

CAPITULO XXIII. LOS MÉTODOS DE MINERÍA SUBTERRANEA.

INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES

Definición.

Se entiende como minería subterránea a la que se realiza por medio de obras y trabajos en el interior de la tierra tales como pozos, galerías, cámaras, túneles, socavones y planos para acceder a la masa de mineral y extraerla, sin tener que mover los estériles o materiales que recubren el yacimiento.

Durante muchos años ha sido la imagen popular y poco positiva de la minería, pero ha sido ampliamente superada en cantidad y valor por los otros dos métodos de laboreo, el cielo abierto y los sondeos, dado que el coste de la inversión de capital resulta mucho más elevado (unos 125 \$/t /año para el interior y unos 30 \$/t /año para el cielo abierto) y también, en principio, por el coste operativo (1\$/t para el cielo abierto y unos 10 \$/t para el interior).

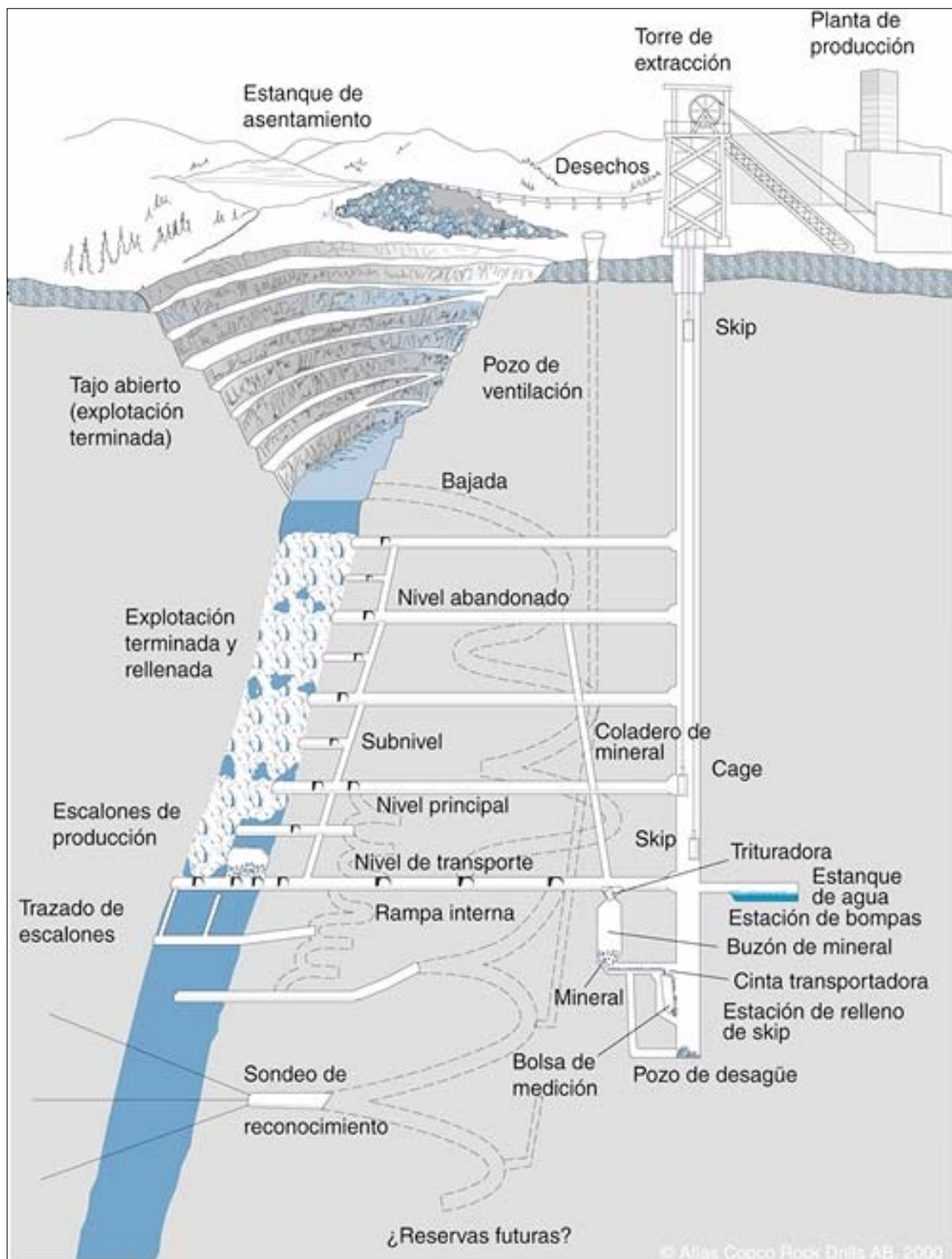
La pérdida de importancia progresiva y sistemática de la minería subterránea ha sido, en otra parte, compensada por la mayor importancia que las labores subterráneas han ido tomando en las obras públicas, la construcción de las ciudades y las aplicaciones militares e industriales de cámaras, almacenes e incluso por el aprovechamiento de antiguas explotaciones mineras, como se ha citado en el caso de canteras en Illinois y Kansas.

La alta intensidad de capital exigido, el descenso en las productividades por el fuerte coste del personal, las dificultades de lograr una mecanización y automatización, la peligrosidad por el desconocimiento de las condiciones geomecánicas, la falta de vocación minera de la mayor parte de las demandas de trabajo, han ido reduciendo la aplicación de esta metodología a los casos de minerales muy valiosos como el oro, la plata y el platino, las altas leyes en los minerales no férricos o en las condiciones extremadamente fáciles de explotar como las canteras subterráneas o las capas de carbón muy horizontales y con una potencia razonable.

Sin embargo es justo reconocer que en los últimos 10 años se ha producido un importante incremento de la productividad en la minería de interior a causa de la eliminación de dos "corsés" o limitaciones, como eran las tradicionales vías férreas para el transporte y la madera para la entibación, que se han sustituido por otros materiales como los neumáticos para el rodaje y el acero de los pernos y las mallas de sostenimiento de techos y paredes de galerías para mejorar el gálibo y tolerar una

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

Esquema general de la explotación de un yacimiento por cielo abierto y por interior



FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

Las ventajas del cielo abierto sobre el interior pueden ser clasificadas en:

Técnicas:

- Mayor productividad en el cielo abierto, unas 10 veces más que en interior.
- Concentración de las operaciones y mayor sencillez de control y dirección.
- Mayor producción por unidad de arranque (tajo, sección, área o mina)
- Elevada mecanización por menor limitación en tamaño y peso de las máquinas.
- Mejor posibilidad de comprobación geológica y una exploración más sencilla.
- Simplicidad en operaciones auxiliares e incluso eliminación de alguno.
- Mejor recuperación del yacimiento.
- Planificación y control más fácil.
- Mayor flexibilidad para responder a los aumentos o disminución de la producción, en función de las variaciones coyunturales de la demanda.

Económicas:

- Menor coste de capital por tonelada de material (estéril o mineral) producido.
- Menor coste de operación por tonelada de material movido.
- Por ello, posibilidad de mover una gran relación de estéril a mineral.
- Mayor disponibilidad de reservas por explotación de recursos de menor ley.
- Mejor posibilidad de contratar alguna parte o todo de los procesos mineros (Geología, laboreo y tratamiento)

Sociales:

- Mayor seguridad e higiene en el trabajo.
- Mayor facilidad para encontrar mano de obra.
- Menor influencia del factor de costo del personal.

Las ventajas del interior y desventajas del cielo abierto son las siguientes:

Técnicas:

- Favorable influencia de las condiciones climatológicas y atmosféricas.
- Menor limitación en profundidad.
- Menor control de la estabilidad de los taludes.
- Menor necesidad de vertederos cercanos, e incluso posibilidad de utilizar los estériles como relleno de los huecos de interior.
- Mejor control de calidad para evitar la dilución o mezcla del mineral y el estéril

Económicas:

- Menor inversión inicial de capital en maquinaria y terrenos para huecos y vertederos.
- Menor inversión inicial para realizar la preparación preliminar.

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

- Mayor flexibilidad para superar los errores en el diseño o en la selección de la maquinaria.

Sociales:

- Personal de operación y mantenimiento menos formado y por tanto más barato.
- Menores problemas medio-ambientales por alteración en los terrenos afectados por el hueco y los vertederos.
- Menores problemas político-económicos de compra de terrenos.
 - Mayor empleo de mano de obra.
 -

Como resumen podemos decir que se trata de métodos mineros diferentes, que requiere mayores reservas para el cielo abierto, aunque puedan ser de menor ley, con un ritmo más rápido de explotación y por ello una menor vida, con una exploración más cara y detallada para evitar graves errores y con unas inversiones más fuertes por ser unas producciones anuales mucho más grandes, todo lo cual hará, siempre que sea posible la existencia de los dos métodos y muy especialmente la tendencia moderna será hacia una minería mixta que combine simultáneamente ambos, para lograr explotar mejor los yacimientos y así combinar acertadamente las ventajas de cada uno disminuyendo los inconvenientes y compartiendo los servicios y alguno de los procesos como el transporte y el tratamiento mineralúrgico.

CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN SUBTERRÁNEOS.

Los objetivos principales de un método de explotación subterráneo o por interior son el *diseño* geométrico de los huecos a generar, la *selección de la maquinaria* y del *sistema tecnológico* más apropiados para lograr una extracción segura, económica y selectiva de los yacimientos de minerales a una cierta profundidad, sin tener que remover los materiales que lo recubren desde la superficie. Los medios y pasos necesarios para el desarrollo de un proyecto minero de interior son los mismos citados para el cielo abierto o por sondeos, esto es la ingeniería minera en sus tres niveles de:

- * Diseño geométrico y Planificación de las operaciones
- * Ingeniería de los sistemas o técnicas operativas
- * Estimación de los costes de inversión y de operación.

Y más modernamente a los objetivos de seguridad, fiabilidad y rentabilidad del proyecto hay que añadir su integración en el entorno o medio ambiente.

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

Los factores determinantes en la elección del método de explotación por minería de interior, al igual que mencionamos en los capítulos de selección de métodos son:

- * Geometría del yacimiento
 - Morfología (Masiva, tabular, filoniana, etc.)
 - Potencia y buzamiento
 - Tamaño
 - Regularidad, distribución de las leyes
- * Aspectos geomecánicos
 - Resistencias (Mena, techo y muro)
 - Fracturación (Intensidad, tipo y frecuencia)
 - Campo tensional in situ (Profundidad)
 - Comportamiento dinámico de los distintos materiales
- * Aspectos económicos
 - Leyes del mineral
 - Valor unitario del mineral (Recuperaciones mineras y mineralúrgicas)
 - Productividad, vida y ritmo de la explotación.
- * Seguridad y medio ambiente
 - Aspectos y regulaciones de seguridad e higiene
 - Impacto ambiental (Paisaje, subsidencia, aguas, etc.)
 - Impacto social (Personal, sindical, político, local, etc.)

Dentro de los *métodos* que entendemos como convencionales y utilizables en el momento actual como corresponde a las limitaciones enumeradas citamos los siguientes:

1.- POR SOPORTE NATURAL DEL TERRENO

- * Cámaras y pilares
- * Subniveles

2.- POR SOPORTE ARTIFICIAL SISTEMÁTICO

- * Cámaras almacén
- * Corte y relleno
- * Entibación cuadrada
- * Testeros

3.- POR HUNDIMIENTO DEL TECHO

- * Tajos largos
- * Por bloques
- * Por subniveles
- * Por rebanadas horizontales.

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

Los *sistemas* y servicios de explotación específicos de la minería subterránea difieren ligeramente de los de cielo abierto, si bien esencialmente los básicos son los mismos para ambas; el arranque del mineral de su lugar de formación y su transporte hasta el exterior.

1.- **Sostenimiento y fortificación**

- Cuadros, mallas, pletinas, chapas, etc.
- Bulones, cables y pernos
- Relleno u hormigonado
- Posteo de madera
- Mampostas metálicas

2.- **Arranque**

- Por acción de la gravedad (Hundimiento controlado)
- Por perforación y voladura con explosivos
- Por acción mecánica de una máquina o minador

3.- **Carga y desescombro**

- Sistemas discontinuos (Cargadoras, volquetes y transportadores)
- Sistemas continuos (Minadores, rozadoras)

4.- **Transporte interior**

- Sistemas discontinuos o mixtos (Manual, L.H.D., Volquetes, trenes)
- Sistemas continuos (Cintas, Panzers, tuberías.)

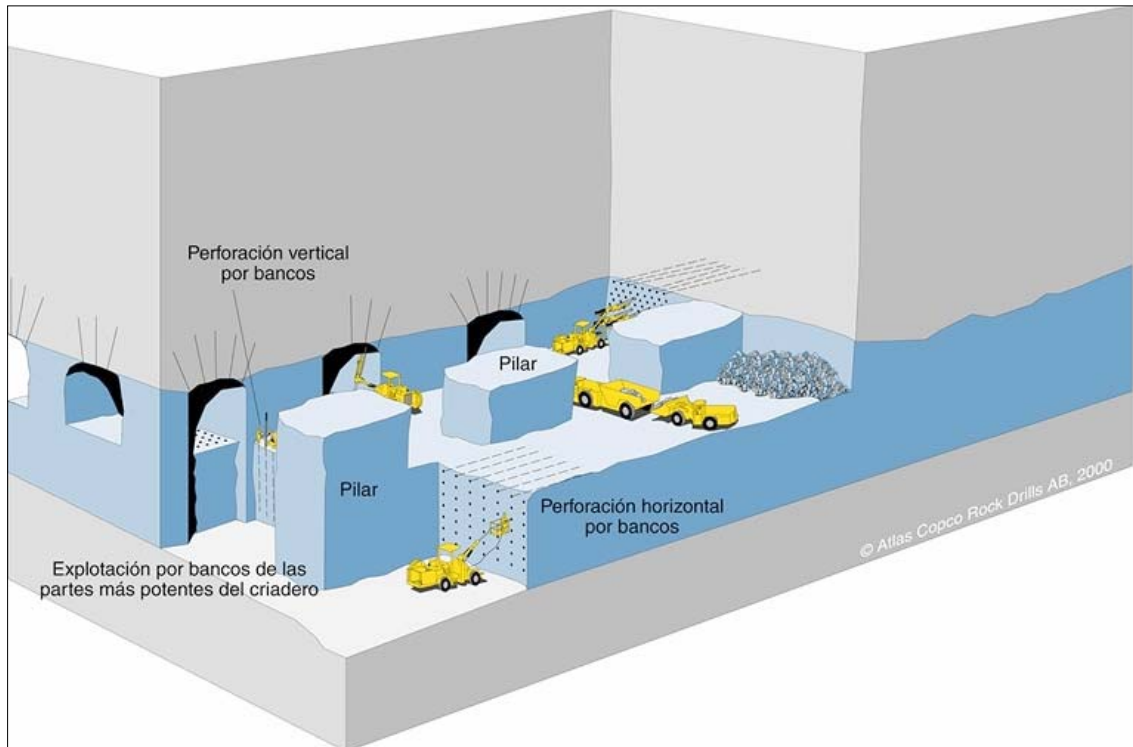
5.- **Extracción al exterior**

- Pozos de extracción vertical
- Planos inclinados con cintas
- Rampas para camiones o volquetes
- Sistemas hidráulicos de transporte

6.- **Servicios**

- Ventilación y aire acondicionado
- Desagüe y drenaje
- Mantenimiento y talleres
- Iluminación
- Almacenes y polvorines
- Oficinas y vestuarios
- Guardería y control de seguridad
- Impacto ambiental
- Viviendas y hábitat minero

MÉTODO DE CÁMARAS Y PILARES



ESQUEMA DEL METODO DE CÁMARAS Y PILARES

MINERALES DUROS.

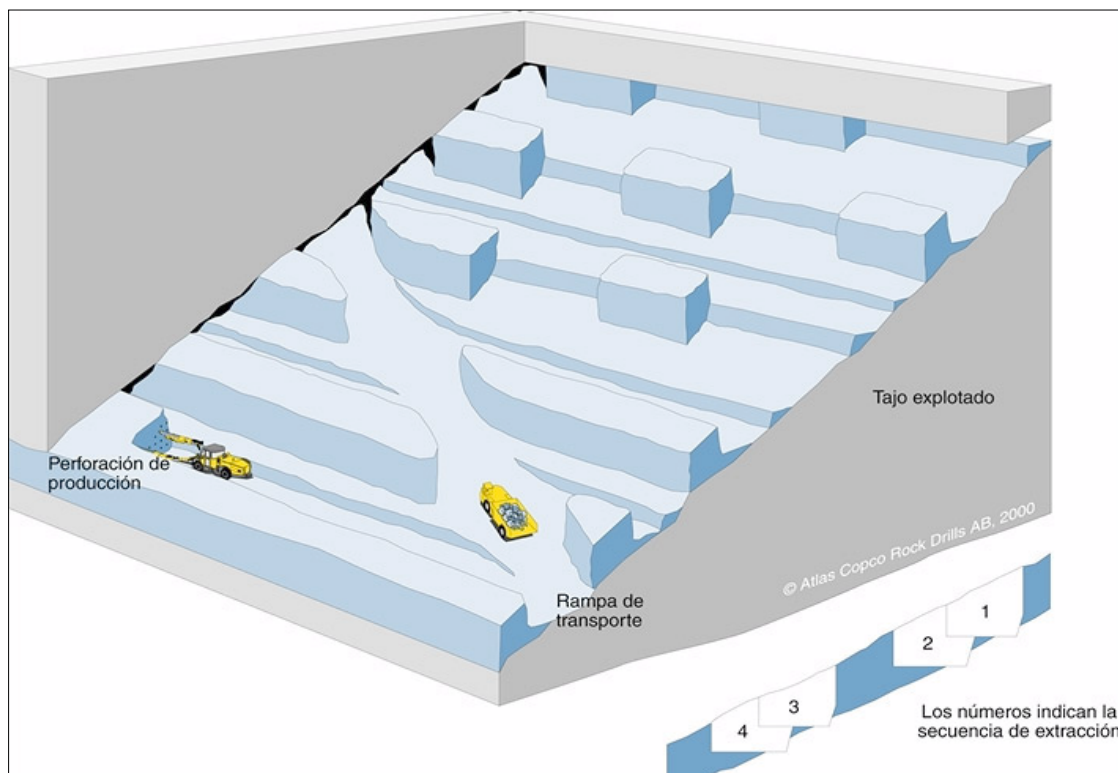
La minería de cámaras y pilares se realiza en secciones, paneles ó cuarteles que habitualmente son rectangulares y regulares en plano. Es importante diferenciar entre la minería en carbón más blanda y la minería en materiales duros. En la minería de materiales duros de yacimientos horizontales este método es similar al de cámaras y pilares irregulares. En estos casos la distribución de leyes en el cuerpo mineralizado es el principal requisito del diseño de la explotación, y el control del terreno y la ventilación son criterios secundarios. Esto conduce a una distribución más adecuada de los pilares con dimensión irregular que se adaptan y sitúan en las zonas marginales ó estériles.

En las minas de carbón la ventilación y el control del terreno son factores principales del diseño y por lo tanto se requiere un diseño cuidadoso de los cuarteles a explotar por cámaras y pilares, aislándolos del resto de la mina y con un adecuado diseño de la ventilación. También puede requerirse planes para la explotación en retirada de los pilares por hundimiento.

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

La minería de cámaras y pilares en rocas y minerales duros es, pues, un método de explotación de apertura de cámaras con un ángulo pequeño con respecto a la horizontal que excava huecos y deja pilares distribuidos aleatoriamente en los yacimientos en los que la ley es variable. En los que la ley es constante o varía poco, la disposición y sección de los pilares es más regular y uniforme.

Este método difiere de los demás en que la utilización de la gravedad en el flujo del mineral es muy limitada, y el mineral debe ser cargado en la zona o tajo en que ha sido arrancado y transportado desde ese punto. En las grandes operaciones esto incluye el uso de palas cargadoras, camiones, LHD (Load-Haul-Dump), aunque también puede usarse raspas o Scrapers.



CÁMARAS Y PILARES EN CAPAS INCLINADAS

MINERALES BLANDOS.

La unidad básica en la minería por cámaras y pilares en minerales blandos (carbón, potasa y sales sódicas) es el panel ó cuartel que define el área de la mina que debe ser minada y ventilada. Una vez preparado el cuartel para obtener una ventilación eficaz mediante las guías perimetrales necesarias se realiza el arranque en avance de las cámaras dejando pilares regulares previamente diseñados. Terminada la explotación de las cámaras pueden explotarse los pilares en retirada, si las condiciones lo

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

permiten. La explotación de las cámaras y de los pilares pueden combinarse e incluso simultanearse de diferentes maneras dando lugar a variantes del método.

Cualquiera que sea el sistema elegido habrá de cuidarse en extremo la ventilación instalando drenajes de gas en las labores hundidas mientras sus proximidades no sean abandonadas definitivamente. Para el arranque de estos minerales cuando existe grisú (carbón, potasa), se utilizan minadores continuos ya que el arranque con explosivos, en este caso, puede ser extremadamente peligroso.

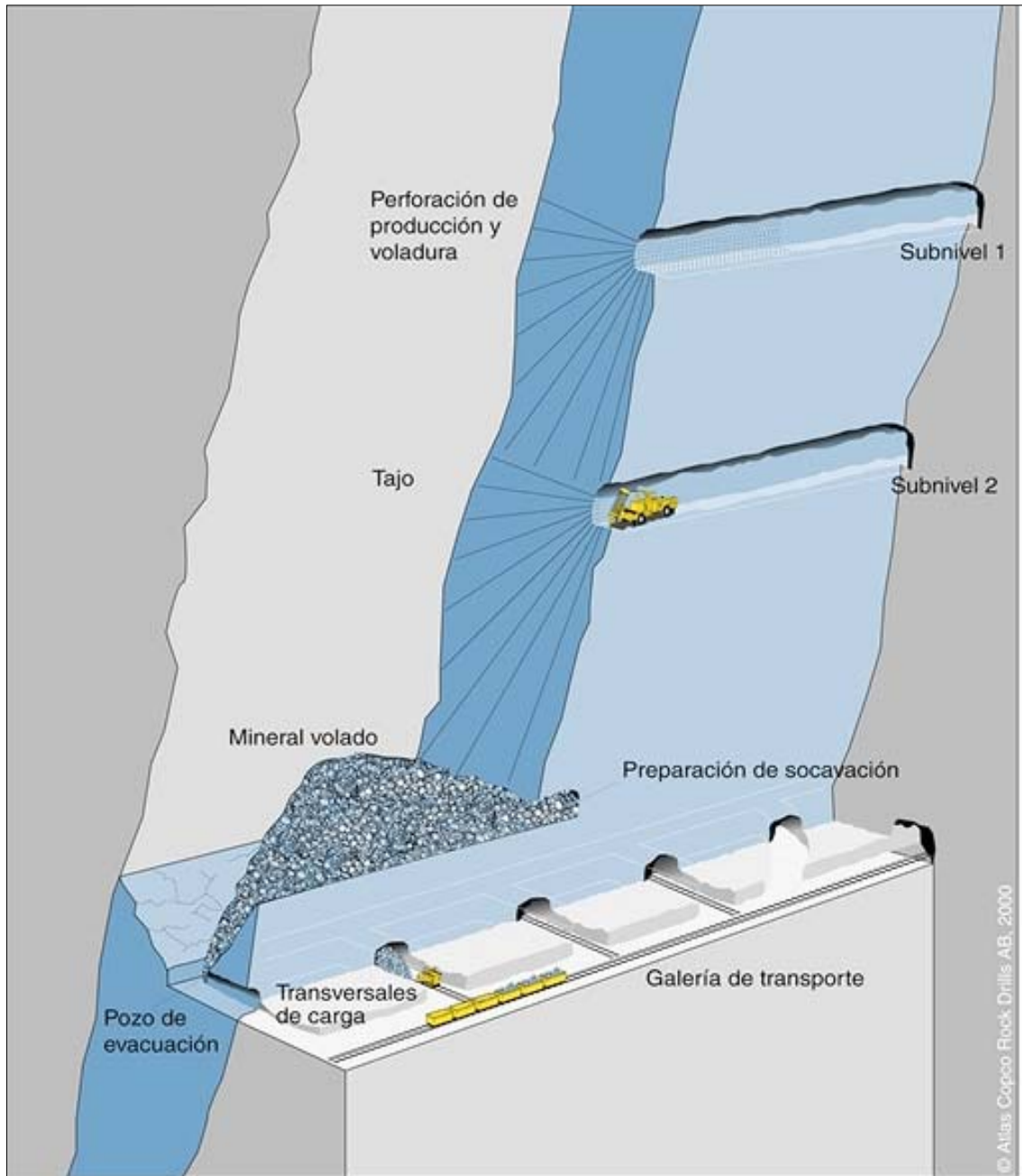
MÉTODO DE CÁMARAS POR SUBNIVELES (Sublevel stoping)

El método de arranque desde subniveles normalmente se emplea en criaderos muy regulares, en los que el mineral y la roca de los hastiales son resistentes. El método se caracteriza por su gran productividad debido a que las labores de preparación se realizan en su mayor parte dentro del mineral. Se aplica a criaderos de alta pendiente, en los que el mineral cae por gravedad en el hueco abierto y que permiten la perforación de barrenos largos de banqueo o en abanico. Estos métodos necesitan una gran preparación y se requiere en general que el criadero sea potente.

La distancia óptima entre subniveles depende de dos parámetros: el costo y la dilución, y entre los que se buscará una solución de compromiso. Los costos, en general, disminuyen al aumentar la altura (tendencia actual), pero aumenta con ello la dilución y algún costo particular, sobre todo al recuperar los macizos de protección y pilares.

Las cámaras longitudinales, al descubrir una superficie mayor de hastiales, son peores para la dilución que las transversales. Pero estas últimas necesitan unos pilares que representan normalmente el 50 por ciento del mineral del criadero, mientras en las longitudinales es mucho menor.

Actualmente la distancia entre niveles oscila entre 100 y 130 m para toda la cámara y los subniveles se sitúan cada 30 m de altura.



EXPLORACIÓN POR SUBNIVELES

Excepcionalmente se ha utilizado este método en criaderos de poca pendiente, pero su eficacia es mucho menor. Se puede emplear en criaderos verticales de poca potencia, hasta un mínimo de 7 m, con subniveles paralelos a los hastiales. En criaderos potentes pueden trazarse las cámaras en dirección perpendicular a los hastiales, como "labores de través". En general, el método básico se adapta a las condiciones de cada criadero.

Por la amplia preparación previa que necesita se precisa disponer de medios para realizar una fuerte inversión, pero en compensación es uno de los de menor costo y de

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

mayor garantía de seguridad. Hay que tener en cuenta estas condiciones al elegir el método, que, por otra parte, es de los mejores en condiciones adecuadas del macizo rocoso.

Es deseable una configuración regular del criadero, ya que la perforación y voladura con barrenos largos, que es la tendencia moderna, es poco compatible con el seguimiento de contornos irregulares

Es importante seleccionar correctamente la altura del nivel en la preparación de la mina, ya que esto influye en el tamaño óptimo de las cámaras. Esta altura oscila en este método entre 60 m y 130 m.

Puesto que en este método se crean grandes huecos, que quedan sin rellenar ni sostener y que están sometidos a los choques sísmicos causados por las grandes voladuras, el macizo rocoso debe ser estructuralmente estable. Esto requiere una alta resistencia de la roca a la compresión, unido a unas características estructurales favorables, sin juntas, fallas o planos de estratificación excesivos.

El desplome o desprendimiento de roca de un hastial puede comprometer la explotación, o al menos causar dilución en el mineral que se va a extraer. Un derrumbe de mineral a gran escala ocasiona pérdidas de subniveles y bloqueo de coladeros y cargaderos, lo que necesita un taqueo considerable. Cuando menos, se pueden cortar barrenos de voladura ya preparados, dificultando su empleo o perdiendo las cargas ya realizadas.

Es importante que se establezca bien la estructura geológica del criadero, pues de ello depende fundamentalmente la altura de pisos y el tamaño de las cámaras.

GEOMETRÍA DEL MÉTODO.

La disposición de las cámaras con relación al criadero puede ser de dos tipos: longitudinal o transversal con respecto a la dirección del mismo. La primera se aplica en criaderos cuya potencia no sobrepase la anchura posible de la cámara, o sea, alrededor de 20 m según la calidad del terreno. Cuando la potencia sobrepasa las dimensiones convenientes para la estabilidad de la cámara se pasa a la disposición de Cámaras Transversales.

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

Para evitar el desplome de la corona de la cámara, cuando el techo no es muy firme, antes de la recuperación de los pilares y para proteger sus labores y huecos de los pisos superiores de la misma, puede ser buena regla dejar un macizo de corona de la misma altura que la potencia del criadero (anchura de la cámara)

Con esta orientación longitudinal de las cámaras su longitud en dirección depende de la posibilidad de auto-sostenimiento de los hastiales. Con 100 m de altura de cámara se suele fijar de forma empírica, como primera aproximación» en 50 m.

En la disposición transversal, las cámaras se orientan de techo a muro, normalmente a la dirección del criadero, y su longitud será igual a la potencia de éste. Generalmente se limita a unos 80 m. Si la potencia es mayor se puede introducir un pilar longitudinal, que acorta la cámara y refuerza los pilares entre cámaras.

Se toma 20 m de anchura tanto para las cámaras transversales como para las longitudinales. El dimensionado de los pilares entre cámaras se realiza siguiendo el mismo método que en el caso de las explotaciones por cámaras y pilares, si bien, aquí hay que tener en cuenta las labores realizadas en el interior del pilar, que disminuyen su resistencia.

En lo que se refiere al dimensionado de las cámaras, es decir, a la distancia entre pilares, son también válidas las consideraciones que se hicieron al hablar de las explotaciones por cámaras y pilares. En todo caso, las condiciones locales del terreno son de influencia decisiva y sus indicaciones deben tenerse en cuenta, extremando la prudencia en las dimensiones proyectadas.

Las labores se inician con una galería de cabeza y otra de base seguidas de subniveles a intervalos en toda la altura de la cámara. En el extremo previsto de la mina se abre una chimenea, y desde ella, una roza a todo lo ancho y alto de la masa mineral que ocupará la futura cámara, y con unos 4 m de espesor. Simultáneamente, se preparan las labores inferiores desde la galería de base, que forman los cargaderos.

El arranque se realiza desde los subniveles con voladuras adecuadas, que desprenden rebanadas verticales del frente de la cámara, con salida inicial hacia la roza previamente preparada, desplomándose el mineral sobre las tolvas o embudos

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

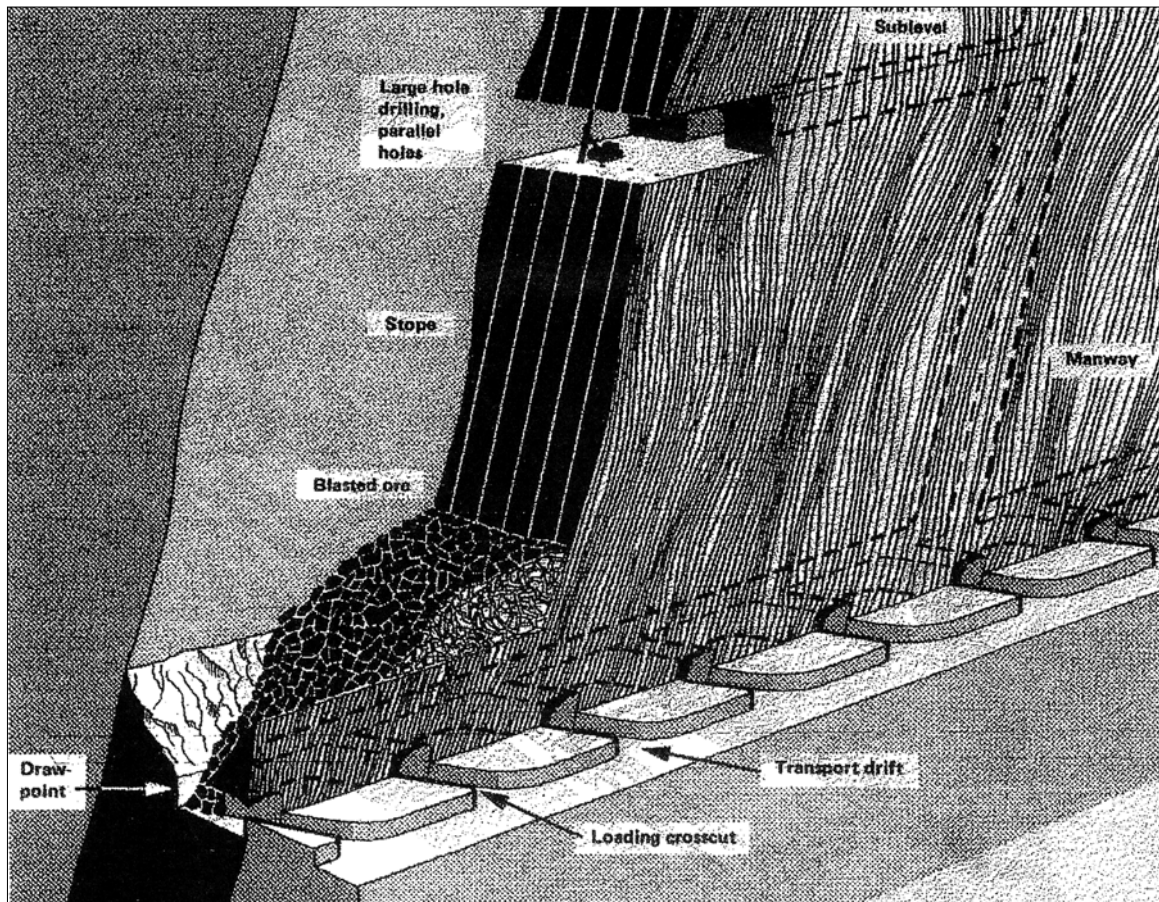
del fondo. La disposición de los barrenos para esta voladura caracteriza dos variantes del método:

A) ARRANQUE DE BANQUEO CON BARRENOS PARALELOS.

En criaderos verticales este sistema tiene la ventaja de poder dar un espaciado uniforme a los barrenos con unas condiciones ideales de distribución de energía y de rotura.

CAMARAS POR SUBNIVELES (Banqueo Vertical)

- Ensanche del subnivel hasta la anchura de la cámara
 - Barrenos paralelos de hasta 165 mm. Perforación con martillo en fondo
 - Cargas espaciadas y secuenciadas para reducir vibraciones



EXPLORACIÓN POR SUBNIVELES CON BARRENOS EN PARALELO

La cámara en su conjunto se prepara como se ha expuesto anteriormente. Una vez abierta la roza frontal, para iniciar el arranque, y comenzando por el subnivel más bajo, se prepara una cornisa en cada subnivel y a todo lo ancho del frente de arranque,

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

como se ve en la figura anterior. Desde estas cornisas se perfora con barrenos paralelos descendentes, que después se vuelan. La voladura se comienza por abajo y se hace en orden ascendente subnivel a subnivel. La distancia entre subniveles varía entre 6 m y 20 m y el personal ha de trabajar con cinturones de seguridad.

En la actualidad este método ha sido sustituido con ventaja por el de "Banqueo con grandes barrenos" y por ello se emplea cada vez menos y sólo en casos muy especiales.

B) ARRANQUE CON BARRENOS EN ABANICO.

CAMARAS POR SUBNIVELES (Barrenos en abanico)

- Barrenos de 51-102 mm. de diámetro perforados con martillo en cabeza
- Carga neumática mecanizada del explosivo

En este sistema se pueden perforar los barrenos, según el esquema de abanico, con la seguridad que da perforarlo dentro de la galería del nivel. Así puede llevarse la perforación tan adelantada como se quiera, limitada sólo por el riesgo de perder barrenos por los desplomes de roca al avanzar la labor.

La distancia entre subniveles depende, entre otros factores, de la posibilidad de controlar la dirección de los barrenos para asegurar un "espaciado" y "piedra" correctos en los fondos extremos de los mismos. Esta tecnología progresa constantemente.

Normalmente se comienza la voladura por los subniveles más bajos, pero preparando la perforación y carga de todos los barrenos antes de iniciar la voladura. Se suelen perforar hasta seis abanicos en cada subnivel, volándose sólo los tres primeros de una vez; algunas veces se vuelan de uno en uno, para examinar su efecto.

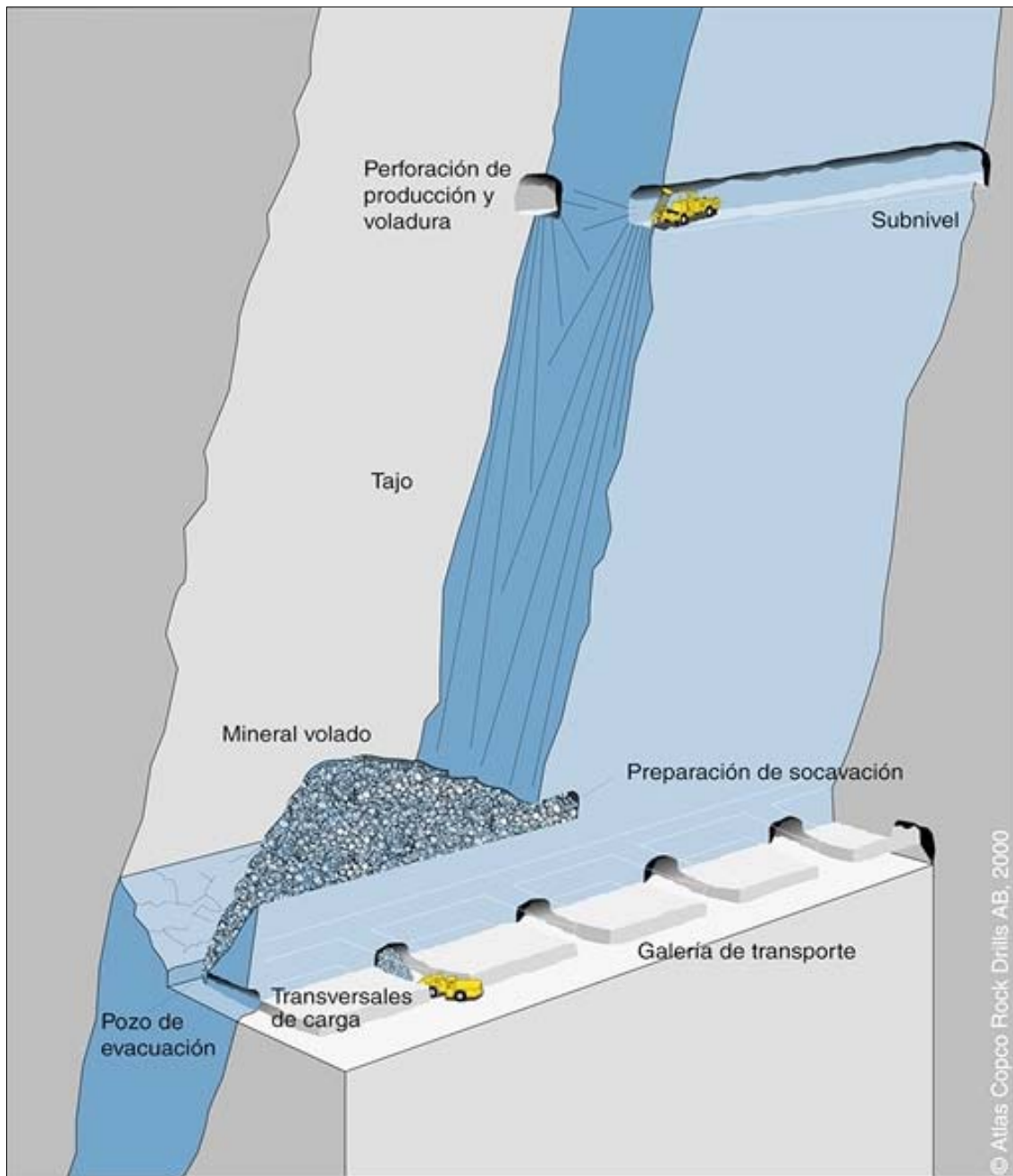
El diseño del abanico es de gran importancia para conseguir buena fragmentación y un máximo de recuperación. Los parámetros que hay que tener en cuenta son:

- Longitud de perforación óptima: de 20 m a 24 m pasados los cuales se hace más difícil el control de la desviación de los barrenos.
- Fragmentación: puede lograrse reduciendo la "piedra" o el "espaciado" de los barrenos.

La primera varía entre 1,6 m. y 3,3 m y lo mismo el "espaciado" de los fondos de los barrenos. Una buena fragmentación evita el taqueo. Se suelen volar varios abanicos,

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

que se separan de 3 a 5 m según la calidad del mineral y el diámetro de los barrenos, empleando micro retardos.



EXPLOTACIÓN POR SUBNIVELES CON BARRENOS EN ABANICO DESDE 2 GALERIAS

- La distancia entre niveles y el ancho de la cámara influyen en la disposición del abanico y en el número de barrenos. Aunque también la influencia puede ser inversa, pues la magnitud de los barrenos puede determinar la distancia entre niveles y el número de los mismos.
- También los barrenos largos de cada abanico pueden entrecruzarse con los del siguiente, para mejorar la fragmentación.

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

- La presencia de estratos, juntas y fallas, puede ayudar ó estorbar y debe tenerse en cuenta.
- Es indispensable el empleo de detonadores de retardo en la voladura, empezando en el abanico por el barreno vertical; en cámara estrecha se consume más explosivo por tonelada para la misma fragmentación.
- Terminado el arranque del macizo de la cámara, se perforan los macizos y pilares de entresijos y entre cámaras con barrenos profundos y se vuelan para recuperarlos.

Ventajas e inconvenientes.

Las ventajas de este método, sobre todo en su primera variante, son:

- El trabajo es continuo, sin interrupción para rellenar.
- El costo por tonelada es bajo y exige poca mano de obra.
- La relación de la producción a la preparación es alta.
- Hay gran seguridad para el personal (no tiene que entrar en la cámara).
- La ventilación es buena.
- La conservación es mínima.
- Toda la maquinaria se recupera -al terminar cada cámara.

Los inconvenientes más señalados son:

- No es posible la explotación selectiva. La ley medía necesaria hay que mantenerla combinando el arranque de varias cámaras.
- Es necesario un servicio de mantenimiento de equipos riguroso y por ello caro. El servicio de mantenimiento es más caro que el de producción.

CÁMARAS BARRENOS LARGOS PARALELOS DE BANQUEO

En esta variante se suprimen los subniveles, y las cámaras se preparan a partir de las dos galerías de cabeza y base de explotación, entre las que se perfora una chimenea de comunicación en la pared frontal prevista en la cámara. En estas galerías de cabeza y base se practica un realce de unos 4 m y se ensanchan hasta la dimensión que se haya previsto para la cámara. A continuación se inician las voladuras alrededor de la chimenea, empleada como cuele, para dejar preparado el frente de arranque de la cámara. Queda así individualizado el bloque de mineral de la cámara, limitado por dos rozas o espacios abiertos, en cabeza y base, de 4 m de alta y, el largo y ancho que se dimensione para la cámara, y por el frente con una roza vertical con un espesor de 2 m a 3 m , el ancho de cámara y la altura del nivel. Así queda el frente en forma de banco, cuya altura depende de las dimensiones de la cámara y de las posibilidades de

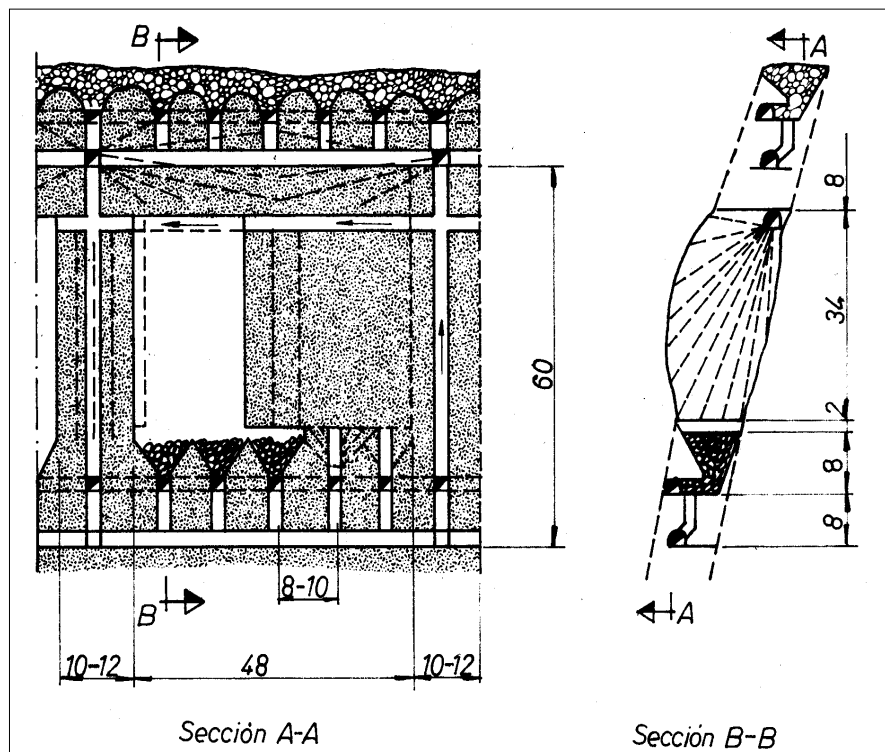
FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

perforación de los barrenos. En el estado actual de la tecnología se consideran los 60 m como la altura máxima óptima.

Una vez preparado el banco, se perforan los barrenos con diámetros de 115 mm a 200 mm, y longitud entre 50 m y 90 m, aunque el óptimo máximo es de 60 m. La voladura comienza alrededor de la chimenea inicial, empleada como cuele; después se sigue hasta completar la roza que sirve de salida a los tiros de banqueo.

En relación con el proceso de fragmentación, el estudio de la voladura debe perseguir dos objetivos: reducir el costo de producción y minimizar los daños producidos por la voladura.

El proceso de carga, quebrantado y transporte puede seguirse de dos maneras. En una se utiliza una máquina grande L.H.D., que carga, transporta el mineral a la estación de quebrantado y descarga en ella. Otra variante consiste en cargar con pala pequeña y descargar en un transportador en la misma cámara. Este lleva el mineral bruto al quebrantador.



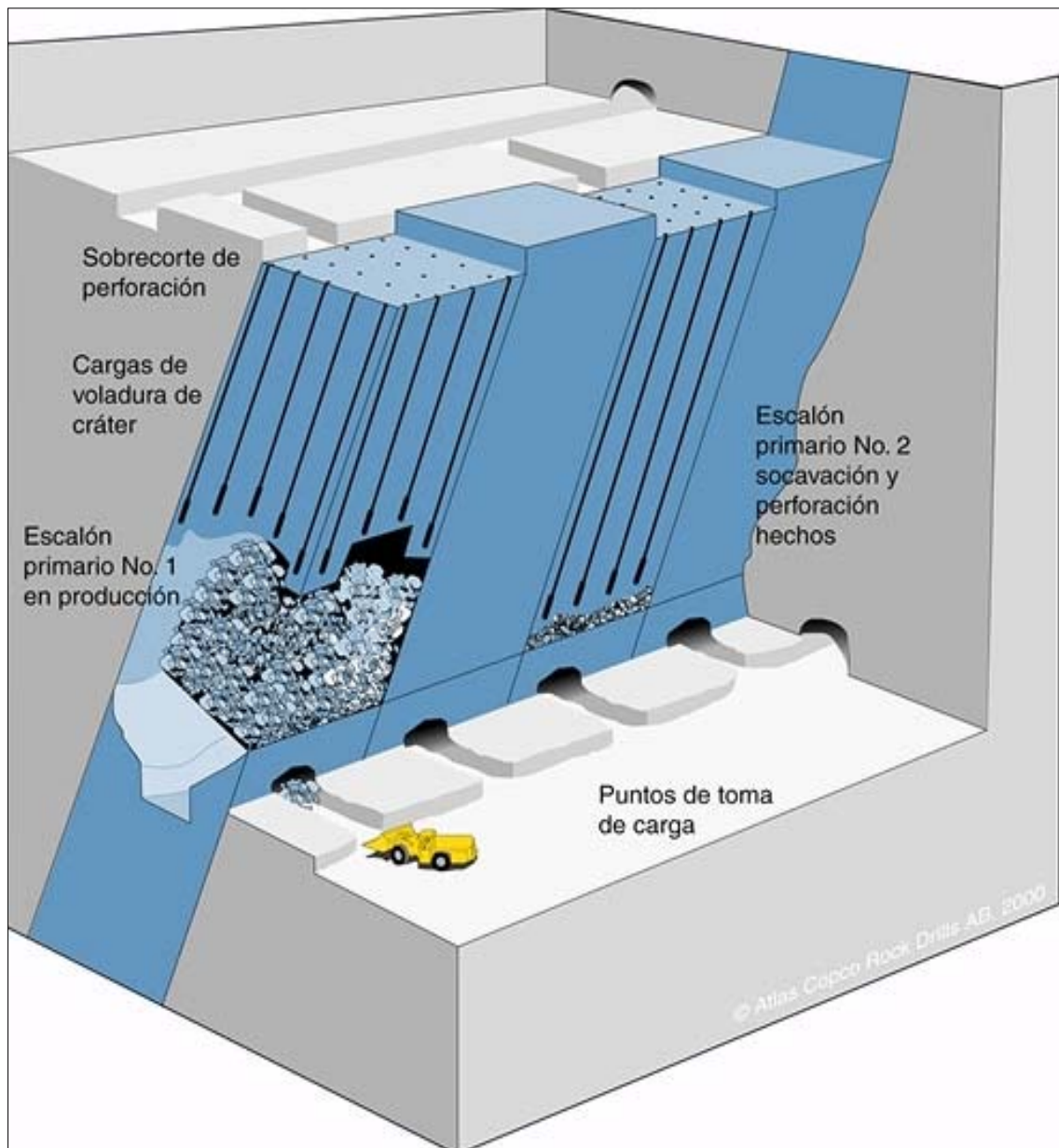
Tiros largos en abanico

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

Una variante de este método cuando no es conveniente ni posible delimitar bloques prismáticos de mineral consiste en aplicar los tiros largos en abanico, como se ve en la figura siguiente, siendo por lo demás el diseño similar al de los tiros largos paralelos. Como se ha dicho, la ventaja principal de estos métodos es la supresión de los subniveles.

CÁMARAS CON BARRENOS LARGOS EN CRÁTER (Vertical Crater Retreat, VCR).

Esta variante es conocida como método de cámaras V.C.R., que puede traducirse por "Cámaras con Voladuras Cráter en retirada ascendente".



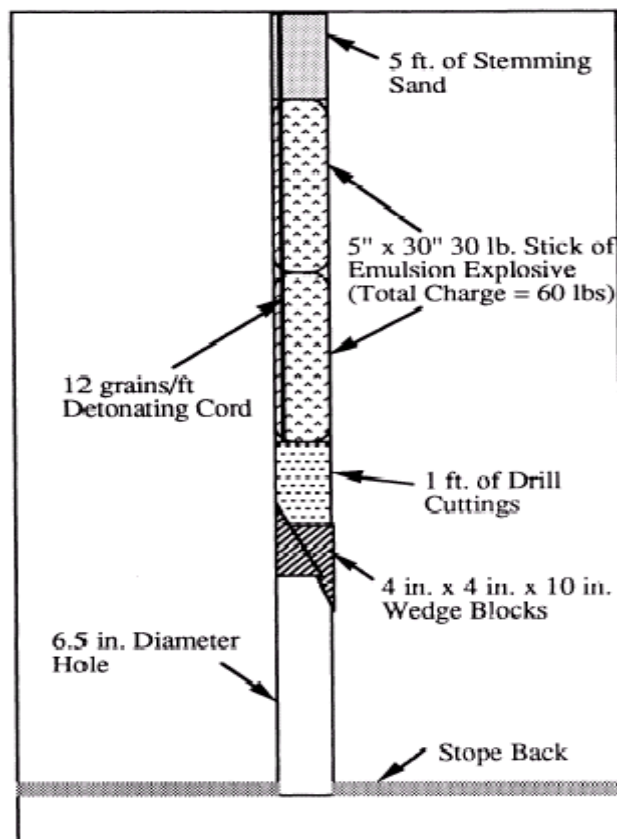
CÁMARAS POR BARRENOS LARGOS EN CRATER

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

La geometría del método es igual al caso anterior sin subniveles, y se empieza por delimitar un bloque del criadero entre dos galerías de base y cabeza que se realizan a 4 m y se ensanchan hasta completar el ancho de la cámara (normalmente la potencia del criadero) Estas galerías se enlazan con la estructura general de la mina, y permiten por su altura el paso de las grandes perforadoras y cargadoras.

Desde el hueco de cabeza se perfora una malla de barrenos a través del bloque de mineral; las mallas están dispuestas en muchos casos en cuadrados de 2,4 m a 3 m de lado, con diámetros de 165 mm.(6,5 in), hasta comunicar con la roza de base. La longitud de los barrenos, igual a la altura del bloque, oscila entre 40 m y 52 m y depende de la posibilidad de perforar sin que los barrenos se desvíen sensiblemente.

Para la voladura se aplica la técnica de las cargas de explosivo esféricas que, teóricamente, son las que producen el cráter más eficaz; en la práctica se ha demostrado que equivalen estas cargas a las cilíndricas con una relación 1/6 entre diámetro y altura de carga.



Normalmente las cámaras tienen una sección de 60 m x 10 m (aunque pueden llegar a 150 m x 30 m) y la altura, antes indicada, entre 48 y 60 m.

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

En cada voladura se arranca una rebanada horizontal del bloque mineral, de unos 4 m de espesor, a partir del cielo o corona del hueco inferior. El mineral arrancado cae al fondo de la cámara, desde la que se carga con máquinas L.H.D. por recortes que enlazan con las galerías de transporte.

Para la carga de los barrenos se opera del modo siguiente:

- Se mide la profundidad del barreno desde arriba.
- Se tapona el fondo con cuñas y se sella con tierra impermeable.
- Se carga el explosivo de hidrogel, con un cebo apropiado unido a un cordón detonante.
- El centro de gravedad de la carga debe estar a 1,80 m aproximadamente del fondo del barreno, dependiendo del diámetro.
- Se retaca con 2 m de arena y grava.
- Se coloca el retardo cero en el centro, y los demás siguiendo el esquema hasta los hastiales y fondos.
- Se da la pega.

El cálculo y la disposición de la perforación de voladura deberá ser extremadamente cuidadoso y medido. Para el cálculo de la voladura por cráter se emplea la fórmula de

$$\text{ASH:} \quad B = K_b \cdot \left(\frac{d_S}{d_R}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\gamma_E \cdot V_E^2}{\gamma_S \cdot V_S^2}\right)^{1/3} \cdot D_e$$

Dónde:

$$B = K_b \cdot D_e \text{ (m)}$$

$$K_b \approx 30 \text{ (varía entre 14 y 40)}$$

$$B = \text{piedra (m)}$$

$$D_e = \text{diámetro del barreno (m)}$$

El valor de B se ajusta en función del tipo de roca y del tipo de explosivo

$$D_S = \text{densidad de la roca estandar} = 2,5$$

$$D_R = \text{densidad real de la roca}$$

$$\gamma_S = \text{densidad del explosivo estandar}$$

$$\gamma_E = \text{densidad del explosivo real}$$

$$V_S = \text{velocidad de detonación del explosivo estandar}$$

$$V_E = \text{velocidad de detonación del explosivo real.}$$

$$\text{Se toma } \gamma_S \cdot V_S^2 = 66,5 \cdot 10^6 \text{ (kg/m.s}^2\text{)}$$

El mineral volado debe sacarse en parte para hacer sitio a la voladura siguiente y el resto queda almacenado para contrarrestar la tensión de los hastiales.

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

Ventajas del método V.C.R.

- Elimina la preparación de la chimenea y la roza frontal.
- Mejora la fragmentación.
- Reduce la dilución del mineral.
- Puede aplicarse en criaderos que no aguantan el banqueo.

CÁMARAS ALMACÉN (Shrinkage stopes)

Este método es apropiado para filones verticales, con no mucha potencia y con suficiente regularidad y estabilidad de hastiales para permitir la caída por gravedad del mineral. El criadero debe tener unas características geométricas análogas a las necesarias para los métodos de subniveles. Se trata de un método de transición.

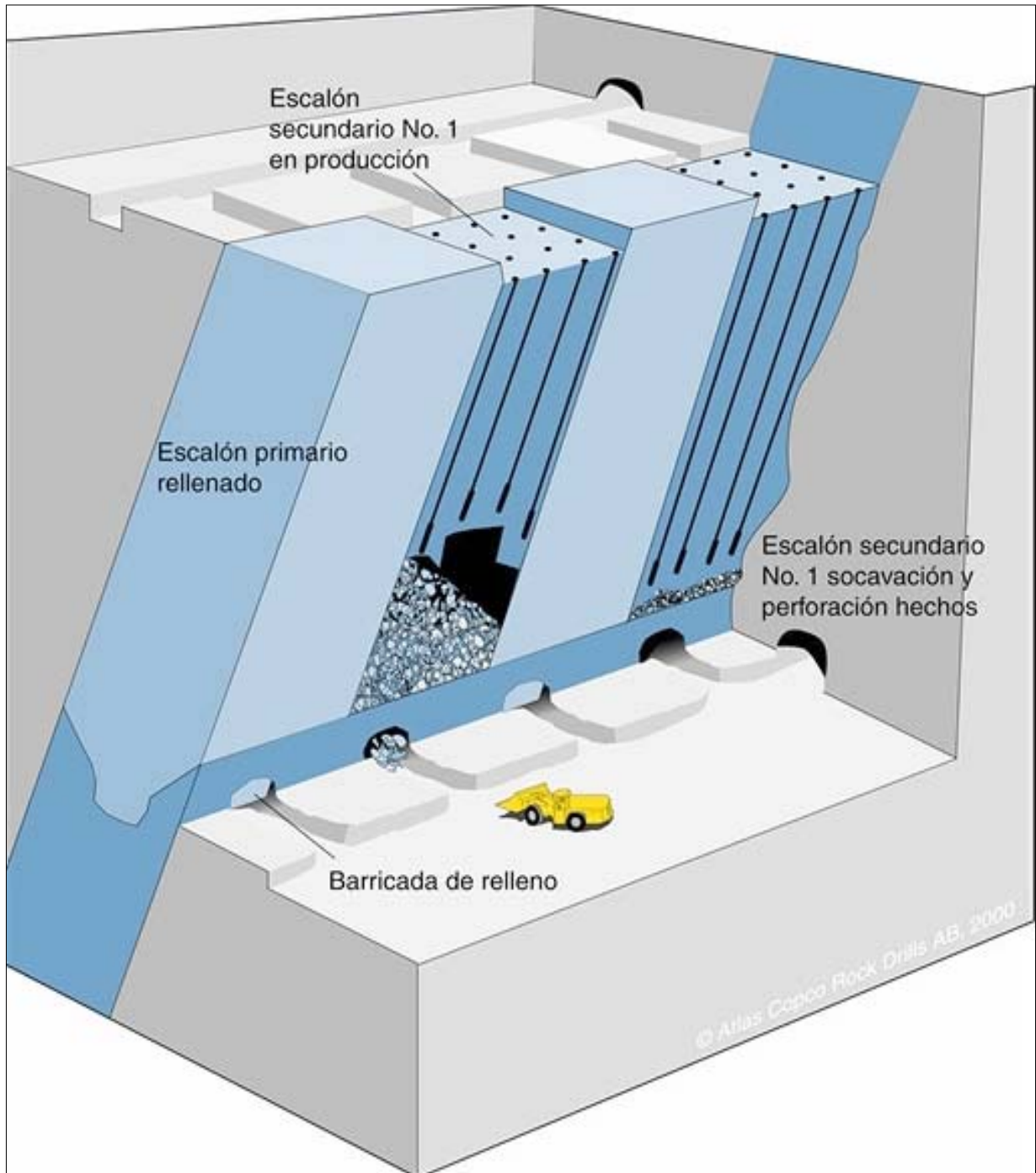
Se utiliza como sostenimiento el propio mineral arrancado, que se deja en la cámara y a esto debe su nombre. Cuando la superficie de la roca queda expuesta a la meteorización, se disgrega y afloja y con los trabajos mineros se inducen tensiones en ella. Si la roca en la que se abre la cámara es de consistencia media se desprenderán lisos o bloques, pero si se va rellenando la cámara con el mineral arrancado se frena el despegue de la roca y no cae. Sin embargo, las cámaras almacén no deben emplearse en el caso de hastiales con rocas friables porque pueden presionar sobre el mineral arrancado y dificultar su salida en la carga. Al quebrantar el mineral virgen con la voladura, los fragmentos ocupan mayor volumen que in situ. Esta expansión se conoce como índice de esponjamiento y suele variar de 1,3 a 1,5, (lo que quiere decir que el volumen se incrementa entre el 30% y el 50%), según el grado de fragmentación.

Según la potencia del criadero o anchura de cámara se pueden adoptar cuatro formas de geometría de la base de la cámara; En la primera a) se suprimen los macizos de la galería de base y el mineral se carga sobre una encamada de madera, reforzada por entibación (para ello la potencia tiene que ser pequeña). En la segunda b) y con potencias mayores se suprime la entibación y se abren embudos en el macizo de galería.

En el caso de producirse bloques grandes que se deben taquear se emplean unas sobreguías de taqueo entre la guía y la explotación. El intervalo práctico conveniente entre cargaderos es de 8 m a 10 m, lo cual permite una carga en buenas condiciones y también un piso de trabajo llano sobre el mineral almacenado. Para iniciar la preparación de la explotación se empieza por perforar una chimenea en el centro de la

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

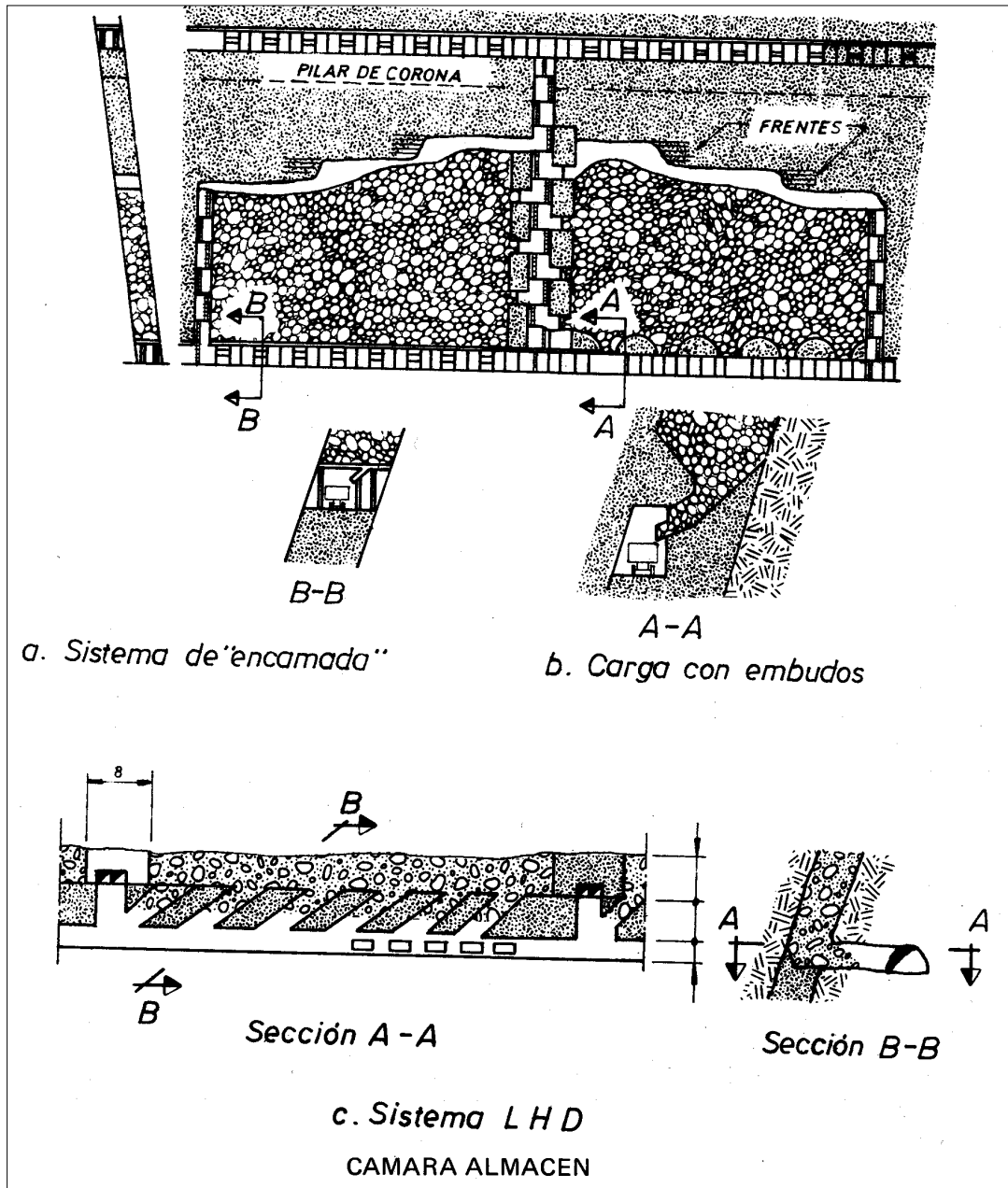
futura cámara y otra en el centro de los macizos laterales de separación entre cámaras y estas chimeneas sirven también para la ventilación. Otras veces, se monta dentro de la cámara, entre el mineral en la parte del muro, coladeros entubados cada 45 ó 60 m, para paso de personal y entrada de aire y se puede también utilizar ventiladores auxiliares para forzar la ventilación del aire en la cámara. Otras veces se preparan sólo las chimeneas extremas.



Cámaras almacén

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

Con hastiales y techos apropiados se ha llegado a anchuras de cámaras de 25 m pero en estos casos debe considerarse la conveniencia de utilizar los métodos por tiros largos. A veces en filones anchos las cámaras se abren en dirección transversal al filón. Cada cámara se separa de la adyacente por un pilar de mineral virgen, para reducir la luz o vano excesivo de las mismas.



El mineral se arranca a lo largo de la cámara por rebanadas en realces sucesivos de 2 a 3,5 m de altura y con el ancho de la cámara, con barrenos horizontales o verticales de 3 a 4 m de largo; con estos últimos, pueden perforarse más metros y dar unas voladuras de mayor tonelaje, utilizando retardos para el encendido de las mismas;

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

además, son independientes los ciclos de perforación y voladura. El mineral arrancado sirve de piso de trabajo.

El ciclo de explotación consiste en perforar, volar, cargar y bulonar, acompañado por una extracción parcial periódica de mineral arrancado, ya que después de cada voladura el mineral llena todo el hueco de la cámara y hay que sacar el 40 por ciento del mismo por los cargaderos inferiores hasta recuperar un nuevo espacio vacío libre de 2 m entre el mineral arrancado y la corona virgen, que se perfora de nuevo. Si el mineral se vuela con barrenos horizontales, es preciso cargarlo antes de cada voladura. El mineral que queda en la cámara se mantiene a un nivel que permita su uso como piso de trabajo para cada realce, hasta que se alcance el nivel del pilar de corona.

En ese momento empieza la operación de vaciar todo el mineral almacenado. Debe calcularse la cantidad de mineral a extraer puesto que si se descarga en exceso será preciso montar sobre el piso de mineral almacenado andamios para que los martillos perforadores alcancen la corona. A veces puede parecer que el piso está a la altura correcta, como consecuencia de tener un hueco debajo en el interior del mineral arrancado pero si este hueco se hunde puede atrapar a algún minero en su desplome.

Para que sean satisfactorios los almacenamientos en la cámara, el mineral debe descender libremente. Un material arcilloso o demasiado fino puede originar cuelgues. Pueden taquearse desde arriba para eliminarlos, pero suele ser difícil hacerlo; además, el mineral no debe compactarse ni provocar fuegos subterráneos o deterioros en su almacenamiento en la cámara.

En algunos casos, la extracción periódica por los cargaderos de base aumenta los riesgos de accidente y la dilución del mineral por deterioro de los hastiales. Para evitarlo se puede dejar en el interior del mineral almacenado unos coladeros entubados, por donde se extrae el mineral sobrante.

En algún caso se dejan pilares ocasionales en las cámaras almacén cuando los hastiales son falsos y en otros casos cuando la mineralización disminuye mucho o desaparece, porque resultaría antieconómico arrancarlos; estos pilares ocasionales proporcionan un sostenimiento adicional. Cuando se abandonan estos pilares deben aguzarse en su parte superior, dejándolos con dos taludes de 50° a 60° para que el mineral al caer resbale con facilidad y no se formen cuelgues sobre ellos. También

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

puede emplearse bulones para zonas débiles de los hastiales, con el fin de evitar que se desprendan trozos de roca y ensucien el mineral.

Una vez que el arranque ha llegado hasta el pilar de corona del nivel superior, se descarga el mineral almacenado hasta vaciar la cámara. Los costados bajo el macizo de corona pueden bulonarse para aumentar su estabilidad y evitar que se hundan antes de vaciar de mineral la cámara. Para evitar el exceso de polvo en los cargaderos de mineral, antes de vaciar la cámara, se instalan riegos de agua pulverizada. También puede volarse el macizo de corona de la cámara antes de abandonarla, y hundirlo a todo lo largo. Si además se procede a volar con barrenos en abanico los pilares entre cámaras el conjunto puede considerarse un bloque hundido. Puede ser éste el camino para ensayar o iniciar un método de hundimiento por bloques.

En las voladuras se pueden producir bloques de mineral que sobrepasen el tamaño conveniente al transporte. Se pueden dar tres casos: que la carga sea de salida libre, sin coladeros, en cuyo caso se tritura en la estación correspondiente. Pero en los demás casos hay que taquearlas, parte en la cámara de arranque y sobre todo, en un nivel de taqueo en el que se mueve el mineral con raspas o arrobaderas (Scraper).

Estas labores encarecen la preparación y por ello lo normal hoy es la disposición c) en que se deja caer libremente el mineral y su propio talud regula la carga con L.H.D.

Las ventajas de las cámaras almacén son:

- En condiciones apropiadas pueden ser más baratas que el método de corte y relleno.
- El mineral almacenado actúa como piso de trabajo, incluso para andamiar en el arranque.
- La perforación y voladura en las cámaras almacén son más eficaces que en el método de rebanadas rellenas, pues no es un trabajo cíclico como en éste.
- No hay coladeros dentro de la cámara ni, por tanto, trabajos de conservación de los mismos.
- No hay que mover el mineral durante la explotación, aunque, a veces, hay que rastrearlo para nivelar las plataformas de trabajo de las perforadoras móviles.

Los inconvenientes son:

- La corona y costados de la cámara deben ser sanos y firmes. La pendiente ideal es la vertical, pero se considera aplicable hasta 50°.

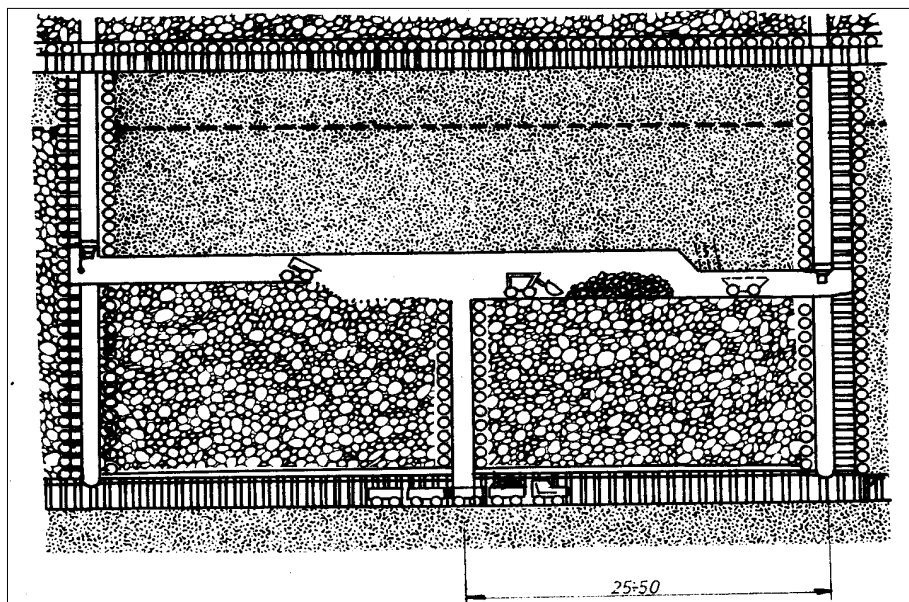
FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

- En algunos casos es difícil dejar el muro al descubierto, ya que habría que producir irregularidades en el mismo que pueden ser causas de "huecos colgados" al retener el mineral; por ello hay necesidad de abandonar algo de mineral o franquear parte de roca del hastial, según las circunstancias.
- Las rocas que se desprenden de los hastiales ensucian el mineral. El mineral está sujeto a oxidación en la cámara, lo que puede ocasionar dificultades en la flotación y también producir fuegos si el contenido en azufre es suficiente.

MÉTODO DE CORTE Y RELLENO

CORTE Y RELLENO ASCENDENTE. (Cut and fill)

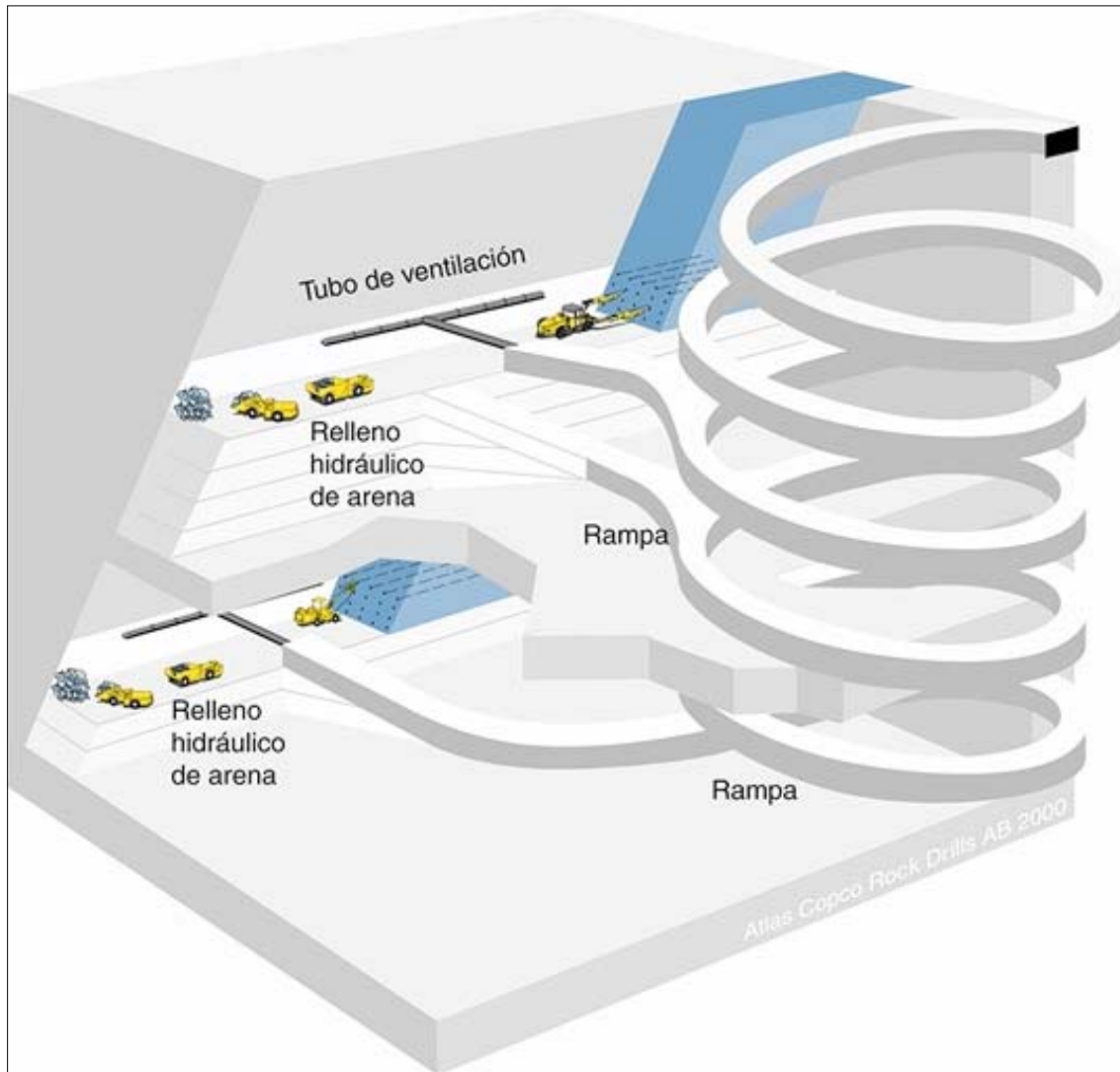
En este método el mineral se arranca en rebanadas sucesivas horizontales o inclinadas trabajando en sentido ascendente desde la galería de base, como en las cámaras almacén. Sin embargo el mineral se saca a medida que se arranca y el hueco que se produce al sacar el mineral se rellena con estériles siguiendo el frente a una distancia mayor o menor según los casos, o bien, sólo se empieza el relleno cuando se completa el arranque de una rebanada. Entre el relleno y la corona virgen del mineral se deja un hueco suficiente para que se pueda trabajar sobre el relleno en la perforación de la rebanada siguiente sin dificultades. Este ciclo repetido de perforación, voladura, carga y relleno es lo característico del método.



Método de corte y relleno

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

El relleno sirve, en primer lugar, para sostener las paredes o hastiales de la cámara.

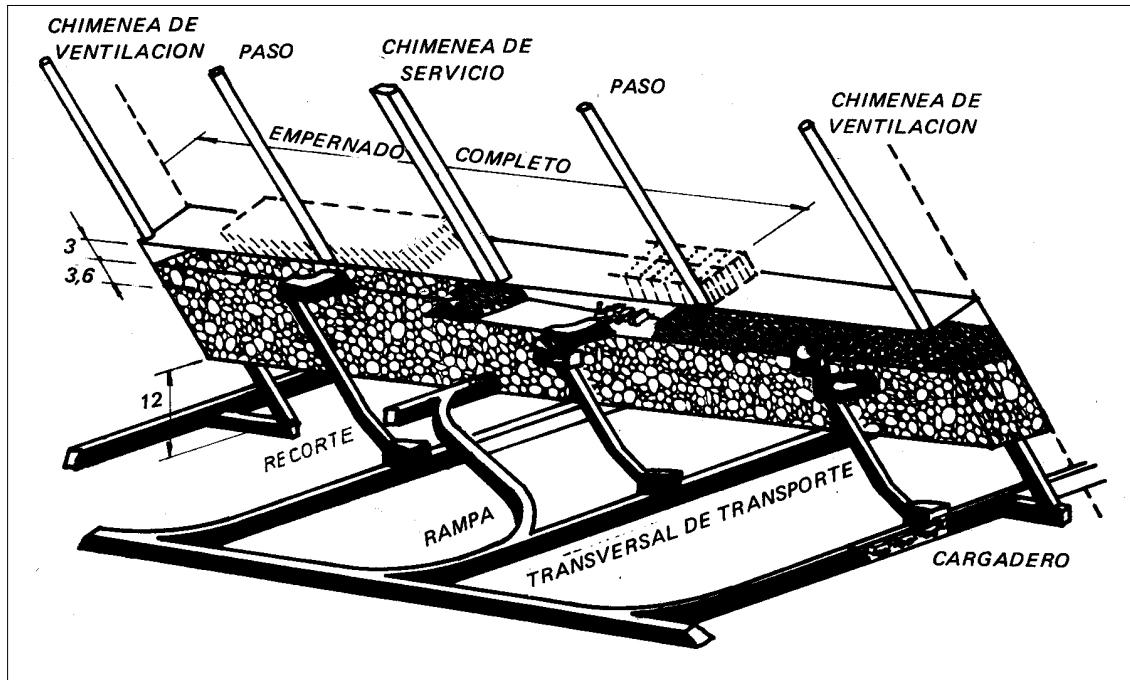


CORTE Y RELLENO

En minas pequeñas el relleno puede proceder de los estériles producidos por el arranque de la cámara o por las labores preparatorias generales de la mina y, en caso necesario, de labores especiales realizadas con este fin. En trabajos mineros de más importancia el relleno se compone arena, grava o estériles del lavadero deslodados.

Para evitar desprendimientos de rocas en zonas falsas localizadas, se emplean castilletes, estemples y bulones como complemento del relleno.

Este método es uno de los más extendidos en la minería metálica moderna y se considera como una alternativa del método de subniveles, que se prefiere cuando puede emplearse por las características resistentes de los hastiales y del mineral.



Los mismos equipos de perforación pueden emplearse con el corte y relleno y en los subniveles. Incluso puede proyectarse un método de corte y relleno y si, al ponerlo en práctica, se comprueba que las propiedades de resistencia del macizo rocoso del criadero son buenas, se puede cambiar el método a subniveles.

El corte y relleno es el método de explotación más flexible de todos, ya que puede aplicarse a casi todo tipo de criaderos; la utilización de esterones de tejidos apropiados, que sirven para recubrir los pilares y contener el relleno, o bien el empleo de una ligera dosis de cemento para que el relleno fragüe, permite estabilizar éste y consiguen la recuperación del mineral de los pilares.

Si la mineralización es arrosariada o desigual, pueden agruparse económicamente las zonas pobres y ricas diseñando las cámaras adecuadamente, con lo que puede realizarse una explotación selectiva. El relleno evita los hundimientos de grandes proporciones al iniciar explotaciones debajo de pisos ya arrancados. La disposición de los coladeros, piqueras y chimeneas de ventilación, permite contar siempre con pasos suficientes, si alguno se interrumpiera por cualquier circunstancia.

En criaderos tabulares de fuerte pendiente y potencia pequeña o media, el mineral se arranca en dirección, montando cámaras longitudinales y con la anchura de la caja. Según la corrida del criadero, las cámaras pueden ser del mismo largo que éste o limitarse por medio de pilares de separación, que disminuyen el vano descubierto de

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

los hastiales. Cámaras de más de 20 m de anchura sólo son posibles con coronas de mineral muy resistente. Si el criadero es más ancho, se preparan las cámaras como labores de través, con el eje mayor normal a los hastiales.

El corte y relleno se emplea en criaderos irregulares de minerales ricos, con ramificaciones que penetran en el macizo rocoso que lo encaja. En estos casos será preciso franquear la roca del hastial para conseguir las secciones precisas. La roca arrancada se deja dentro de la explotación como relleno de la rebanada.

Estas rebanadas con relleno se llaman algunas veces mecanizadas, cuando se utilizan en ellas cargadoras L.H.D. (que cargan, transportan y descargan) con propulsión diesel o de aire comprimido para la carga del mineral arrancado.

Para preparar las cámaras en este método, se parte de la galería de transporte general, situada a unos 12 m - 15 m del fondo de la futura cámara; desde un recorte de esta galería se practica una rampa de acceso, que alcanzará al fondo de la cámara a la altura antes indicada, cortando entonces el criadero con un recorte de techo a muro, en lo que será el centro de la cámara. Alcanzado el muro, se sube una chimenea en mineral que enlaza la cámara con la planta de cabeza del piso superior. Esta chimenea servirá para el servicio general y tendrá suficiente sección para ello; irá provista de escalas y mecanizada con un cabestrante para las maniobras de los equipos.

También sirve como entrada de aire a la cámara, y la salida de aire se realiza por los dos extremos de la misma, por dos chimeneas de menor sección que se preparan en estos puntos y también al muro del criadero.

Los coladeros pueden dejarse entre el relleno o prepararlos al muro, separados unos 8 m a 10 m del mineral, para mayor seguridad. La ventaja principal del acceso con chimenea es que la preparación de la explotación es barata y rápida, y se puede empezar a producir muy pronto. Por contra, presenta el inconveniente de que es difícil sacar piezas grandes por chimenea, ya que las unidades grandes del equipo, como cargadoras y jumbos, quedan encerradas en la cámara. Por ello, los trabajos de preparación y mantenimiento deben realizarse dentro de la misma cámara en condiciones poco apropiadas. En caso de avería grave, no queda otra solución que desarmar la máquina y sacarla por la chimenea de servicio a los talleres.

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

Tampoco pueden variarse estos equipos de una cámara a otra y han de tener su capacidad adaptada a la producción de una sola cámara.

La práctica minera varía de una mina a otra, pero comúnmente se emplean barrenos ascendentes en las voladuras, perforados con jumbos de uno, dos o tres brazos. Los esquemas tienen 1,8 m de piedra y 1,2 m de espaciado. Se emplea NAFO, salvo que haya agua, lo que obliga a emplear algún explosivo gelatinoso.

El control de los esquemas de perforación es riguroso y además se debe pagar en función de la eficacia de la voladura. La experiencia indica que se consiguen mejores resultados con barrenos inclinados de 10° a 30° con la vertical e inclinados en dirección del avance. Así se consigue una granulometría que facilita la carga, pues el mineral entra mejor en la cargadora.

La altura media de rebanada es de 3 m - 4 m. Los bloques grandes se taquean a medida que se presentan.

Una cámara grande puede dividirse en varias conectadas entre sí como secciones de trabajo y de este modo, pueden producirse más toneladas en una misma voladura. La experiencia demuestra que es mejor arrancar desde los extremos de la cámara hacia el centro, salvo que la disposición de los planos de cruce de la masa mineral exigieran hacerlo en una dirección.

El trabajo empieza con la perforación y voladura, seguida de la carga de modo que los jumbos seguidos de las cargadoras, no queden encerrados por el montón de mineral arrancado; el relleno se coloca según las necesidades a medida que avanza el arranque. Si la resistencia de mineral y hastiales lo permite, se puede arrancar toda la rebanada y rellenarse de una sola vez.

El aire para la ventilación debe entrar por la planta inferior de la mina; cuando se dejan coladeros entre el relleno, el aire penetra por ellos, con lo que se presenta el problema de que, al secarse el relleno, el aire arrastra muchos polvos, y también que el mineral volado puede tapar esos pasos. Por ello es mejor que el aire entre por la rampa de acceso a la chimenea central y salga por las dos chimeneas perforadas en el mineral en los extremos de la cámara.

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

El relleno se compone de arena y residuos molidos del lavadero; también pueden añadirse rocas de las labores preparatorias. En la cámara se reparte con pala L.H.D. o arrobadera si es relleno seco. El relleno hidráulico se baja por la cámara y se distribuye con tuberías. La bajada puede hacerse por gravedad a través de agujeros de sondeo. Las arenas del relleno se tratan para que el tamaño menor de 10 micras no llegue al 10 por ciento, de modo que pueda drenarse el agua en la cámara con facilidad y así resulta una superficie firme sobre la que pueden trabajar los mineros y emplear la maquinaria casi inmediatamente.

El drenaje se hace por decantación y filtrado. Para ello se colocan en el relleno de cada cámara varios tubos perforados de drenaje y filtrado, recubiertos con arpillera, a través de los cuales escurre el agua. Además los accesos a la cámara se cierran a medida que sube el nivel del relleno, con cierres porosos, para que el agua pueda escurrir.

Se ha medido la convergencia producida en el hueco inicial, por la compactación del relleno con arena, y los resultados obtenidos oscilan entre 10 - 20 por ciento de la potencia.

Con objeto de facilitar la recuperación de los macizos entre cámaras, se ha ensayado el consolidar el relleno agregándole del 6 por ciento al 10 por ciento de cemento para que fragüe y alcance resistencias a la compresión de 0,7 a 1,0 MPa.

Para evitar las pérdidas y dilución del mineral por relleno, se puede lanzar una capa de cemento y arena de pocos centímetros sobre la superficie de relleno. Pero siempre penetran en él algunos trozos de mineral que habrá que recuperar, pudiendo aceptar un 5 por ciento de pérdida de mineral en el relleno. Mineros experimentados pueden rebajar estas cifras.

Los coladeros y pasos se protegen con brocales o barreras, para evitar accidentes, y se retiran al dar las voladuras. Según las características geotécnicas del mineral, se puede bulonar la corona con bulones largos cuando el macizo se aproxima a sus últimos realces; estos bulones se mezclan después con la masa mineral volada, lo que ocasiona inconvenientes en la carga y molienda. Algunas minas tienen que colocar bulones en corona como medida rutinaria de seguridad.

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

En el corte y relleno, con arranque por barrenos verticales se necesita unas dimensiones de hueco descubierto que, si la corona o los hastiales son demasiado débiles, pueden no soportarlos. En estos casos podrá emplearse la voladura con barrenos horizontales y el avance en una sola dirección.

Los barrenos horizontales pueden emplearse también para seguir las apófisis o salientes de criaderos irregulares con ley alta. En todo caso, la producción baja, y con ella el rendimiento por hombre y relevo.

El relleno de una cámara de barrenos horizontales no puede completarse hasta que se ha terminado de arrancar la rebanada; entonces se saca la maquinaria y se rellena la cámara hasta la corona. El aire de ventilación pasará por el hueco entre corona y relleno, producido por las irregularidades de la corona y el asiento del relleno; en algún caso habrá que forzar la ventilación con tuberías.

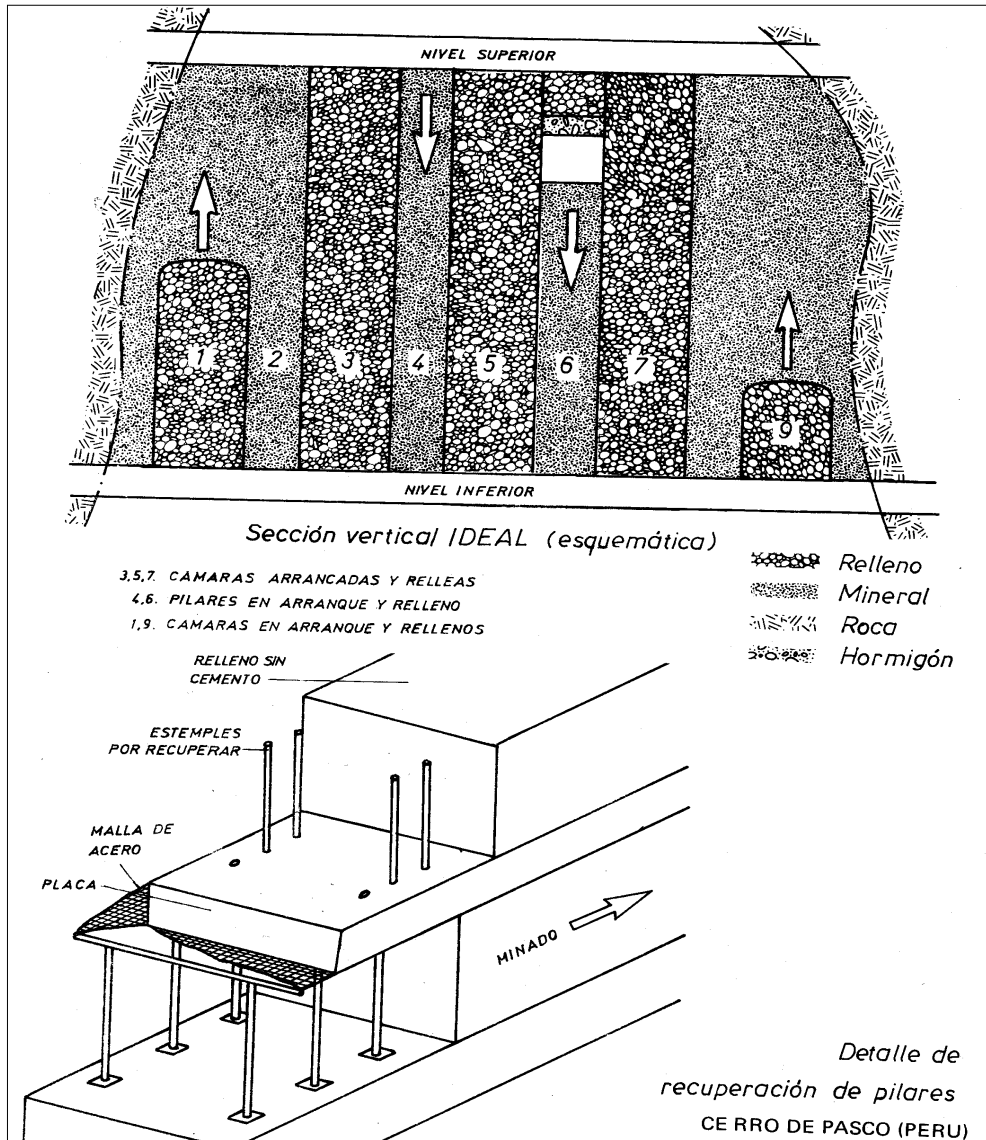
Si no se utiliza equipos mecanizados como los L.H.D. para este método, lo más corriente es utilizar el rastreo del mineral con arrobadera o scráper, llevándolo desde el frente al coladero más próximo, bien directamente o por intermedio de una "estacada" o puente; ésta puede girar alrededor del coladero y tener un recorrido de hasta 50 m en cada dirección. En este caso los coladeros entre el relleno deben ir revestidos. El relleno baja por dos chimeneas situadas en los extremos de la cámara. Sobre el relleno se coloca un piso provisional de tablas para el recorrido de la arrobadera, evitando una dilución excesiva del mineral en el relleno.

Las rebanadas rellenas son un buen método para ser empleado en la recuperación de pilares. Las ventajas del método de rebanadas rellenas son:

- Sus costos por preparación son menores que los de las Cámaras Almacén, Subniveles y barrenos largos.
- Pueden dar producción rápidamente.
- El mineral sale a medida que se arranca y con ello el capital inmovilizado es menor y se evitan los problemas de oxidación y fuegos.
- Se necesita poca mano de obra.
- La vigilancia es fácil por estar el trabajo muy concentrado-
- La seguridad es grande, sólo se trabaja en zonas que no han tenido tiempo de meteorizarse.
- La ventilación es sencilla.

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

- Existe poca dilución del mineral.
- El taqueo puede hacerse en la cámara, evitando atascos en los coladeros,
- La estabilidad en la cámara y en el conjunto de la mina es grande, gracias al relleno.
- Permite la colocación de estériles del lavadero.



Corte y relleno. Explotación ascendente y recuperación de pilares descendente.

Por el contrario, los inconvenientes son:

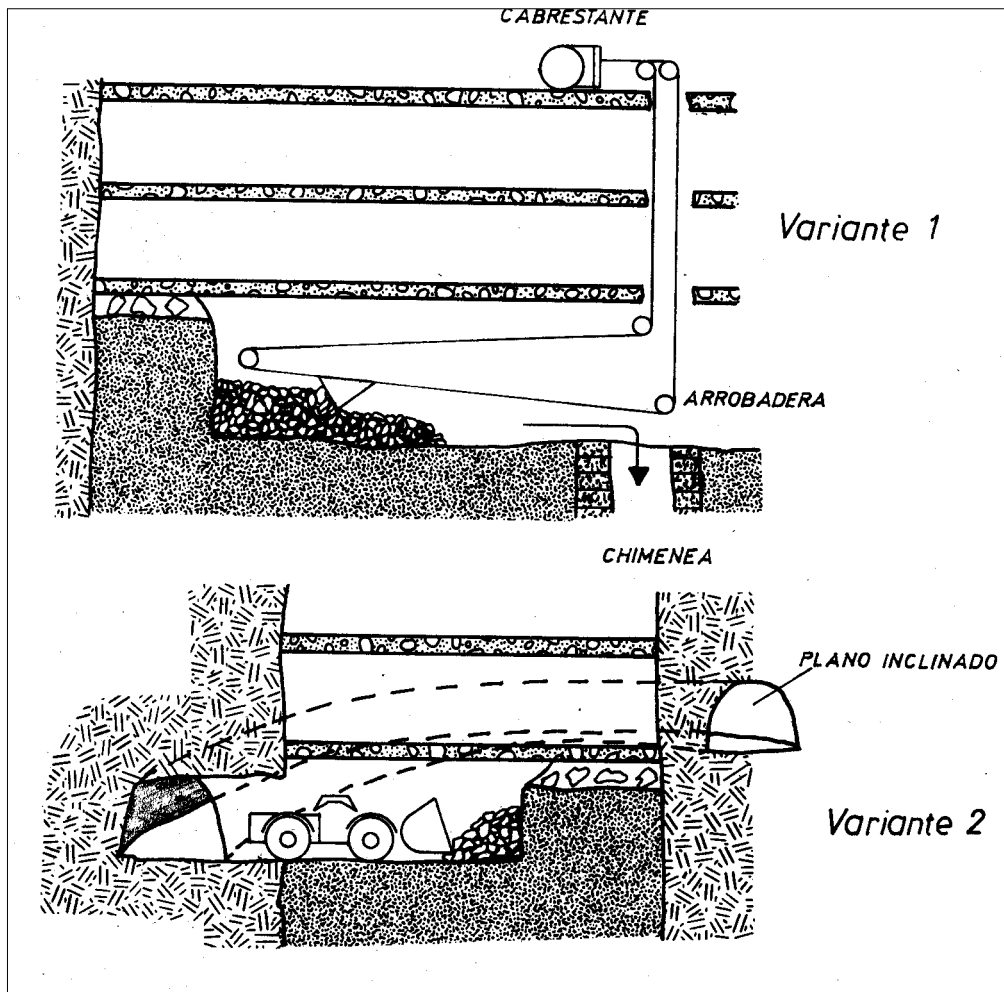
- La producción por cámara es irregular, por lo que hay que arrancar varias para compensar.
- Se necesita un buen suministro de tierras para relleno.
- Esto resulta caro, llegando al 50 por ciento del costo total.

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

- Los finos residuales del tratamiento de estériles ocasionan problemas de estabilidad de escombreras.

CORTE Y RELLENO DESCENDENTE. (Undercut and fill)

En este método el arranque se realiza en rebanadas horizontales que se rellenan colocando previamente una losa de hormigón pobre o relleno cementado que sirve de techo artificial para la rebanada siguiente. Este método sustituye al de corte y relleno ascendente en los casos de mineral falso y fracturado cuya corona puede ceder y complicar la explotación.



Corte y relleno descendente

Es un método que presenta las siguientes ventajas:

- Permite recuperar el mineral en proporción muy alta.
- Evita la inestabilidad con mineral y hastiales falsos.
- Elimina totalmente el sostenimiento de las coronas.
- Con todo ello aumenta la seguridad.

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

Una de las primeras aplicaciones de este método la realizaron los japoneses para la explotación integral de una masa mineral de sulfuros de cobre del criadero de Juroko y fue presentado por vez primera en el V Congreso Internacional de Minería.

La masa era de 800 m de corrida, 500 m de profundidad y 20 m de espesor. La ley era del 2,5 % de cobre, 1,3 % de plomo, 4,2 % de zinc y 18 % de pirita, 1gr de oro y 90 gr de plata por tonelada. El mineral y los hastiales eran poco resistentes. Además la presencia de agua hacía las condiciones de explotación difíciles.

Se dividió el yacimiento en bloques de 30 m x 20 m x 10 m (a 40 m de altura) Estaban servidas por dos piqueras en los extremos, una para personal y material y la otra para salida de mineral. Una galería inferior enlazaba las dos piqueras.

El arranque se hacía con labores de través, en forma de galerías de 3 m de ancho y 2,5 de altura, que avanzaban desde la primera galería de enlace alternando con pilares del mismo ancho. Cuando se terminaba una rebanada se preparaba en cada cámara un piso de 50 cm de hormigón armado con tela metálica sobre tablero de madera. El hormigón con 15 % de cemento más escorias y escombros sin lodos, a partes iguales. Los 2 metros restantes se rellenaban con relleno seco y sin cemento. A continuación se arrancaban y rellenaban los macizos del mismo modo. Terminada una rebanada se empezaba la inferior. El rendimiento de esta explotación llegaba a 20 t/hombre/día, lo que en aquellos tiempos era todo un record.

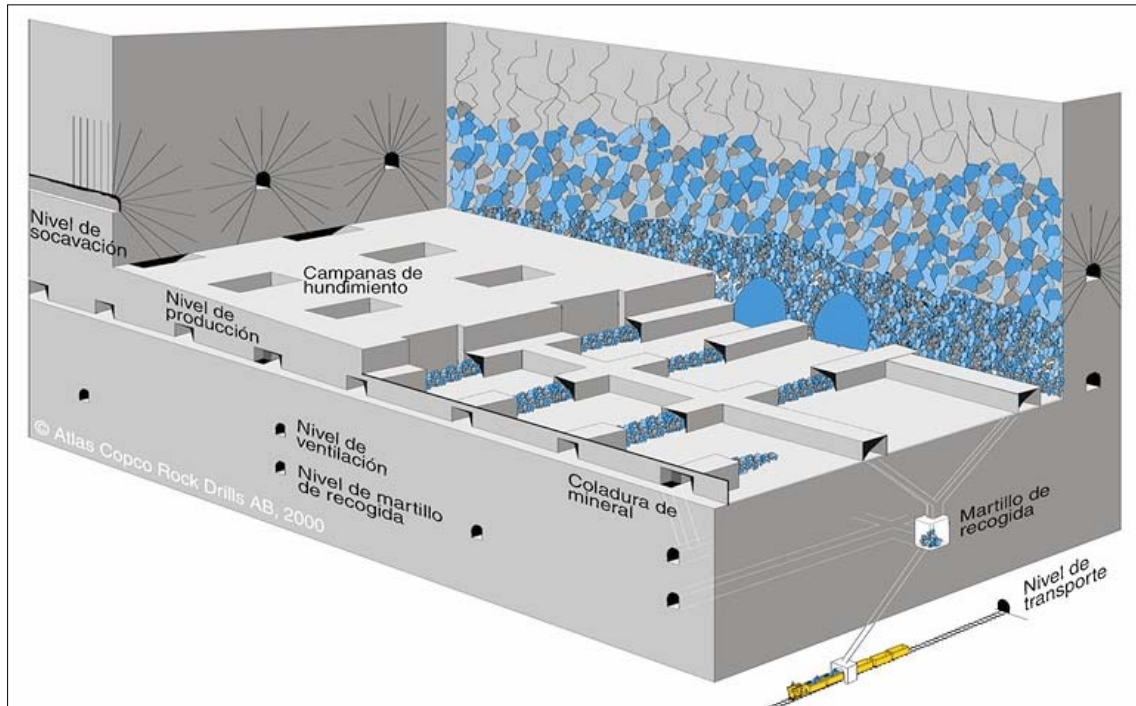
HUNDIMIENTO POR BLOQUES. (Block caving)

Este método consiste en arrancar un bloque de mineral en un criadero de grandes dimensiones por hundimiento del mineral, que se va sacando por la base del bloque.

Se empieza por dividir el criadero en grandes bloques cuya sección horizontal es generalmente superior a 1000 m². En la base se abre una gran roza horizontal, con lo que se le quita a la masa mineral su apoyo.

Se prepara la masa con una red de galerías y chimeneas entrecruzadas en el muro. La roza permite al mineral fracturarse y hundirse. La zona de fractura sube progresivamente en toda la masa. A medida que progresa el hundimiento, la fragmentación mejora, el mineral se quebranta y así puede cargarse en la base, en los numerosos puntos de carga.

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS



Esquema de hundimiento por bloques. Block Caving

El método necesita para su aplicación, además de unos criaderos muy grandes y potentes, las condiciones siguientes:

- Un mineral que hunda y fragmente naturalmente bien, una vez socavado en su base.
- Un muro bastante resistente, ya que toda la infraestructura de la explotación se perfora en él.
- Una superficie sin problemas para poderla trastornar con fuertes grietas y simas.

La aplicación más corriente de este método es en los grandes criaderos de minerales de hierro o de minerales pobres muy diseminados en zonas desérticas y aisladas.

Para la preparación del bloque a hundir se empieza por perforar una serie de galerías de carga dispuestas según un esquema regular; éstas se enlazan con la base del bloque, o con la roza, con embudos y chimeneas. Estas galerías sufrirán fuertes presiones. Todos los trabajos se deben terminar antes de cebar el hundimiento.

Durante la producción o hundimiento no se perfora, salvo para romper algún bloque de demasiado tamaño. Para conseguir recuperar bien el mineral y evitar la mezcla con

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

estériles es preciso conseguir que la superficie superior del bloque que se hunde forme un plano continuo. Para ello se necesita un control riguroso de la cantidad de mineral que se saca en cada punto de carga inferior.

La fragmentación se realiza naturalmente y los atascos pueden causar problemas muy serios y pérdidas de mineral y ensuciamiento del mismo.

En el estudio de la calidad del macizo es útil el parámetro de calidad de roca (R.Q.D.) Los ensayos en probetas para determinar la resistencia a la rotura no son tan interesantes como el conocer la condición del mineral para fragmentarse en trozos pequeños. Para ello debe estudiarse la disposición de cruceros, juntas y planos de estratificación.

No debe dejarse hueco importante entre el mineral suelto caído y el macizo que se fragmenta, pues si éste se desploma produce una verdadera explosión al comprimir el aire del hueco con una secuela de daños y víctimas.

Como el terreno está fracturado por el hundimiento es fácil que penetren en él las aguas de superficie y las de los mantos acuíferos e inunden las labores. Debe preverse una capacidad de bombeo para las máximas avenidas que puedan esperarse. Cuando se progresa en profundidad el hundimiento y los restos de los hastales van rellenando el hueco, las rocas actúan como una esponja y las escorrentías del agua de lluvia deben encauzarse en superficie.

Si existe un gran acuífero habrá que disponer bombas potentes que eleven el agua desde debajo de la base del hundimiento.

Las ventajas del método de bloques hundidos son :

- Costo de producción muy bajo; es casi tan bajo como el de las cortas.
- Una vez que el hundimiento empieza, se consigue una producción elevada.
- Pueden normalizarse las condiciones aumentando la seguridad y eficacia de trabajo.
- La frecuencia de accidentes es claramente muy baja.

Los inconvenientes son :

- La inversión de capital es grande y la preparación larga.

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

- La mezcla de mineral y estériles, así como las pérdidas de mineral elevadas.
- Hay que vigilar rigurosamente la descarga del mineral y no es fácil.
- El mineral de baja ley próximo al recubrimiento y los bordes del criadero se ensucia excesivamente si el control del hundimiento no es demasiado bueno.
- No es posible la explotación selectiva de mineral de alta y baja ley. Sólo puede extraerse todo junto.
- Como en la cámara almacén el mineral se oxida.

A este método sería interesante aplicarle la teoría del flujo por gravedad, estudiada en el método de hundimiento por subniveles, para definir todos los parámetros de diseño aunque no se ha realizado a la fecha.

HUNDIMIENTO POR TAJO LARGO. LONGWALL MINING METHOD.

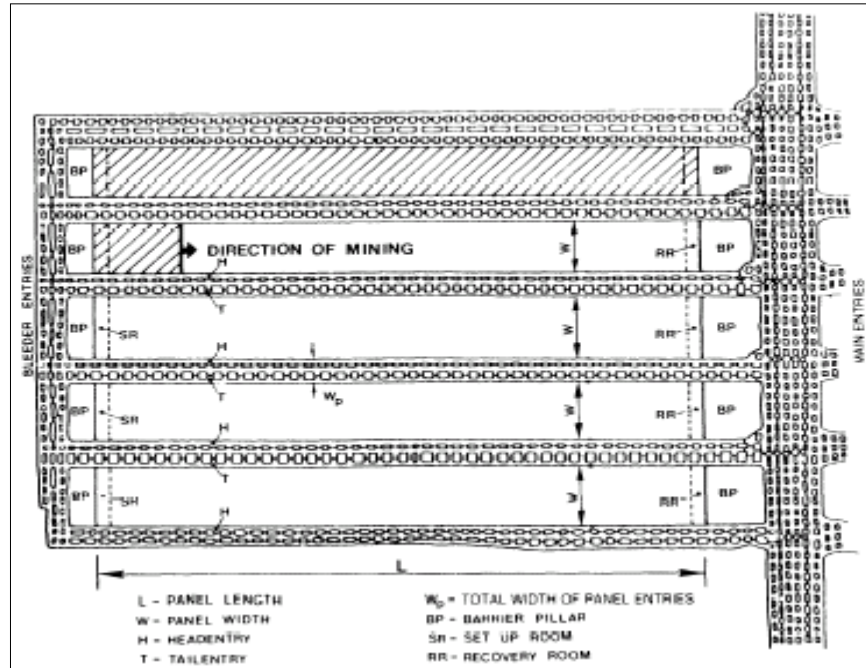
El método de tajo largo es un método de preparación sencillo y tiene la ventaja de proporcionar una producción continua con la posibilidad de una muy completa mecanización, lo cual mejora la productividad, la seguridad y la salud del personal.

La ventilación es buena y el personal trabaja en el frente siempre bajo los escudos de sostenimiento por lo que este método es incluso más seguro que el de cámaras y pilares. Como además este método incluye el hundimiento total del minado, la recuperación de carbón es mayor y la subsidencia relativamente uniforme y completa.

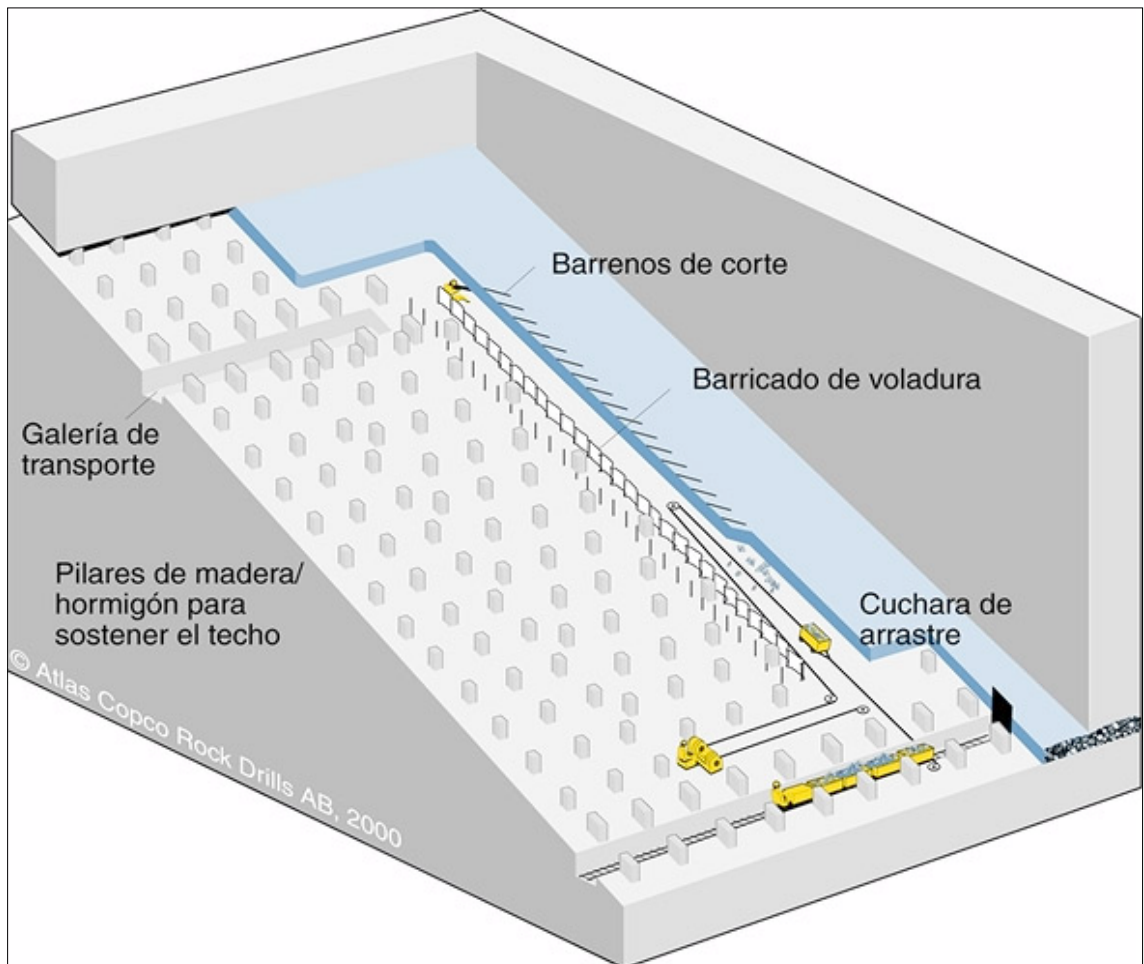
La profundidad de trabajo se sitúa entre los 60 y los 850 m. Se aplica a capas de carbón entre 1 y 4 m de potencia. A mayores potencias se divide la capa en tramos más estrechos, pero se ha llegado en Polonia a emplear rozadoras o máquinas de corte de hasta 8 m de capacidad de corte. En Inglaterra, donde nació el método y dió un gran prestigio y ventajas a la National Coal Board para su exportación a otros países como USA, China o África del Sur, se ha llegado a un diseño completamente robotizado de la explotación de lagunas capas de carbón y es aplicable a otros minerales blandos como las potasas, yesos y otros.

Las entradas al cuartel o panel son las de cabeza y cola. La entrada de cabeza se usa para la entrada de ventilación, el transporte del carbón, la entrada del personal y de los suministros, mientras que la entrada de cola se emplea para el retorno del aire,

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS



Planta de un tajo largo



Vista de un tajo largo en 3 dimensiones

El arranque se efectúa con una rozadora de la que existen varios modelos o tipos y que descarga el carbón arrancado sobre un panzer metálico que lo transporta fuera

FUNDAMENTOS DE LABOREO DE MINAS

del tajo, para transferirlo a un sistema de cintas que lo extraen fuera de la mina o hasta el pozo de extracción vertical. Se utiliza una entibación marchante hidráulica (autodesplazable) para sostener el techo del frente y se adelanta después de cada pasada de la rozadora continua. Las entradas al panel o cuartel se mantienen mediante bulonado; en la entrada de cola se ponen además una o dos filas de llaves o castilletes y en la galería de entrada también a lo largo de 30 a 150 m.

La anchura del panel está entre 100 y 300 m y la longitud entre 500 y 4000 m. Si la anchura del panel es inferior a 100 m se prefiere emplear en el arranque con minador continuo y entonces el método se llama de tajo corto.

Es evidente que la anchura del panel es muy importante, porque un tajo largo más ancho incrementará la producción de carbón. Los factores que influyen la anchura del tajo son económicos y técnicos. Desde el punto de vista económico el incremento de la anchura reducirá el número de paneles en la mina con lo que disminuirá el coste de la preparación, se incrementará la recuperación de carbón al haber menos pilares barrera, y se aumentará la producción de carbón hasta un cierto límite (anchuras de panel mayores de 300 metros tienen una influencia menor en la producción de carbón)

Desde el punto de vista técnico es posible llegar a anchuras de 300 metros con fuertes producciones; sin embargo debe tenerse en cuenta que la anchura está limitada por la potencia eléctrica requerida por el transportador blindado y los esfuerzos estructurales que tiene que soportar. Además con mayores anchuras pueden aparecer múltiples problemas de techo, alineamiento del frente etc. Con el fin de proteger las entradas al tajo y el frente inicial donde se localiza todo el equipo se dejan unos pilares barreras de unos 60 a 150 m de ancho en el sentido del avance en ambos extremos del tajo.