
MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN – SELECCIÓN DE MÉTODO



Definición

El método de explotación es la estrategia global que permite la excavación y extracción de un cuerpo mineralizado del modo técnico y económico más eficiente:

- Define los principios generales según los que se ejecutan las operaciones unitarias
- Define criterios con respecto al tratamiento de las cavidades que deja la extracción

Clasificación de Métodos

Una primera clasificación de los métodos se refiere a si la explotación se realiza siempre expuesta a la superficie o si se desarrolla a través de labores subterráneas. Así, debemos primero separar:

- Métodos de explotación a cielo abierto
- Métodos de explotación subterránea

Entre los métodos de explotación de superficie, se pueden identificar los siguientes:

- Cielo abierto, rajo abierto o tajo abierto (llamado Open Pit en inglés). Es el método que más se ve en Chile, particularmente en la explotación de yacimientos de metales básicos y preciosos.
- Canteras (llamado Quarry en inglés). Este nombre se da a la explotación de mineral que puede utilizarse directamente en aplicaciones industriales, como es el caso de la sílice, caliza y piedra de construcción.
- Lavaderos o placeres. Corresponde a la explotación de depósitos de arena en antiguos lechos de ríos o playas, con el fin de recuperar oro, piedras preciosas u otros elementos químicos valiosos.
- Otros. Existen otros métodos poco convencionales para la extracción de algunos elementos de interés, como por ejemplo la disolución, que corresponde a la extracción de azufre o sales solubles mediante la incorporación de un solvente y posterior extracción del soluto de la solución recuperada, y la minería costa afuera, para la extracción de nódulos de manganeso presentes en el fondo del océano.

En cuanto a los métodos de explotación subterráneos, se distinguen según el tratamiento que hagan de la cavidad que deja la extracción de mineral. Sin embargo, en la práctica, la explotación requiere variar y combinar los métodos presentados a continuación, dado que los depósitos raramente se ajustan exactamente a las características ideales de aplicación de alguno de los métodos.

- Métodos autosoportantes o de caserones abiertos: Corresponden a aquellos que consideran la extracción del mineral y dejar la cavidad que éste ocupaba vacía. Para ello, el caserón debe mantenerse estable en forma natural (ser autosoportante) o requerir escasos elementos de refuerzo. Estos caserones se dejan vacíos una vez que concluye la explotación.
 - Room and Pillar
 - Stope and Pillar
 - Shrinkage Stopping
 - Sublevel Stopping
 - Vertical Crater Retreat
- Métodos soportados o de caserones que requieren elementos de soporte para mantenerse estables y/o que se rellenan con algún material exógeno.
 - Cut and Fill Stopping
 - Excavation Techniques
 - Backfilling Methods
- Métodos de hundimiento, esto es, donde las cavidades generadas por el mineral extraído son rellenas con el material superpuesto (mineral, mientras dura la explotación, y estéril, una vez finalizada). El hundimiento y consecuente relleno de las cavidades se produce simultáneamente a la extracción del mineral.
 - Longwall Mining
 - Sublevel Caving
 - Block / Panel Caving

Criterios de selección del método

Características Espaciales

Rajo vs Subterránea

Afectan tasa de producción, método de manejo de material, diseño de la mina en el depósito.

- Tamaño (alto, ancho o espesor)
- Forma (tabular, lenticular, masivo, irregular)
- Disposición (inclinado, manteo)
- Profundidad (media, extremos, razón de sobrecarga)

Condiciones Geológicas e Hidrológicas

Tanto de mineral como de roca de caja (o huésped)

Afecta la decisión de usar métodos selectivos o no selectivos

- Requerimiento de drenaje, bombeo, tanto en rajo como en subterránea
- Mineralogía es importante para procesos
- Mineralogía y petrografía (óxidos vs. Sulfuros)
- Composición química

- Estructura del depósito (pliegues, fallas, discontinuidades, intrusiones)
- Planos de debilidad (grietas, fracturas, clivaje)
- Uniformidad, alteración, meteorización (zonas, límites)
- Aguas subterráneas e hidrología (ocurrencia, flujo, nivel freático)

Consideraciones Geotécnicas

Selección del método (soporte necesario)

Hundibilidad

- Propiedades elásticas
- Comportamiento plástico o viscoelástico
- Estado de los esfuerzos (originales, modificados por la excavación)
- Consolidación, compactación, competencia
- Otras propiedades físicas (gravedad específica, poros, porosidad, permeabilidad)

Consideraciones Económicas

Determinan el éxito del proyecto

Afectan inversión, flujos de caja, periodo de retorno, beneficio

- Reservas (tonelaje y ley)
- Tasa de producción
- Vida de la mina (desarrollo y explotación)
- Productividad
- Costo de mina de métodos posibles de aplicar

Factores Tecnológicos

Se busca la mejor combinación entre las condiciones naturales y el método

- Porcentaje de recuperación
- Dilución
- Flexibilidad a cambios en la interpretación o condiciones
- Selectividad
- Concentración o dispersión de frentes de trabajo
- Capital, mano de obra, mecanización

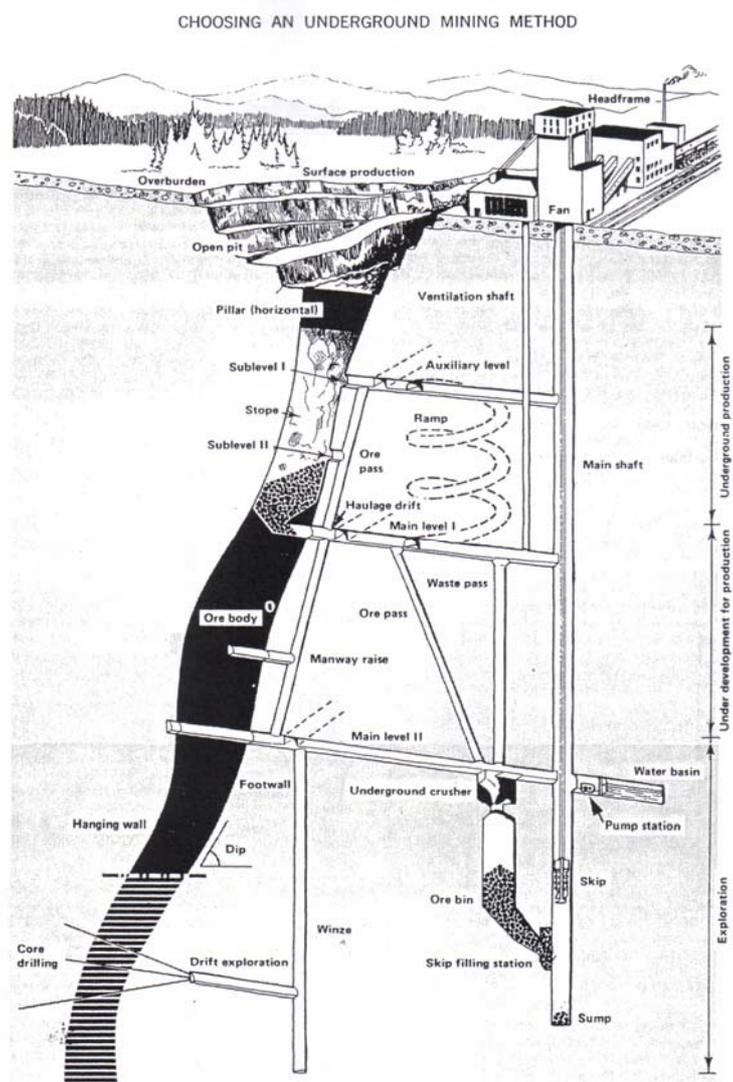
Factores Medioambientales

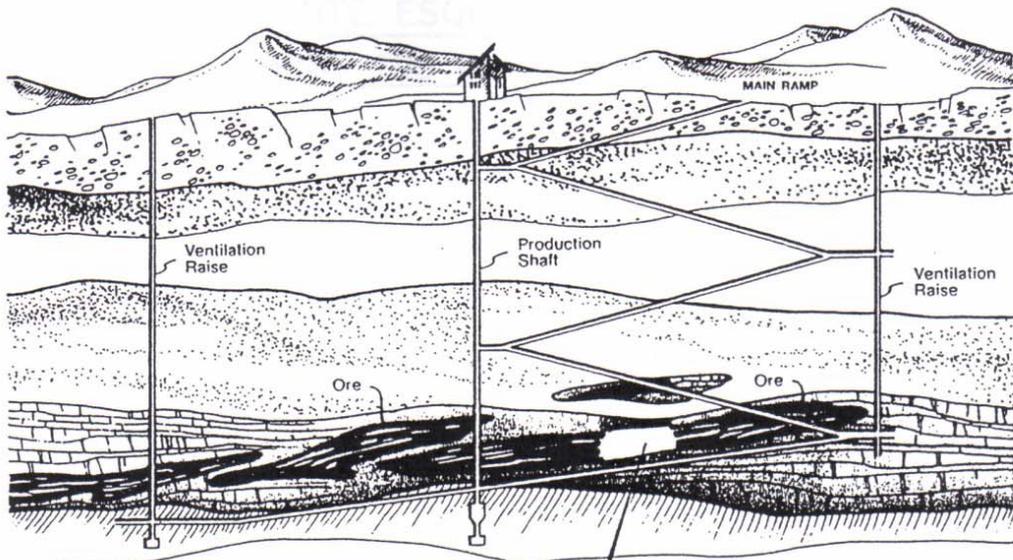
No sólo físico, sino que también económico-político-social

- Control de excavaciones para mantener integridad de las mismas (seguridad)
- Subsistencia y efectos en superficie
- Control atmosférico (ventilación, control de calidad de aire, calor, humedad)
- Fuerza laboral (contratos, capacitación, salud y seguridad, calidad de vida, condiciones de comunidad)

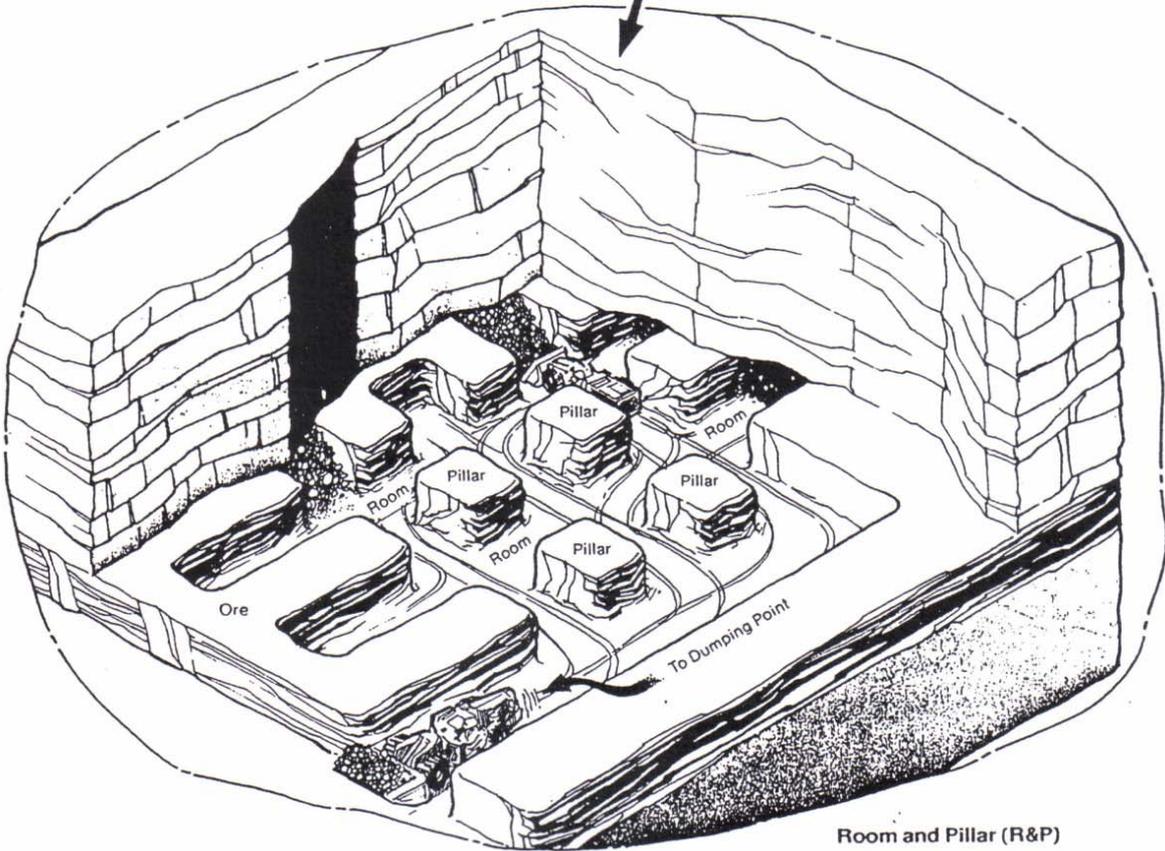
En consideración a estos factores, se debe tomar una decisión respecto a si explotar el cuerpo mineralizado mediante métodos de explotación de superficie o métodos de explotación subterráneos. Las características espaciales (geometría del cuerpo) y la competencia de la roca son esenciales dado que pueden determinar la conveniencia de utilizar un método por sobre otros. Sin embargo, puede haber casos en los que el depósito puede explotarse mediante métodos de superficie o subterráneos. En estos casos, es necesario tomar la decisión en función del beneficio económico que se generará en cada caso.

Las siguientes figuras muestran la complejidad de las disposiciones de labores subterráneas en depósitos reales, las que deben compatibilizar la extracción desde diversos sectores de la mina, los cuales muchas veces son explotados con métodos diferentes.



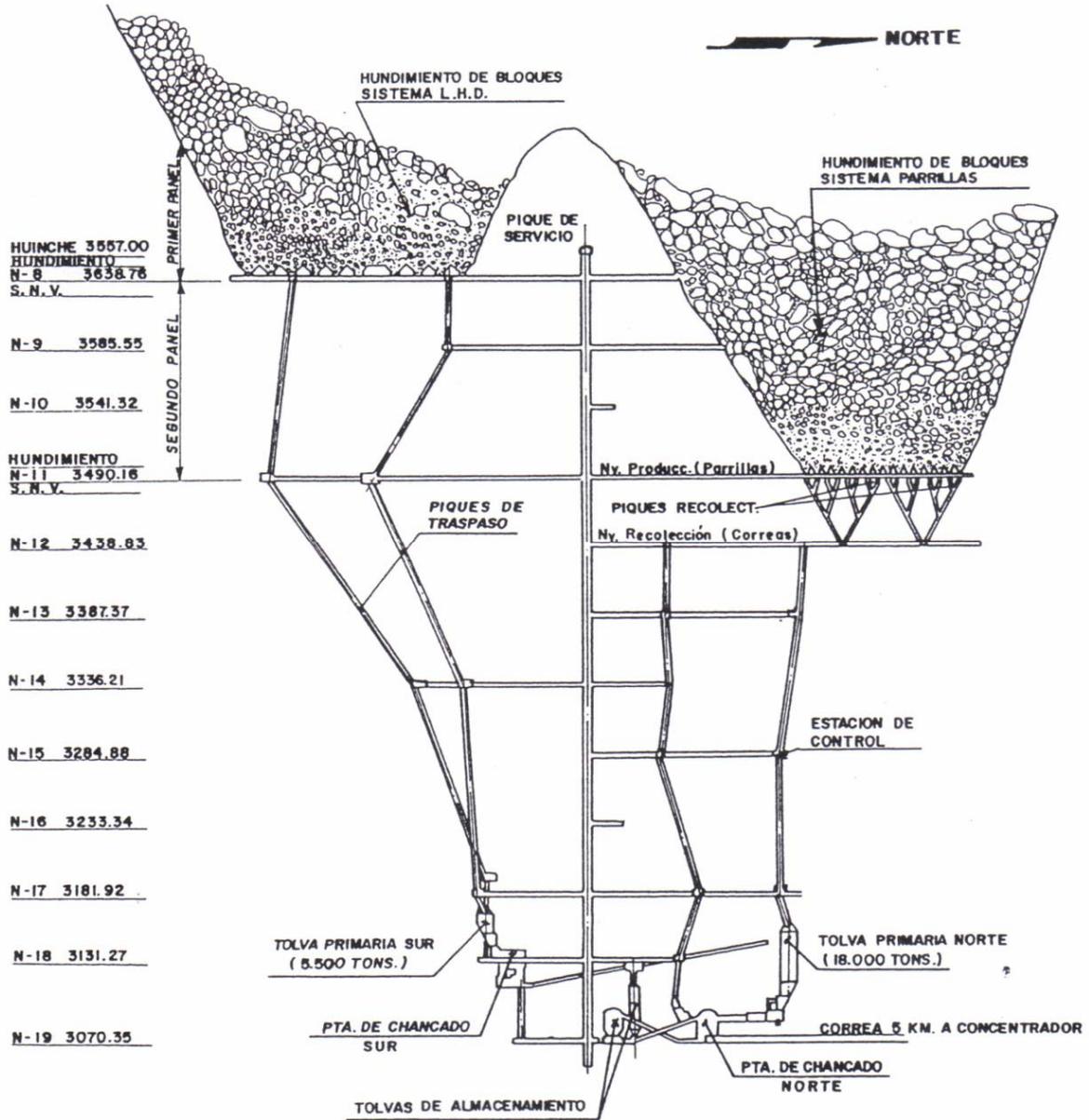


Production Pattern Illustration



Room and Pillar (R&P)

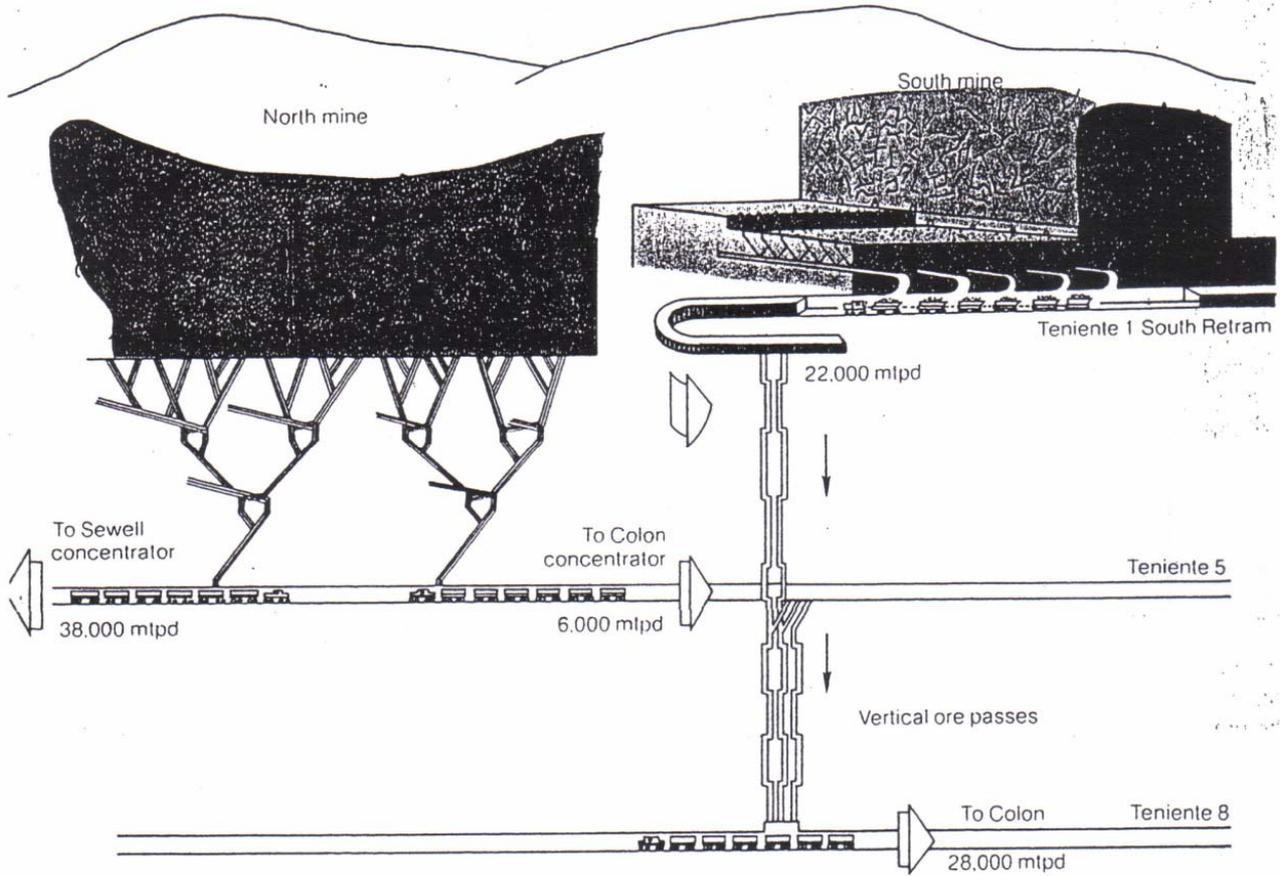
CORTE ESQUEMATICO MINA RIO BLANCO



CODELCO CHILE - DIVISIÓN ANDINA

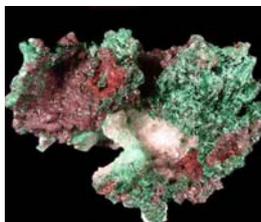
CORTE ESQUEMÁTICO
MINA EL TENIENTE

Profile of North and South mines



CODELCO CHILE – DIVISIÓN EL TENIENTE

MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN – ROOM AND PILLAR



Room and Pillar

El método se conoce en castellano como Caserones y Pilares, aunque casi siempre se utiliza su nombre en inglés. Mediante este método se explotaban 60% de las minas subterráneas de minerales distintos al carbón en Estados Unidos en los años 80 y el 90% de las minas de carbón. El método posee una variante denominada **Stope and Pillar**.

Este método de explotación es el único aplicable en el caso de yacimientos tabulares horizontales o sub-horizontales, con inclinaciones de hasta 30°. Se trata, por lo general, de depósitos estratificados de origen sedimentario.

Principio

Consiste en lo esencial en excavar lo más posible el cuerpo mineralizado dejando pilares de mineral que permiten sostener el techo de material estéril.

Las dimensiones de los caserones y de los pilares depende de la mayor o menor competencia de la roca sobrepuesta (estabilidad del techo) y también de la roca mineralizada (estabilidad de los pilares), como asimismo del espesor del manto y de las presiones existentes.

Por lo general los pilares se distribuyen en una disposición o arreglo lo más regular posible, y pueden tener una sección circular, cuadrada o rectangular semejando un muro. Los caserones abiertos tienen forma rectangular o cuadrada.

Al término de la explotación de un área determinada es posible recuperar, al menos parcialmente, un cierto porcentaje de los pilares, dependiendo del valor del mineral que se está extrayendo.

El control de leyes es primordial (más importante que diseño minero y ventilación): resulta en un diseño ad-hoc, irregular, con pilares de baja ley no recuperables

Se puede trabajar a frente completa (*full face slicing*) o por tajadas (*multiple slicing*)

- Frente completa: hasta 8-10m de espesor
- Tajadas: más de 10 m de espesor

En la explotación por tajadas se saca primero la parte superior y luego se banquea y saca la parte inferior, lo que permite la explotación simultánea de ambas frentes.

Desarrollos

En los cuerpos mineralizados de inclinación cercana a la horizontal, se requieren mínimos desarrollos previos a la explotación propiamente tal. Casi siempre es posible utilizar como vías de acceso y transporte del mineral los mismos caserones ya explotados.

En el caso de cuerpos de mayor inclinación, donde las pendientes no permiten la circulación de los equipos de carguío y transporte sobre neumáticos, es necesario desarrollar con anterioridad niveles horizontales, espaciados regularmente según la vertical y orientados según el rumbo del manto.

Tales niveles se pueden comunicar entre sí mediante rampas, o también se pueden habilitar piques de traspaso cortos que conducen el mineral a un nivel de transporte principal horizontal emplazado bajo el manto.

Arranque

La perforación y tronadura de producción se realiza según las prácticas habituales que se aplican en el avance de túneles y/o galerías.

Dependiendo del espesor del manto, vale decir, del espacio disponible, el nivel de mecanización que es posible utilizar incluye desde perforación manual hasta jumbos de gran tamaño.

En presencia de mantos de gran potencia (espesor) la operación de arranque se realiza en dos etapas:

1. Se extrae la parte superior del manto según la modalidad antes indicada
2. Luego se recupera la tajada inferior mediante una operación de banqueo como en una mina a cielo abierto.

Dependiendo de la inclinación del manto, se utilizan equipos montados sobre neumáticos o sobre orugas.

Carguío y transporte

El mineral tronado se carga directamente en los frentes de trabajo, de preferencia con equipos cargadores diesel montados sobre neumáticos.

El espesor del manto, las dimensiones de los espacios y de los accesos disponibles, y la capacidad productiva de la faena, determinan el nivel de mecanización que es posible utilizar.

En mantos de gran potencia, sin problemas de espacio, se usan cargadores frontales y camiones normales. Con restricciones de espacio, se prefieren los cargadores LHD conjuntamente con camiones especiales de bajo perfil.

Ventilación

La gran extensión horizontal que pueden alcanzar los laboreos y el uso intensivo de equipo diesel, hacen necesario implantar un sistema de ventilación que puede llegar a ser bastante complejo.

En la mayoría de los casos resulta indispensable instalar sistemas de ventilación secundaria, utilizando ductos y ventiladores auxiliares ubicados en las proximidades de los frentes de trabajo.

Fortificación

Los yacimientos estratificados requieren un riguroso control de la estabilidad del techo, el riesgo de derrumbes o desplomes de material está siempre presente. Se recurre por lo general al apernado sistemático del techo.

También, si se estima necesario, es posible reforzar o fortificar los pilares, mediante pernos, cables e incluso un enzunchado de cintas metálicas.

En resumen, se consideran los siguientes elementos de fortificación:

- Apernado de techo sistemático
- Pernos de roca:
 - Lechados (a columna completa)
 - Anclados mecánicamente (puntual)
 - 5/8, 3/4, 1, 1 1/4 pulgadas
 - 7, 9, 17, 26 toneladas de resistencia
 - Pensionados a 50% de resistencia
- Planchuelas de 6 pulgadas (150 mm) y de 1/4 a 3/8 pulgadas de espesor, planas o como campanas, que distribuyen el esfuerzo de la roca en el collar del perno a través de una tuerca
- Malla puede instalarse entre pernos
- Shotcrete para largo plazo
- La resistencia de pernos disminuye con el tiempo (puede ser necesario tensarlos nuevamente, o reemplazarlos durante la vida de la operación)

Comentarios

En mantos de un espesor importante y de inclinación cercana a la horizontal, el método por room and pillar puede adoptar un alto grado de mecanización, operacionalmente muy eficiente y con una alta capacidad productiva.

La disposición y diseño de las labores es bastante simple y esquemática, permitiendo con facilidad el desarrollo simultáneo de diferentes áreas productivas. No requiere de grandes inversiones en desarrollos de preproducción.

Permite una explotación selectiva, dado que siempre existe la posibilidad de dejar como pilares los sectores de más baja ley.

La recuperación del yacimiento es uno de los puntos débiles de este método. Una proporción importante del mineral necesariamente debe dejarse como pilares.

En cuanto a la dilución, se puede manejar en un nivel muy bajo, controlando la estabilidad del techo y la correcta ejecución de los diagramas de disparo.

Características

En resumen, las características del método son:

- Método barato, productivo, fácil de mecanizar y simple de diseñar.
- Se usa en depósitos horizontales o sub-horizontales (hasta 30°) en roca razonablemente competente y espesores de 2 a 6 m en carbón, sal, potasio, calizas. En algunos casos pueden considerarse mantos de mayor potencia.
- Consideraciones de diseño:
 - Estabilidad del techo
 - Resistencia de los pilares
 - Espesor del depósito
 - Profundidad de la mina
- Objetivo: extraer la cantidad máxima de mineral compatible con condiciones seguras de explotación.
- Pilares pueden recuperarse:
 - Relleno (*backfill*) en minas no de carbón
 - Retroceso (*retreat mining*) en minas de carbón, permitiendo subsidencia

Diseño de Pilares

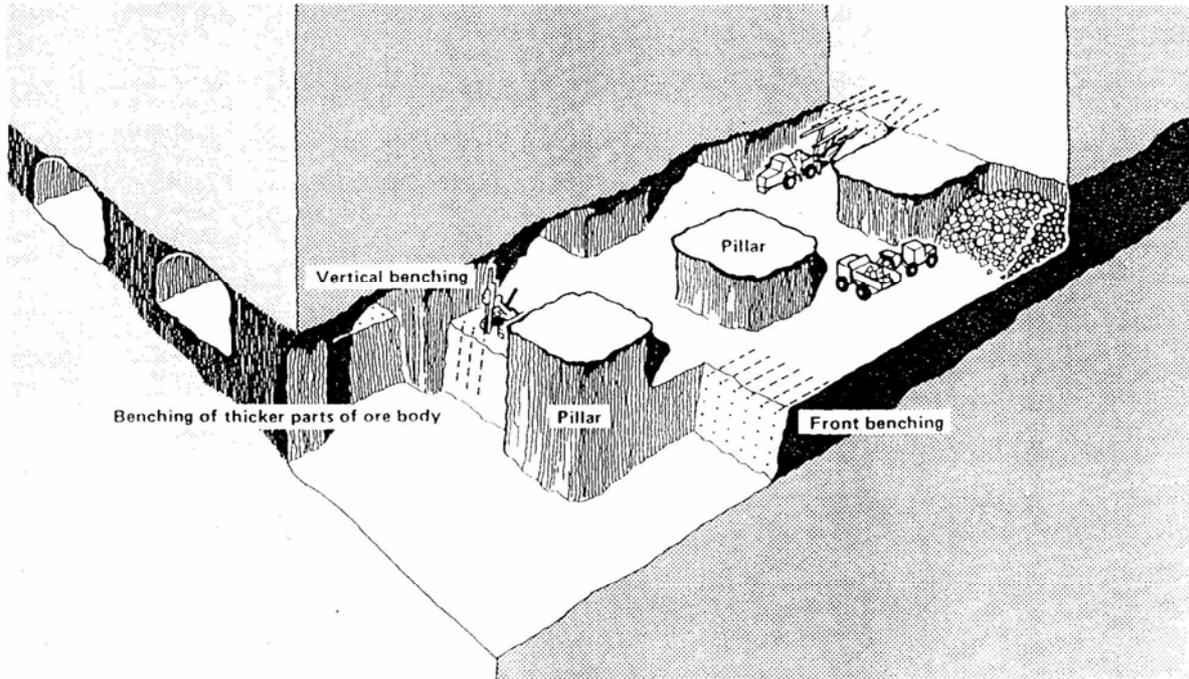
La metodología más simple de diseño de pilares asume que el esfuerzo en el pilar está distribuido uniformemente y que es igual al esfuerzo geostático vertical original, dividido por la razón entre el área del pilar y el área original (tributaria). El fallamiento ocurre cuando este esfuerzo excede la resistencia a la compresión del pilar de roca.

Esta aproximación no considera:

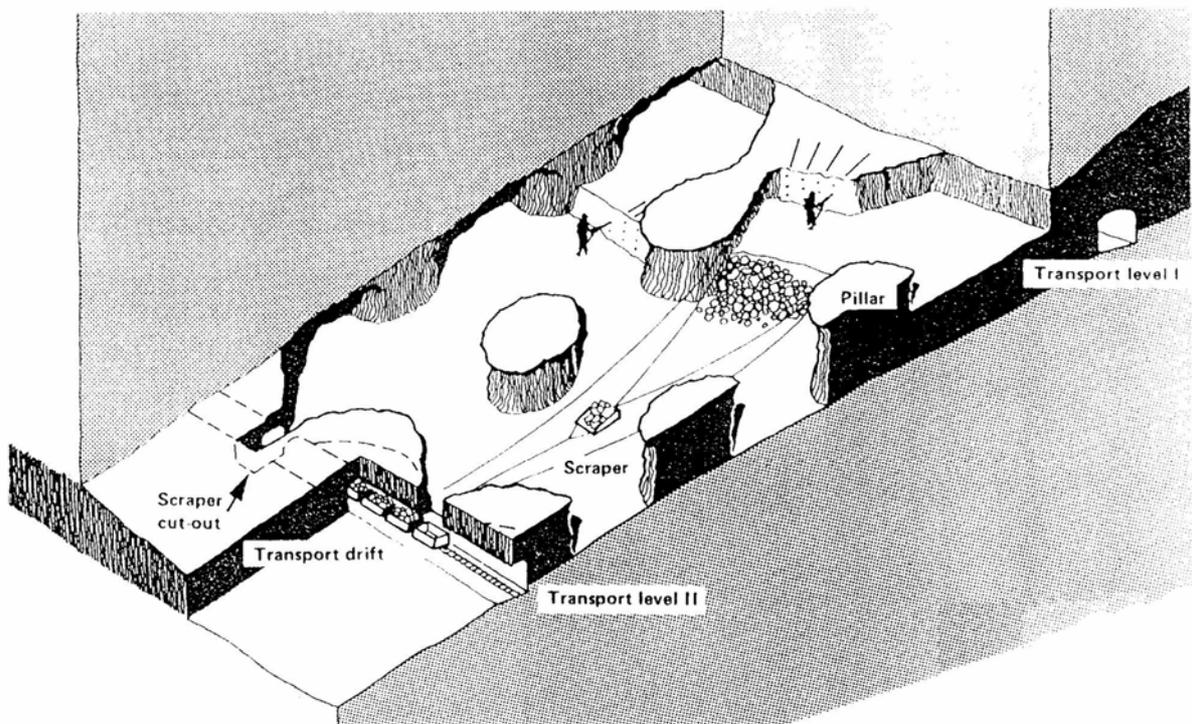
- Extensión y profundidad del área explotada
- Componente del esfuerzo paralelo al estrato
- Propiedades de deformación del pilar, techo y suelo
- Posición de pilares en el área explotada

La resistencia del pilar se calcula a partir de las características geométricas (ancho y alto) y de tests de laboratorio o estudios estadísticos empíricos.

Normalmente en la explotación, se separan zonas dejando muros entre ellas



Room-and-pillar mining of a flat ore body.



Room-and-pillar mining of an inclined ore body.

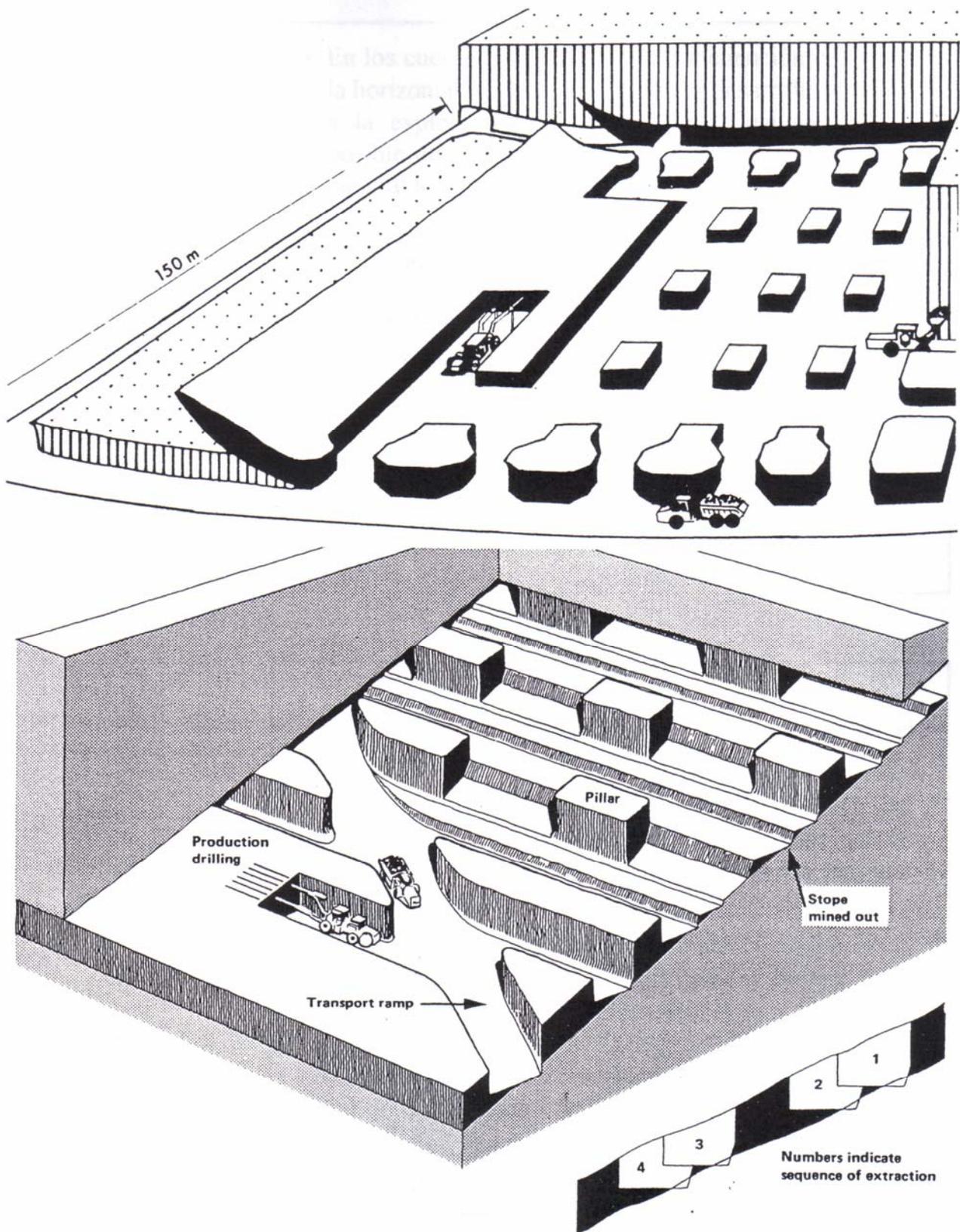
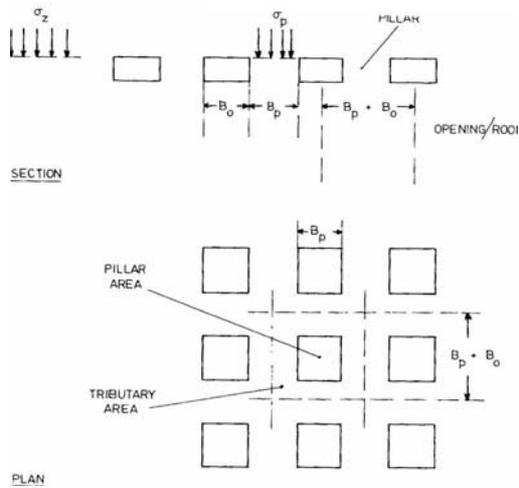
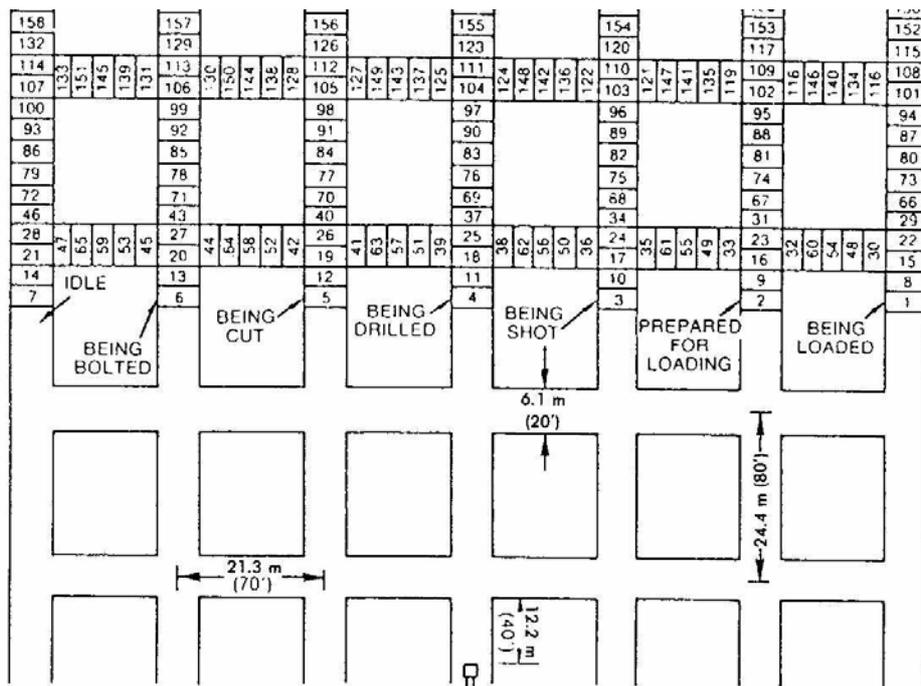


Fig. 4. Room-and-pillar mining, using step mining on an inclined ore body.



MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN – SHRINKAGE STOPING



Shrinkage Stoping

El shrinkage stoping es un método de explotación vertical aplicable a vetas (estructuras verticales), principalmente para explotaciones menores. En su esencia, consiste en utilizar el mineral quebrado como piso de trabajo para seguir explotando de manera ascendente. Este mineral provee además soporte adicional de las paredes hasta que el caserón se completa y queda listo para el vaciado. Los caserones se explotan ascendentemente en tajadas horizontales, sacando solamente el ~35% que se esponja y dejando hasta el momento del vaciado el resto (~65%). Es un método intensivo en mano de obra, difícil de mecanizar.

Se aplica generalmente a vetas angostas de 1.2 a 30 m o a cuerpos donde otros métodos son técnica o económicamente inviables. Para asegurar que el mineral fluya (que no se “cuelgue”), el mineral no debe tener muchas arcillas, ni debe oxidarse rápidamente, generando cementación. El cuerpo mineralizado debe ser continuo para evitar la dilución. El estéril debe extraerse como dilución o dejarse como pilares aleatorios (que no impidan el flujo).

Condiciones de aplicación

Este método de explotación es aplicable en cuerpos tabulares verticales o subverticales angostos o de poco espesor (1 a 10 m), con bordes o límites regulares. Su inclinación debe ser superior al ángulo de reposo del material quebrado, vale decir, mayor a 55°.

La roca mineralizada debe ser estable y competente. La roca encajadora (paredes) debe presentar también buenas condiciones de estabilidad.

Principios

Consiste en excavar el mineral por tajadas horizontales en una secuencia ascendente (realce) partiendo de la base del caserón.

Una proporción del mineral quebrado, equivalente al aumento de volumen o esponjamiento (30 a 40 %), es extraída continuamente por la base. El resto queda almacenado en el caserón, de modo de servir como piso de trabajo para la operación de arranque (perforación y tronadura) como asimismo de soporte de las paredes del caserón.

Cuando el proceso de arranque alcanza el límite pre-establecido superior del caserón, cesan las operaciones de perforación y tronadura, y se inicia el vaciado del caserón extrayendo el mineral que ha permanecido almacenado (60 a 70%).

Los pilares y puentes de mineral que separan los caserones por lo general son recuperados con posterioridad.

Desarrollos

El método requiere conocer bastante bien la regularidad y los límites del cuerpo mineralizado. Para ello, se construyen dos niveles horizontales separados verticalmente por 30-180 m, los cuales permiten definir la continuidad de la veta y determinar la regularidad en el espesor de la misma.

A esto, se agrega una o más chimeneas, construidas por Alimak o Raise-Boeing, las que permiten definir la continuidad vertical, facilitan la ventilación y permiten el acceso del personal y equipos.

Finalmente, hay tres alternativas para el desarrollo que sigue:

1. Puntos de extracción cada 1-10m en la base del cuerpo
 - Instalación de chute de madera en cada punto
2. Correr galería paralela a la base del cuerpo a 7.5 – 15 m en footwall (por estabilidad)
 - Correr estocada de extracción desde la galería de extracción a la galería de base del depósito cada 7.5 – 15 m
 - Tronar la primera tajada y se extrae el esponjamiento con LHD o scraper
3. Cuerpos más anchos:
 - Correr dos galerías de base
 - Construir embudos
 - Por el centro de las dos galerías de base, correr galería de extracción con scraper y estocadas de extracción para que el esponjamiento fluya hacia la galería de extracción

Arranque

Las condiciones de aplicación de este método (vetas angostas de baja capacidad productiva), como también las dificultades de acceso y el piso de trabajo irregular no permiten la utilización de equipos mecanizados de perforación.

En la práctica normal se utilizan perforadoras manuales (jack-legs o stopers) y barras integrales. Los tiros pueden ser horizontales (1.6 a 4.0 m) o verticales (1.6 a 2.4 m) con diámetros de 32 a 38 mm. Excepcionalmente, se utiliza perforación mecanizada, mediante el uso de: drill wagons o jumbos con largos de perforación que pueden ir de 1.8 a 2.4 m (hasta 3.0 m).

La tronadura se realiza utilizando ANFO, geles (hidrogeles), slurry (emulsiones) y con iniciación no eléctrica normalmente.

Manejo de mineral

El sistema tradicional o más antiguo consiste en el carguío directo del esponjamiento por el nivel de extracción mediante de pequeños carros de ferrocarril, mediante buzones instalados en la base de los embudos recolectores.

Es necesario nivelar el piso para seguir perforando después de cada tronada, dentro del caserón, para lo que se pueden utilizar slushers, LHD pequeños o simplemente palas y realizar el trabajo manualmente.

Después de tronar y extraer cada tajada vertical, se deben subir los accesos (fortificación de accesos con madera).

Entre los sistemas de carguío y transporte en el nivel de extracción, también se pueden encontrar palas de arrastre (scrapers) descargando directamente a carros de ferrocarril o camiones y equipos LHD saliendo directamente a superficie, o en combinación con piques de traspaso cortos, ferrocarril o camiones, y rampas o piques de extracción.

Ventilación

El frente de trabajo se ventila inyectando aire desde la galería de transporte ubicada en la base a través de la chimenea de acceso emplazada en uno de los pilares que flanquean el caserón.

El aire viciado se extrae hacia el nivel superior por la chimenea emplazada en el otro pilar correspondiente al caserón vecino.

Fortificación

Dependiendo de la estabilidad de la roca encajadora, se recurre normalmente a un apernado parcial o sistemático de las paredes del caserón.

En situaciones de mayor inestabilidad se colocan pernos y malla de acero, o incluso shotcrete.

También es posible dejar algunos pilares de mineral de pequeñas dimensiones.

Muestreo de canaleta o de chips en intervalos regulares para control de leyes

Vaciado

El vaciado es la etapa más peligrosa. Se debe evitar este método si el material se pega o cementa (arcillas) y puede crear colgaduras o arcos. Estas colgaduras pueden ser “deshechas” mediante el uso de agua, explosivos o a mano, lo cual es muy riesgoso. Las colgaduras son costosas y peligrosas.

El vaciado debe hacerse sistemático y parejo, para evitar la dilución

- Tren, LHD / camión, slusher (balde de arrastre)

Comentarios

- En la actualidad la aplicación de este método ha quedado relegada a la llamada minería artesanal. Vetas angostas que no permiten gran mecanización.
- Es intensivo en mano de obra y las condiciones de trabajo son relativamente más difíciles, con exposición a riesgos comparativamente mayores en relación a otros métodos.
- Baja capacidad productiva, no permite una gran selectividad, recuperación regular (se dejan pilares y puentes), dilución en cierta medida controlable.
- La mayor parte del mineral arrancado permanece almacenado en los caserones durante un tiempo bastante largo, lo que incide negativamente en el capital de trabajo y flujos de caja del negocio.

Parámetros

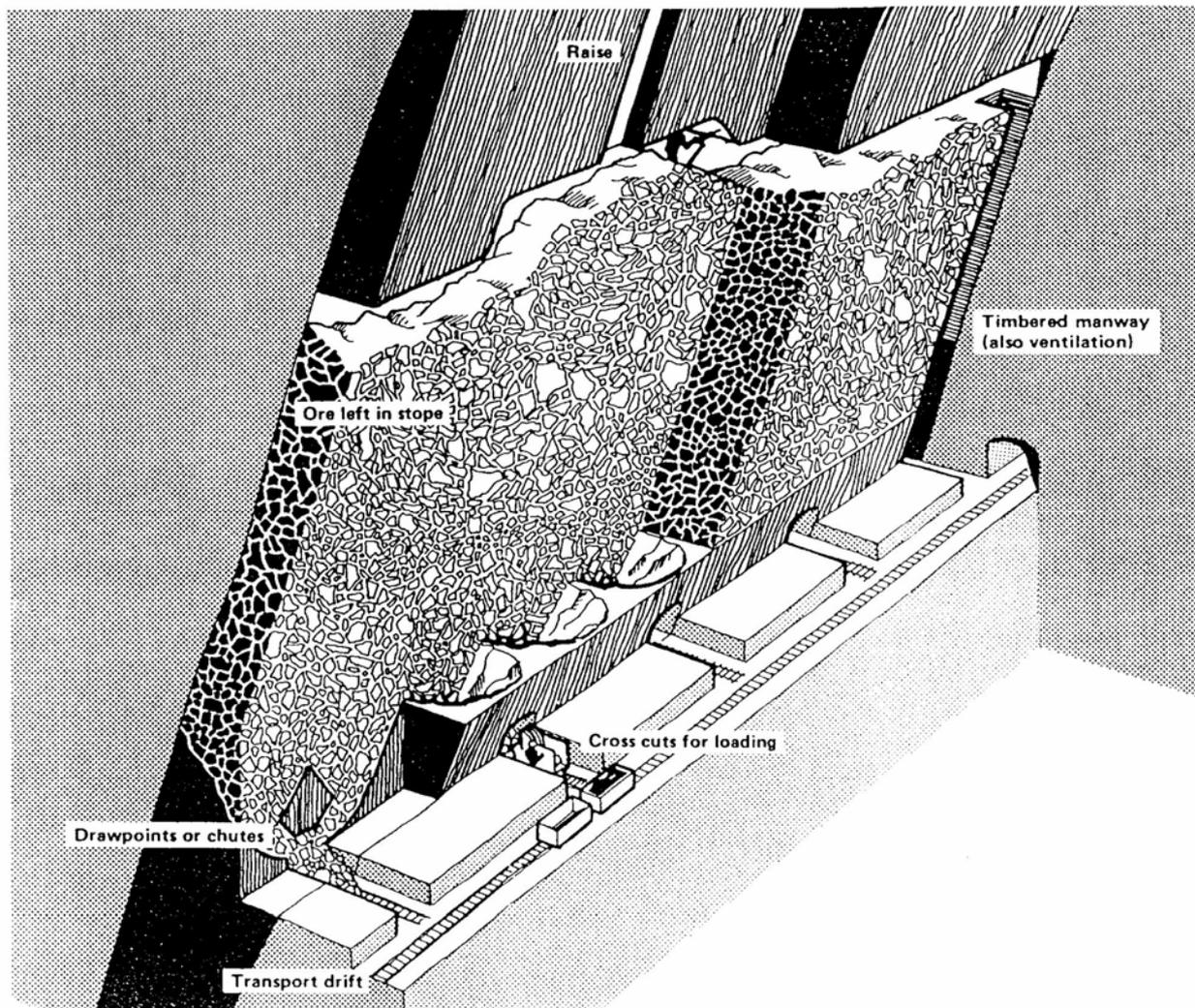
- Características del mineral: mineral competente, que no se oxide ni cimente, bajo en arcillas
- Características de roca de caja: competente a moderadamente competente
- Forma del depósito: vertical, uniforme en su inclinación y contactos
 - Inclinación > 45°, ojalá > 60°
- Tamaño:
 - Angosto a moderado espesor (1 a 30 m)
 - Largo: 15 m en adelante
- Ley: moderada a alta

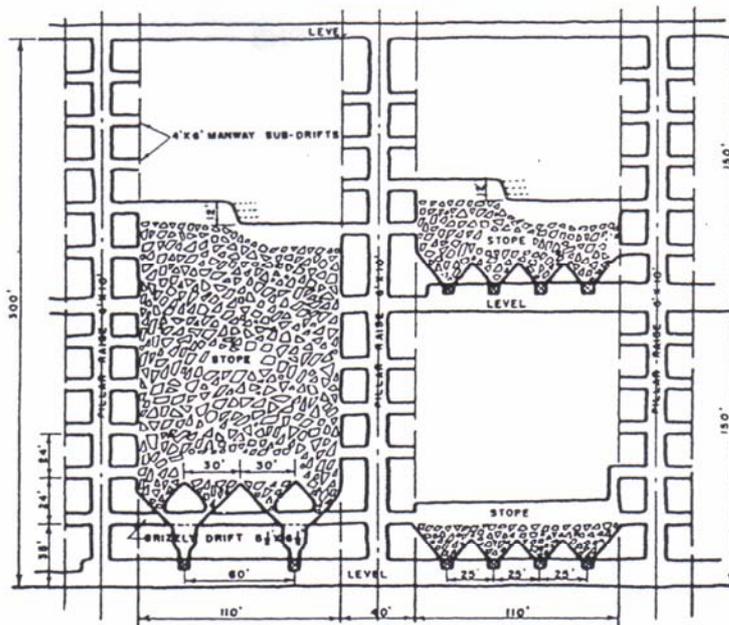
Ventajas

- Tasas de producción pequeñas a medianas
- Vaciado del caserón por gravedad
- Método simple, para minas pequeñas
- Capital bajo, algo de mecanización posible
- Soporte de mineral y paredes mínimo
- Desarrollos moderados
- Buena recuperación (75 a 100%)
- Baja dilución (10 a 25%)
- Selectividad posible

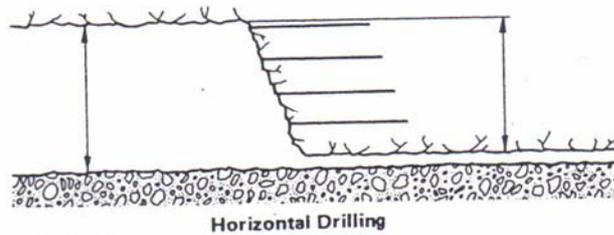
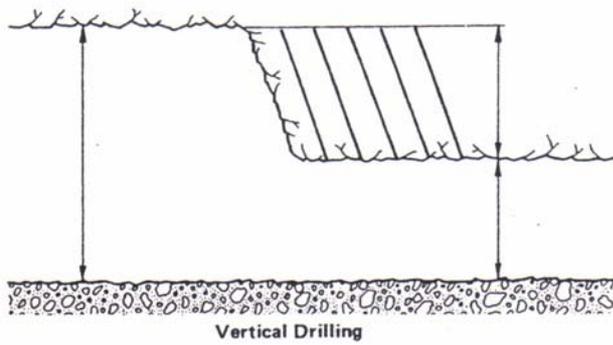
Desventajas

- Productividad baja a moderada (3-10ton/hombre-turno)
- Costos moderados a altos
- Intensivo en mano de obra
- Mecanización limitada
- Condiciones de trabajo difíciles
- Aprox 60% del mineral “preso” dentro del caserón hasta el final
- Colgaduras
- Pérdida del caserón en vaciado si no se hace con cuidado



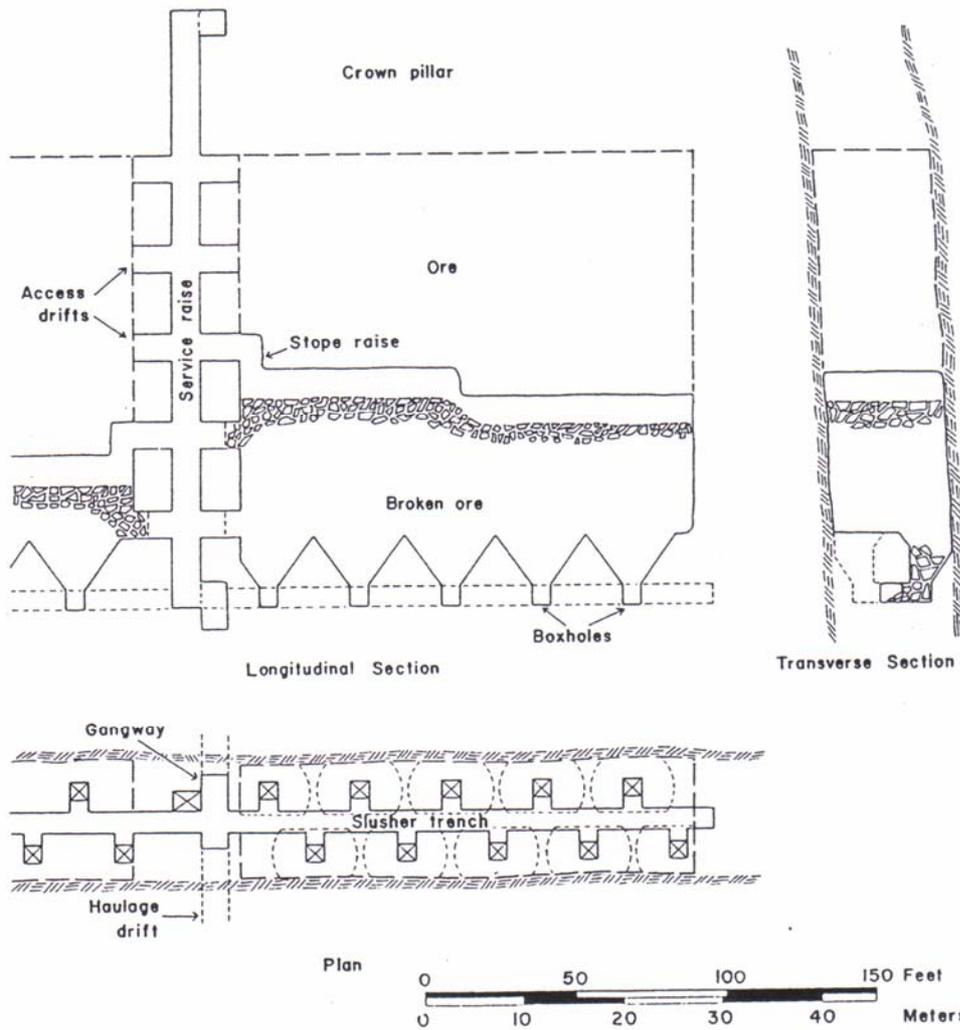


SHRINKAGE STOPING
MODALIDAD TRADICIONAL



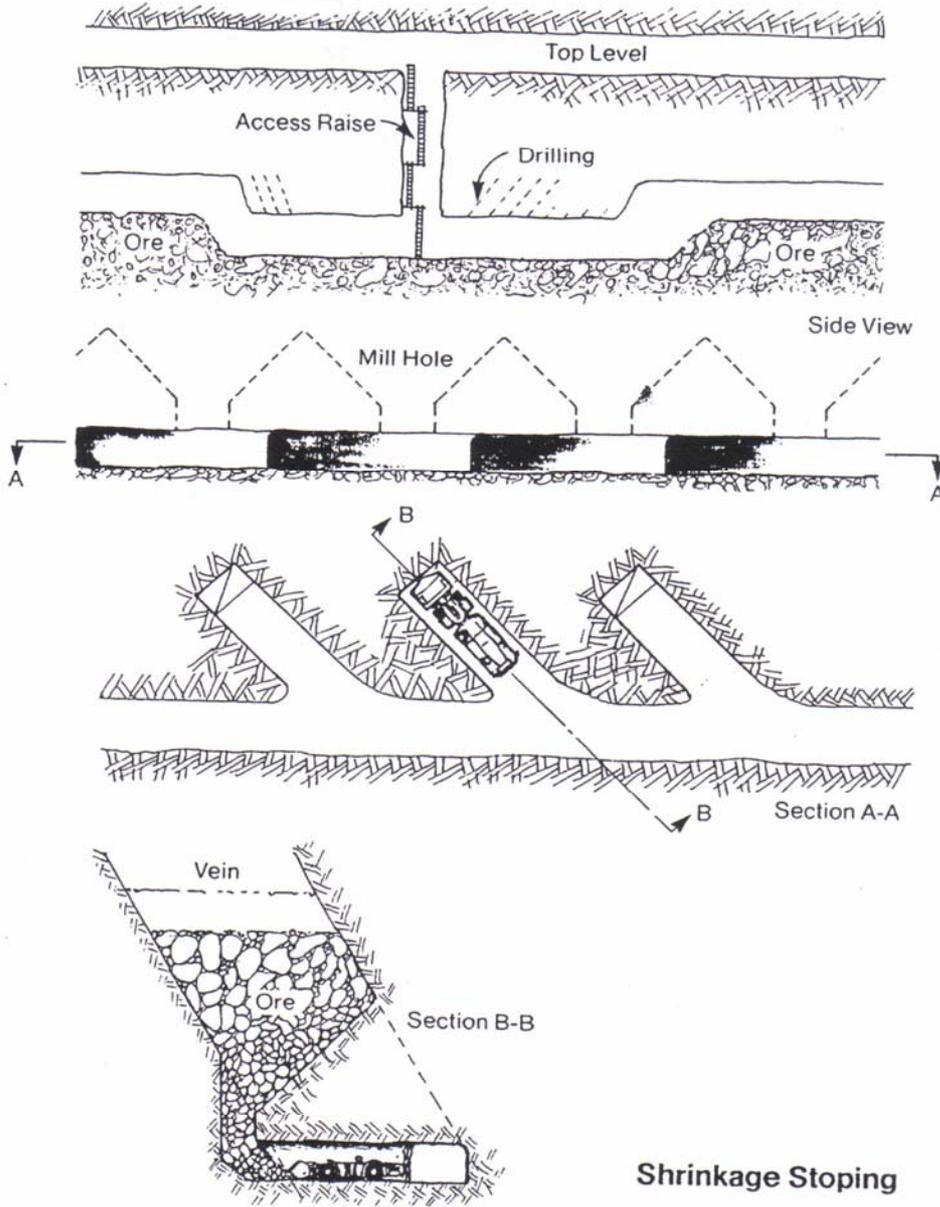
ARRANQUE DEL MINERAL

SHRINKAGE STOPING

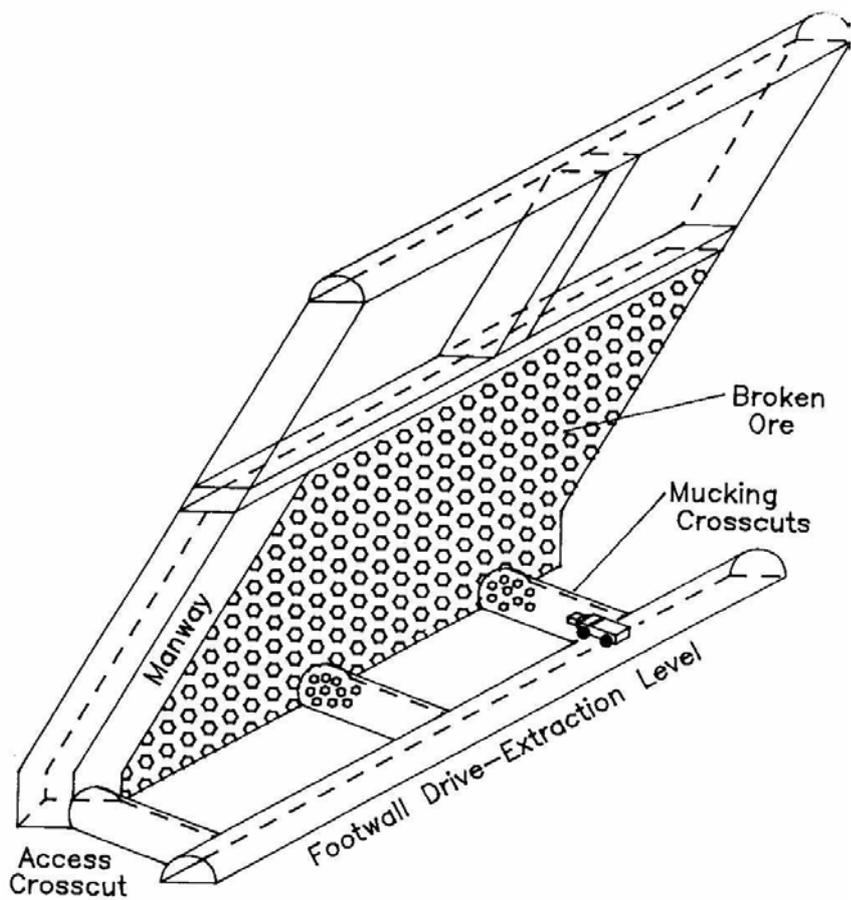
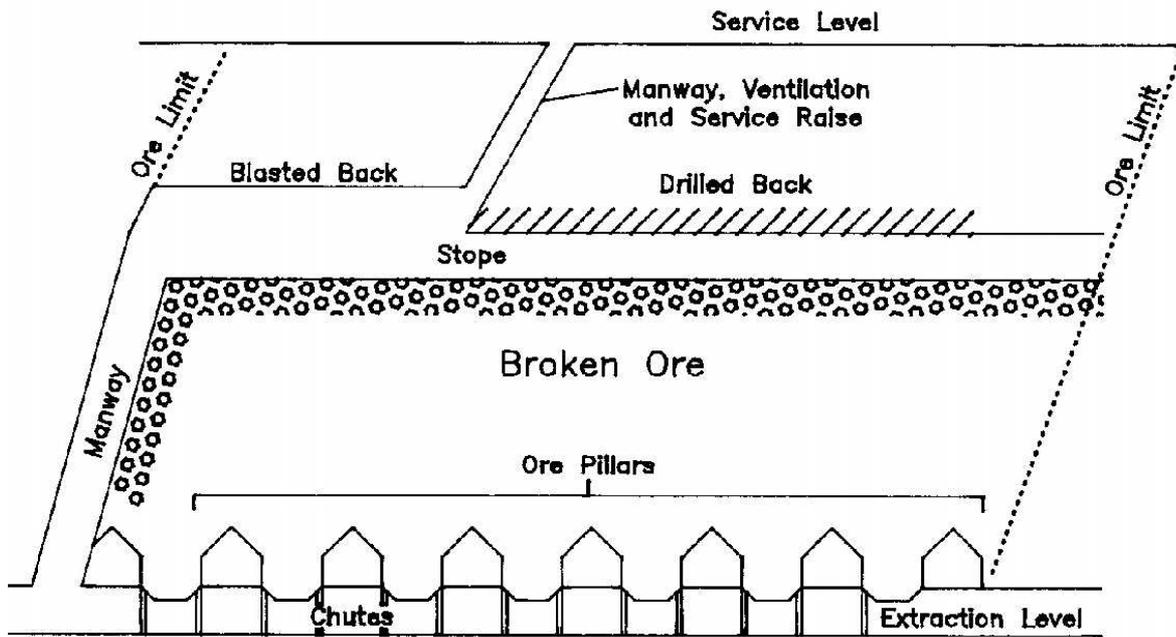


EXTRACCIÓN Y MANEJO DEL MINERAL CON SCRAPERS

SHRINKAGE STOPING



EXTRACCIÓN Y MANEJO
DEL MINERAL CON EQUIPOS LHD



MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN – SUBLEVEL STOPING



Sublevel Stopping

Este método se aplica preferentemente en yacimientos de forma tabular verticales o subverticales de gran espesor, por lo general superior a 10 m. Es deseable que los bordes o contactos del cuerpo mineralizados sean regulares.

También es posible aplicarlo en yacimientos masivos o mantos de gran potencia, subdividiendo el macizo mineralizado en caserones separados por pilares, que posteriormente se pueden recuperar.

Tanto la roca mineralizada como la roca circundante deben presentar buenas condiciones de estabilidad; vale decir, deben ser suficientemente competentes o autosoportante.

Principios

El sublevel stopping es un método en el cual se excava el mineral por tajadas verticales dejando el caserón vacío, por lo general de grandes dimensiones, particularmente en el sentido vertical.

El mineral arrancado se recolecta en embudos o zanjas emplazadas en la base del caserón, desde donde se extrae según diferentes modalidades.

La expresión “sublevel” hace referencia a las galerías o subniveles a partir de los cuales se realiza la operación de arranque del mineral.

Desarrollos

Un nivel base o nivel de producción, consiste en una galería de transporte y estocadas de carguío que permiten habilitar los puntos de extracción.

Embudos o zanjas recolectoras de mineral. Cuando se trata de una zanja continua a lo largo de la base del caserón – modalidad preferida en la actualidad – se requiere el desarrollo previo de una galería a partir de la cual se excava la zanja.

Galerías o subniveles de perforación, dispuestos en altura según diversas configuraciones conforme a la geometría del cuerpo mineralizado.

Una chimenea o una rampa de acceso a los subniveles de perforación, emplazada en el límite posterior del caserón.

Una chimenea a partir de la cual se excava el corte inicial o cámara de compensación (slot) que sirve de cara libre para las primeras tronaduras de producción.

Arranque

En la versión convencional se perforan tiros radiales (abanicos) a partir de los subniveles dispuestos para esos fines. Se trata de tiros largos (hasta unos 30 m) de 2 a 3 pulgadas de diámetro, perforados de preferencia con jumbos radiales electro-hidráulicos y barras de extensión.

En la versión LBH (long blast hole) se perforan tiros de gran diámetro (4 ½ a 6 ½ pulgadas), en lo posible paralelos y de hasta unos 80 m de longitud. Se utiliza equipo DTH.

Las operaciones de perforación y tronadura se pueden manejar en este caso en forma continua e independiente. Se puede barrenar con anticipación un gran número de abanicos, los que posteriormente se van quemando según los requerimientos del programa de producción.

Manejo del mineral

En su modalidad más antigua el mineral arrancado se cargaba directamente a carros a través de buzones dispuestos en la base del caserón. La presencia de bolones – frecuente en este método – es un problema complicado, dado que no es posible reducir de tamaño en los buzones. Era necesario instalar estaciones de control (parrillas) antes de los buzones.

También es posible la utilización de scapers para extraer el mineral, y luego arrastrarlo y cargarlo a carros de ferrocarril. En este caso, el manejo del material grueso o de sobre-tamaño es mucho más simple.

Hoy en día se utilizan preferentemente equipos LHD para la extracción, carguío y transporte del mineral hacia estaciones de traspaso, donde es cargado a carros o camiones para su transporte final a superficie.

Ventilación

La utilización generalizada hoy en día de equipos cargadores diesel (LHD) para el manejo del mineral, exige disponer de una adecuada ventilación del Nivel de Producción.

Para tal propósito, se utilizan las galerías de acceso o de cabecera ubicadas en los límites del caserón: el aire es inyectado por una de estas galerías y luego de recorrer el nivel es extraído por la otra.

Los subniveles de perforación se ventilan desviando parte del flujo de aire hacia las chimeneas o rampas de acceso a dichos subniveles.

Fortificación

Como fuera señalado anteriormente, la aplicación de este método exige buenas condiciones de estabilidad tanto de la roca mineralizada como de la roca circundante. No requiere, por lo tanto, de la utilización intensiva o sistemática de elementos de refuerzo.

Las galerías de producción en la base de los caserones se fortifican por lo general – según requerimiento – mediante pernos cementados o pernos y malla de acero (incluso shotcrete), atendiendo a las condiciones locales de la roca.

En los subniveles de perforación se puede utilizar localmente elementos de refuerzo provisorios cuando las condiciones de la roca así lo requieran.

Comentarios

El advenimiento de innovaciones tecnológicas en cuanto a perforación y tronadura subterránea de tiros largos de gran diámetro (LBH), ha traído consigo un significativo aumento de la popularidad de este método.

El mayor volumen y complejidad de los desarrollos es compensado por la mayor eficiencia de las operaciones. La perforación, la tronadura y la extracción del mineral son operaciones que se pueden ejecutar de modo independiente entre sí.

Permite la utilización intensiva de equipos mecanizados de gran rendimiento; vale decir, pocas unidades con escaso personal. Se puede obtener así una alta productividad en un sector concentrado de la mina.

El trazado de los límites de los caserones no acepta líneas sinuosas. En el marco de esos límites pueden quedar incorporados sectores de baja ley como así mismo quedar excluidos otros de alta ley. En este sentido el método SLS es poco selectivo, especialmente en su versión moderna LBH.

El conocimiento riguroso y la interpretación adecuada del modelo geológico del yacimiento son factores claves para el éxito de la aplicación de este método; conjuntamente con un cuidadoso control del trazado de los diagramas de tronadura.

Características

- Alta producción
- Aplicable a cuerpos largos, muy inclinados (idealmente verticales), regulares y con roca mineral y de caja competente
- Productividad: 15-40 ton / hombre turno
- Cada caserón puede producir más de 25.000 ton / mes
- Intensivo en desarrollos, pero todos son hechos en mineral
- Método no es selectivo □ cuerpos tienen que ser regulares
- Uno de los métodos subterráneos de más bajo costo

Tipo de cuerpo mineralizado

- Regular

- Grande
- Resistente y competente
- Muros deben autoportarse
- Desde 6 m de ancho
- Cuerpos parejos y bien definidos
- Dilución
- Sin inclusiones de estéril
- Sin fracturas
- Se truena muchas veces → inestabilidad
- Caserones permanecen abiertos por largo tiempo

Desarrollo

- Acceso por pique en footwall
- Galerías de transporte cada 45 – 120 m
- Subniveles cada 10 – 55 m
- Slot para cara libre
- Pilares se dejan para separar caserones y pueden recuperarse

Extracción

- Embudos que cargan directamente a tren (con nivel de reducción)
 - Tronadura secundaria
- Embudos que cargan a tren (sin nivel de reducción)
 - Requiere material de granulometría fina
- Slusher
- Parrillas para carguío de tren
- LHD a puntos de traspaso
- Pala autocargadora a tren

Perforación de producción

- Factores que influyen:
 - Dureza
 - Tamaño requerido para traspaso
 - Diámetro de tiros
 - Largo de tiros
 - Orientación
 - Espaciamiento
- Estos factores contribuyen a elegir el equipo de perforación
- Perforación en abanico o tiros paralelos
- LBH:
 - Diámetro: 170 mm
 - Distancia entre subniveles: 45 – 55 m
 - Espaciamiento y burden: 6 x 6 m

Tronadura de producción

- Factores:
 - Fragmentación requerida
 - Diámetro de perforación

- Espaciamiento y burden
- Condición de tiros
- Agua
- Tamaño permitido de la tronadura (vibraciones)
- Dureza del mineral
- ANFO, hidrogeles, emulsiones y ANFOS pesados a granel o empaquetados
- Tronadura secundaria
 - Perforación y tronadura
 - Carga cónica

Relleno de caserones

- Razones medioambientales o de seguridad
- Se puede realizar con:
 - Roca no cementada
 - Arena
 - Roca cementada
 - Colas cementadas
 - Etc.
- Permite recuperar pilares

Aspectos económicos

- Alta productividad
- Bajo costo
- Mecanización

Ventajas

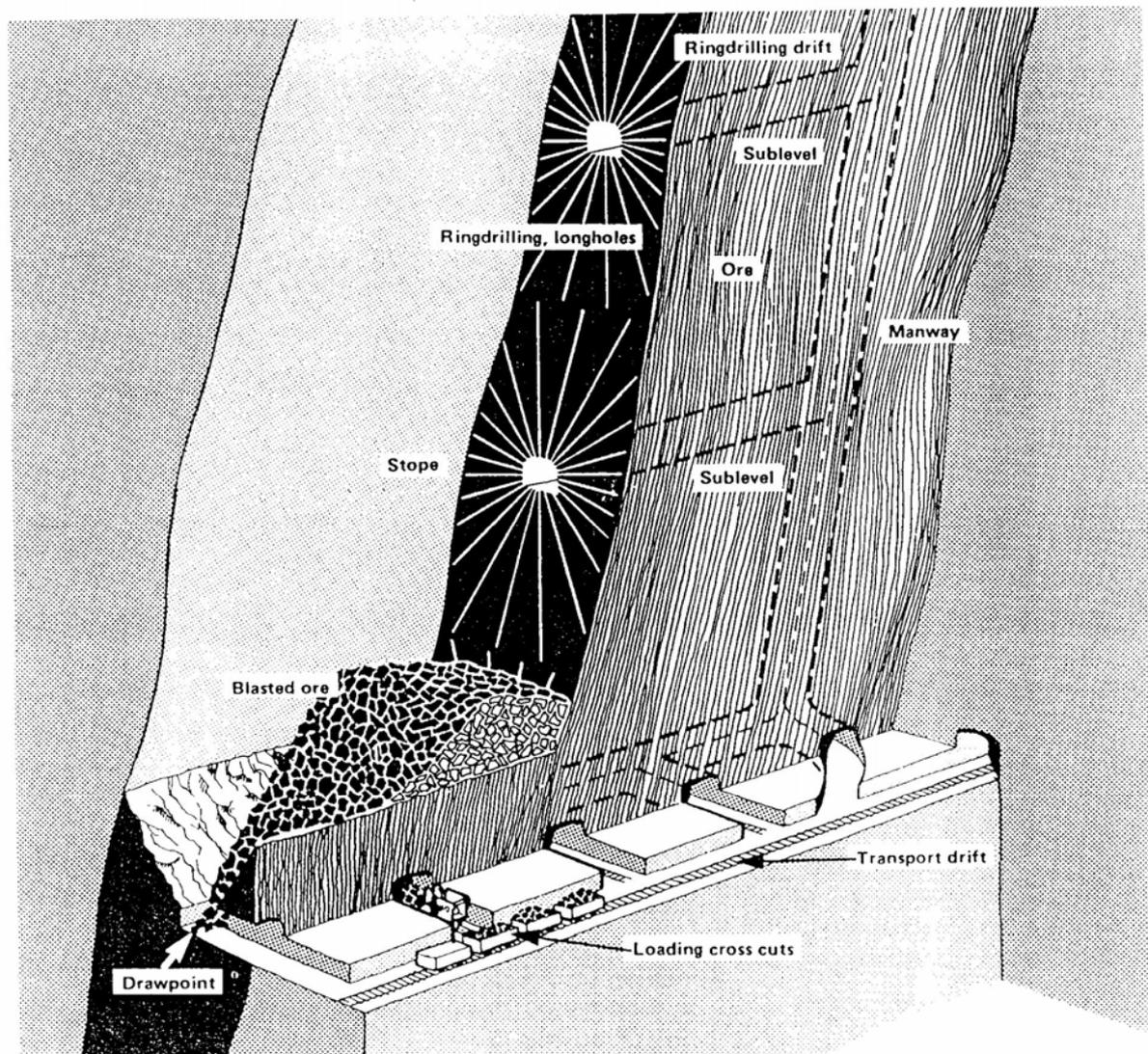
- Muy favorable para mecanización
- Altamente eficiente
 - Hasta 110 ton / hombre turno
- Tasa de producción moderada a alta (25.000 ton / mes)
- Método seguro y fácil de ventilar
- Recuperación sobre 90%
- Dilución baja: < 20%
- Perforación puede adelantarse
- En operaciones grandes, tronaduras semanales son frecuentes → turnos entrenados y eficientes
- Mineral está disponible de inmediato al iniciarse la tronadura de producción

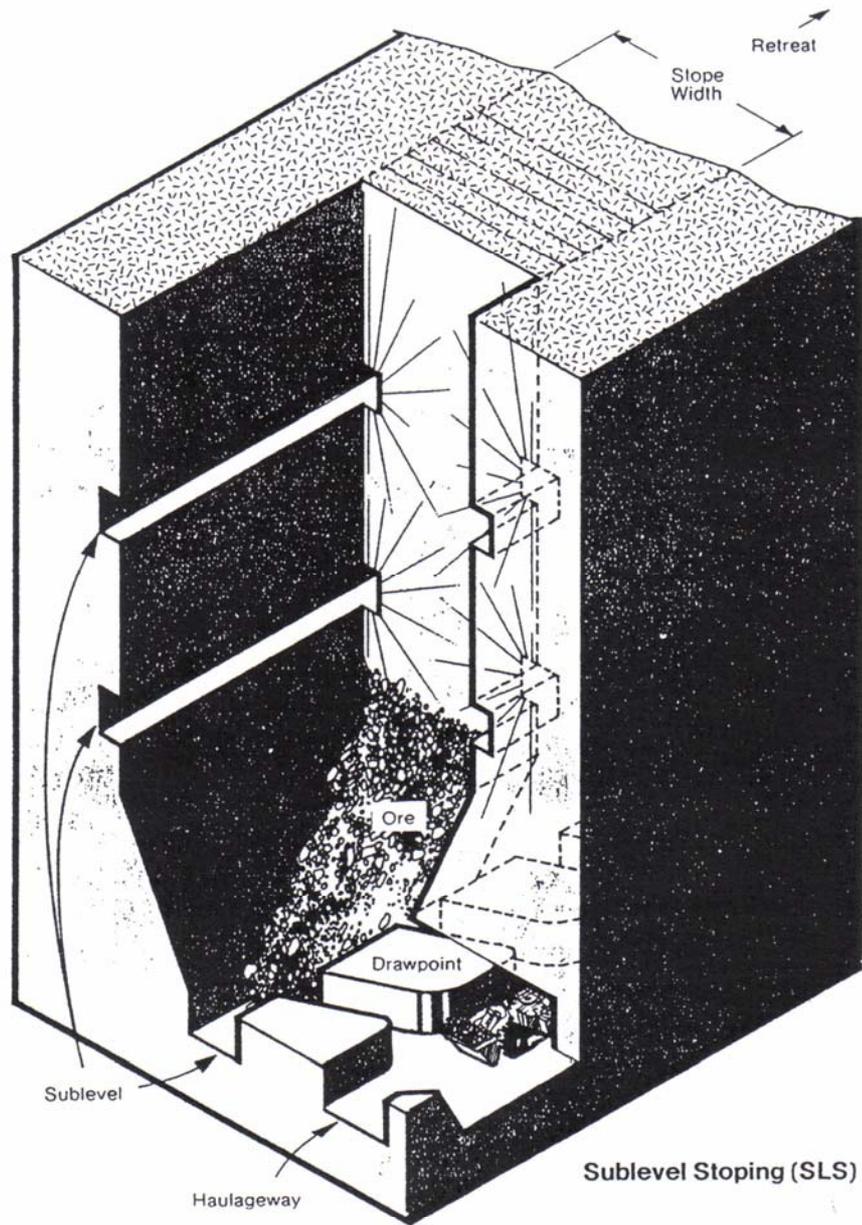
Desventajas

- Intensivo en capital → bastantes desarrollos antes de iniciar la producción
- No selectivo
- Ineficiente a bajas inclinaciones
- Tronadura secundaria puede generar gases que vuelven al caserón

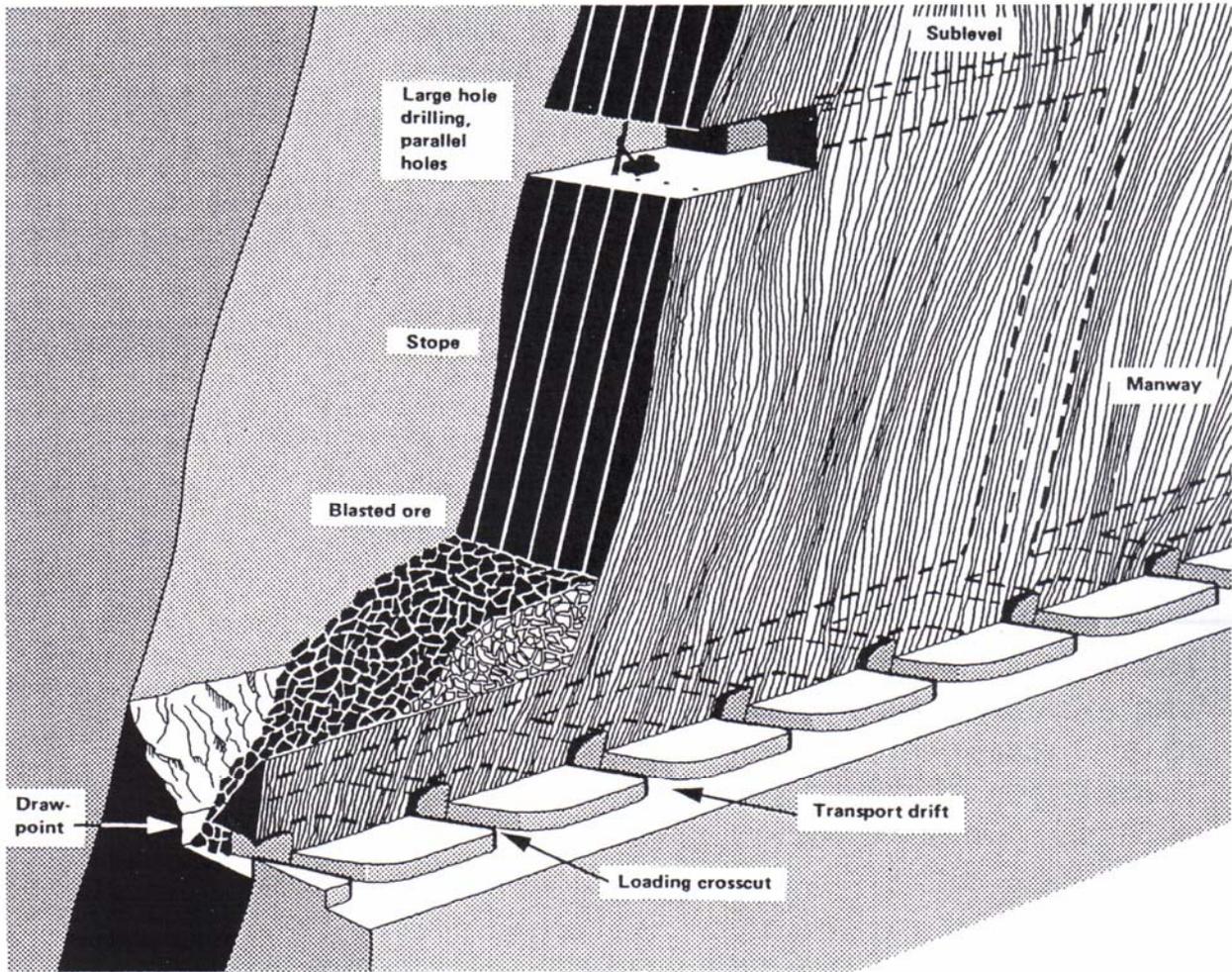
Variantes

- VCR: vertical crater retreat
 - Tronadura con cargas esféricas en la base de hoyos verticales



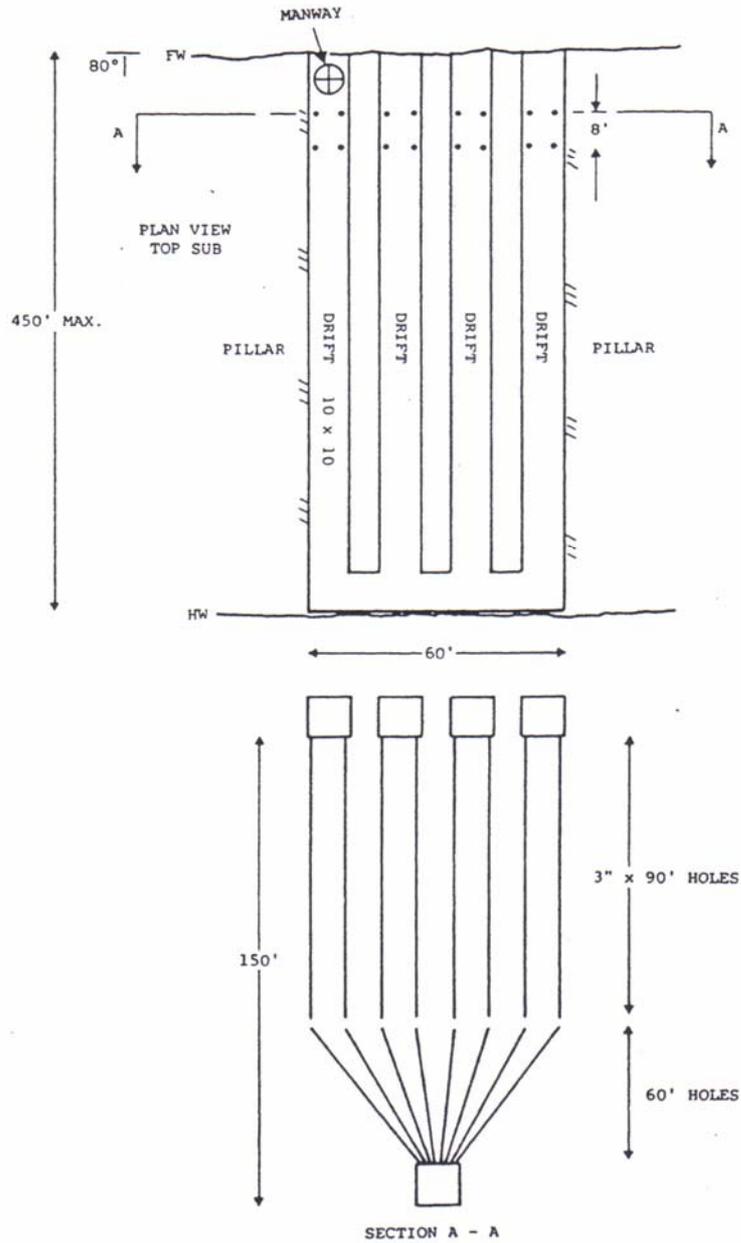


SUB LEVEL STOPPING CONVENCIONAL
PRINCIPIOS DEL MÉTODO



SUB LEVEL STOPPING VARIANTE LONG-BLAST-HOLE (LBH)
PRINCIPIOS DEL MÉTODO

SUB - LEVEL - STOPING VARIANTE LBH
 DIAGRAMA DE PERFORACIÓN



APLICACIÓN Y EVOLUCIÓN DEL MÉTODO SLS EN LA MINA "EL SOLDADO"

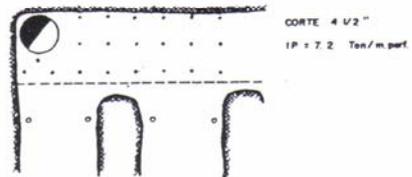
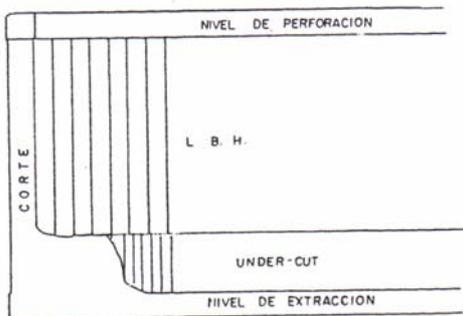
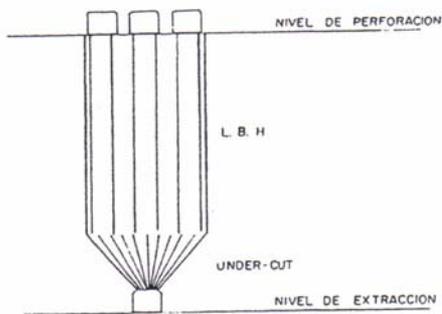
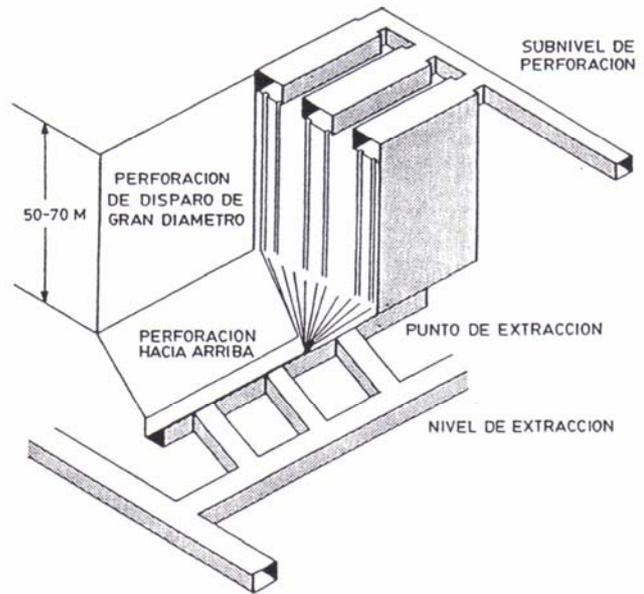
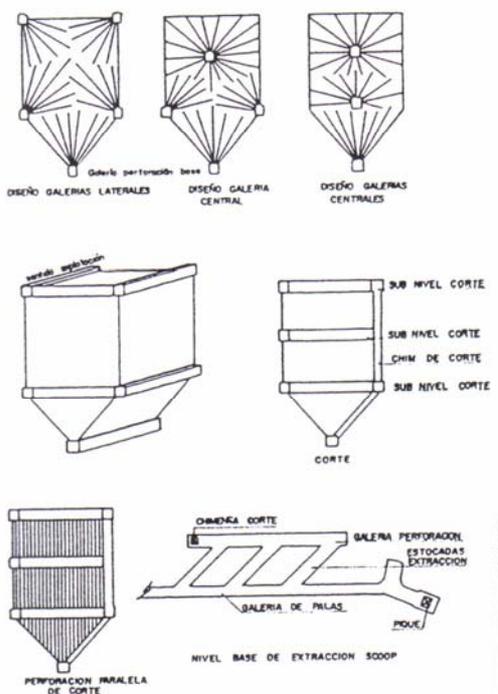


Fig. 3a

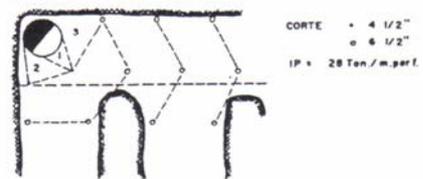


Fig. 3b

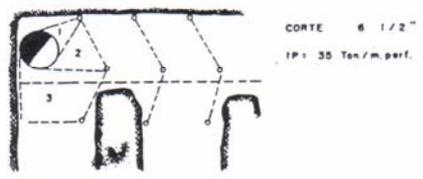
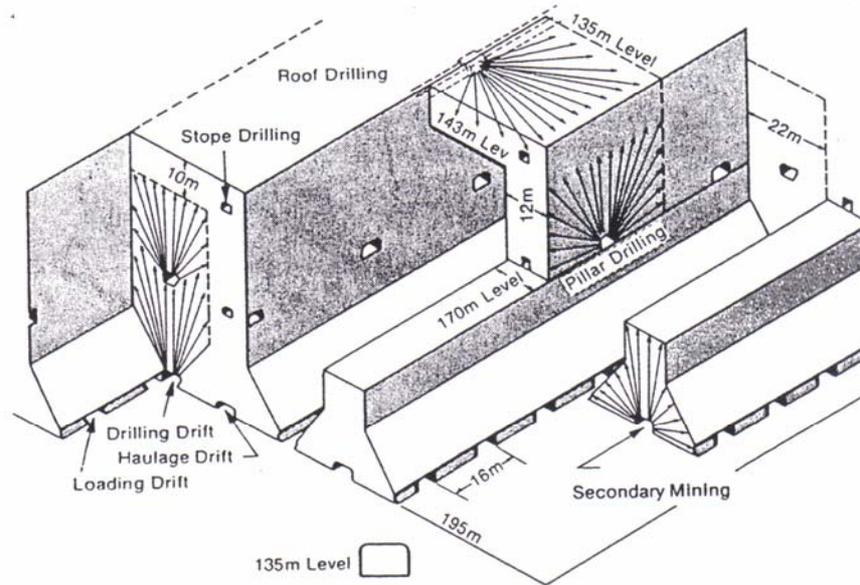


Fig. 3c

EVOLUCION DEL DIAGRAMA DE CORTE

APLICACIÓN DEL MÉTODO SLS EN UN CUERPO MASIVO

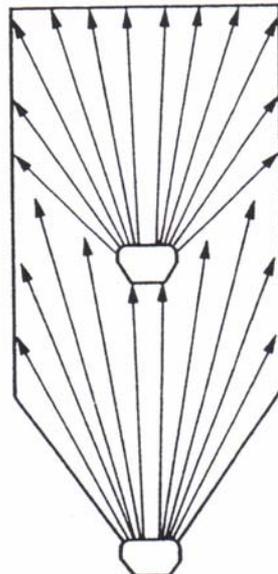
MINA DE HIERRO "STRÅSSA" EN SUECIA



143m Level

170m Level

195m Level



Hole Number
 1: 87,6°, 19,4 M = 10,5 ST
 2: 80,0°, 19,7 M = 11,0 ST
 3: 72,4°, 20,4 M = 11,0 ST
 4: 64,7°, 21,4 M = 11,5 ST
 5: 55,8°, 15,5 M = 8,5 ST
 6: 45,0°, 12,0 M = 6,5 ST
 Meters drilled per ring 216,8

Hole Number
 1: 88,0°, 21,6 M = 12,0 ST
 2: 81,0°, 25,4 M = 14,0 ST
 3: 75,0°, 30,3 M = 16,5 ST
 4: 69,5°, 26,6 M = 14,5 ST
 5: 63,0°, 20,0 M = 11,0 ST
 6: 55,0°, 15,2 M = 8,5 ST
 Meters drilled per ring 278,2

EXCAVACIÓN CORTE INICIAL (SLOT)
 MINA "RØDSAND GRUBER" EN NORUEGA

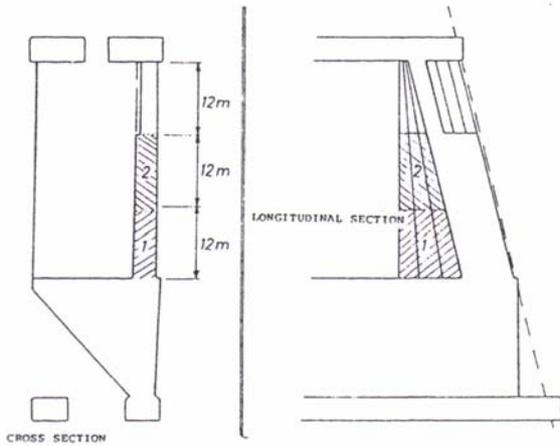


Fig. 3. Second step in the opening of the slot.

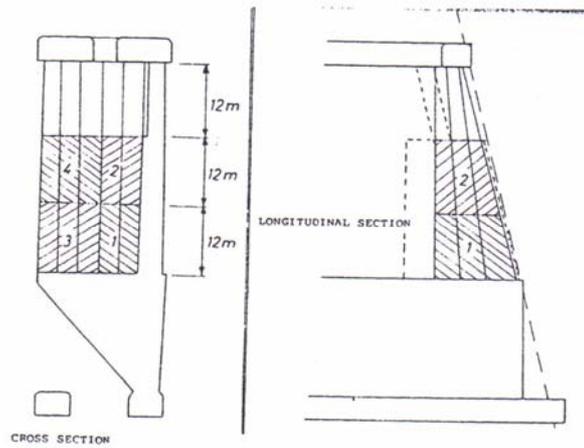
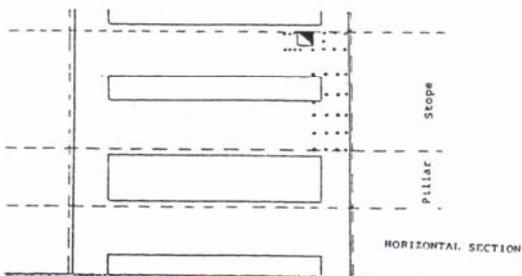
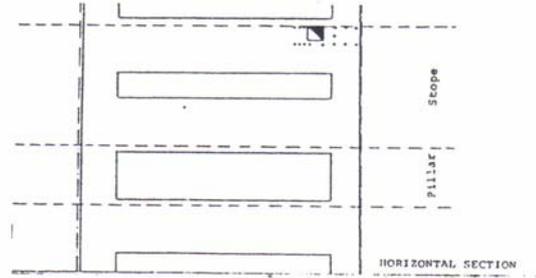


Fig. 4. Third step in the opening of the slot.

MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN – CUT AND FILL



Cut and Fill Stopping

Aplicable a depósitos verticales (vetas) o depósitos de gran tamaño e irregulares.

Condiciones de aplicación

Se aplica por lo general en cuerpos de forma tabular verticales o subverticales, de espesor variable desde unos pocos metros hasta 15 o 20 m en algunos casos

Se prefiere a otras alternativas cuando la roca encajadora (paredes) presentan malas condiciones de estabilidad (incompetente). En cambio, la roca mineralizada debe ser estable y competente, especialmente si se trata de cuerpos de gran espesor.

El mineral extraído debe ser suficientemente valioso de modo que el beneficio obtenido por su recuperación compense los mayores costos del método.

Principios

Consiste en excavar el mineral por tajadas horizontales en una secuencia ascendente (realce) partiendo de la base del caserón. Todo el mineral arrancado es extraído del caserón.

Cuando se ha excavado una tajada completa, el vacío dejado se rellena con material exógeno que permite sostener las paredes y sirve como piso de trabajo para el arranque y extracción de la tajada siguiente.

El mineral se extrae a través de piques artificiales emplazados en relleno, que se van construyendo a medida que la explotación progresa hacia arriba.

Como relleno, se utiliza el material estéril proveniente de los desarrollos subterráneos o de la superficie, también relaves o rípios de las plantas de beneficio, e incluso, mezclas pobres de material particulado y cemento para darle mayor resistencia.

Desarrollos

Una galería principal de transporte emplazada a lo largo de la base del caserón, dotada de las correspondientes instalaciones de carguío (buzones).

Subnivel de corte inicial (undercut), ubicado entre 5 a 10 m sobre el nivel de transporte, y sus correspondientes chimeneas de acceso.

Piques o chimeneas de ventilación, acceso y traspaso del material de relleno, comunicadas con la superficie o con un nivel superior.

Arranque

Se puede realizar con perforación horizontal como también vertical hacia arriba (bancos invertidos). Ambas soluciones tienen ventajas y desventajas.

Dependiendo de las dimensiones del cuerpo mineralizado, espacios disponibles y capacidad productiva, es posible utilizar perforación manual (jack-legs o stopers) como también equipos tales como jumbos o wagon-drills.

Manejo del mineral

El manejo del mineral arrancado en el caserón consiste en cargarlo y transportarlo hasta los piques artificiales de traspaso.

Dependiendo de las dimensiones del caserón y de la capacidad productiva de la faena, esta operación puede ejecutarse con palas manuales y carretillas (minería artesanal), palas de arrastre o scrapers, y también con equipos cargadores sobre neumáticos LHD.

En la base del caserón, los piques de traspaso descargan el mineral por intermedio de buzones a carros de ferrocarril o camiones.

Ventilación

Por lo general, el aire es inyectado a los caserones desde el nivel de transporte a través de chimeneas de acceso.

En los frentes de trabajo, al interior del caserón, se utiliza ventilación secundaria mediante ventiladores auxiliares y ductos.

El aire viciado se extrae por las chimeneas de ventilación y/o de acceso hacia el nivel superior, y luego es evacuado incorporándolo en el circuito general de ventilación de la mina.

Fortificación

Teniendo en cuenta que este método se aplica en cuerpos tabulares con roca encajadora poco competente, la práctica habitual es el apernado sistemático de las paredes, incluyendo cintas metálicas, malla de acero o cables según las condiciones de terreno.

El techo mineralizado se mantiene estable con elementos de fortificación semi-permanentes tales como pernos y/o malla de alambre.

Comentarios

Es un método bastante versátil, con un rango de aplicación amplio, especialmente en condiciones de roca incompetente o de características impredecibles. Permite una buena recuperación y selectividad de las reservas, se pueden obviar sin problemas las irregularidades del yacimiento. Los sectores estériles pueden quedar como pilares, como asimismo es posible dejar en el mismo caserón mineral tronado de baja ley. La dilución es controlable utilizando sistemas de soporte adecuados.

Entre sus debilidades se pueden señalar las siguientes:

- Discontinuidad de las operaciones para permitir la colocación del relleno y los elementos de refuerzo.
- El volumen de mineral arrancado en un ciclo de trabajo es relativamente pequeño.
- Los requerimientos de mano de obra en actividades no productivas es alto, por lo tanto la productividad del método es baja.

Sin embargo, con los equipos sobre neumáticos disponibles hoy en día, se puede alcanzar un buen nivel de mecanización. La habilitación de rampas de acceso facilita el desplazamiento de los equipos de un caserón a otro, lo que permite mejorar sus rendimientos y, por consiguiente, la productividad del método. En suma, es un método de alto costo, cuya aplicación se justifica cuando el mineral extraído tiene un valor asociado importante y las condiciones de estabilidad de la roca encajadora son precarias.

Variantes

Overhand C&F Stoping

- Cortes horizontales de 1.8 a 4.6 m son extraídos alejándose del acceso, hacia arriba.
- Mineral arrancado queda sobre el relleno
 - desarrollo se inicia en la base del cuerpo
- Techo puede sostenerse con pernos ocasionales si el mineral es competente o con pernos en una malla regular, para que el personal trabaje bajo un techo controlado
- Problemas con perforación para tronadura (interferencia) y porque hay que sacar pernos a mano del material quebrado para que no interfiera en traspaso, y otros procesos (chancado)
 - Soporte de techo y muros con madera

Post Pillar Stoping

- Para cuerpos anchos verticalmente que no pueden ser explotados por Room and Pillar
- Se mantienen pilares para soportar techo, pero el relleno los confina
- Mineral debe ser de buena competencia para prevenir fallas en pilares y techo

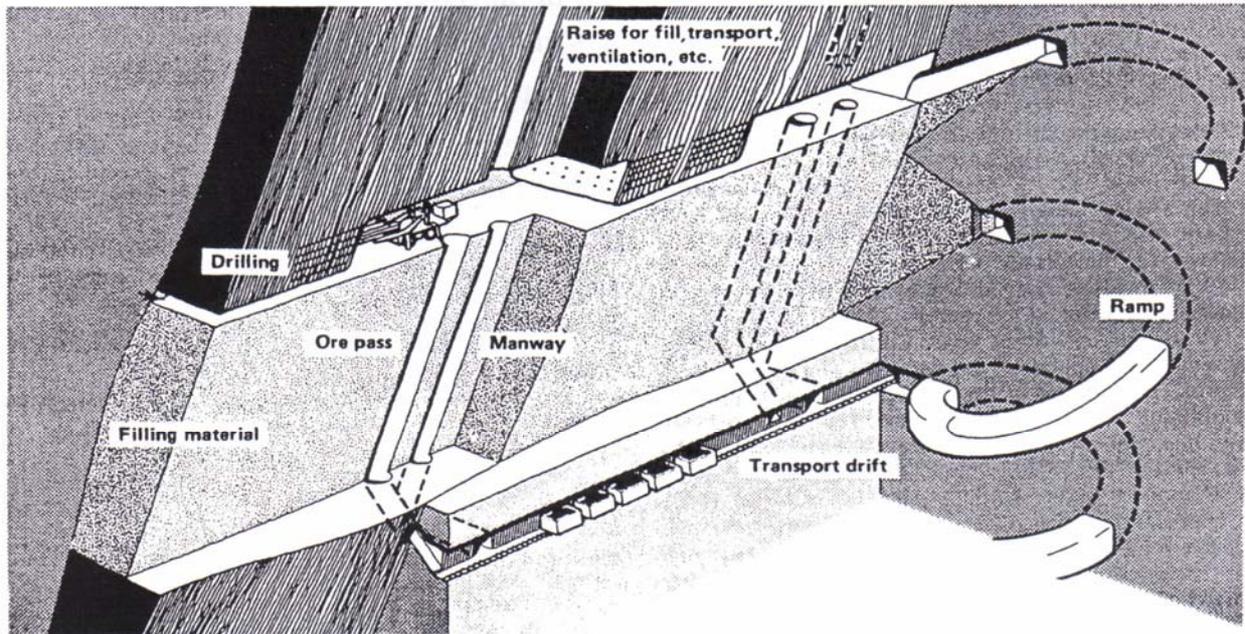
Under C&F Stoping

- Igual al Overhand C&F Stoping, pero se procede en dirección descendente

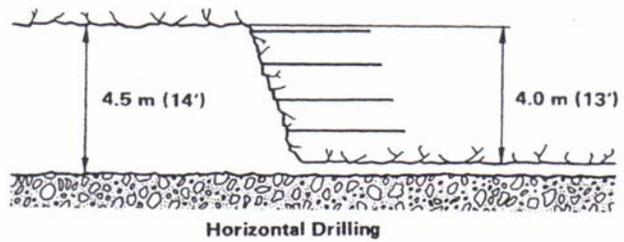
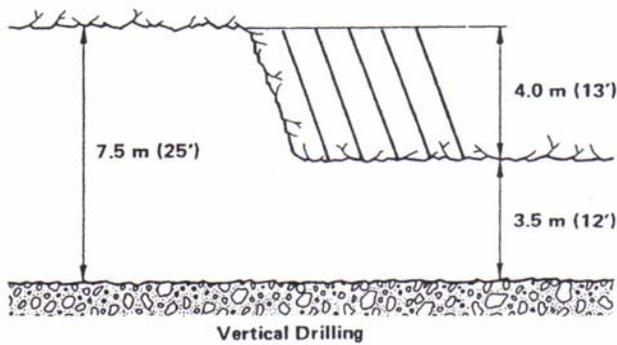
Drift&Fill Stoping

- Consiste en extraer por medio de galerías que son rellenas, permitiendo la extracción de la "galería" adyacente.

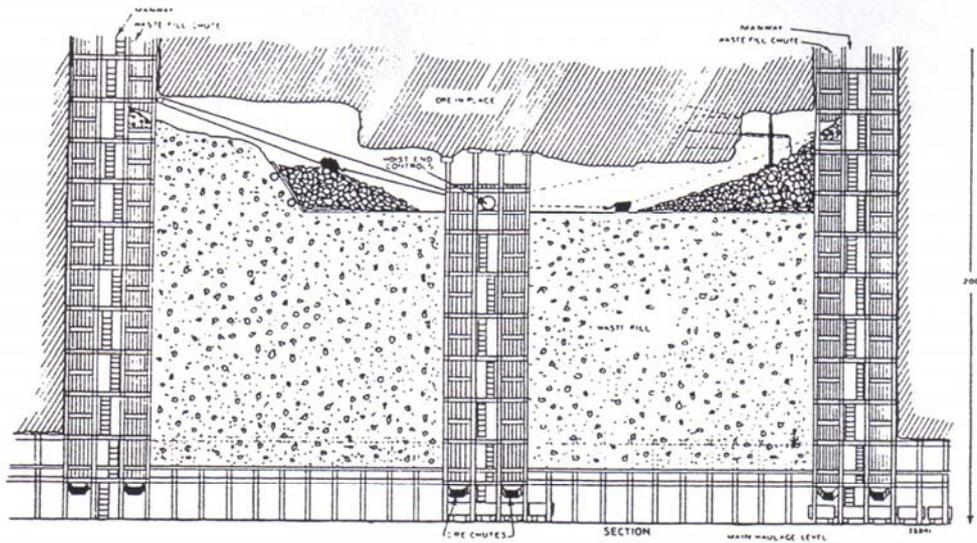
CUT AND FILL



PRINCIPIOS DEL MÉTODO



ARRANQUE DEL MINERAL



CUT - AND - FILL CONVENCIONAL, CON RELLENO DE MATERIAL ESTÉRIL Y MANEJO DEL MINERAL CON SCRAPERS

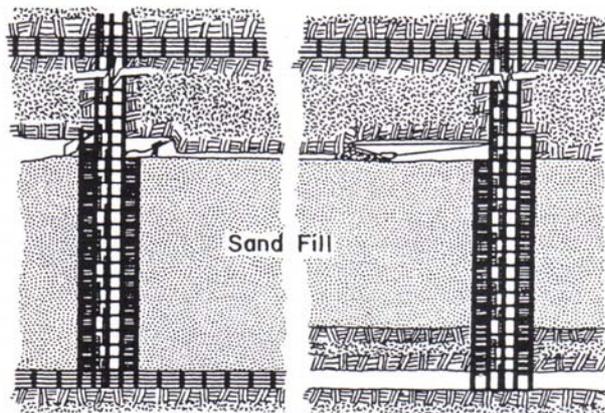


Fig. 3a. Conventional cut-and-fill system, with four-compartment timbered raise chutes carried blind with or without sill pillar development.

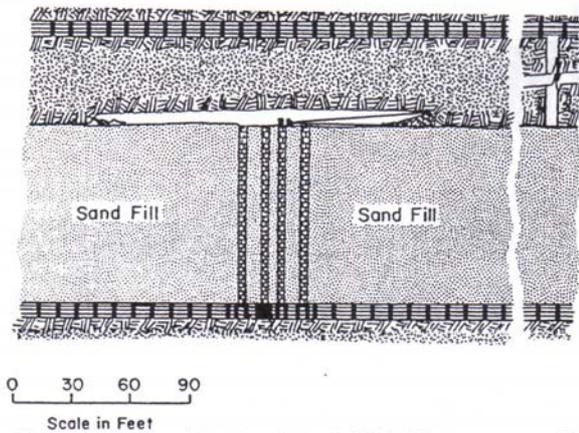
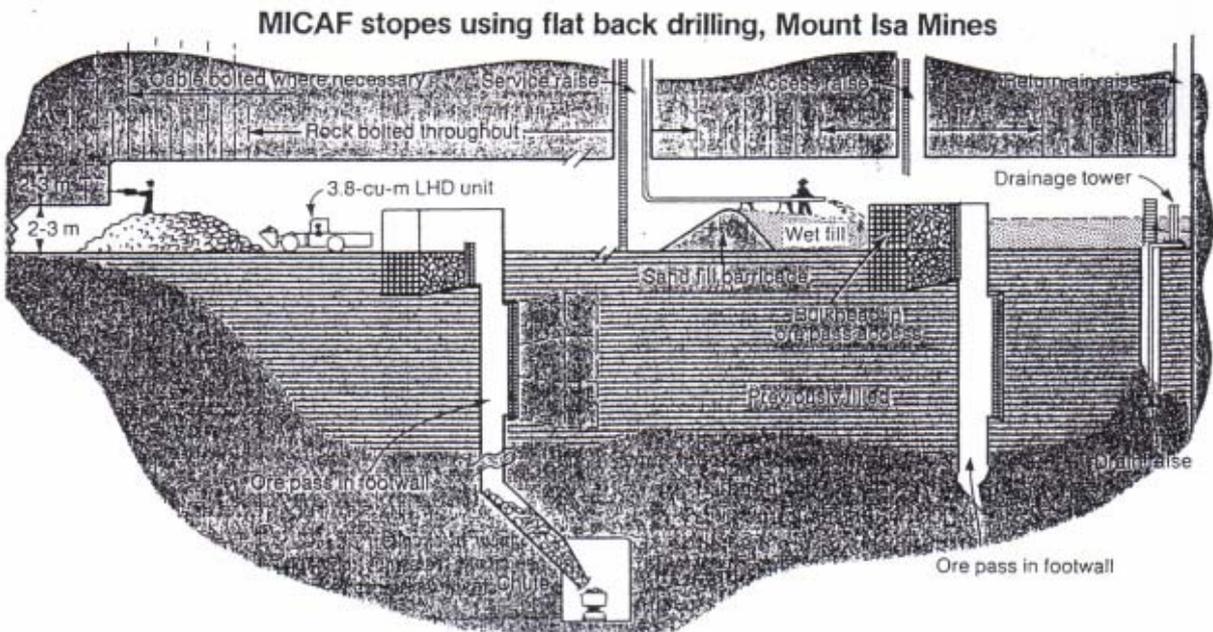
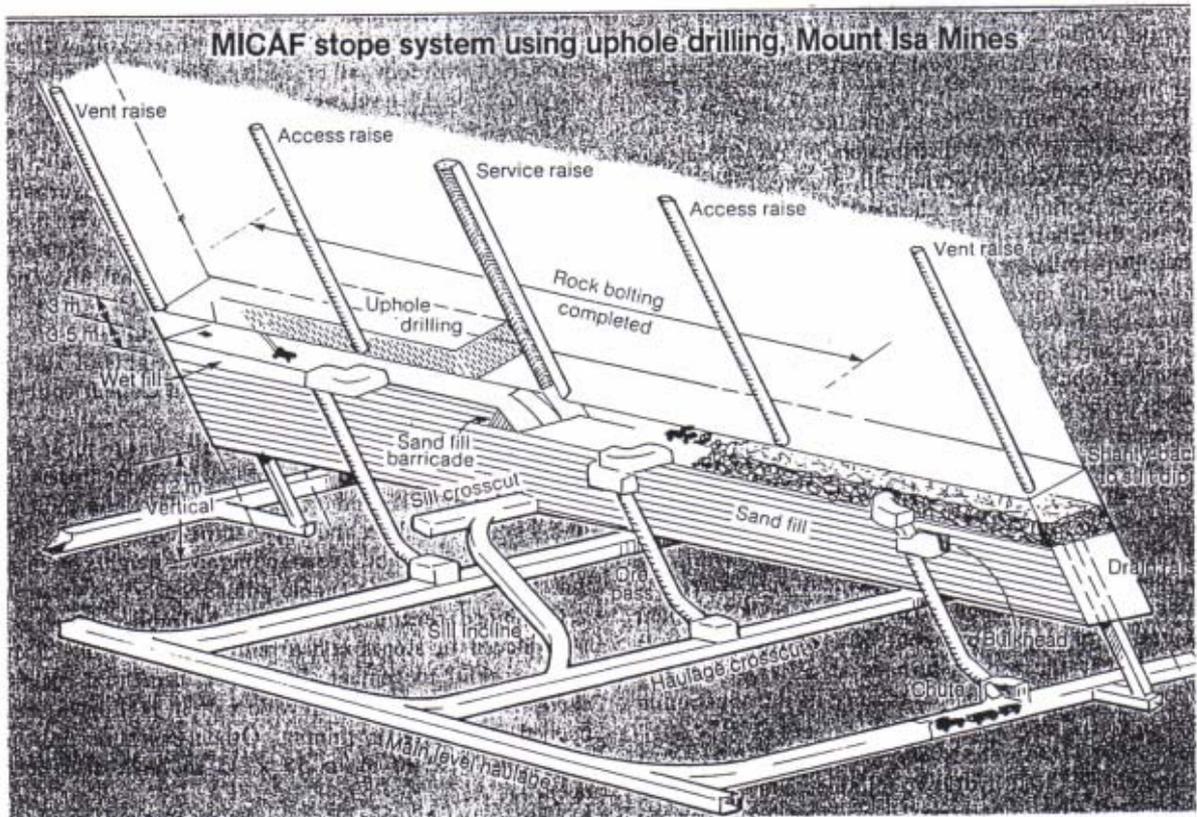
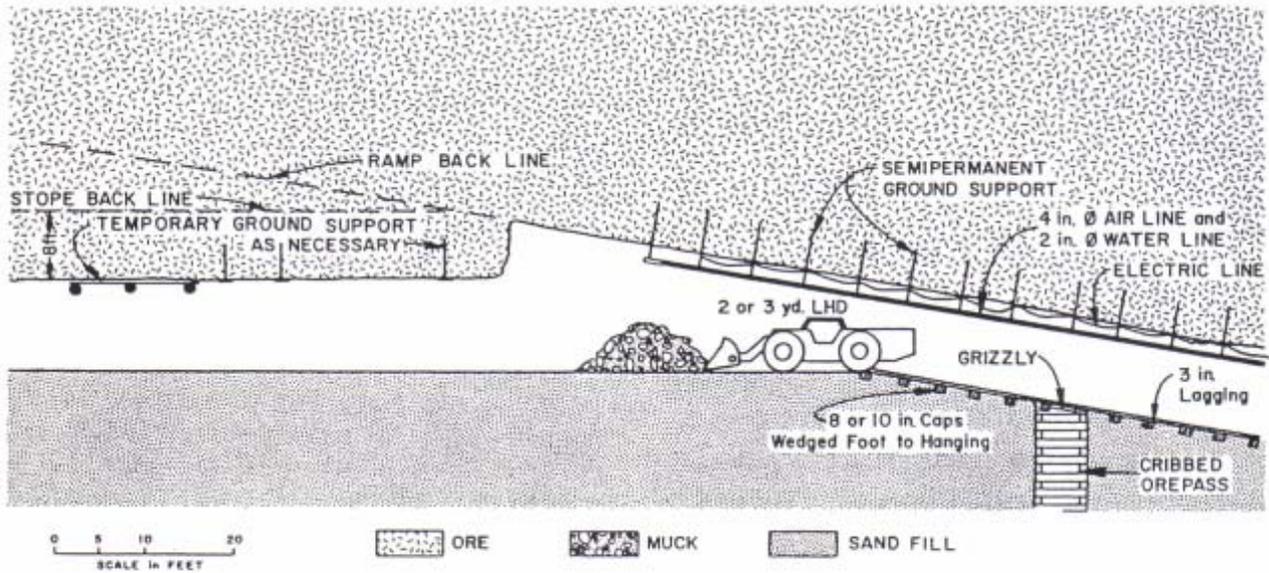
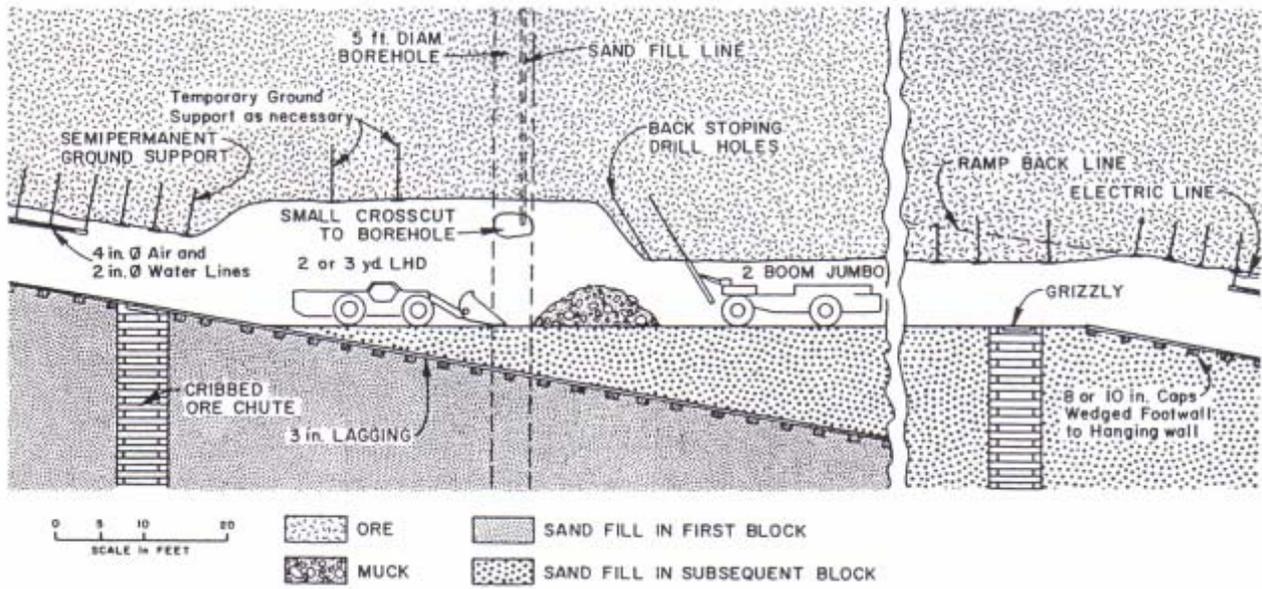


Fig. 3d. Conventional cut and fill, with a reverse liner plate chute and manways to the upper level.

CUT - AND - FILL CONVENCIONAL, CON RELLENO DE MATERIAL FINO (ARENA) Y MANEJO DEL MINERAL CON SCRAPERS



CUT - AND - FILL MECANIZADO, CON RELLENO HIDRÁULICO (RELAVES) Y MANEJO DEL MINERAL CON EQUIPOS LHD



CUT - AND - FILL MECANIZADO
DETALLE DE LAS OPERACIONES AL INTERIOR DEL CASERÓN

MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN – SUBLEVEL CAVING



Sublevel Caving

Condiciones de aplicación

El método SLC se aplica de preferencia en cuerpos de forma tabular, verticales o subverticales, de grandes dimensiones, tanto en espesor como en su extensión vertical. También es aplicable en yacimientos masivos.

La roca mineralizada debe presentar condiciones de competencia solo suficientes para que las labores emplazadas en ella permanezcan estables con un mínimo de elementos de refuerzo.

La roca circundante, o más específicamente la superpuesta, debe ser poco competente, de modo que se derrumbe con facilidad ocupando el vacío dejado por la extracción de la roca mineralizada.

Es deseable que la roca mineralizada y el material estéril superpuesto sean fácilmente diferenciables y separables, en el sentido de minimizar su mezcla y por consiguiente la dilución del mineral.

Principios

En general el concepto de método por hundimiento implica que el material estéril superpuesto se derrumba y rellena el vacío que va dejando la extracción del cuerpo mineralizado. Este proceso se debe propagar hasta la superficie, creando así una cavidad o cráter.

Consiste en dividir el cuerpo mineralizado en subniveles espaciados verticalmente entre 10 a 20 m. En cada subnivel se desarrolla una red de galerías paralelas que cruzan transversalmente el cuerpo, a distancias del orden de 10 a 15 m.

Las galerías de un determinado subnivel se ubican entremedio y equidistantes de las galerías de los subniveles inmediatamente vecinos. De este modo, toda la sección mineralizada queda cubierta por una malla de galerías dispuestas en una configuración romboidal.

Las operaciones de arranque, carguío y transporte del mineral, se realizan a partir de estos subniveles en una secuencia descendente.

Desarrollos

Una rampa que comunica y permite el acceso a todos los subniveles.

Galerías de cabecera en cada uno de los subniveles, emplazadas en la roca yacente (footwall), por lo general orientadas según el rumbo y siguiendo el contorno del cuerpo mineralizado.

Galerías de arranque y extracción del mineral en todos los subniveles, según la disposición indicada previamente. Estas galerías, de gran sección, constituyen la mayor parte de los desarrollos requeridos y su excavación puede llegar a representar hasta un 20% de la capacidad productiva de la mina.

Piques de traspaso que se conectan a todos los subniveles y que permiten la evacuación del mineral arrancado hacia un nivel de transporte principal.

Arranque

La operación de arranque se inicia en el subnivel superior, en retroceso desde el límite más alejado o pendiente (hanging wall) del cuerpo mineralizado hacia el límite yacente (foot wall).

Desde cada galería del subnivel se perforan tiros hacia arriba, según un diagrama en abanico que cubre toda la sección de roca de forma romboidal ubicada inmediatamente encima.

La longitud de los tiros es variable pudiendo alcanzar hasta unos 40m. El diámetro de perforación se ubica en el rango de 50 a 90 mm. Se utilizan jumbos electrohidráulicos diseñados para perforación radial.

La perforación se realiza anticipadamente como una operación continua e independiente de la tronadura. Cada tronadura involucra entre dos y cinco abanicos por galería.

Manejo del mineral

El material arrancado se maneja con equipos LHD de gran capacidad, los cuales cargan el mineral en la frente de producción y lo transportan a través de las mismas galerías de perforación para vaciarlo en los piques de traspaso que se conectan a las galerías de cabecera.

Este sistema operativo alcanza una alta eficiencia. Una misma pala puede mantenerse continuamente en operación sirviendo simultáneamente a varias galerías.

A medida que se extrae el mineral tronado, el material estéril superpuesto rellena el vacío dejado por la explotación, mezclándose parcialmente con el mineral arrancado. La extracción continúa hasta que la introducción de material estéril supera un cierto límite pre-establecido.

Ventilación

El uso intensivo de cargadores LHD diesel exige disponer de una buena ventilación en las galerías de producción. Considerando que tales labores son ciegas, se debe recurrir a sistemas auxiliares de ventilación.

La solución más socorrida consiste en inyectar el aire fresco por la rampla. El aire accede así a la galería de cabecera donde se instala una puerta de control dotada de un ventilador soplante inyector.

A partir de esta puerta, el aire sigue su recorrido hacia las galerías de producción por el interior de una red de ductos de acero o material plástico, que rematan en los frentes de trabajo.

El aire retorna ventilando las galerías de producción hacia la galería de cabecera, de donde es evacuado por una chimenea – dotada de un ventilador extractor – ubicada al interior de la puerta de control.

Fortificación

Este método implica el desarrollo de una gran cantidad de labores de gran sección, específicamente las galerías de producción de 4 a 5 m de ancho, que a su vez tienen una vida relativamente corta. Ambos sentidos apuntan en sentido contrapuesto en cuanto a satisfacer de modo eficiente las condiciones de estabilidad de tales excavaciones.

Si se trata de una roca competente no se requiere de elementos de fortificación adicionales. En presencia de rocas medianamente competentes, se pueden utilizar elementos de refuerzo provisorios tales como enmaderado, pernos cementados y malla de alambre.

El principal problema se presenta en la mantención del frente de extracción o visera. La presencia de roca de mala calidad requiere de elementos de fortificación semi-permanentes tales como malla de acero, shotcrete o incluso marcos de acero, situación que puede afectar seriamente las posibilidades de aplicación del método.

Comentarios

El SLC es un método de alta capacidad productiva; su disposición general (layout) es bastante simple, regular y esquemática; y no requiere de excavaciones e instalaciones demasiado complejas.

Las operaciones involucradas – desarrollo, arranque y manejo de mineral – se realizan en sectores o niveles distintos, con escasa interferencia, lo que permite una secuencia fluida e independiente de cada una de estas operaciones.

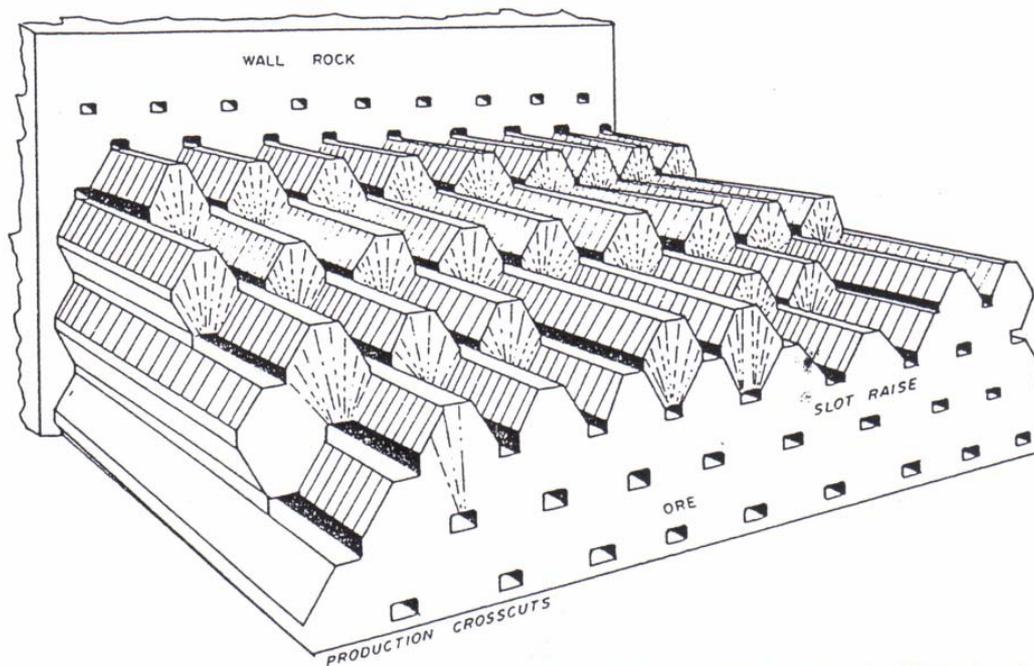
Tales condiciones permiten una intensiva utilización de equipos mecanizados de alta productividad pudiendo así alcanzar el proceso un gran nivel de eficiencia y altos estándares técnicos.

La principal debilidad de este método es la alta dilución a la que queda expuesto permanentemente el mineral arrancado durante el proceso de extracción. Se mide en términos de la relación entre la diferencia de leyes del mineral in-situ y del material extraído, con respecto a la diferencia de leyes del mineral in-situ y del material contaminante. Se expresa en porcentaje y puede alcanzar en este caso cifras de hasta un 25%.

La dilución, a su vez, afecta la recuperación de las reservas. Cuando la ley del material extraído alcanza el valor mínimo económico estimado aceptable (ley de corte), la extracción se interrumpe y parte del mineral arrancado se pierde.

Requiere un gran volumen de desarrollos, que si bien es cierto en gran medida son en mineral, de todos modos los costos involucrados inciden de modo significativo en el costo operacional del proceso productivo.

SUBLEVEL CAVING

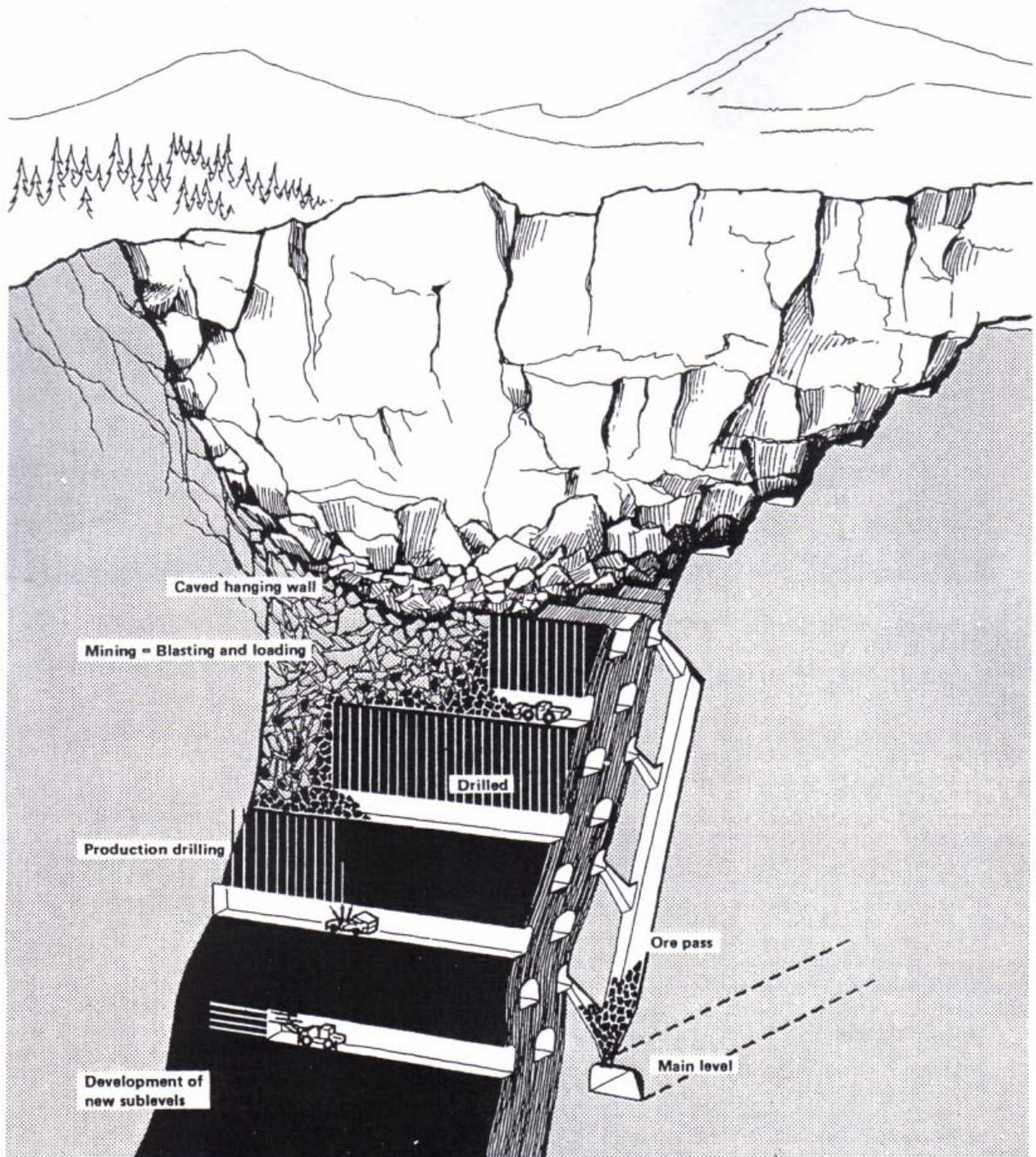


Perspective view of transverse sublevel caving with waste-cover removed. (Original scale: 1 in. = 45 ft.)

DISPOSICIÓN GENERAL DE LOS SUBNIVELES

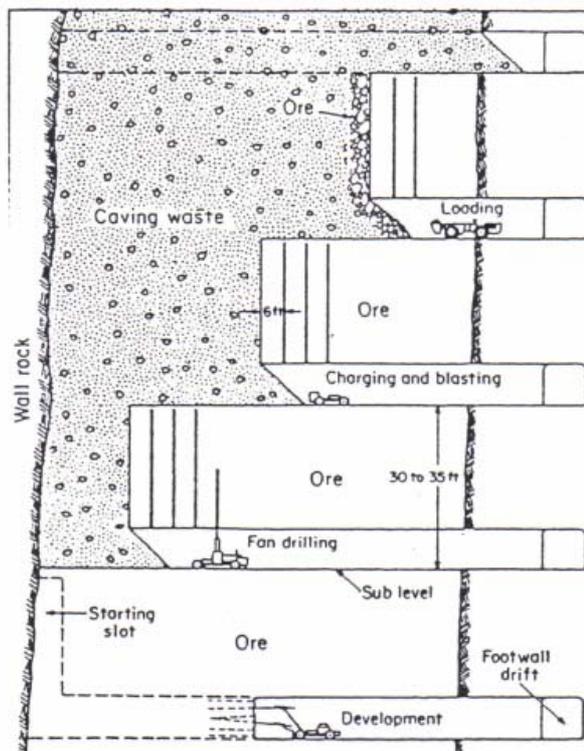
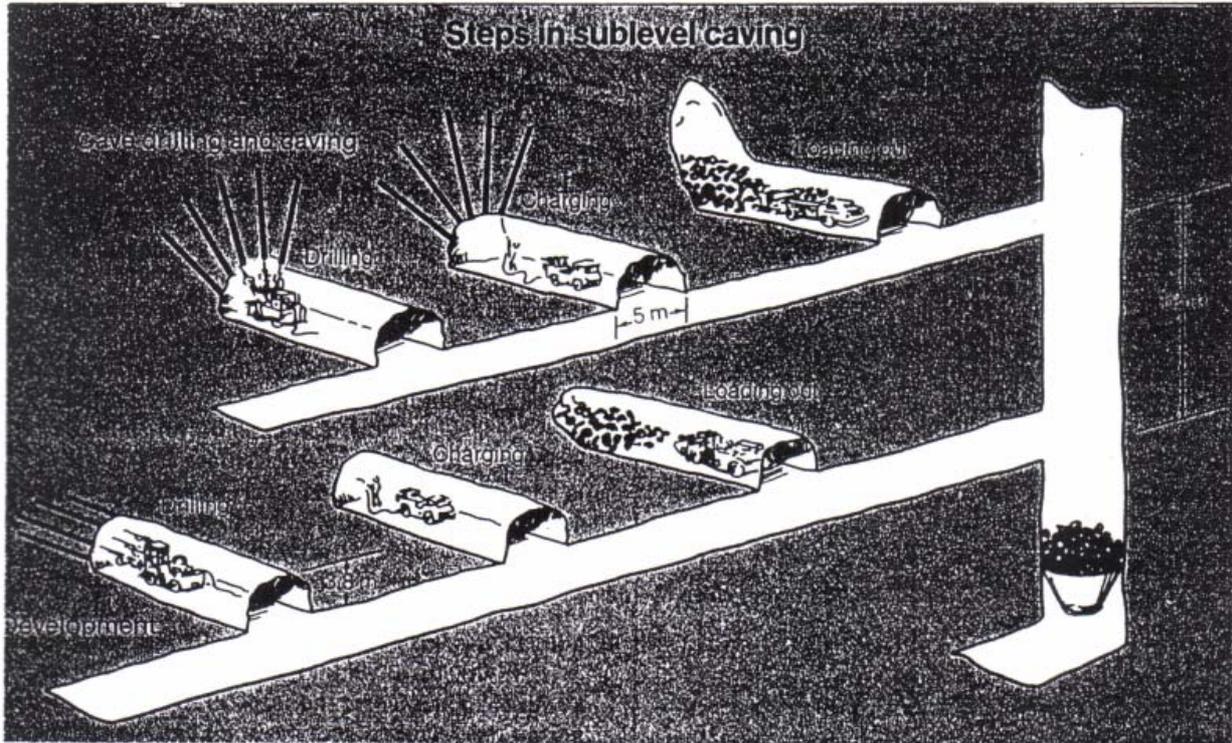
SUBLEVEL CAVING

PRINCIPIOS DEL MÉTODO



SUB LEVEL CAVING

PRINCIPIOS DEL MÉTODO



SUB LEVEL CAVING

DISPOSICIÓN GENERAL DE LAS LABORES

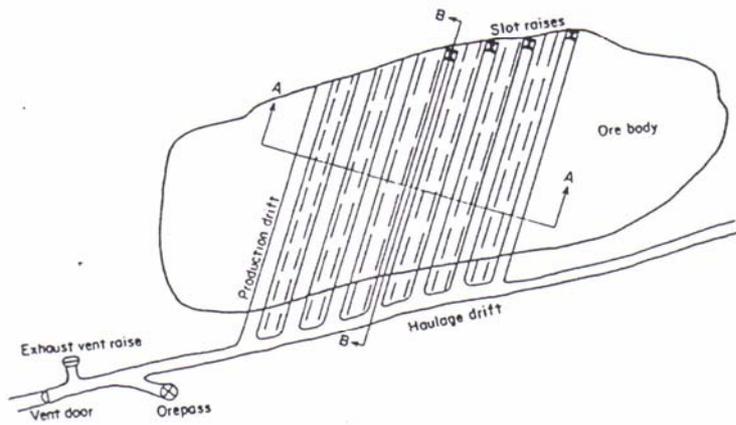
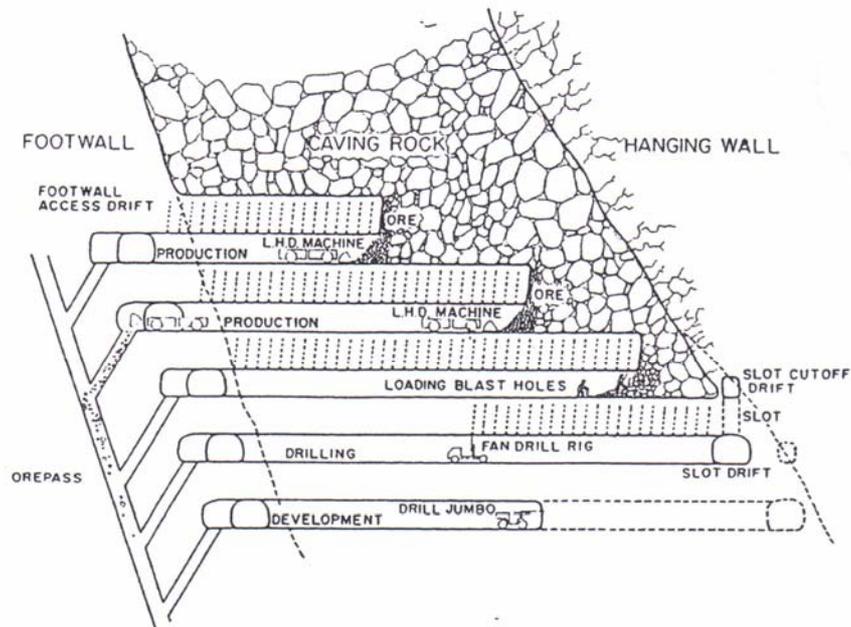


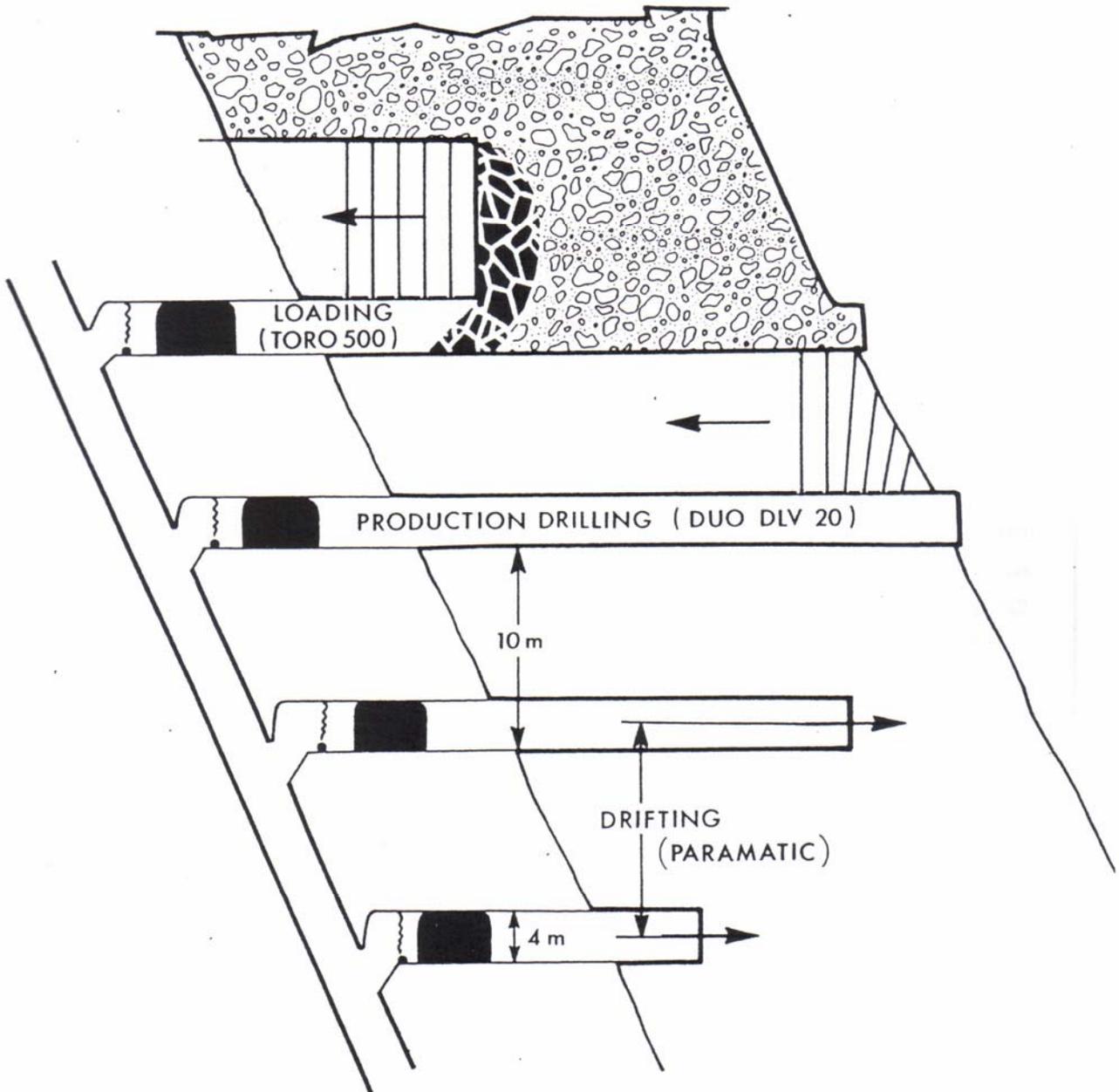
Fig. 1. Typical layout plan. Production drifts on level below are dotted.

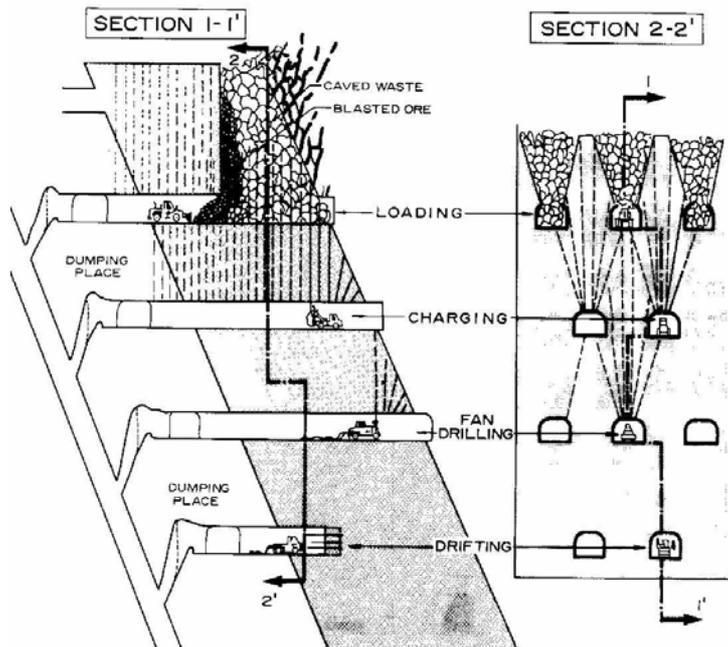
Cross sectional view of sublevel caving.

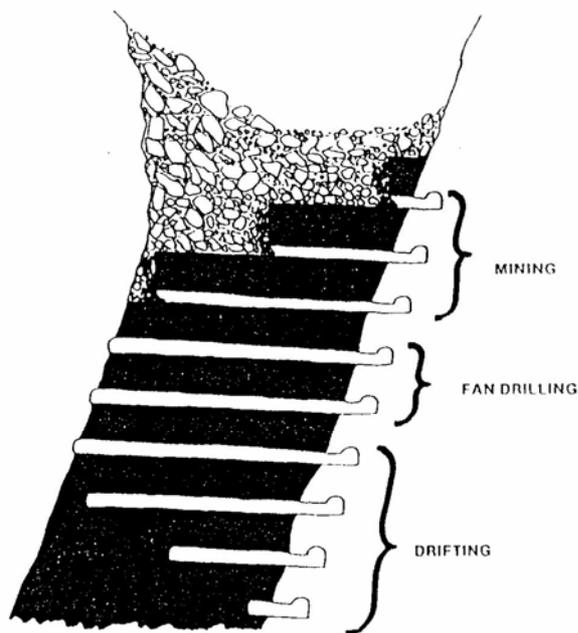


SUB LEVEL CAVING

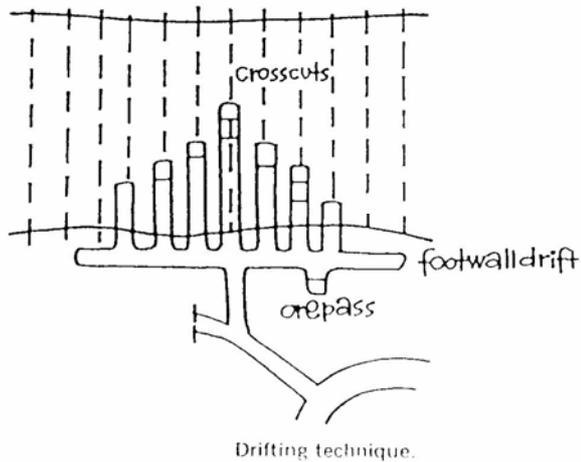
ARRANQUE DEL MINERAL



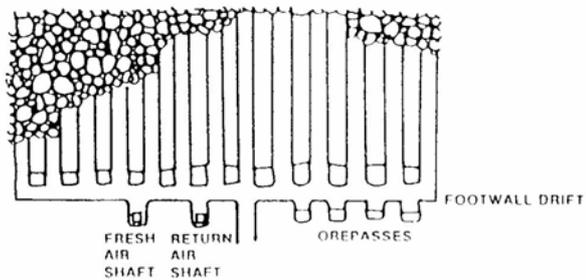




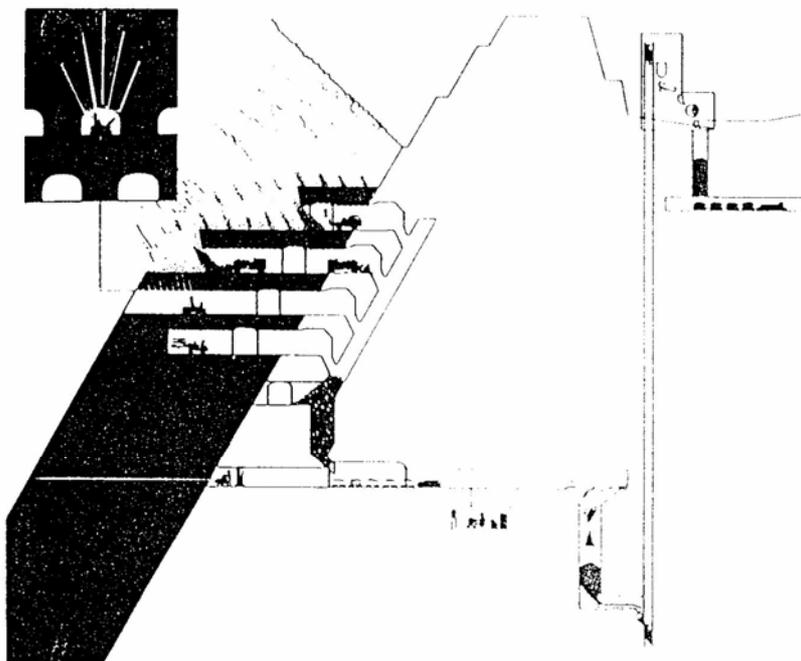
Cross section showing the present mining system.



Drifting technique.



Main haulage level where ore is transported by train to crushers, then hoisted in skips to sorting plants, and finally transported by train to the harbor for shipment.



MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN – BLOCK CAVING



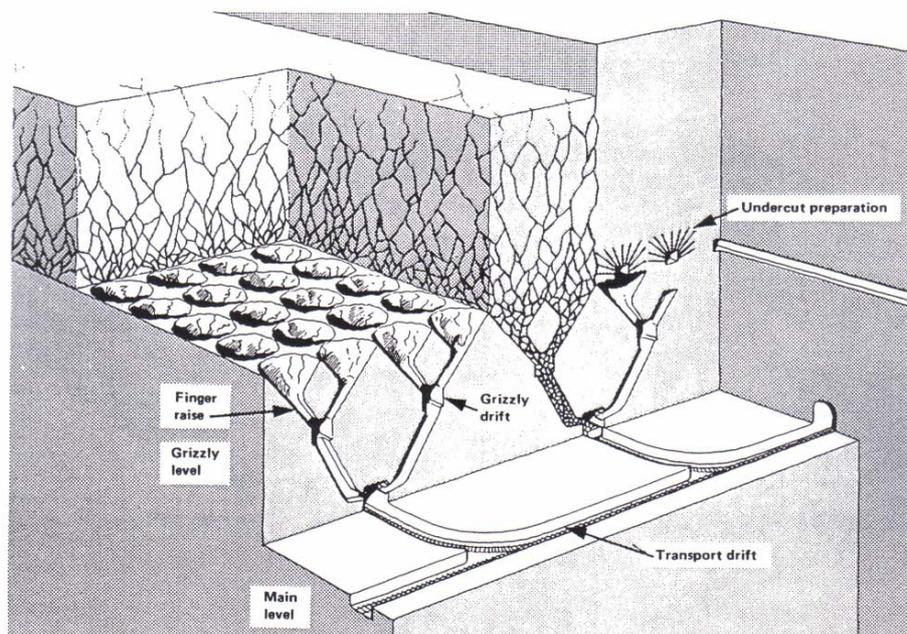
Block Caving

Condiciones de aplicación

El método de block caving se aplica, casi sin excepción, en yacimientos masivos de grandes dimensiones, como son por ejemplo, los depósitos minerales diseminados conocidos con el nombre de cobres porfíricos, de gran ocurrencia e importancia económica en nuestro país. También es posible su aplicación en cuerpos de forma tabular de gran espesor.

Sus mejores condiciones de aplicación se dan en rocas mineralizadas relativamente incompetentes, con un alto índice de fracturas, que se hunden con facilidad quebrándose en fragmentos de tamaño reducido. Sin embargo, la tecnología disponible hoy en día permite también su aplicación en macizos rocosos que presentan alta resistencia a fragmentarse.

Es muy deseable o casi imprescindible que los límites del depósito sean regulares y que la distribución de leyes sea uniforme. Este método no permite la explotación selectiva o marginal de cuerpos pequeños, como a la inversa, tampoco es posible separar sectores de baja ley incluidos dentro del macizo mineralizado.



Principios

En lo esencial, este método consiste en inducir el hundimiento de una columna mineralizada, socavándola mediante la excavación de un corte basal, proceso que se realiza aplicando las técnicas convencionales de perforación y tronadura.

Los esfuerzos internos pre-existentes en el macizo rocoso (gravitacionales y tectónicos), más los inducidos por la modificación de sus condiciones de equilibrio debido al corte basal, generan una inestabilidad en la columna de roca o loza inmediatamente superior. Esta se desploma parcialmente rellenando el vacío creado y la situación de equilibrio tiende a reestablecerse.

El mineral derrumbado se extrae por la base a través de un sistema de embudos o zanjas recolectoras excavados previamente, generando así nuevas condiciones de inestabilidad. El fenómeno continúa y el desplome o hundimiento de la columna se propaga así sucesivamente hasta la superficie, proceso que en la terminología minera se denomina subsidencia.

El proceso termina cuando se ha extraído toda la columna mineralizada. El material estéril sobrepuesto desciende también ocupando el vacío dejado y en la superficie se observa la aparición de un cráter.

Dependiendo de su extensión vertical, el cuerpo mineralizado puede ser explotado a partir de uno o de varios niveles de producción que se hundén sucesivamente en una secuencia descendente. Las alturas de columna entre los niveles puede variar entre 40 a 300 metros.

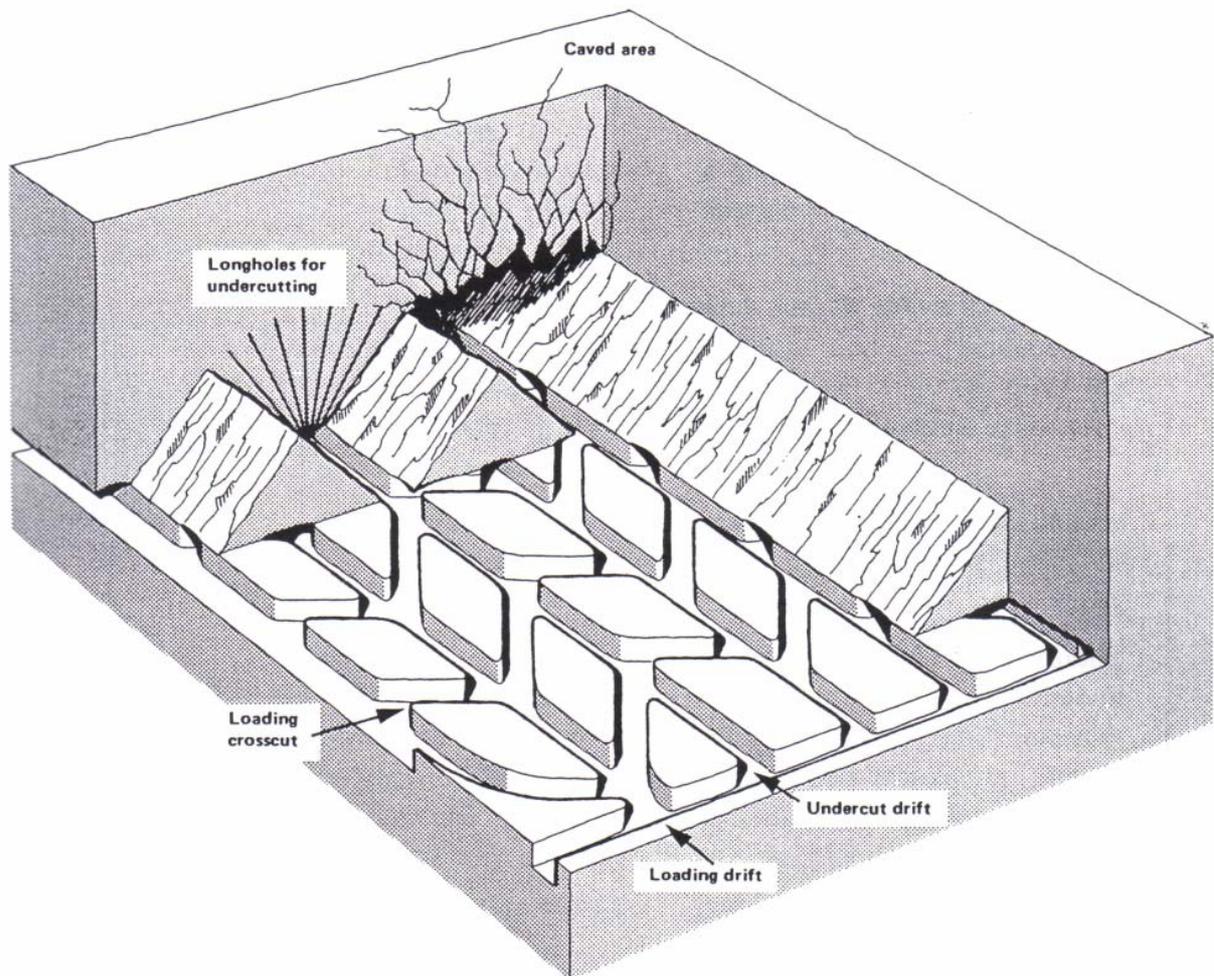
Se distinguen en la práctica dos modalidades de aplicación de este método:

1. Block Caving propiamente tal, en que cada nivel se subdivide en bloques virtuales de área basal entre 3.600 m^2 (60 x 60 m) a 10.000 m^2 (100 x 100 m), que se hundén sucesivamente en una secuencia discreta.
2. Panel Caving, que consiste en un hundimiento continuo de áreas o módulos de explotación de dimensiones menores.

Desarrollos

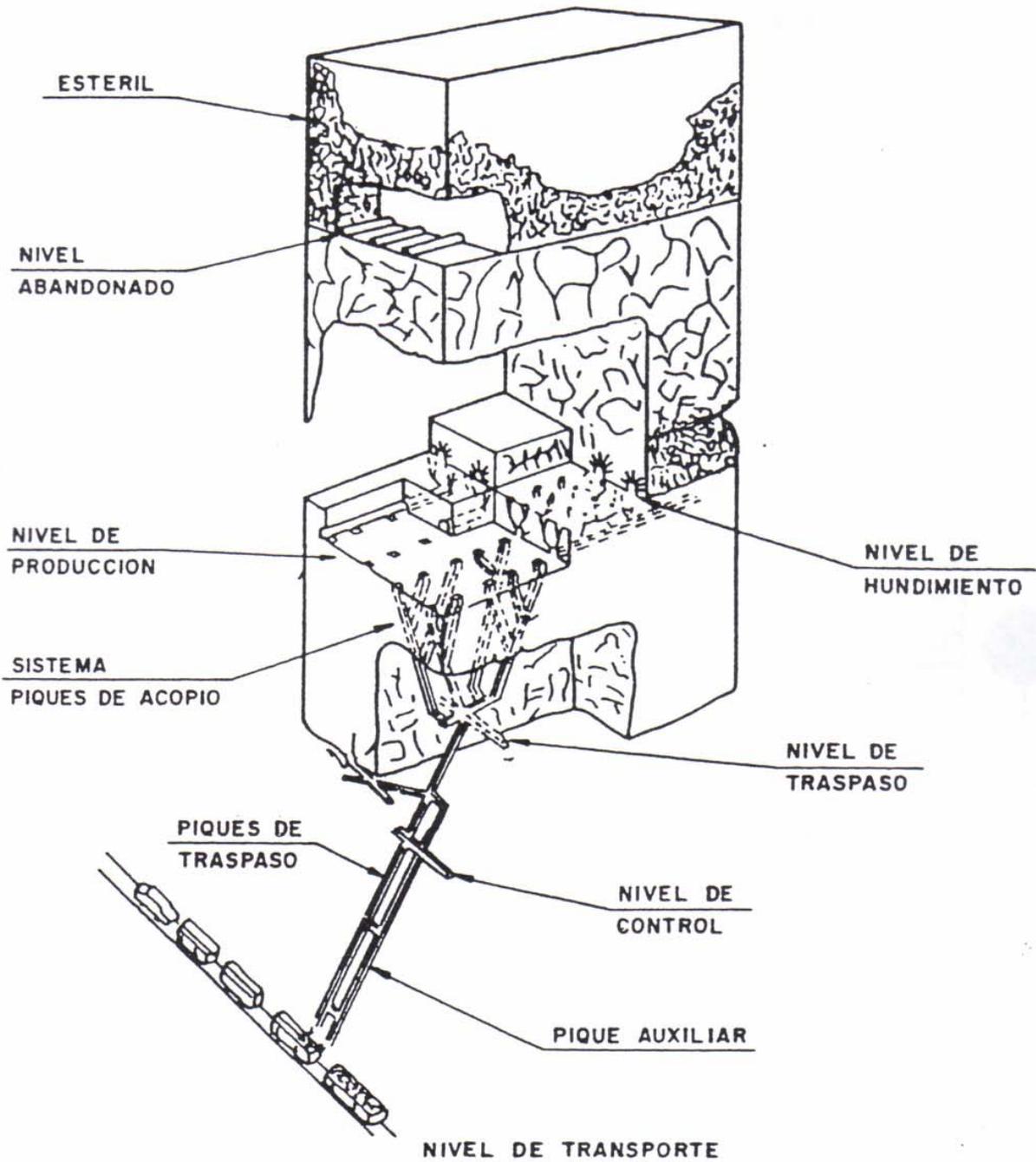
- Nivel de producción: conjunto de galerías paralelas espaciadas entre 15 a 30 m donde se realiza la operación de extracción del mineral según diversas modalidades. Incluye las correspondientes galerías de acceso o cruzados de cabecera.
- Nivel de hundimiento (UCL): conjunto de galerías paralelas espaciadas entre 15 a 30 m a partir de las cuales se realiza la socavación o corte basal de la columna mineralizada. Se ubica a una cota entre 7 a 20 m sobre el nivel de producción. Incluye las correspondientes labores de acceso o galerías de cabecera.
- Embudos o zanjas recolectoras de mineral, brazos o estocadas de carguío. Se trata de excavaciones que conectan el nivel de producción con el nivel de hundimiento, y que permiten o facilitan la extracción del mineral.
- Piques de traspaso: son labores verticales o inclinadas que conectan el nivel de producción con el nivel de transporte.

- Nivel de transporte: conjunto de galerías paralelas espaciadas entre 60 a 120 m, donde llega el mineral desde el nivel de producción. Ahí se carga por intermedio de buzones a un sistema de transporte que lo conduce a la planta de chancado, que puede estar ubicada en superficie o en el interior de la mina.
- Subnivel de ventilación: conjunto de galerías paralelas espaciadas entre 60 a 120 m, y los correspondientes cruzados de cabecera, ubicadas bajo el nivel de producción (15 a 30 m). Incluye las chimeneas por donde se inyecta o se extrae el aire hacia y desde el nivel de producción respectivamente.
- Subnivel de control y/o reducción: puede ser o no necesario, dependiendo de la geometría del cuerpo mineralizado y de las características de la roca.



BLOCK CAVING

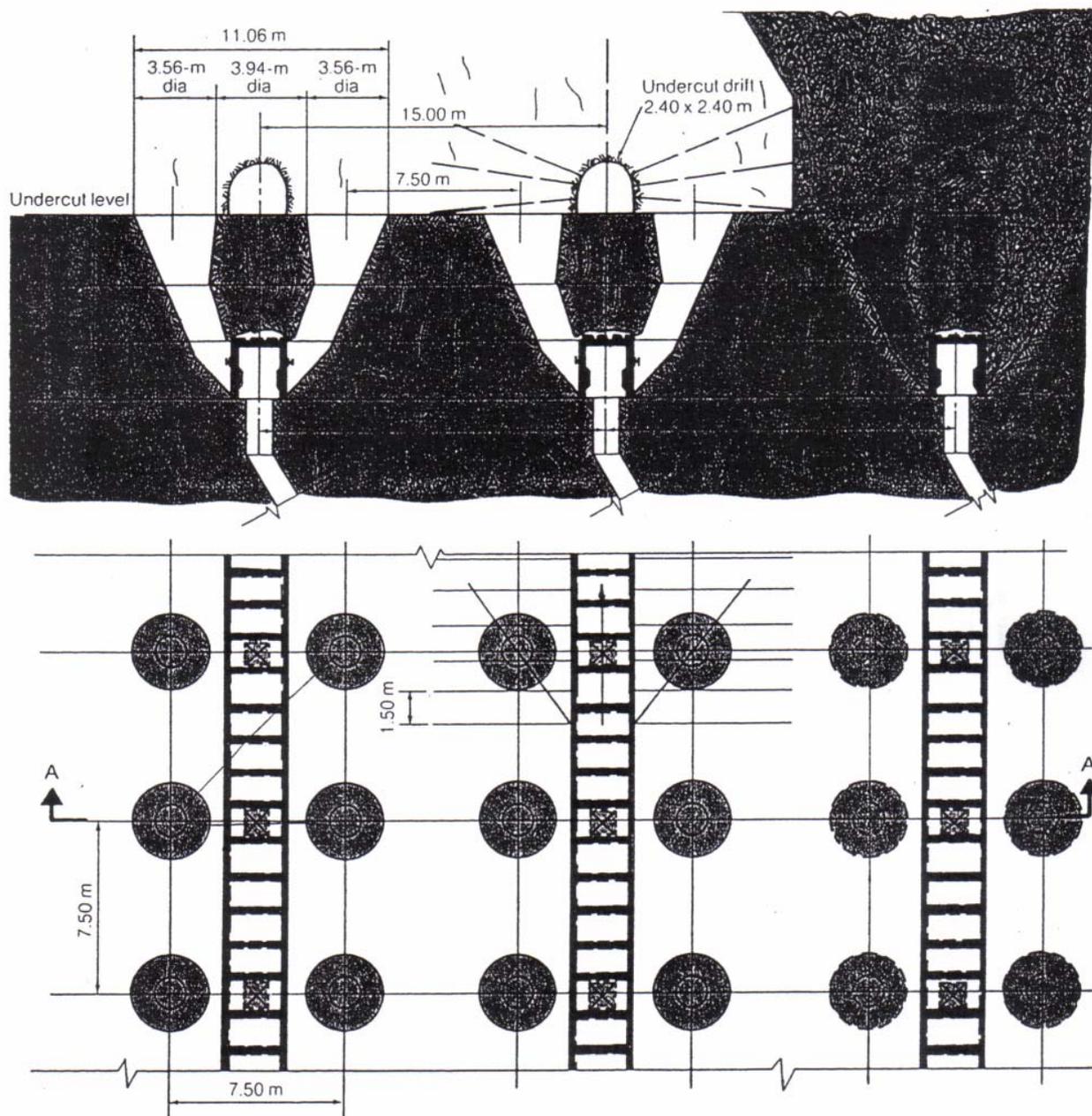
DISPOSICIÓN GENERAL DE LAS LABORES



MINA EL TENIENTE
ROCA MINERALIZADA DE FÁCIL HUNDIBILIDAD
GRANULOMETRÍA FINA

BLOCK CAVING

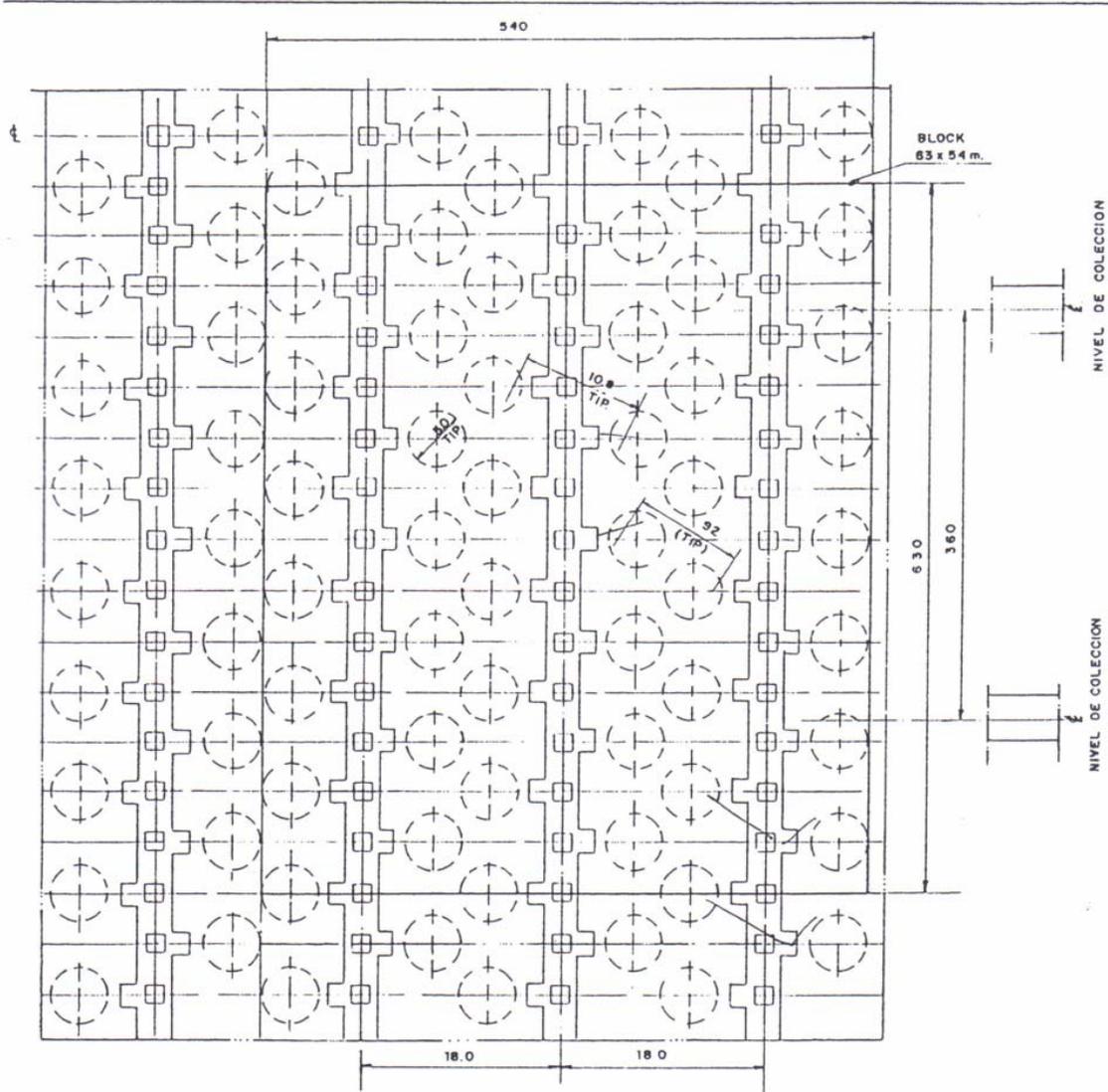
DISPOSICIÓN GENERAL DE LAS LABORES



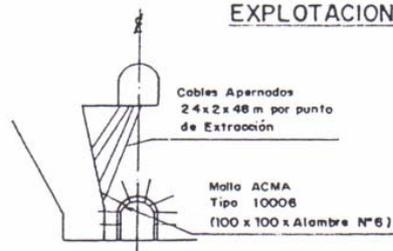
MINA EL TENIENTE
ROCA MINERALIZADA DE FÁCIL HUNDIBILIDAD
GRANULOMETRÍA FINA

BLOCK CAVING

DISPOSICIÓN GENERAL DE LAS LABORES



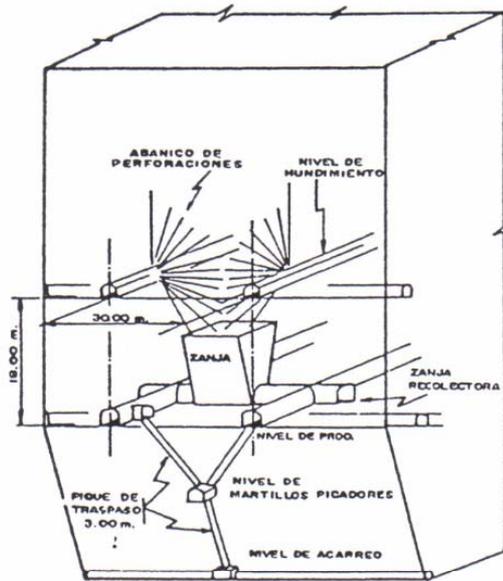
**DISPOSICION GENERAL SISTEMA
EXPLOTACION PARRILLAS HORIZONTALES**



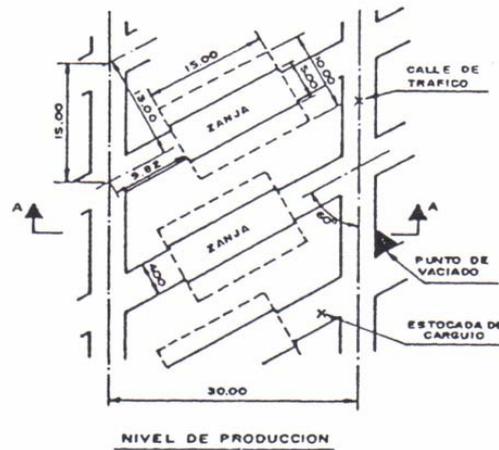
MINA RÍO BLANCO (DIVISIÓN ANDINA)
PLANTA DEL NIVEL DE PRODUCCIÓN

BLOCK CAVING

DISPOSICIÓN GENERAL DE LAS LABORES



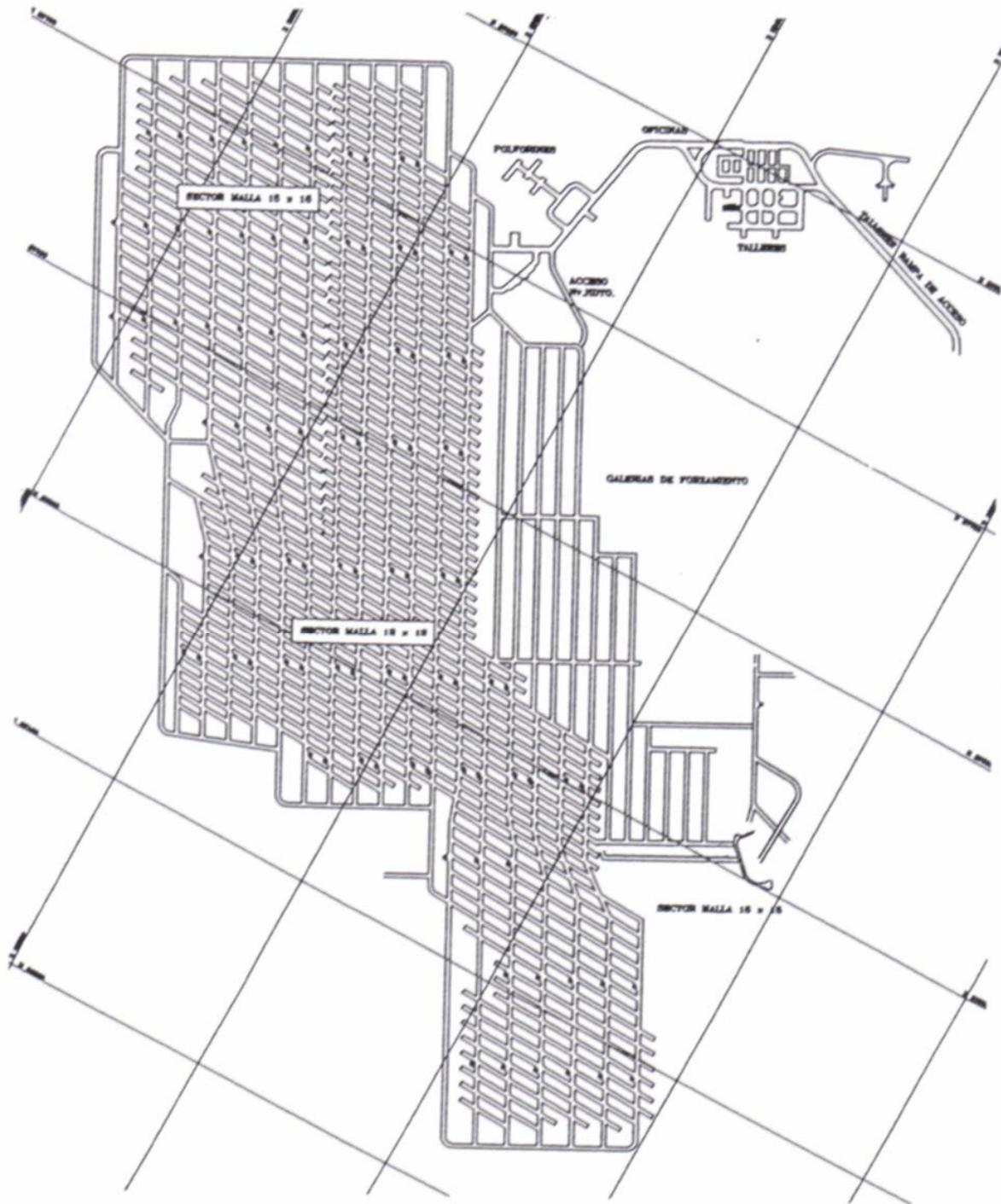
SISTEMA DE EXTRACCION
LHD



MINA EL TENIENTE

SISTEMA DE EXTRACCIÓN MECANIZADO GRANULOMETRÍA GRUESA

DISPOSICIÓN GENERAL DE LAS LABORES



MINA RÍO BLANCO (DIVISIÓN ANDINA)

SISTEMA DE EXTRACCIÓN MECANIZADO
PLANTA DEL NIVEL DE PRODUCCIÓN

Diseño

Simplificando bastante las cosas, en lo esencial, el diseño de un block caving lo determina la clasificación geomecánica del macizo rocoso a hundir, que se traduce en una estimación de la granulometría esperada del material producto del hundimiento.

Numerosas investigaciones con modelos a escala, validadas por la práctica, concluyen que el diámetro de la columna que se extrae aisladamente por un punto de extracción es proporcional al tamaño del material. Si la extracción o tiraje es interactiva, vale decir, a partir de puntos de extracción múltiples, ese diámetro puede aumentar hasta 1,5 veces.

En suma, la granulometría o tamaño del producto determina el espaciamiento máximo posible de la malla de extracción, de modo que los elipsoides de tiraje se intersecten. A su vez, dicho espaciamiento determina la configuración geométrica modular del sistema de labores.

Arranque

Sólo se requiere perforación y tronadura para socavar o cortar la base de la columna mineralizada, corte de una altura que oscila entre 5 a 15 m. A esta operación se le denomina hundimiento, y se realiza con tiros radiales en abanico de 50 a 75 mm de diámetro barrenados con jumbos electro-hidráulicos. La longitud de estos tiros puede variar entre unos 5 a 20 m.

El resto de la columna se desploma y se fragmenta por el efecto combinado de los esfuerzos naturales que actúan sobre el macizo rocoso y el desequilibrio generado por el proceso de socavación basal.

Manejo de mineral

- Sistema convencional con extracción manual. Se aplica en cuerpos mineralizados de fácil hundibilidad, que se fragmentan generando un material o producto de granulometría fina a mediana.
 - Las dimensiones de la malla de extracción varían entre 7,5 x 7,5 m hasta unos 12,0 x 12,0 m.
 - Operarios de extracción o “buitreros”, como se les llama aquí en Chile, manipulan las compuertas emplazadas en el nivel de producción, haciendo correr el mineral a través de una parrilla de control de tamaño. Rendimientos normales del orden de 150 a 500 [ton / hombre – turno] según el tipo de roca.
 - El material grueso que no pasa por la parrilla es reducido a golpes de mazo en la misma parrilla. Si el problema de atascamiento se produce en el embudo, se recurre a pequeñas cargas explosivas.
 - El mineral se traspasa directamente por gravedad a un nivel de transporte (FF CC, cintas transportadoras o camiones) a través de sistemas de piques ramificados.
- Extracción mecanizada con scrapers. Se utiliza también para condiciones de granulometría fina a mediana, pero principalmente cuando el nivel de transporte se ubica inmediatamente debajo o muy cerca del nivel de producción.

- En cada galería de producción se instala un scraper que arrastra el mineral (30 a 60 m) hasta piques cortos ubicados en la cabecera del bloque, a través de los cuales se carga directamente a carros de ferrocarril o también a camiones.
- Los bolones que no es capaz de arrastrar la pala se reducen de tamaño en la misma galería mediante pequeñas cargas explosivas.
- Extracción mecanizada con equipos LHD. Se aplica cuando se trata de macizos rocosos competentes, poco fracturados, que se hunden generando fragmentos o colpas de gran tamaño. Se utilizan palas de 5 a 8 yardas cúbicas de capacidad.
 - Las dimensiones de la malla de extracción pueden variar en este caso entre 12,0 x 12,0 m hasta unos 17,0 x 17,0 m.
 - Los equipos LHD extraen y cargan el mineral desde los puntos de extracción y lo transportan hasta los puntos de traspaso regularmente distribuidos a distancias del orden de 80 a 120 m. Su rendimiento puede variar entre unas 600 a 1.200 [ton/turno].
 - Las colpas de grandes dimensiones que la pala no es capaz de cargar se reducen de tamaño en los mismos puntos de extracción utilizando cargas explosivas.

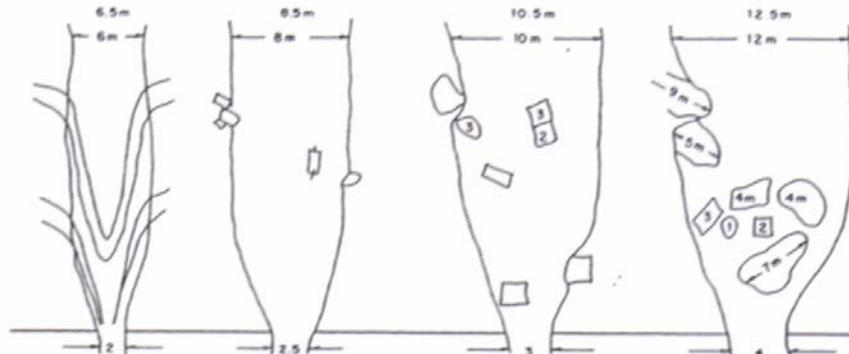
Un segundo control de tamaño se realiza en los puntos de vaciado dotados de parrillas o alternativamente en un subnivel inferior en cámaras de picado especialmente dispuestas para estos fines. En ambos casos se utilizan martillos picadores estacionarios o semi-estacionarios de accionamiento hidráulico.

La capacidad productiva del sistema de extracción se mide o expresa en [ton / m² hundido x día]. Este índice depende de las características de hundibilidad de la columna mineralizada, estimándose en la práctica como razonable valores promedio comprendidos entre 0,4 y 1,2 [ton / m² hundido x día], incluyendo los puntos de extracción fuera de servicio por reparaciones.

DIAMETRO DE UNA ZONA DE TIRAJE AISLADA PARA DIFERENTES CLASIFICACIONES GEOMECANICAS

ESPACIAMIENTO MAX. ENTRE PUNTOS DE TIRAJE:			
ANCHO 5 m.		17	20
ANCHO 4 m.	13	16	19
ANCHO 3 m.	10	15	18
ANCHO 2 m.	9	14	
FF / m :	50-7	20-15	5-04
CLASE DEL MACIZO ROCOSO	5	4	3
RANGO DEL TAMAÑO DE COLPA	0.01-0.3m	0.1-2m	0.4-5m
DIAMETRO DE LA ZONA DE TIRAJE EN UN PUNTO DE TIRAJE DE ANCHO:			

5 m :	
4 m :	
3 m :	
2 m :	



Ventilación

El block caving es un método que requiere un suministro intensivo de ventilación, en especial al nivel de producción, donde se concentran un conjunto de operaciones altamente contaminantes con presencia de personal: extracción y traspaso (polvo); tronadura secundaria (gases); y también, en muchos casos, carguío y transporte con equipo diesel (polvo y gases).

La solución clásica es disponer un subnivel de ventilación ubicado unos pocos metros más abajo del nivel de producción (15 a 30 m). Consiste en un conjunto de galerías paralelas coincidentes y alineadas con las galerías de cabecera o cruzados de acceso a los bloques.

El aire fresco se inyecta a las galerías de producción a través de chimeneas, recorre estas galerías y retorna al subnivel de ventilación por otras chimeneas similares ubicadas en la línea de bloques siguiente.

Para tales efectos, es necesario disponer de túneles y/o piques principales de inyección y extracción de aire, dotados de los correspondientes ventiladores. Estas labores forman parte de lo que se denomina infraestructura general de la mina.

Fortificación

El principal problema dice relación con la estabilidad de las labores del nivel de producción. Estas labores son sometidas a intensas sollicitaciones inducidas por la redistribución y concentración de esfuerzos asociadas al proceso de hundimiento.

En presencia de roca poco competente con buenas características de hundibilidad, donde es posible aplicar un sistema de extracción manual con galerías de sección pequeña (2,4 x 2,4 m), la solución más socorrida y clásica consiste en una fortificación sistemática con marcos de madera.

En condiciones similares a las anteriores, pero con un sistema de extracción con palas de arrastre o scrapers, se utiliza por lo general un revestimiento continuo de hormigón. Si las condiciones son menos rigurosas, puede ser suficiente un apernado conjuntamente con malla de acero y shotcrete.

Cuando se trata de roca competente (granulometría gruesa), donde se aplica un sistema de extracción mecanizado con equipos LHD, se requieren galerías de sección más grande (4,0 x 3,6 m). En estos casos, dependiendo de las condiciones locales, se recurre a soluciones que contemplan progresivamente apernado sistemático, malla de acero y shotcrete.

Las situaciones más críticas se presentan en las intersecciones de las galerías de producción con los brazos de carguío y en las viceras de los puntos de extracción. Para mantener su estabilidad se recurre, en la mayoría de los casos, a fortificación con marcos de acero y hormigón armado.

Los piques de traspaso son también labores conflictivas que requieren una atención especial. Se recurre incluso a revestimientos con planchas de acero o rieles insertos en hormigón.

Comentarios

En yacimientos masivos de baja ley, el método por block caving hoy en día es el que permite alcanzar la mayor capacidad productiva con el menor costo de explotación (4 a 5 US\$/ton). En tal sentido, el caso de aplicación más relevante a nivel mundial es la mina El Teniente de Codelco Chile, con una producción que supera las 100.000 tpd, lejos la mina subterránea más grande del mundo.

La tecnología disponible en la actualidad permite su aplicación en macizos rocosos de las más diversas condiciones geomecánicas. No obstante, las bondades del diseño minero dependen en gran medida del acierto en la estimación de la granulometría del material hundido. Las metodologías para tratar este problema no siempre conducen a soluciones correctas.

El método acepta diferentes variantes, algunas de las cuales aún se encuentran a nivel de enunciado conceptual y otras en etapa de experimentación o validación a escala industrial. Las posibilidades de innovación no están agotadas.

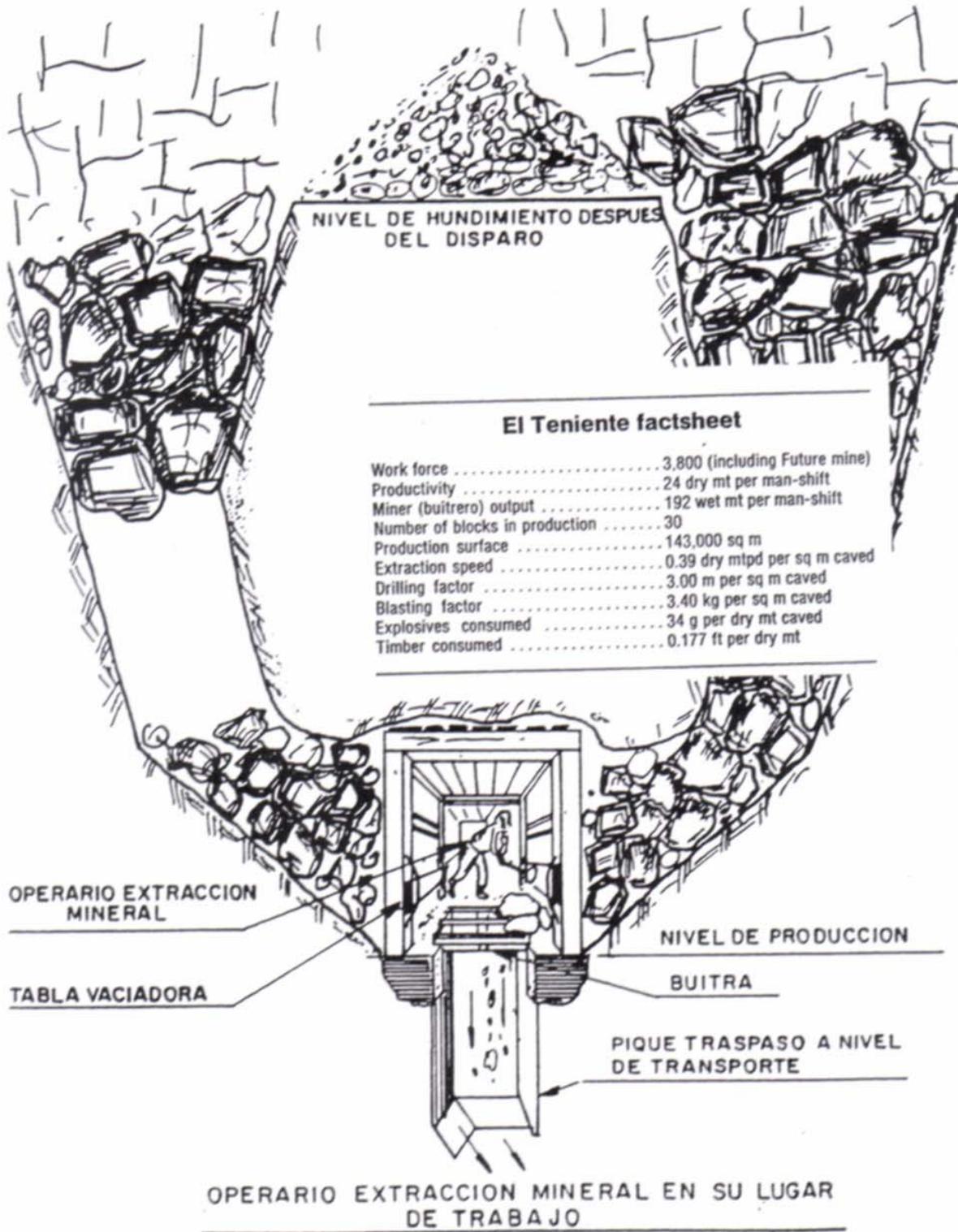
Permite una buena recuperación de las reservas comprendidas dentro de los límites del área a hundir, pero su selectividad es prácticamente nula. La dilución se puede manejar dentro de límites aceptables (< 10%) con un buen control de tiraje.

La preparación de un área a hundir requiere de un gran volumen de desarrollos previos al inicio de la explotación. Esto significa mayores plazos de puesta en marcha y fuertes inversiones antes de producir.

Es un método de escasa flexibilidad, que no acepta grandes modificaciones una vez iniciada la producción. Situaciones adversas no previstas o errores de apreciación de las condiciones geomecánicas del macizo rocoso, pueden conducir al abandono o la pérdida de reservas importantes.

MINA EL TENIENTE

SISTEMA DE EXTRACCIÓN MANUAL O CONVENCIONAL

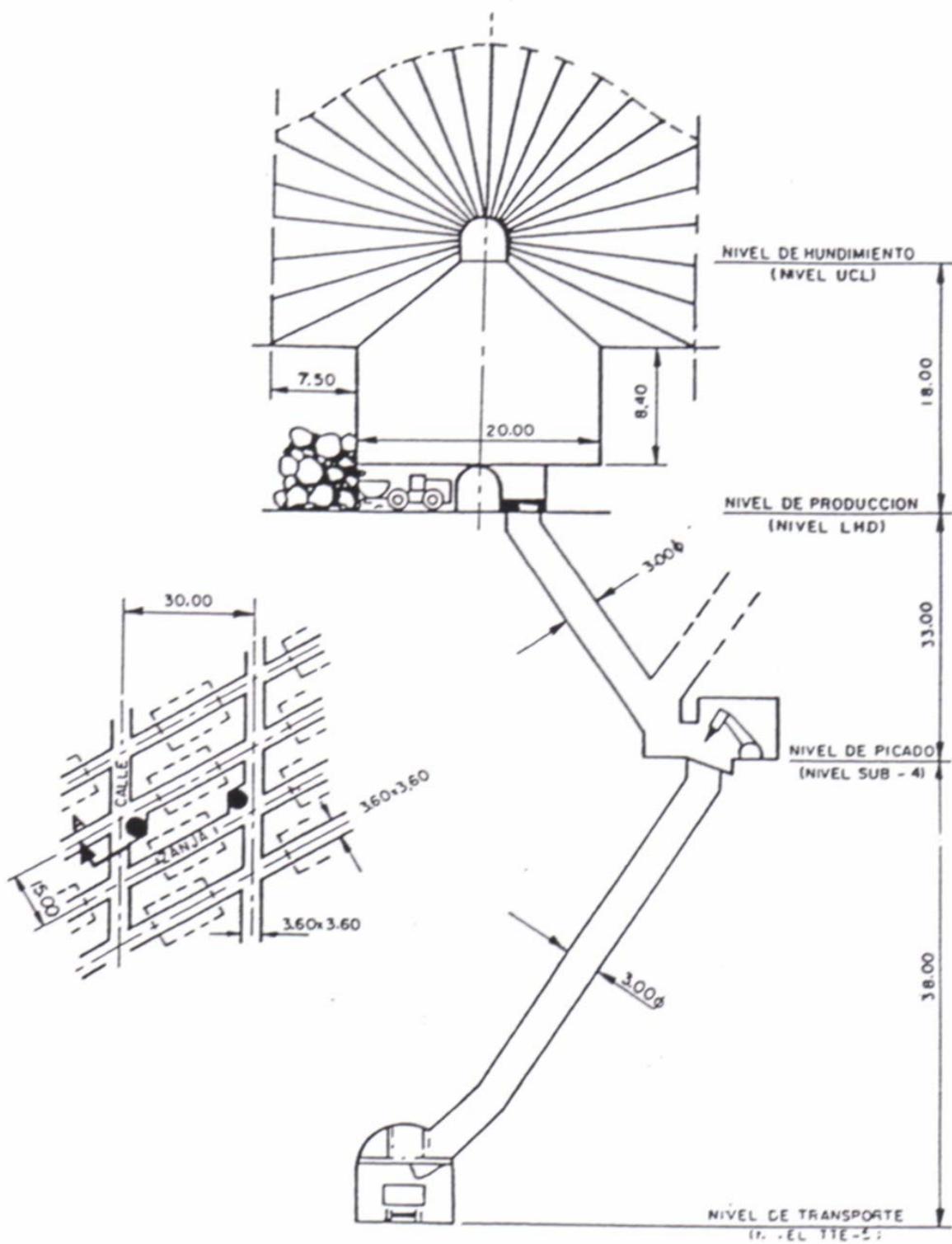


El Teniente factsheet

Work force	3,800 (including Future mine)
Productivity	24 dry mt per man-shift
Miner (buitrero) output	192 wet mt per man-shift
Number of blocks in production	30
Production surface	143,000 sq m
Extraction speed	0.39 dry mtpd per sq m caved
Drilling factor	3.00 m per sq m caved
Blasting factor	3.40 kg per sq m caved
Explosives consumed	34 g per dry mt caved
Timber consumed	0.177 ft per dry mt

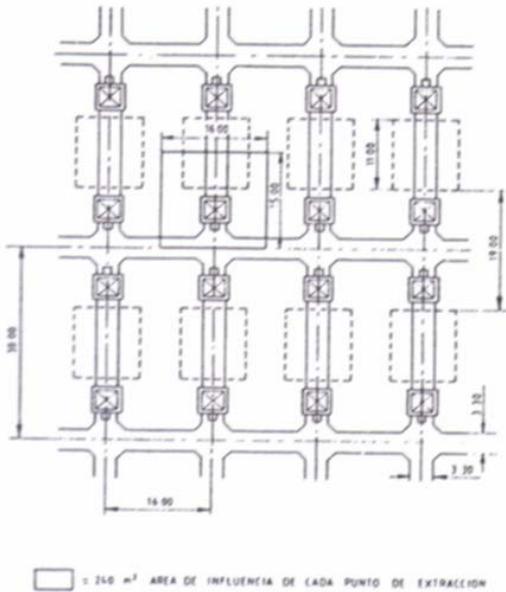
MINA EL TENIENTE

SISTEMA DE EXTRACCIÓN MECANIZADO (LHD)

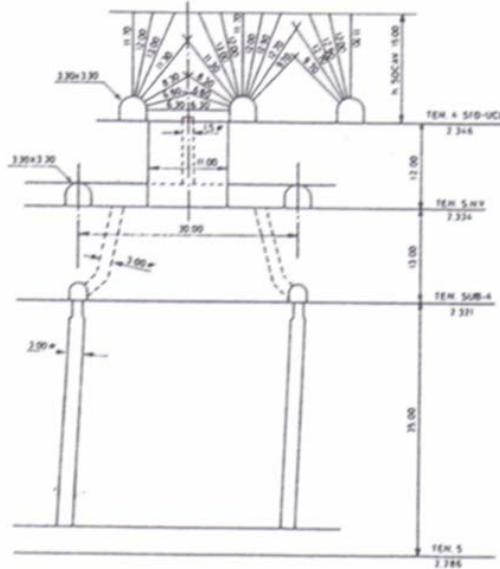


MINA EL TENIENTE

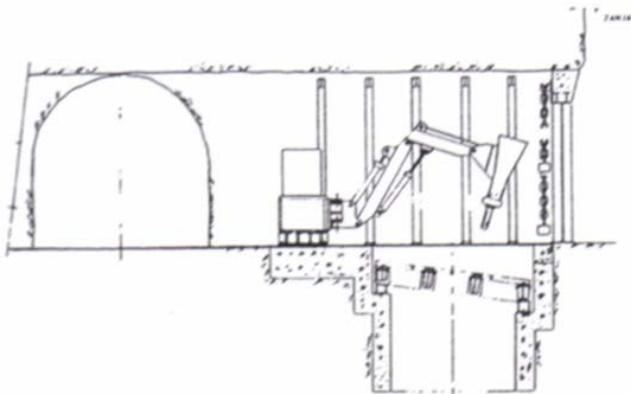
VARIANTE SISTEMA CONVENCIONAL : "BUITRERO" MECANIZADO



Planta del Nivel de Producción
(a)

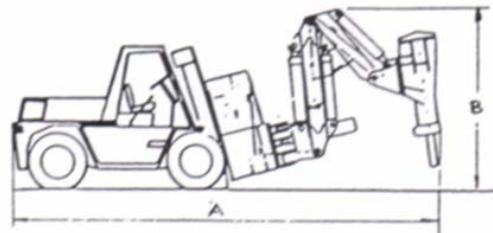


Sección Transversal
(b)



Martillo picador en punto de extracción

- A : 6,5 METROS MAX.
- B : 3,0 METROS MAX.
- C : 1,5 - 2,0 METROS (ANCHO)



Conjunto martillo-montacargas
Posición traslado