable, por eso hoy se tiene distintos dispositivos diseñados para tratar con distintas maneras de perforar roca. Los tipos de perforadoras comunes existentes en el mercado son:

- Perforadoras Ligeras
- Perforadoras de avance
- Perforadoras para la perforación de barrenos largos
- Perforadora con martillo en el fondo (DTH)

El perforista tiene una gama de perforadoras accionadas por aire o hidráulica, por medio de energía eléctrica de la mina. La perforadora hidráulica es un producto probado, superior a la perforadora neumática en términos de rendimiento, fiabilidad, consumo de energía, ambiente y costos operacionales.

Las perforadoras con rendimientos mas altos son mas pesadas y deben ser montadas en alguna forma de estructura, equipo de perforación, o Jumbo de perforación. Las perforadoras para la perforación de barrenos cortos (de hasta 6 m., con una barra de una pasada), se conocen como perforadoras de avance. La perforadora de avance pesada es la más productiva y la primera elección del minero eficaz.

Las perforadoras de barrenos largos son distintas de las perforadoras de galerías. En este caso se diseña el mecanismo de percusión para producir una onda de choque que se propaga por una larga cadena de barras, pasando por juntas con un mínimo de pérdidas de energía. La rotación de la larga cadena de perforación requiere un par mas alto que el de la barrena de una sola pasada.

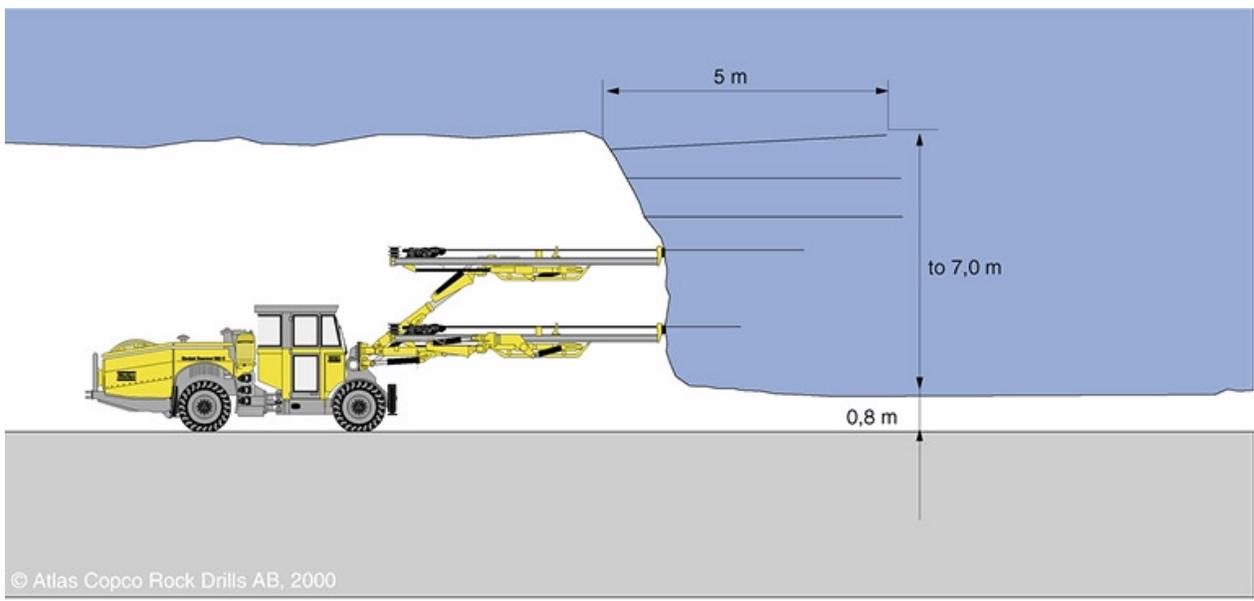
La perforadora con martillo en el fondo - DTH- es una alternativa a la perforadora convencional con martillo en cabeza para la perforación de barrenos largos. Aquí se incorpora el mecanismo de percusión en un tubo, martillando directamente en la broca. La perforadora DTH entra primero en el barreno, seguida por una cadena de tubos que se extiende a medida que continúa la perforación. La perforadora DTH permite la perforación de barrenos mucho más largos que las perforadoras con martillo en cabeza.



GOBIERNO DE CHILE
SERVICIO NACIONAL DE
GEOLOGÍA Y MINERÍA

Jumbos de Perforación.

Los rumbos de perforación dan mecanización a las operaciones de perforación, y tienen la capacidad de posesionar perforadoras de avance para perforar barrenos según las órdenes del operario. Los rumbos de perforación más comunes en uso están montados en un vehículo sobre ruedas de goma, con motor diesel para la tracción y dirección articulada para dar vueltas por esquinas estrechas y pueden llevar dos perforadoras de accionamiento hidráulico para alcanzar una alta productividad de perforación.



Jumbo de Anclaje.

El jumbo de anclaje lleva una perforadora montada en un brazo hidráulico, preparado para perforar barrenos hacia arriba en el techo. Después de perforar el barreno se coloca el perno en el barreno y se empuja. El operario controla el procedimiento de empernado desde una posición protegida en su equipo, a una distancia de 4 a 5 m. Un almacén giratorio de pernos permite la instalación mecanizada de varios pernos con el operario en el tablero de comandos.

Equipo acñador.

La maquina acñadora o saneo consiste en un fuerte rompedor hidráulico, montado en un brazo giratorio, a su vez conectado aun chasis móvil. La máquina funciona con energía eléctrica

al trabajar en el tajo, para reducir al mínimo la contaminación del aire.

Equipos Carga-Transporte.

La carga de mineral volado en una mina esta siempre conectada con algún medio para sacarlo del punto de recogida. La carga y el transporte se pueden integrar en una unidad mecánica o bien separada en una unidad clara de carga y un sistema de transporte independiente.

Los sistemas carga transportes en las minas subterráneas se pueden definir en:

- Transporte sobre carriles
- Transporte Carga-Acarreo-Descarga (LHD)
- Transporte con cargadores y camiones
- Cargadores eléctricos.

3.8 Elección de elementos de soporte y fortificación

La problemática de la estabilidad y soporte en aberturas subterráneas se debe a las condiciones desfavorables naturales de la inestabilidad que produce la minería, la solución a los problemas de inestabilidad tradicionalmente se resolvían por reglas empíricas que con cierto grado de acierto e intuición. No obstante esto, no podemos dejar de admirarnos, en estos tiempos modernos por el sentido técnico de los mineros antiguos y su arte y habilidad en soluciones y de hallazgos que puedan ser comprados con los métodos hoy en día vigentes.

El creciente aumento de los tonelajes de extracción en la minería mundial ha motivado a la industria minera a invertir importantes sumas para la investigación en métodos y elementos de sostenimiento entre otros desarrollo de notable contribución a la técnica.

A diferencia de las obras civiles y los proyectos mecánicos, en minería las cargas no están determinadas antes del diseño, si no por el contrario, la estimación de las cargas puede ser sólo con cierto grado de certeza y reformuladas en la medida de avance de los túneles o excavaciones. La minería produce inestabilidad para cumplir con su objetivo fundamental, que es la extracción de mineral, entonces los vectores de cargas son cambiantes en magnitud y dirección.

No obstante lo anterior en la medida que se cuente con la mejor información geológica y geotécnica es posible llegar a una buena estimación de la fortificación y soporte de túneles,

teniendo en cuenta la secuencia de cargas que deberá soportar durante las distintas etapas de la vida útil del sector el cual se instalará.

Diseño de Elementos de Soporte

Un aspecto importante en la colocación del soporte, es la oportunidad con que este se instale, durante la excavación en roca se produce una inestabilidad producto de la necesidad del macizo de redistribuir sus esfuerzos, razón por la cual es necesario intentar restituir mediante soporte y fortificación las condiciones de originales tal que permita construir un túnel estable.

Las recomendaciones posibles de dar en esta materia son siempre en particular para cada condición, pero una vez definidas las necesidades de soporte, siempre es recomendable instalarlo inmediatamente después en cada disparo de avance. Habitualmente esta es una materia de discusión con la operación, por que requiere una buena programación de la secuencia de trabajo lo que no siempre resulta ser lo óptimo para la operación. Pero en este asunto se debe insistir en la finalidad del soporte, que es lograr la estabilidad del macizo, y la importancia de la estabilidad temprana la que permite detener el desarrollo de fisuras y desprendimientos superficiales los que habitualmente más tarde progresan induciendo a inestabilidades mayores.

Características de los elementos de fortificación

Suponiendo conocida las características geomecánicas necesarias para el diseño, también deben ser conocidas las características mecánicas de los elementos usados para el soporte y la fortificación. Habitualmente estas características no son bien conocidas por los diseñadores del soporte, debido a que no siempre están disponibles por parte de los proveedores y si cuentan con alguna información normalmente es incompleta lo que la hace no confiable.

La información confiable es aquella que es probada por un ente independiente de los fabricantes con respaldo certificador de masas y meteorología. Una diferencia pequeña en un parámetro de diseño puede ser significativa o determinante en el resultado final de las recomendaciones del diseñador de soporte, lo que invariablemente incide en un costo mayor o un diseño que contiene un grado de incerteza desconocido.

Capacidad de soporte y absorción de energía

La mayor dificultad es conocer las cargas solicitantes, razón por la cual la solución de

problemas estáticos en minería subterránea es complicada. La mecánica de roca moderna cuenta con una amplia información sobre caracterización de macizo rocoso y un buen nivel de analogía en la aplicación de los métodos de energía de cálculo estructural para el diseño de soporte y en general en herramienta de modelamiento.

Fortificación es la instalación de un elemento de estabilización al macizo rocoso, que se instala incluido en la roca, tiene dos formas de interactuar con el macizo, por fricción y mediante un medio de cementación.

El diseño de soporte es un juego entre la energía que está disponible para ser liberada en el macizo rocoso y los elementos necesarios para absorberla, sin embargo como las propiedades de esfuerzos y deformaciones de las rocas siempre contienen un grado de incerteza, entonces el diseño debe dirigirse a la posibilidad más desfavorable, sin dejar de considerar la vida útil del túnel, no es lo mismo el diseño de soporte para una galería de un nivel temporal, que el soporte de una galería de acceso principal.

La diferencia entre el comportamiento individual de los elementos y el comportamiento del sistema de soporte, tal vez sea una de las etapas complicadas de diseño, situación que es posible superar por los siguientes caminos.

- Mediante un riguroso análisis teórico del comportamiento del sistema, esto requiere además un acabado conocimiento de las características individuales de los elementos.
- Mediante pruebas de laboratorio con un escalamiento físico adecuado tal que permita reproducir la condición de carga, las condiciones de borde a fin de que la prueba tenga validez real.
- Finalmente, para los casos donde se justifique, hacer prueba a escala industrial, es decir la construcción de un túnel experimental con la finalidad de observar, medir y monitorear el comportamiento de uno a más sistemas de soporte.

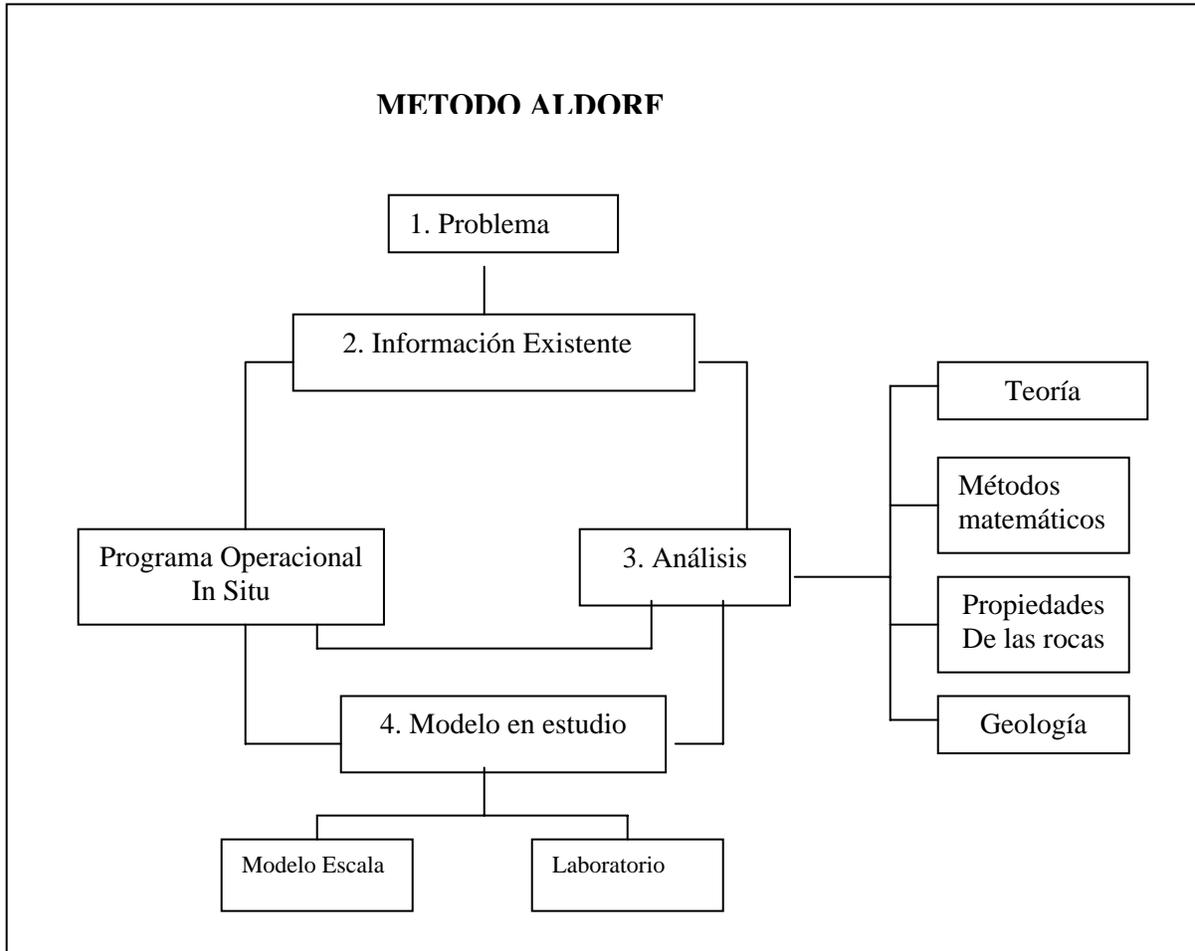
Los puntos anteriores se refieren a sistemas de soporte nuevos, no probados, no instalados antes, de ocurrir lo contrario es suficiente con la observación del comportamiento y la extrapolación de resultados.

Métodos de solución

En la actualidad se realizan muchos estudios basados en modelos matemáticos que incorporan técnicas de elementos finitos, para calcular los soportes de túneles y labores mineras.

No hay duda que este tipo de estudios son precursores de nuevas herramientas y técnicas de cálculo. Hay que especificar que es imposible incorporar en estos modelos todos los parámetros e interacciones que se producen en la realidad. Una pequeña falta o diaclasa imprevista puede anular los resultados.

Un orden sobre como abordar el diseño de soporte en minería lo propone Aldorf en un esquema simple, que no deja de lado el aspecto práctico y también considera el aspecto teórico.

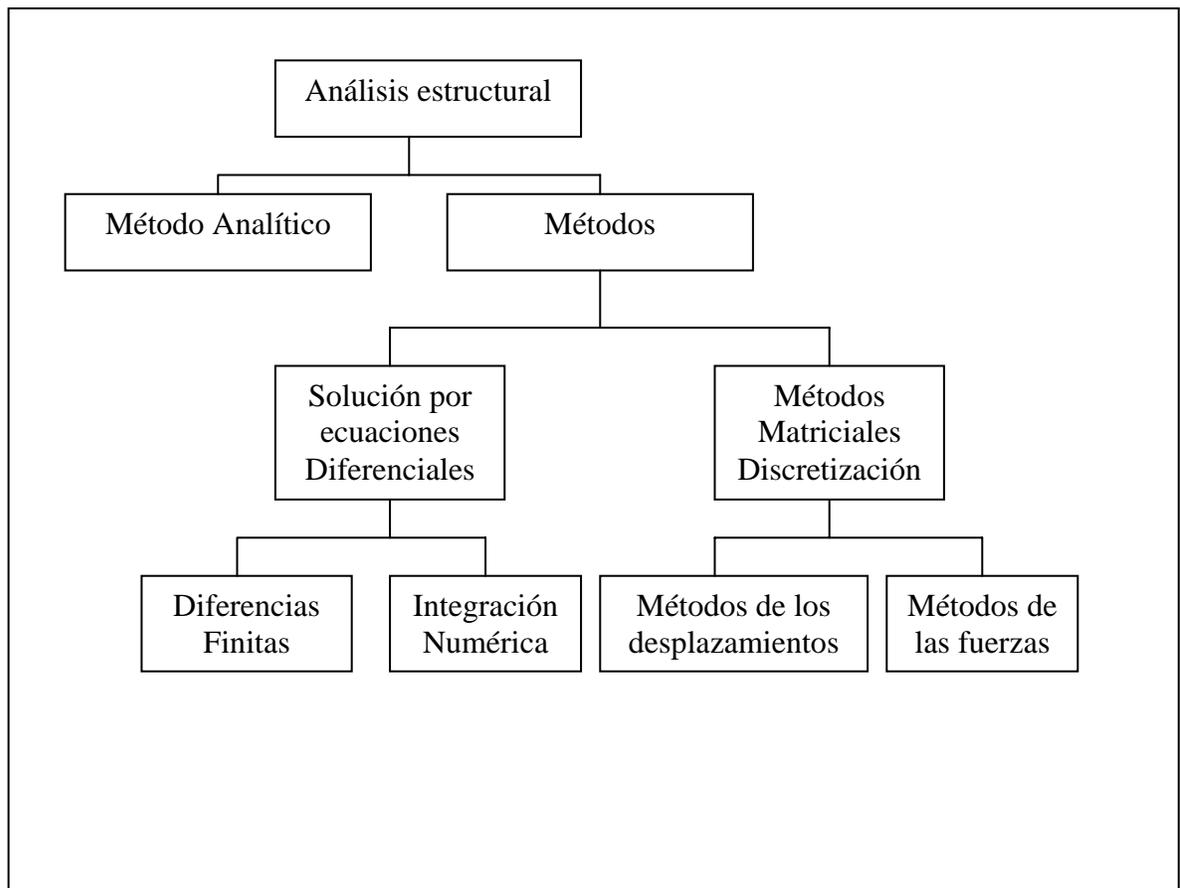


Todo análisis se basa en la mecánica de sólidos clásica que básicamente se divide en dos

grupos, métodos analíticos y métodos numéricos, las limitaciones del método analítico son muy conocidas, sólo se llega a soluciones exactas en casos particulares, se aproximan a la solución cuando es posible lograr una estructuración muy simple, en casos más complejos los métodos analíticos no son posibles de usar.

Los métodos numéricos de análisis se subdividen en dos tipos (1) soluciones numéricas de ecuaciones diferenciales y (2) los métodos matriciales basados en la discretización del elemento (subdivisiones imaginarias del sólido).

Para las soluciones numéricas las ecuaciones de elasticidad son resueltas para una configuración en particular, y por otra parte se aplican las técnicas de diferencias finitas o por integración numérica directa, para entender mejor los caminos para el análisis, se presenta el siguiente esquema (2)



Materiales de los elementos de soporte.

Maderas

Este material por encontrarse en estado natural y por no necesitar mayor tratamiento para ser usado, ha sido usado ampliamente desde los orígenes de la minería subterránea, sólo con el término de la segunda guerra mundial el acero tomó un papel más predominante en la fabricación de los elementos de soporte. No obstante esto, la madera por sus grandes cualidades estructurales, es aún material vigente en toda obra minera o civil.

La principal característica es la relación peso propio y capacidad de soporte, por ejemplo una pieza roble tiene una densidad media de 073 (gr/cm³) y su resistencia a flexión es de 1200 (Kg/cm²), el inconveniente de la madera es que tienen una vida útil corta, especialmente dependiendo de las condiciones ambientales.

Sobre las características de las maderas chilenas se recomienda revisar el manual de maderas del Instituto Forestal. Este documento contiene las características de las maderas chilenas y los índices de comportamiento en las distintas zonas del país.

Este material tiene un comportamiento sensible a la dirección de las cargas, y al contenido de humedad, la mayor resistencia se obtiene con cargas de tracción orientada en la dirección de las fibras y en madera seca al aire. La orientación más típica de la madera es para resistir cargas de flexión y de compresión, para columnas altas siempre debe ser verificado el pandeo.

Los pasos generales a seguir para el diseño en madera son:

- Hace una estimación de las cargas
- Determinar los diagramas de esfuerzo de momentos flectores, de corte, esfuerzos normales y eventualmente momentos tensoriales, para determinar los valores máximos de cada esfuerzo.
- Determinar las dimensiones de los maderos de acuerdo a sus características resistentes y las solicitaciones que deberá soportar. En el caso que las dimensiones resulten ser muy grandes se puede buscar una redistribución de esfuerzos o hacer un refuerzo local de los elementos.

Aceros

Material que desde el término de la segunda guerra mundial a desplazado a la madera como material de elementos de soporte minera, básicamente por la homogeneidad ante los esfuerzos, es un material fabricado libre de defectos naturales, razón por la cual los factores de seguridad a usar son un tanto menor. A pesar que su costo es mayor que la madera, se justifica en la inversión de la mediana y gran minería.

Sus características de resistencia están básicamente definidas por sus materiales constitutivos, principalmente es una aleación de hierro y carbono con otros materiales como fósforos y azufre entre otros. El carbono es el componente más importante en la resistencia a tracción dentro del límite elástico.

El acero típico usado en Chile es St37, sus resultados no siempre han sido satisfactorios, especialmente en aquellos lugares sometidos a altos esfuerzos, o sometidos a grandes deformaciones para la cual es recomendable usar St55 y si los requerimientos son extremos se puede recurrir a piezas de acero St55 con tratamiento térmico.

Para los casos en que se conoce la composición del acero y es necesario conocer la resistencia a la ruptura existe la siguiente fórmula empírica.

$$\sigma = 0.00077 [(38000 + C (700 + 2.94 Mn) + 30Mn + Mn (48+2.35C)/200 + P (1000) + Si (340)]$$

Donde

σ : Límite de ruptura a tracción (Kgf/mm²)

C: Carbono 0.01%

Mn: Manganeso 0.01%

P: Fósforo 0.01%

Si: Silicio 0.01%

Esta fórmula permite estimar la capacidad máxima de un acero conocida su composición, un análisis metalográfico es relativamente simple y es útil especialmente a la hora de evaluar aceros de procedencia, lo que es habitual en construcciones antiguas donde es necesario evaluar el estado del soporte.

Los elementos de fortificación y soporte construidos de acero son básicamente dos, las barras, tubos y cables, más bien llamados tendones de fortificación y los arcos de soporte.

Mallas de acero

Otro elemento de soporte que es fabricado de acero, son las mallas de revestimiento, básicamente las hay de dos tipos, las mallas tejidas o romboidales y las mallas eléctro soldadas.

Las mallas tejidas son construidas a partir de un alambre en forma de espira que se enlaza o teje con otro igual, esta malla se denomina por la longitud en milímetro de un lado del rombo y por el número del calibre del alambre, por ejemplo la malla 10006 dice que el rombo es de 100 (mm) y que el alambre es de calibre N° 06, estas mallas pueden tener protecciones contra la corrosión mediante una película de zinc (galvanizado) o por estar con un recubrimiento plástico. En los recubrimientos plásticos es necesario hacer una observación importante, todo material plástico que sea usado masivamente en minería es recomendable que sea sino inerte (no inflamable) o auto extingible. La principal característica de las mallas tejidas es que son muy flexibles y dependiendo de la configuración de fabricación pueden absorber una importante cantidad de energía.

La fabricación de las mallas tejidas debe ser considerada al momento de diseñar el soporte, por que una variación en los radios de curvaturas de los dobleces en los alambres (5), puede incidir en una variación importante en la capacidad de deformación de la malla. Es bueno un cierto grado de deformación, para lograr una capacidad de absorción de energía aceptable, pero una sobre flexibilidad no es deseable.

Las mallas eléctro soldadas, son fabricadas a partir de alambres o barras acero unidas mediante soldadura de punto, estas son usadas como revestimiento de túneles o como armadura para estructuras de hormigón armado. Esta malla es rígida y dependiendo de los niveles de esfuerzos son recomendables, en ambientes de altos esfuerzos y que además cambian de orientación se recomienda el uso de una malla flexible.

En general las mallas tejidas o eléctro soldadas, son usadas para revestimiento de túneles, como una especie de armadura de shotcrete, lo que no es tan cierto debido a las cambiantes e

inestables propiedades de los shotcretes.

Shotcrete

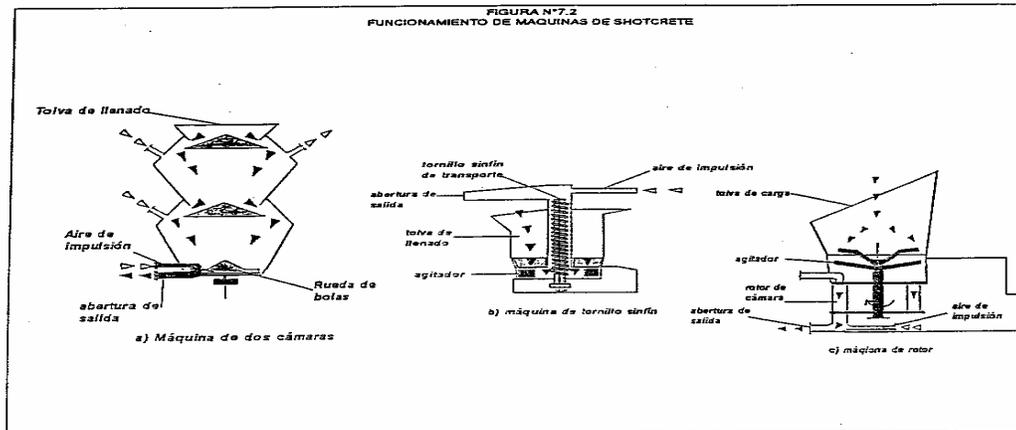
Este no es un material como el acero o la madera, es el resultado de una mezcla de materiales, los materiales mezclados son cemento, arena, gravilla, agua y en algunos casos aditivos.

Para entender la real dimensión de este material, es necesario conocer algo de sus orígenes.

En 1907 Carl Ethan Akeley, inventó una máquina para proyectar mortero, con la que estucó la fachada del museo de Ciencias Naturales de Chicago. En 1911 obtuvo la patente de propiedad intelectual, la que fue llamada Cement Gun, la máquina funcionaba con una doble cámara presurizada y la proyección por vía seca. Este invento dio finalmente origen a la empresa Cement Gun.

En 1918. apareció en Alemania la máquina Tector, que fue la introducción de esta tecnología en Europa. El término Shotcrete es empleado por primera vez en 1930 por la empresa American Railway Engineering Association, término que actualmente es utilizado para describir en forma general a los morteros y hormigones proyectados.

Dentro de las múltiples modificaciones posteriores a la máquina para proyección de morteros de cemento, se destaca en 1945 la máquina de tornillo, la que permitió la proyección de hormigón con áridos de hasta 25 (mm).



La proyección de morteros se desarrolló por la vía seca, los que generan una gran cantidad de polvo siendo un inconveniente para su uso en determinadas faenas. Posterior a la segunda guerra mundial, se desarrollaron las máquinas por vía húmeda, las que no prosperaron si no hasta la introducción de nuevos productos químicos que le permitieron una mayor trabajabilidad asegurando el libre escurrimiento por los ductos.

El desarrollo en Chile de los Shotcretos es desde la década de los 60, con los primeros usos en centrales hidroeléctricas en minería subterránea.

Esta sucinta historia del shotcrete demuestra que la evolución de los equipos no tarda, por lo tanto el resultado de la instalación tampoco, excepto por el uso de nuevos aditivos, pero la creencia sobre propiedades estructurales de los shotcretos en el tiempo han sido creciente, lo que en realidad no es tal.

En la medida que los shotcretos son usados como mortero, que para el caso de revestimiento de túneles es de una alta utilidad según sea la oportunidad de instalación, una capa delgada de shotcrete durante el desarrollo de los túneles ayuda a cementar las fisuras y las discontinuidades producto de la redistribución de esfuerzos.

La instalación de Shotcrete en estas condiciones, es de una notable ayuda como revestimiento lo que permite asegurar un buen comportamiento en frente del macizo rocoso.

Los shotcretes originalmente fueron instalados como un mortero, luego se le instaló, con mallas, intentando hacer una especie de shotcrete armado, y luego se le introdujo fibras de acero.

El shotcrete con malla, no permite que las mallas trabaje como es requerido, le impone una rigidez adicional, lo que siempre es indeseable en el diseño de soporte para minería subterránea.

El shotcrete con fibra, tiene buenas propiedades pero presenta el inconveniente que en ambientes donde los esfuerzos cambian de dirección y de magnitud se fisuran, y una vez fisurados pierden notablemente su capacidad de soporte. Estos shotcrete son absolutamente recomendables en zonas en las cuales no se estima que habrá variaciones en los esfuerzos.

Barras plásticas

Barras de plástico reforzadas con fibra de vidrio, no nueva, estas barras hace muchos años que se fabrican para fortificación en rocas, pero no han tenido una aplicación masiva en nuestro país, básicamente por varios inconvenientes, el primero es el costo, que es mayor que las barras de acero, segundo hasta hace poco tiempo se comenzaron a fabricar con resaltes y tercero que no tiene resistencia a las sollicitaciones de corte.

Este último inconveniente, se transforma en bondad cuando se trata de la fortificación de pique (labores verticales o sub verticales), para traspaso de mineral, sólo en este caso es necesario que los tendones no tengan resistencia al corte, por que en los piques de escurrimiento de mineral, las colpas golpean las barras y estas transmiten vibración al macizo rocoso facilitando el desarreglo estructural.

Mallas plásticas

Estas mallas originalmente fabricadas para usos de refuerzos de suelos, se ha intentado usar en revestimientos de túneles como elemento alternativo a las mallas de acero, las que a la fecha no muestran resultado convincente por que las aristas de las rocas la cortan, y presentan dificultades operacionales en la instalación.

Es importante en el éxito del sostenimiento la capacidad de adaptación para adecuarse oportunamente a las cambiantes condiciones de terreno. La mantención de un sistema único, aún exitoso en un comienzo, no asegura la efectividad operacional ni económica de una excavación subterránea.

Recomendaciones Finales

Este trabajo proporciona una serie de recomendaciones sobre los tópicos que no están entre los cálculos rigurosos del diseño de soporte, se recalca que los diseñadores deben tomar más precauciones sobre las propiedades de los elementos y que estas no necesariamente dice relación con las propiedades de los sistemas.

Es necesario evaluar cada diseño en una justa dimensión, por ejemplo no calcular un shotcrete según la formulación de hormigón armado, son elementos distintos con comportamientos muy distinto.

Aunque no se hace referencia al diseño de soporte mediante software, siempre es necesario hacer una calibración de estos a través de ejemplos conocidos o por un desarrollo analítico, también tener presente cuales son las consideraciones y suposiciones que hace el programa, y si las características de los elementos y del macizo rocoso son las correctas.

Siempre hay que estar expectante, a nuevas complicaciones ya sea por nuevos elementos o materiales o por nuevas aplicaciones a elementos o materiales utilizados en otras áreas.

En minería los diseños de soporte, habitualmente parecen ser repetitivos, pero no lo son, en cada diseño hay algo nuevo, siempre es necesario calcular, nunca hay que dejar de lado el hacer ingeniería. Un diseño no termina en una recomendación, por que hay que supervisar la ejecución del trabajo, no para verificar si los operadores hacen bien el trabajo, si no que es el momento de verificar una serie de supuestos, siempre hay que estudiar el comportamiento durante la vida útil, es la única manera que obtener información sobre los modos de trabajo de los sistemas y las posibles mejoras o nuevos dimensionamiento.

Finalmente una reflexión, como ingeniero es mejor pensar que un túnel tiene comportamiento de máquina, sujeta a cambios, necesita mantención, habrá partes que pueden fallar y deberán ser reemplazadas, en determinadas etapas de su vida trabajará a máxima capacidad y finalmente terminará su vida útil, entonces el soporte debe necesariamente también en ese momento dejar de funcionar,

3.9 Riesgos asociados a la explotación subterránea.

Hay varios aspectos que son coincidentes en la minería subterránea, especialmente aquellos riesgos asociados a las siguientes variables:

- Incendio
- Caída de rocas
- Tráfico de equipos rodantes
- Manejo de explosivos
- Desarrollo de piques y chimeneas
- Aire comprimido
- Agua
- Otros

Riesgos de Incendio

Causas de incendio dentro de una mina subterránea son trabajos de soldadura, en vehículos motorizados, fortificación de madera, polvo de carbón, instalaciones eléctricas, cintas transportadoras, acumulación de basura, etc.

Estos incendios producen gran cantidad de humos tóxicos, según los sistemas de ventilación de la faena. Tema a tratar en profundidad en curso “Rescate de Minas”.

Caída de rocas

La caída de rocas o planchoneo se debe a una inestabilidad del terreno debido a las características de la roca alrededor de la excavación. Aunque también influye la forma y dimensiones de la excavación y aspectos operacionales como sobrexcautación debido a tronadura mal diseñada.

Las operaciones más peligrosas y que requieren de un trabajo especializado en la Minería y excavaciones subterráneas de obras civiles ha sido desde hace mucho tiempo el desatado y el sostenimiento como medidas de refuerzo, para lograr una mayor seguridad en las operaciones unitarias propias de la explotación de minas.



En las minas de Europa y Norteamérica se han probado y desarrollado continuamente distintos sistemas de soporte de roca desde principios de los cincuenta.

El control de la caída de roca ha incluido detallados estudios geológicos, innovaciones en geomecánica y mecánica de rocas, la introducción de distintos tipos de pernos de anclaje, la prueba y el desarrollo de equipos mecanizados para el desatado y empernado de roca, así como técnicas para el rociado con el concreto lanzado.

La ocurrencia de accidentes en las minas, especialmente por la caída de rocas, no es más que la consecuencia del desfase entre las nuevas tecnologías geomecánicas de sostenimiento y la minería tradicional empírica que existe en el país, donde la producción del mineral prima sobre cualquier otro planteamiento, incluyendo la vida de los trabajadores.

Lo más resaltante de estas nuevas innovaciones es acercarse al objetivo de accidentes cero, lo cual redundaría en el costo de operación. Tan importante como lo anterior, es el costo de la calidad del sostenimiento el cual resulta ínfimo versus el costo de oportunidad que ocasionan accidentes, por la mala técnica del trabajo y la falta de criterios geomecánicos en la explotación

de una mina.

Básicamente el soporte tiene por objetivo:

- La seguridad de las personas que permanecen en la cavidad por alguna razón y la protección de los equipos que allí se encuentran.
- Asegurar que la cavidad pueda cumplir con la función para la cual fue excavada.
- El elemento estructural básico es el macizo rocoso perforado.

Esta estructura se debe verificar y reforzar eventualmente aprovechando al máximo la roca como material activo.

En minería, debido al tamaño, complejidad y posición relativa, las excavaciones tienen particulares problemas de estabilidad, ya que los mineros están ocupados gran parte del tiempo en extraer minerales, el soporte de las excavaciones productivas debe ser tarea principal y no lo contrario.

Para llegar a una solución racional, económica y segura es necesario considerar en el contexto global el aspecto económico y la factibilidad técnica seguidamente debemos representar la realidad de un modelo técnico que reduzca el problema de caída de rocas en favor de los fenómenos esenciales, es necesario definir el sistema, informarnos sobre los alcances de la Geomecánica sobre los materiales resistentes, determinar las acciones externas y plantear los criterios de dimensionamiento a través de conceptos de seguridad.

La dificultad principal es la heterogeneidad, anisotropía y discontinuidad de la masa rocosa. Parámetros que no son del dominio total del minero.

Métodos de solución

A grandes rasgos existen varias formas de llegar a un diseño aproximado del soporte:

- Diseño basado en la experiencia que ha mostrado ser exitosa.
- Diseño basado en métodos de la especialidad de Geomecánica y Mecánica de Rocas, que cuantifican y modelan el comportamiento roca-soporte.
- Diseño basado en mediciones que controlan el desempeño del soporte. Es claro que existe una complementación entre estas formas de estudio.

Ahora, la forma de analizar un problema dado y la profundidad de la investigación

depende de los recursos económicos, técnicos, humanos y además del tiempo e información disponible.

El advenimiento para Geomecánica de métodos de análisis de sostenimiento muy detallados han facilitado analizar estructuras de rocas reforzadas.

Actualmente en la alternativa 2, las técnicas en minería han pasado del SOPORTE EXTERNO (cuadros de madera, cimbras, de acero, concreto armado y otros) a SISTEMAS DE SOPORTE INTERNO (pernos de anclaje, cables, fierros corrugados concreto lanzado).

Cabe resaltar que todos los diseños de los diferentes tipos de soporte interno, parten del uso de la llamada TÉCNICA DE VOLADURA CONTROLADA que es tal vez la mejor y más eficaz forma de soporte de roca.

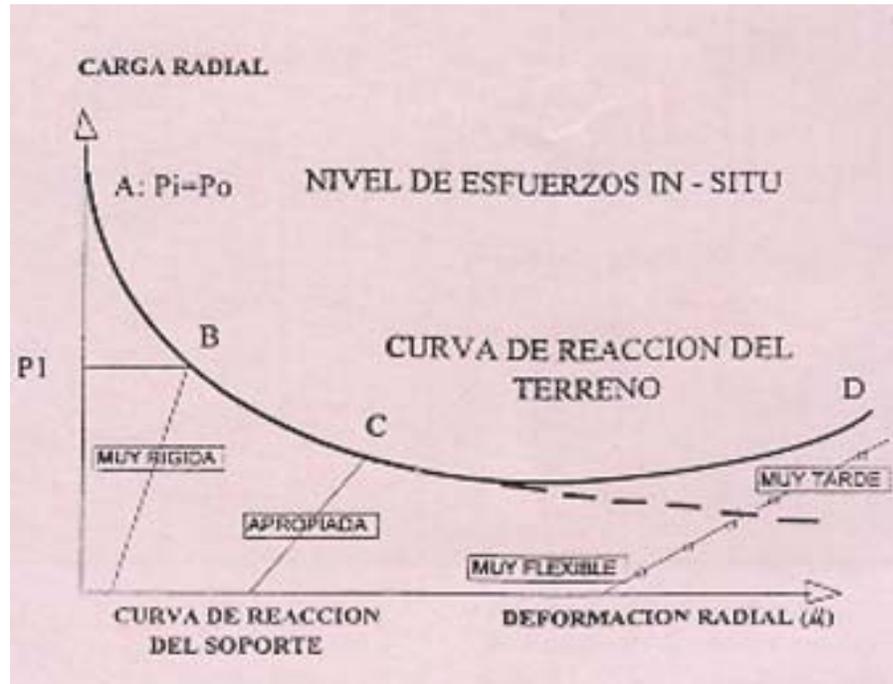
De igual manera, ahora ya se han desarrollado equipos totalmente mecanizados para el refuerzo de un macizo rocoso, como:

- Equipos mecanizados de empernado de rocas: BOLTEC-ATLAS COPCO
- Equipo para instalación de cables cementados: CABLE BOLTING
- Equipo mecanizado para el desate de rocas: BROKK
- Equipos modernos de concreto lanzado, ya sea seco y/o húmedo donde el diseño de la mezcla con fibras de acero y sintéticas, tienen actualmente gran aceptación

Influencia el sistema de soporte

La mayoría de las excavaciones subterráneas se sustentan durante la construcción . El comportamiento de la abertura y el sistema de soporte dependen del momento de colocación y forma de contacto del sostenimiento.

El gráfico que se presenta a continuación es un ejemplo para mostrar la influencia del sistema de soporte si no es colocado oportunamente en la construcción de una excavación subterránea. Se representa cuantitativamente la interacción MEDIO GEOMECÁNICO SOPORTE



Esta curva, ilustra la relajación del estado tensional en el perímetro de una galería en función de sus formación radial donde el punto A representa el equilibrio en que se encuentra el perfil transversal de una galería antes de ser excavada. ($P_i=P_o$)

Construida la galería, la curva de reacción de la roca desciende probablemente hasta un determinado valor de deformación.

Ahora, para limitar la deformación radial, se necesita una presión de soporte interna P_i , indicada por los puntos B y C donde el primero representa la curva de reacción de un soporte muy rígido y en el segundo a la curva de reacción de un soporte apropiado, donde estaría llegando al equilibrio entre las presiones de roca y del soporte. El punto D representa, la curva de reacción de un soporte instalado muy tarde o el soporte usado es muy flexible.

Esta situación no es satisfactoria para la estabilidad de una galería, ya que cualquier deformación adicional, demandará un incremento en la presión de soporte. Si la curva de reacción del soporte no llegara a intersecar a la curva de reacción de la roca, se producirá el colapso de la excavación.

Ahora los procedimientos de análisis y diseño del soporte se deben simplificar, pero

deben basarse siempre en los esquemas de la interacción medio Geomecánico-Soporte.

Se ha visto la influencia en el comportamiento que nos interesa del grado de alteración del medio, del método de excavación y de la interacción medio Geomecánico-Soporte. Otros factores significativos pueden separarse en detalles constructivos, discontinuidades estructurales y factores ambientales.

La acción de eliminar las rocas sueltas se denomina acuñadura. Es responsabilidad de acuñar en las galerías subterráneas a toda persona que realice trabajo o transite en dicho sector.

La acuñadura se realiza mediante una barretilla especial o acuñador en forma manual o mecánica.

Tráfico de vehículos

En minas subterráneas sólo deben transitar vehículos a combustión interna diesel, la velocidad máxima es de 30 km./hr.

Los conductores deben tener licencia de conducir otorgada por la Municipalidad y autorizados por la empresa (examen psicofísico).

Todo conductor está obligado a verificar que su vehículo está en buenas condiciones de funcionamiento. Entre los equipos sobre neumáticos usados en la minería subterránea se pueden mencionar los scoops y los camiones de bajo perfil.

Los riesgos más comunes ocasionados en la operación de estos equipos son:

- Atropellamiento o atrapamiento de personas
- Volcamientos y choques
- Deslizamiento de los equipos en estacionamiento
- Incendio de los equipos
- Caídas del operador (resbalar)
- Fallas por mala mantenimiento o desgaste

Debe reglamentarse preferencias en el tránsito y los lugares de estacionamiento. Los

vehículos deben tener una pértiga con una luz en la parte superior y los de operación deben estar configurados para que sus conductores siempre tengan visibilidad hacia adelante.

El personal que trabaja en las vías debe usar chalecos reflectantes.

En el caso de equipos sobre rieles se debe considerar la distancia a ambos lados del rodado, controlar la estabilidad de la línea y la seguridad de los cambios. Establecer códigos de señales para evitar colisiones en curvas. Riesgos típicos son:

- Descarrilamiento
- Volcamiento de la tolva de los carros
- Choques y/o atropellamientos
- Sobre esfuerzo de los trabajadores (carros manual)
- Atrapamiento

Explosivos

Sólo puede designarse para operar con explosivos a personas que hayan sido debidamente instruidas y se encuentren en posesión de la Licencia para Manipular explosivos. Los riesgos que se generan al trabajar con elementos explosivos están presentes en toda la operación, desde el momento del almacenamiento hasta la posible eliminación de restos explosivos. Los ítems más relevantes y riesgosos se asocian a:

- Almacenamiento de explosivos
- Transporte de explosivos
- Area de la voladura
- Preparación del cebo
- Carga de barrenos
- Retacado
- Voladuras eléctricas
- Voladuras con mecha
- Barrenos fallidos

- Eliminación de explosivos

Desarrollo vertical

En los trabajos de desarrollo de piques o chimeneas se deben considerar algunas medidas:

Al correr una labor a pulso (máquinas manuales): el trabajo debe efectuarse por dos personas, la labor debe ser ventilada antes que los trabajadores ingresen a la frente y se debe usar una lámpara de carburo para comprobar deficiencias de oxígeno.

El personal debe trabajar amarrado, utilizando una cola de seguridad atada al primer andamio, e incluso una malla de seguridad apoyada en el segundo andamio.

No se debe quemar ningún disparo en un radio inferior a 60 metros del lugar donde se halla un minero trabajando en pique, por regla general siempre debe acuña al iniciar la faena, empezando por la parte superior. La superficie de trabajo debe ser firme, sujeta sobre patas miras empotradas en la roca (mínimo 35 cm). La madera del andamio debe ser nueva, sin ruidos y un espesor de 5 cm y 25 cm de ancho como mínimo. Para el acceso a la frente del desarrollo, debe tener un cable flexible de 1 o más pulgadas de diámetro. Este debe cambiarse en cuanto se vea picado.

Al correr un desarrollo mediante equipos mecanizados como jaula trepadora o plataforma elevadora, es importante antes de subir al pique hacer pruebas de pre uso. El trabajador cuando está en la frente sobre la plataforma debe permanecer amarrado. Esta debe tener barandas y techo, como protección a caídas de piedras, especialmente al acuña.

Aire comprimido.

Para proporcionar energía a los equipos neumáticos, el aire comprimido es distribuido por una red de cañerías, cuyos diámetros dependerán de los consumos. Las tuberías debe recorrer las galerías apoyadas en cajas, cruzando las galerías y terminando en arranques (manifold).

Al iniciar un trabajo en una red, esta debe vaciarse. Primero se despeja, el riesgo con el aire comprimido está en las uniones, pasa líneas, transversales, etc. Los que al desconectarse o desacoplarse con presión en su interior, proyectan partículas a gran velocidad, generan altos niveles de ruidos o desplazan cañerías a distancias o en forma de latigazo, muy común cuando se emplean mangueras

Agua

El agua empleada en la perforación normalmente tiene una presión inferior al aire comprimido, ésta consigue en una red debido a la diferencia de altura entre el depósito el consumo. Si no se ponen válvulas reguladoras de presión en la línea, la presión puede sobrepasar las condiciones de diseño de acoples y tiras de tuberías.

El agua de infiltración a través de la roca, se suele captar en cunetas de drenaje, pero a veces el agua en labores verticales que producen descargas violentas y/o material barroso por compuertas en los buzones o en la fortificación existente en una mina ST.

Este acontecimiento puede producirse por acumulación de agua, la que puede incorporarse al flujo productivo de tres maneras:

- Desde la superficie a través de los bloques o bolones fragmentados de explotación, afectando a buzones o labores de producción.
- Desde la roca adyacente, producto de filtraciones a través de las grietas y que generalmente comprometen piques de traspaso.
- Desde frente en desarrollo o cualquier lugar donde se utilice agua como elemento accesorio para las operaciones.

La acción de cualquiera de estas formas de acumulación de material barroso o sus combinaciones tiene como resultado un “bombeo”, su efecto puede ser desastroso. Se ha calculado que la energía descargada por una masa de barro con un 20% de humedad contenida en un tramo de 25 metros de un pique de 2.5 M. de diámetro corresponde aquella generada por la explosión de 3 Kg. de dinamita.

El agua con su gran poder disolvente actúa en un medio terroso sobre el cual se sitúa y desarrolla su efecto de licuefacción. Este fenómeno es similar al que se produce en represas mas construidas en el agravante que aquí la acción es vertical. El agua puede por si sola, en cantidades suficientes, diluir el mineral, si es que no resiste el buzón, compuerta fortificación u otro elemento de retención, inundando el sector y dañando a personas e instalaciones.

Sin embargo, el caso general de bombeos se produce cuando el material que sostiene a la acumulación de agua y barro esta siendo extraído por su parte inferior, esto lógicamente acelera el descenso del agua, por lo tanto, aumenta también su fuerza.

RIESGOS ASOCIADOS AL METODO DE EXPLOTACIÓN.

4.1 Riesgos asociados al método Cámaras y pilares.

- Factor de seguridad = resistencia del pilar: esfuerzo aplicado al pilar debe ser mayor a 1.5 si F.S. es igual o menor a 1 teóricamente se produce la inestabilidad del pilar.
- Techo y mineral deben ser firmes, pilares en la roca mineralizada.
- Si el techo es quebradizo, obliga dejar un pilar de techo en mineral.
- Piso firme permite que pilares delgados no se hundan.
- Galerías pilotos (frontones) permiten un circuito de ventilación más inmediato.
- Pendiente F (equipos). En caso de camiones 9% (6 grados)
- Control del techo: Condiciona el diseño del pilar
- Caserón sección más conveniente con una máxima luz
- Unión de galerías paralelas entre las cuales quedan los pilares
- Planificar tronaduras: Evacuar sector y lugares de cierres.
- Recuperación de pilares y techo, hundimiento controlado del techo mediante perforación radial y explosivos.
- Control de área y los accesos al sector del hundimiento, sobre la forma como se produce el desprendimiento de la loza del techo.
- Diferencia de niveles entre caserones: al unir dos galerías en el mismo eje a diferentes altura se desquincha el piso de la galería superior. Distintas cotas generan el riesgo de caídas durante la operación de perforación y tronadura.
- Galerías abiertas: el sistema exige grandes superficies de techo abiertas, con posibilidad de desprendimiento de roca. Desde el momento que se inicia el desarrollo del caserón hasta el momento de tronar los pilares para producir el hundimiento.
- Vaciado de piques con cargadores o camiones, galerías deben tener topes para impedir que el equipo caiga a su interior.

- Iluminación adecuada y elementos para que el personal se sujeten en buitra o tolva.

4.2 Riesgos Asociados al Método Cámara Almacén.

El personal trabaja en el interior del caserón barrenando y cargando los tiros con explosivos, exponiéndose a riesgos tales como:

- Caídas de rocas: el trabajador debe realizar la acción de acuñar el techo continuamente, botando las piedras sueltas que pueden haber quedado del disparo anterior o bien aquellas que se han desprendido debido a la vibración de los equipos de perforación.
- Superficie de trabajo: el hecho de trabajar sobre la roca fragmentada o saca, la que indudablemente conforma una superficie irregular exige que el operario debe extremar medidas al circular y trabajar en esta área.
- El sistema crea además el riesgo de que por error alguien de tiraje en alguna chimenea mientras esté un trabajador sobre el sector de influencia del escurrimiento.
- Pérdida de acceso a la cámara: El ingreso al caserón se puede realizar por chimeneas ubicadas en el centro o en los costados, accesos hechos con escaleras pueden ser dañadas por caídas de piedras o bien tapadas por el esponjamiento de la saca.
- Protección del techo de la galería base: en ciertos casos este método puede ser peligroso debido a la formación de bóvedas durante el período de vaciado del caserón que al derrumbarse puede dañar el techo de la galería base.

4.3 Riesgos asociados al Método Corte y Relleno.

Los riesgos más comunes son:

Desprendimiento de bloques de roca (gran magnitud): para aumentar el grado de seguridad en la explotación por este sistema se construye primero una galería piloto, la que puede estar ubicada en el centro o pegada a lo que serán las cajas del corte. El aumento de la sección de las galerías se consigue vía desquinche, aprovechando así las caras libres dejadas por el piloto.

Mientras la labor se encuentre en dimensiones pequeñas, el desprendimiento de rocas es posible eliminarlo con una acuñadura normal, pero cuando la galería a adquirido el tamaño de

cámara requiere algún tratamiento especial, tal como:

- Estudio geológico que indique las condiciones de las rocas en el nivel base y las predicciones hacia los niveles superiores. Estos antecedentes se consiguen con un mapeo en el nivel de explotación, información obtenida de la galería piloto y de sondajes. El ancho y alto de la galería no permite observar en su plenitud las estructuras geológicas los que en algunos casos se encuentran sobre el techo de la galería en posición sub horizontal.
- Tronadura controlada en la coronación de la galería, usando el concepto de tronadura suave y utilizar los arcos del techo en forma regular para aprovechar el equilibrio natural de la roca.
- La frente en desarrollo que en la mayoría de los casos se encuentra sobre el techo de la galería del nivel inferior, cuando es cruzada por fallas, pierde la cohesión y la vibración producto de la perforación ayudan al desprendimiento.
- Durante toda la explotación de una cámara con pilares, se debe mantener la posición firme y continuidad del pilar, la falta de éste crea una superficie mayor sin soporte y proclive al desprendimiento. Los pilares que demuestran inestabilidad debido a fallas geológicas deben reforzarse, ya sea con pernos, cables o cualquier otro elemento que mantenga la continuidad y firmeza del pilar.
- La falta de acañadura al ingresar después de una tronada también es causa de desprendimiento de roca.
- Para disminuir la probabilidad que en un desprendimiento haya lesionados o daños a equipos, se debe mantener la menor cantidad de galerías abiertas. Para conseguir lo planteado se recomienda que la etapa de relleno esté muy cercana en tiempo a la extracción del mineral.
- Relleno de los cortes: el método de explotación ascendente, por lo tanto exige, un continuo relleno de las galerías para que posteriormente en el tramo superior, éste sirva de piso.

El relleno se hace utilizando roca estéril, levantándola con equipos de carguío hasta una altura aproximada de 1 metro bajo el techo. El riesgo que involucra esta operación, es que el vehículo pueda volcar debido a que debe desplazarse entre rocas de diferentes tamaños y a distintas alturas. Choques contra el techo son muy frecuentes.

Para lograr una mejor compactación, en algunas minas se inyecta al relleno cemento para

producir una mezcla más dura, lo que lleva consigo crear las condiciones operacionales necesarias, tales como infraestructura básica para efectuar la mezcla y su posterior relleno.

4.4 Riesgos asociados al Método Hundimiento por Bloques.

En las operaciones de preparación y extracción de mineral mediante este método se consideran las siguientes etapas: Desarrollo primario, desarrollo secundario, concretadura de piques y buitras, soporte de la roca, mantención de la fortificación, tiraje y traspaso de mineral. Cada una en si encierran diferentes riesgos inherentes, algunos de los cuales se analizan a continuación:

Hundimiento

El hecho más importante es conseguir el hundimiento. Todo el trabajo comprendido para poner en producción un block, de nada sirve si por la práctica errónea del sistema se realiza un hundimiento sin que se produzca la socavación. Volver a efectuar el hundimiento es arriesgado ocupa demasiado tiempo y es extremadamente caro.

El factor que puede influir negativamente en una operación de socavación es el de dejar pilares después de la tronadura. Todo el pilar constituye un punto de apoyo que impide que la roca se desprenda, donde las condiciones del cerro es firme y el techo se estima seguro, todo disparo siguiente debe detenerse hasta que se eliminen los pilares. Ahora si ya la socavación ha comenzado o si por cualquier motivo la remoción de un pilar se considera peligrosa para el personal, deben dejarse estos pilares con extracción en los puntos vecinos se puede conseguir su eliminación.

Concretadura

Los principales usos del concreto en las operaciones de extracción de mineral son: concretadura de piques, buitras y galerías.

El principal riesgo que se genera en un trabajo de concretadura de pique o buitra es la caída por labor vertical, los que generalmente son de bastante altura. Como regla general se exige que en el pique se construya un tapado de madera apoyando a las cajas con patas mineras,

superficie donde trabaja el personal encargado para concretar. Se complementa la medida con la obligatoriedad de usar cola de seguridad, el movimiento de los moldes (piezas metálicas) o materiales constituyen un riesgo agregado, como también aquel que corresponda el uso de escalas para el acceso al lugar de trabajo.

En caso de desquinche debe verificarse en la buitra como en el pique no haya tiros quedados.

No olvidar que la acuñadura siempre debe estar presente en toda operación minera subterránea. La concretadura de la galerías encierra principalmente el riesgo de caída de piedras, viciado de concreto desde altura o con la ayuda de aire comprimido también presenta riesgos.

Desarrollo vertical:

El método convencional con buitreros requiere la construcción de chimeneas de hundimiento y piques de traspaso que nacen de una frente a otra lo que significa que una tronada queda frente a otra y crea el riesgo de que la proyección de piedras de un disparo corte la conexiones o guías de la tronada del frente, produciendo tiros quedados.

Los andamios empleados tanto en piques como chimeneas, deben estar empotrados en la roca y cubrir una superficie que permita continuar con la barrenadura y realizar el trabajo con seguridad. El desarrollo vertical es una de las labores en donde se debe tener una gran precaución por el diseño y la forma de llevar el trabajo planificado por el departamento respectivo.

Fortificación

El nivel de producción deber ser protegido con una fortificación de cemento o madera para evitar que el pilar base del hundimiento se quiebre y además debe permitir el acceso a las galerías de producción. La enmaderación de las galerías de producción requiere de una técnica que incluye marcos, tirantes, castillos, etc. El control de la enmaderación y la recuperación de las áreas de tránsito por las galerías, especialmente cuando el pilar se ha quebrado, exige una mantención permanente con personal muy especializado por los riesgos que ella representa.

Buitreros.

El personal que permite el paso del mineral desde las chimeneas de producción a los

piques de traspaso se les llama buitros y su actividad involucra algunos riesgos, tales como:

- Caída por el pique
- Golpes con las herramientas de trabajo (barretilla o pinocho) al hacer correr la saca, al usarla por encima de la tabla vaciadora.
- Caída de piedras por algún orificio abierto en la encastilladura del techo.
- Tronadura secundaria prematura o mala ubicación de los cierres al tronar para desatracar chimeneas.

4.5 Riesgos Asociados al Método Hundimiento por Subniveles

En este método las galerías se enfrentan perpendicularmente a la cara de explotación y la producción se va obteniendo en retroceso.

Los riesgos que se enfrentan los trabajadores es que al extraer el mineral de la cámara existe la posibilidad que se produzca una rodada de la frente, exponiendo al operador o al equipo.

Es difícil conducir el hundimiento, techo malos y dificultades aumentan con la profundidad.

3.6 Riesgos Asociados al Método Explotación por Tajos Largos.

El accidente más frecuente en los frentes de arranque de carbón es por caída de carbón o tosca, razón por la cual, la actividad de fortificación resulta muy relevante. Los accidentes con lesiones a personas, ocurren en:

- Etapa de colocación del sostenimiento
- No fortificar oportunamente
- Trabajar sin fortificación o resulta inapropiada o insuficiente.
- Etapa de recuperación: con herramientas o desviación de los procedimientos de trabajo.

Todo lo mencionado es válido para el sistema individual de fortificación, que es remediado con los “métodos marchantes”.

También se concentra una alta accidentabilidad en el arranque del carbón, los operarios se exponen a elevadas fuentes de energía, explosivos, aire comprimido, equipos de transporte en sectores estrechos. La tendencia es alejar al hombre de las áreas, introduciendo el arranque mecanizado.

Los accidentes más graves ocurren directamente por otras causas, como los incendios y explosiones de gas grisú. Es por ello que se debe prevenir cualquier riesgo, teniendo los elementos necesarios de medición y seguridad.

4.7 Riesgos Asociados a Pirquineros

Explosivos

Actualmente muchos pirquineros emplean explosivos para facilitar el arranque del carbón y trabajar con mayor eficiencia en la tosca, pero se estima que sólo un 25% cuenta con el permiso de la A.F.

El almacenamiento de las dinamitas y detonadores, peligrosamente en algunas faenas, se hacen en forma conjunta, ya sea en cajas grandes de madera o en cuartos, donde también se guardan otros materiales, algunos transportan explosivos en bolsas de nylon, llevando además brocas, herramientas, etc.

En los lugares donde se trona con detonadores eléctricos usan líneas de disparo de un largo inferior a 20 metros, en los frentes de trabajo se manipulan bruscamente los explosivos y cualquier operario tiene acceso a ellos, llegando el momento se envía a cualquier operario a buscar explosivos o a reemplazar a un disparador o polvorinero ausente.

Fortificación

En la pequeña minería del carbón, la fortificación consiste en sostener los estratos rocosos mediante madera dispuesta geométricamente para mantener la sección de la labor, permitiendo con ello un buen abastecimiento, facilitar la ventilación y extracción del carbón, y lo más importante proteger a los trabajadores.

Algunos pirquineros emplean madera de pino como único elemento, aunque la madera de

eucaliptos es más apropiada por su resistencia y elasticidad, la razón de esta elección es sólo su costo.

Drenaje

Esta operación es de vital importancia, por cuanto la mayoría de los sectores que se explotan están colindantes con trabajos viejos abandonados que albergan grandes volumen de agua, los cuales ejercen presión y producen filtraciones en los niveles inferiores en explotación. Otras aguas que se suman a las anteriores son aquellas que ingresan a través de capas permeables y grietas del cerro.

Otros aspectos preventivos a considerar son: conocer bien la zona a explotar a través de planos de referencia existentes, la topografía de las galerías y sondajes de reconocimiento para detectar acumulaciones de agua.

Electricidad

Aunque muchas faenas pequeñas no disponen de energía eléctrica, obliga al personal a utilizar lámparas de carburos (patos) como medio de iluminación. En cambio otras faenas poseen grupos electrógenos para generar corriente eléctrica y alimentar algunos equipos, máquina, alumbrado, etc.

Existe una alta probabilidad de contactos eléctricos (directos o indirectos), porque los conductores empleados en los tendidos son unipolares y no van en ductos de protección, siendo afectada su aislación por parte de los trabajadores que se ven obligados a conectar “portátiles” a lo largo de los tendidos cuando no hay enchufes madres, a la falta de mantención y ordenamiento de las líneas.

Transportes

El transporte de mineral estéril, desde la frente de arranque hasta la superficie se realiza en carros que se desplazan sobre rieles o cintas de eucaliptos. La fuerza de tracción en planos horizontales es manual, mientras que en plano inclinado es mecánica, mediante el uso de poleas para los tornos, que funcionan con contrapeso y huinches en las corrientes y chiflones accionados por motores eléctricos de potencias variables.



GOBIERNO DE CHILE
SERVICIO NACIONAL DE
GEOLOGÍA Y MINERÍA

Control ambiental

El proceso de extraer mineral de un yacimiento, produce una serie de elementos contaminantes, que al no ser controlados con el tiempo pueden generar enfermedades profesionales, algunos de éstos son:

Gases: Producto de las tronaduras, de equipos de combustión interna y en salas de recargue de baterías para lámparas eléctricas o vehículos de transporte.

Ruidos: Toda mecanización produce alto nivel de ruido, por lo que es conveniente exigir uso permanente de protectores auditivos.

CARACTERÍSTICAS APLICACIÓN MÉTODOS

Método Sub Level Caving

1. Geometría del Yacimiento	Aceptable	Optimo
Forma	Tabular	Tabular
Potencia	Media	Grande
Buzamiento	Cualquiera	Vertical
Tamaño	Medio	Grande
Regularidad	Media	Alta
2. Aspectos Geotécnico	Aceptable	Optimo
Resistencia (Techo)	>100 MPa	>50 MPa
Resistencia (Mena)	>50 MPa	>50 MPa
Fracturación (Techo)	Media-Alta	Alta
Fracturación (Mena)	Media	Baja
Campo Tensional In-situ (Profundidad)	<1000 m	<500 m
Comportamiento Tenso-Deformacional	Elástico	Elástico
3. Aspectos Económicos	Aceptable	Optimo
Valor Unitario de la Mena	Bajo	NA
Productividad y ritmo de	Alto	NA

explotación		
-------------	--	--

Método Cut And Fill

1. Geometría del Yacimiento	Aceptable	Optimo
Forma	Cualquiera	Tabular
Potencia	Cualquiera	>3m
Buzamiento	>30°	>60°
Tamaño	Cualquiera	Cualquiera
Regularidad	Cualquiera	Irregular
2. Aspectos Geotécnico	Aceptable	Optimo
Resistencia (Techo)	>30 MPa	>50 MPa
Resistencia (Mena)	s/profundidad	>50 MPa
Fracturación (Techo)	Alta-media	Media-Baja
Fracturación (Mena)	Media-Baja	Baja
Campo Tensional In-situ (Profundidad)	Cualquiera	<1000 m
Comportamiento Tenso-Deformacional	Elástico	Elástico
3. Aspectos Económicos	Aceptable	Optimo
Valor Unitario de la Mena	Media-Alto	Alto
Productividad y ritmo de explotación	Media-Baja	NA

Método Shrinkage

1. Geometría del Yacimiento	Aceptable	Optimo
Forma	Cualquiera	Tabular
Potencia	Cualquiera	>3m
Buzamiento	>30°	>60°
Tamaño	Cualquiera	Cualquiera
Regularidad	Cualquiera	Irregular
2. Aspectos Geotécnico	Aceptable	Optimo
Resistencia (Techo)	>30 MPa	>50 MPa
Resistencia (Mena)	s/profundidad	>50 MPa
Fracturación (Techo)	Alta-media	Media-Baja
Fracturación (Mena)	Media-Baja	Baja
Campo Tensional In-situ (Profundidad)	Cualquiera	<1000 m
Comportamiento Tenso-Deformacional	Elástico	Elástico
3. Aspectos Económicos	Aceptable	Optimo
Valor Unitario de la Mena	Media-Alto	Alto
Productividad y ritmo de explotación	Media-Baja	

Método Block Caving

1. Geometría del Yacimiento	Aceptable	Optimo
Forma	Cualquiera	Tabular
Potencia	Grande	Grande
Buzamiento	Cualquiera	Vertical
Tamaño	Grande	Muy Grande
Regularidad	Media	Alta
2. Aspectos Geotécnico	Aceptable	Optimo
Resistencia (Techo)	<100 MPa	<50 MPa
Resistencia (Mena)	<100 MPa	<50 MPa
Fracturación (Techo)	Media - Alta	Alta
Fracturación (Mena)	Media - Alta	Alta
Campo Tensional In-situ (Profundidad)	<1000 m	<500 m
Comportamiento Tenso-Deformacional	Elástico	Elástico
3. Aspectos Económicos	Aceptable	Optimo
Valor Unitario de la Mena	Bajo a muy bajo	NA
Productividad y ritmo de explotación	Muy Alto	NA

Riesgos causas y consecuencias

RIESGOS	CAUSAS	CONSECUENCIAS	MEDIDAS PREVENTIVAS
Caída de rocas	Falta acañadura Falla tronadura	Lesiones - daños Pérdida tiempo	Acuñar
Tiros quedados	Presencia agua Insensibilidad del Explosivo Falla conexión	Lesiones - daños Pérdida tiempo	Control en marina
Riesgos eléctricos	Cables desnudos Enchufes malos Contacto con agua Falla transform.	Electrocución daños al equipo Pérdida tiempo	Revisión periódica a las conexiones
Riesgos en roturas o comunicaciones	Topografía atrasada Falta control de proyectos	Daños a instalaciones equipos	Planificación en el diseño
Barras pegadas	Mala operación Falta atención	Atrasos Pérdida material Daño al equipo	Soplar tiro Evitar flectar Barra al perforar
Ruido excesivo	Inherente al equipo	Lesiones al operador	Usar protectores oídos
Sobre esfuerzo	Traslado de equipos cables y mangueras	Lesiones lumbares y cervicales	Medidas sobre manejo materiales.
Colisiones	Falta de visión Falta iluminación Exceso velocidad Mala maniobra Falla frenos	Lesiones al operador Daño al equipo	Revisión equipo mejorar condiciones ambientales
Caídas	Humedad - agua Pisos aceitosos Botas en mal estado	Lesiones al operador	Mantener limpio y seco Zapatos seguridad en buen estado
Acumulación de agua	Producto de la perforación No bombeo o drenaje simultáneo	Tronadura deficiente pisos. Atrasos Daños equipo rodado. Lesiones	Mantener cuneta secar frente con sifón

BIBLIOGRAFIA

- Hormigón Proyectado P. Teicchert
- Underground Excavations in Rock E. Hoek y E. T. Brown
- Stability in Underground Mining. C. O. Brawner
- Catálogos de Fabricantes y Suministradores de Equipos
- Operating Handbook of Underground Mining. Stope and Pillar Mining.
- Métodos de Construcción y Minería Atlas Copco.
- X Symposium de Ingeniería de Minas SIMIN 97.
- Fortificación de Minas José Latorre C. Hugo Contreras C.
- Mine Openings. Stability and Support J. Aldorf and K. Exner.