

Tecnologías de explotación empleadas en las Minas subterráneas del Perú

ESTANISLAO DE LA CRUZ CARRASCO

Resumen

En forma sucinta tratamos la Tecnología de Explotación que se emplea en las minas subterráneas del Perú. Publicamos en este artículo el Corte y Relleno Descendente.

Para cada método emplearemos los items siguientes:

Una descripción del método, luego en qué casos se aplica, tipos de yacimiento, comportamiento del mineral y las cajas, el desarrollo y preparación para la aplicación del método. En la rotura dentro del stope (tajeo) tratamos las mallas de perforación que se aplican para cada método, equipo de perforación, material con sus respectivos accesorios de voladura. Luego las bondades e inconvenientes de este método. Para terminar con la recuperación del mineral del block de explotación, la eficiencia y variantes del método. También, se mencionarán las minas en las que se aplican en el Perú.

I.- INTRODUCCION

Tecnología de explotación empleada en las minas subterráneas del Perú, es fruto de una paciente investigación de los métodos de explotación que se aplica a la pequeña, mediana y gran minería.

El estudio comprende los métodos que se emplean en el Perú, pero también es saludable decir que el alma mater de la minería peruana ha sido las diferentes unidades que ha formado la Cerro de Pasco Corporation (Cerro de Pasco, Cobriza, San Cristobal, Morococha, Casapalca y Yauricocha). De ellas salió el KNOWHOW de los diferentes métodos de explotación que se conocen en el Perú.

Los profesionales mineros formados en el plan Cerro o en planes Centromín de extensión profesional para Ingenieros de Minas, donde se dictaban en forma teórica y práctica el análisis y crítica de los métodos de explotación minera, han asimilado la tecnología y cuando dejaban la empresa se llevaban la Tecnología de Explotación de los diferentes métodos de Minado.

En este breve trabajo trataremos el Método de Corte y Relleno Descendente (Under Cut and Fill).

II.- ANTECEDENTES

Los Métodos de Explotación de la Minería Subterránea en el Perú, se aplican en la gran Minería, mediana y pequeña Minería. A pesar que la tecnología existe, la mayoría de técnicos y profesionales vinculados a la Minería no la conocen. Sólo sale a luz cuando los expertos participan en eventos importantes como las Convenciones de Ingenieros de Minas que organiza el Instituto de Ingenieros de Minas. Los fórums, simposios que organizan las diferentes universidades donde existe la especialidad de Ingeniería de Minas, Institutos Técnicos, el Capítulo de Minas del Colegio de Ingenieros del Perú, los que se publican en revistas especializadas que existen en el Perú.

Hay material de trabajo, pero falta investigar y publicar, tal como está haciendo la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

III- METODOLOGIA

Para la realización del presente trabajo se ha recurrido a las siguientes fuentes.

- Visita a las unidades de producción de la ex Cerro de Pasco Corporation, Raura, Buenaventura y otras unidades(San Juan de Lucanas, Cía Minera Uyuccasa (ex Canarias)).
- Revisión de los informes de los participantes del Plan Cerro y los planes de Extensión Profesional para Ingenieros de Minas de la Empresa Minera del Centro del Perú.
- Estudio de Métodos de explotación en las minas de la pequeña, mediana y gran Minería Peruana.
- Estudio de las cartas mensuales o informes mensuales de los Superintendentes de las diferentes unidades de producción a los Gerentes de Operaciones de las empresas mineras.

IV.- RESULTADOS

Descripción sucinta de los principales métodos de explotación estudiada:

1.- Corte y Relleno Descendente.

Consiste en romper el mineral en diferentes pisos y en sentido descendente. Después que un corte o piso haya sido completamente extraído, se procede a rellenar antes de empezar el nuevo corte en el piso inmediato inferior. Este relleno es el que va ayudar en el sostenimiento del techo del nuevo frontón que se abre. El minado del mineral continúa piso por piso hasta terminar el bloque.

El relleno que se aplica, es el relleno hidroneumático y se trabaja en terrenos muy suaves que pueden ser cuerpos o vetas de buena ley. El relleno hidroneumático tiene dos capas una de mezcla rica, de 1:6 de proporción de cemento y arena, y la mezcla pobre, para completa el relleno, tiene 1:26 de proporción de cemento y arena. La loza y sobre loza del relleno trabajan bien a las fuerzas de compresión que actúan sobre las cajas y la fuerza de flexión procedente del techo.

2.- Corte y Relleno Ascendente.

Consiste en la rotura del techo a partir del subnivel que se ha desarrollado. El mineral roto se extrae, el vacío que queda se rellena con material detrítico o los relaves provenientes de la planta concentradora, los mismos que sirven de soporte de la cajas y levantar el piso para continuar con la perforación del siguiente ciclo. Este método es el más empleado en la mayoría de las empresas mineras de la mediana y pequeña, en un 85%.

3.- Corte y Relleno con Techo en Arco.

Es un corte y relleno ascendente de grandes dimensiones, cuya característica fundamental es mantener el techo del tajeo en forma de bóveda o arco y se corta por tramos sucesivos horizontales. En cuerpos mineralizados, se puede explotar dos o más tajeos simultáneamente dejando pilares de sostenimiento entre ellos. Este método se emplea en la unidad Cerro de Paseo, Morococha de Centromín Perú, cuya estadística se comenta en el capítulo correspondiente.

4.- Corte y Reducción.

Llamado también almacenamiento provisional. Consiste en tajar de abajo hacia arriba hasta terminar el block del mineral. El mineral roto se mantiene sobre puentes del mismo material donde se construyen tolvas para extraer el mineral. Los puentes y el mineral almacenado soportan las presiones laterales, asimismo el mineral está actuando como relleno temporal porque luego de romper todo el block se jalará el material para enviar a la planta concentradora.

El volumen del mineral roto aumenta en una proporción de 30% (grado de esponjamiento) que el mineral in situ, este exceso debe extraerse cada vez que se rompe una tajada, con el fin de abrir un espacio suficiente para que el perforista continúe con su trabajo. Este método emplean en el Perú, la mediana minería y en la gran minería lo aplica la unidad Casapalca de Centromín Perú porque las condiciones del terreno son favorables.

5.- Conjunto de Cuadros.

Consiste en romper el mineral en yacimientos suaves, a medida que se arranca, el espacio abierto se sostiene con cuadros de madera, los que se embrocan contra las cajas y contra el mismo material. Los cuadros se van armando unos a

continuación de otros en forma longitudinal de la veta o en forma transversal de caja a caja. En los cuerpos la dirección del tajeo depende del plan de minado.

Cuando el mineral y las cajas son resistentes, puede romperse cierto número de bloques, para armar los cuadros, pero si el terreno es suave se arranca un block y se sostiene de inmediato. Este método tiene variantes, las que describen en el capítulo correspondiente.

Se aplica en la Unidad de San Cristóbal, en la sección del mismo nombre para la explotación del tungsteno y en la unidad Yauricocha para la explotación de la plata, ambos de Centromín Perú. En la mediana minería se aplica en Buenaventura en la unidad Julcani también mina de plata. Para aplicar este método, el yacimiento tiene que tener una buena ley y de consistencia suave.

6.- Cámaras y Pilares.

El mineral es completamente roto, dejando espacios en forma de cámaras intercalados por unos macizos de mineral denominados pilares, cuya finalidad es sostener el techo.

Los pilares pueden estar ubicados en forma regular a distancias iguales o pueden ser esporádicos. Los pilares regulares se diseñan cuando la mineralización es homogénea, en este caso el ancho del pilar es igual al ancho de la cámara. La longitud comprende el ancho del manto o del cuerpo que se explota. En algunas minas hay diferencia del ancho de la cámara y el pilar, siendo mayor el de la cámara.

Los pilares esporádicos se emplean cuando la mineralización del cuerpo o manto no es continuo o sea tiene muchos caballos, en este caso, el pilar se deja donde la ley del mineral es baja y generalmente tiene forma cilíndrica.

El ancho del pilar depende de la dureza del mineral, de la resistencia del techo y de la presión que ejerce el terreno.

Este método se aplica en yacimientos de grandes reservas de mineral y minerales no metálicos como el carbón, el potasio, etc. tenemos en la unidad Huaripampa de San Cristóbal, Centromín Perú, Empresa Minera Raura.

7.- Hundimiento de Bloques.

En este método se rompe un pequeño bloque de mineral de forma cúbica, este hundimiento produce un fracturamiento sucesivo que va afectando gradualmente a todo el block. El mineral se extrae a través de chimeneas y galerías preparadas anticipadamente. En este caso el mineral es completamente suave, pero también se aplica el hundimiento de bloques en terrenos competentes, para ello se rompe el mineral con taladros largos. La altura del block puede ser de 40 a 50 metros con

un ancho de 10 a 20 metros. La perforación se puede realizar por la parte inferior o por la parte superior luego de haberse preparado el tajeo.

Este método emplea actualmente la minería mecanizada, y tiene variantes: el hundimiento por subniveles y el Long Wall. Corte y relleno descendente

A.- SINONIMIA:

Under Cut and Fill (U.C.F.).

Corte y relleno descendente superpuesto. Explotación por bancos, por paneles , etc. Stossbau descendente.

B.- DESCRIPCION DEL METODO

Consiste en romper el mineral en diferentes pisos y en sentido descendente. Después que un corte ha sido completamente extraído, se procede a rellenar el espacio dejado por la explotación, antes de empezar el nuevo corte en el piso inmediatamente inferior. Este relleno es el que va a ser el techo del nuevo tajeo. La rotura del mineral se ejecuta piso por piso, hasta terminar con el bloque, en el nivel inferior.

C.- CONDICIONES DE APLICABILIDAD

- En vetas cuyo mineral y cajas sean bastante suaves o inconsistentes, cuya potencia sea de gran magnitud.
- En cuerpos muy suaves, con una ley muy alta, porque el método es costoso.
- En yacimientos cuya mineralización es suave y deleznable con cajas falladas y fracturadas, que no pueden ser explotados por otros métodos.

D.- PREPARACION

La preparación para el método de corte y relleno descendente consiste en la elaboración de las siguientes labores:

- Galerías o cruceros.
- Chut y caminos.
- Sub nivel principal de extracción.
- La rotura del nivel superior.
- La preparación del Sill.

D1.- Galerías o Cruceros.

Para bloquear se necesita la apertura de galerías o cruceros, de acuerdo al tipo de yacimiento (cuerpos o vetas).

Cuando se trata de vetas, el desarrollo se realiza fuera de veta, tanto del nivel superior como la inferior, denominándose cruceros o labores paralelas, los que van a servir de acceso, transporte, conducción de tuberías de aire, agua y relleno hidroneumático, cuya sección puede ser de 8' x 8' ó 7' x 8' (2.10 x 2.40 mts).

En los cuerpos, las galerías se pueden construir en el centro del cuerpo o también fuera del cuerpo con las dimensiones ya conocidas, sólo que en el caso de las galerías se hará con sostenimientos de cuadros de madera o arcos de acero en toda la longitud de la labor.

D.2.- Chut y Camino.

Tanto en las labores paralelas, fuera del yacimiento como dentro del yacimiento, se perforan chimeneas con dos o tres compartimentos, sostenidos con cuadros de madera de 5' x 5' x 7', uno de los cuales es el camino donde se encuentran los descansos y las escaleras; el otro compartimento forma el echadero del mineral, con una buena estructura de sostenimiento y un diseño especial los que pueden ser de anillos de madera (anillado); pueden ser también los Sheck Board, los que tienen descansos en cada piso en forma alternada en los que el mineral va formando inclinados de tal manera que la caída del mineral va siendo amortiguado por el mismo material, protegiendo la estructura del echadero. Con tuberías de acero de 38" de diámetro, construida con planchas de acero cuyo espesor puede ser de 1/4 ó 1/8 de pulgada.

Estas chimeneas pueden estar ubicadas en el centro o extremo del área de explotación, cuya distancia entre dos chimeneas oscila entre 40 a 80 metros dependiendo del diseño de minas. El Chut y camino va a ser fundamental en la extracción del mineral, sirve para la ventilación y reconocimiento del cuerpo mineralizado, instalación de tuberías de agua y aire; cables eléctricos y tuberías de relleno hidroneumático. Sirve también para la evacuación del agua proveniente del relleno.

D.3.- Sub Nivel de extracción.

A partir de la chimenea se construyen los subniveles de extracción, totalmente con cuadros estándar para galerías con una longitud que depende del tipo de yacimiento o del diseño de minas; este subnivel es el que varía de dirección de acuerdo a las variantes del método de corte y relleno descendente. El subnivel de extracción va unir todos los paneles o tajeos y sirve para la extracción del mineral proveniente de la explotación de los tajeos paneles. Este subnivel se construye para cada piso de explotación.

D.4.- La Rotura del Primer Piso.

A partir del subnivel de extracción se empieza la rotura del mineral de acuerdo al reticulado que se ha diseñado o al paneleo que se tiene.

La rotura se va haciendo en retirada, primero se rompe el panel del fondo y se va retrocediendo en forma alternada hasta el echadero, de manera que cuando uno de los paneles de un flanco está en rotura, el panel del otro flanco debe estar rellenándose.

La rotura se puede hacer con máquinas patilladora o Pickhammer, en terrenos suaves. En terrenos que necesitan explosivos se perforan con un trazo de acuerdo al tipo de dureza.

El ancho y la altura del panel puede ser de 3 metros y su longitud es variable, dependiendo de la forma del cuerpo, de la veta o del diseño.

D.5.- La Preparación del Sill.

La preparación para el relleno, se inicia cuando se ha terminado de limpiar el mineral de un panel. Se nivela el piso, se va tendiendo redondos de 8" de diámetro por 10 pies de longitud, en forma transversal al eje del panel y espaciados a 5 pies de cada redondo, luego se colocan dos cables en forma longitudinal. Se entabla en forma transversal a los redondos con espaciamiento de 6 pulgadas. También se entablan las paredes laterales. La entrada se cierra, con puntales y se entabla, finalmente se cubre con poliyute, para contener el relleno hidroneumático(fig. 3).

La cantidad de represas varía de acuerdo a la longitud de la labor y se prepara cada 40 pies, promedio de la influencia de la presión del relleno. Finalmente se instala una línea de rellenó con una tubería de 6" de diámetro que parte desde la bomba de relleno ubicado en cada nivel.

El relleno se realiza en dos etapas:

1- Se echa la mezcla rica en una proporción de 1:6 (cemento y agregado) hasta la tercera parte de la altura de la labor 1 metro (3') y.

2- Se completa con una mezcla pobre 1:26, de 2 metros de altura.

Luego se empieza a preparar el panel del otro flanco, que ya está limpiado y así sucesivamente, hasta completar todo el horizonte de explotación del nivel superior, incluido el nivel principal de extracción. Este es el Sill, que significa umbral o techo que debe resguardar o soportar todo el block de explotación.

E.- EXPLOTACION.

La explotación se inicia luego de haber terminado la colocación de la loza, cuyo ciclo de minado comprende: la preparación del subnivel de explotación, la rotura de los paneles, la limpieza preparación para el relleno y el relleno total del piso de explotación.

E.1.- Sub-Nivel de Explotación.

A tres metros debajo de la loza de explotación se empieza a abrir el subnivel de explotación de 3 x 3 metros de sección, la longitud varía de acuerdo al diseño o al ancho del cuerpo o la veta.

A medida que se avanza con la rotura se va colocando puntales de sostenimiento o postes en los extremos de los redondos que se han tendido en la etapa de relleno en el piso superior.

La perforación se realiza con máquinas perforadoras Jacklegs, con mallas que varían de 14 a 18 taladros, dependiendo del tipo de terreno con distancias entre 2 a 3 pies y con barrenos de 5 o 6 pies de longitud. (fig. 2)

Se dispara con dinamita de 45%, con fulminantes No 6 y mechas de seguridad. La limpieza se realiza con winchas de arrastre de 2 tamboras. Esta operación se procede hasta llegar al contacto o la longitud que se ha proyectado de acuerdo al diseño de minas.

E2.-La rotura de los paneles.

A partir del subnivel de explotación se empieza a romper uno de los paneles de un flanco, con trazos de perforación que se ha empleado en el subnivel de explotación, igualmente a medida que se avanza con la rotura se va sosteniendo los redondos dejados en el Sill, con puntales de sostenimiento que llevan plantillas en el piso, para que no se hunda el puntal en el terreno suave.

E.3.- La Limpieza.

La extracción o limpieza del mineral se practica con winchas y rastrillos hasta el subnivel de explotación y de allí son rastrillados hasta los echaderos del mineral, del cual los motoristas van jalando a los carros mineros para finalmente llevar a la cancha de gruesos de la planta concentradora (fig. 3)

E.3.-preparación para el relleno.

A medida que se va avanzando con la rotura y limpieza en el tajeo, se emplea dos tipos de sostenimiento. El sostenimiento provisional, constituido principalmente por la loza del piso de concreto del piso superior, y por los puntales que se van

colocando debajo de los redondos que se han colocado, como cama del relleno del piso superior y las plantillas que se colocan debajo de los puntales de seguridad, para evitar que se hunda en el mineral del piso.

El sostenimiento definitivo estará constituido por la loza de concreto que se rellena para el cual se procede de la siguiente manera:

- Nivelación del tajeo de explotación.
- Tendido de redondos a 5 pies de distancia si se trata de vetas se empotra en las cajas, luego se entablan.
- Se colocan 2 cables en forma longitudinal a la labor.
- Se cierra la entrada al tajeo por medio de redondos y luego se entabla o se enreja.
- Se cubre o se forra la entrada y las paredes con poliyute, para contener el relleno y drenar el agua de percolación.

El tajeo está listo para ser rellenado.

E5.-Relleno.

Esta operación consiste en enviar por medio de tuberías y aire comprimido el material de relleno consistente en una mezcla de cemento, agregado y agua. Se realiza en dos etapas: Primero el envío de la mezcla rica de 1:6, hasta un tercio de la altura del tajeo denominado la loza, luego se completa con la mezcla pobre de 1:26 hasta el techo, llamado también la sobre loza.

Esta operación se repite hasta rellenar completamente todo el espacio abierto del piso o el área de explotación. Nuevamente se baja un piso y se continúa con el ciclo de explotación.

F.- VENTAJAS.

- Permite la explotación de cuerpos irregulares, deleznable o inconsistente.
- La recuperación del mineral es alta, llega al 100%.
- Poco consumo de madera, en la variedad Michi no se emplea madera, en la cama ni los puntales de seguridad.
- La seguridad es relativamente buena, en la variedad Michi es mejor, ya que el techo de concreto es una loza que atraviesa como una viga en toda la extensión del tajeo.

- Poco consumo de explosivo por la suavidad del mineral.
- La variedad Michi ha favorecido aumentar el ancho del tajeo por lo que se ha mecanizado este método.

G.- DESVENTAJAS.

- Se necesita bastante tiempo para los trabajos de preparación (4 a 5 meses).
- No se puede dejar desmontes o caballos que se encuentran dentro del mineral, por lo que el tajeo se limpia totalmente para iniciar el relleno.
- Es costoso por el gran consumo de cemento, madera y la labor diaria.
- No se puede cambiar a otro método.
- Paraliza la explotación de las áreas cuando hay escasez de cemento en el mercado.
- El gran consumo de aire por las bombas neumáticas causa problemas a la perforación.

H.- VARIANTES DEL MÉTODO.

Las variantes del método de CRD o UCF, se aplica unas en cuerpos y otras en vetas, las mismas que dependen de la correlación que hay entre el eje del subnivel de explotación o el eje del panel de explotación del piso inmediatamente superior.

HI.- Corte y Relleno Descendente Superpuesto.

En esta variante los tajeos utilizan tanto en el subnivel de explotación o en el panel de explotación ejes con la misma dirección u orientación del piso inmediatamente superior, hasta la terminación del bloque o hasta el nivel inferior. Se emplea en la explotación de vetas o la recuperación de pilares (fig. 4).

H2.-Corte y Relleno Descendente Alterno.

En esta variante para iniciar la rotura en el piso inmediatamente inferior, los ejes de los tajeos son desplazados paralelamente con respecto a los ejes del tajeo superior una distancia igual a la mitad del ancho del tajeo (50%), no hay superposición del eje de los tajeos, por ello cuando uno va avanzando con la rotura, en el techo va apareciendo la mitad de los redondos tendidos en el piso del relleno superior. Y cuando se ha terminado en toda la longitud del tajeo se apreciará en el techo dos lozas con sus respectivos redondos, trabajando en voladizo (fig. 5).

H.3.- Corte y relleno Descendente Cruzado o Michi.

Se caracteriza porque para iniciar la rotura en el piso inferior, el eje del subnivel de explotación se desplaza en forma perpendicular al eje del subnivel de explotación del piso superior. Por ello en estos tajeos el sostenimiento provisional utiliza las lozas apoyadas en las paredes de los tajeos adyacentes. La loza trabaja como una viga perfectamente empotrada en ambos extremos o como un puente, con una luz igual al ancho del tajeo, apoyados en las paredes de los tajeos vecinos, por lo que ya no es necesario reforzar con redondos en la loza, ni con puntales de sostenimiento. Al terminar la explotación de un piso, se baja al nivel inferior girando nuevamente los ejes en 90 grados, de tal manera que dichos ejes y lozas siempre aparecen como vigas cruzadas en los techos de los nuevos tajeos de explotación (Ver Figura).

I.- RECUPERACION.

La recuperación de este método llega al 100%, porque todo el mineral se reemplaza con el relleno.

J.- SEGURIDAD.

Se puede afirmar que el método es más seguro con relación a los riesgos de accidentes que puede representar. Las condiciones inseguras se pueden controlar y eliminar, porque están a la vista. Se trabaja bajo techo seguro y piso seguro.

VI.- BIBLIOGRAFIA

1. Carta Minera de las diferentes unidades de producción a Superintendencia General (documento interno) de la Empresa Minera del Centro del Perú.
2. Informe de participantes del Plan Cerro, Centro de Entrenamiento Centromín Perú.
3. Informe del Departamento de Ingeniería de las diferentes unidades de Centromin Perú.
4. Ingeniero Andino.- Setiembre de 1973
5. Trabajos presentados a las diferentes Convenciones de Ingenieros de Minas del Perú.
6. Trabajos técnicos presentados a las diferentes simposium de minería organizada por las diferentes universidades del Perú.
7. Informes de las planes operativos de las empresas mineras del Perú.
8. Proyectos mineros de la actividad empresarial del Estado.

ANEXOS

ING. ESTANISLAO DE LA CRUZ CARRASCO

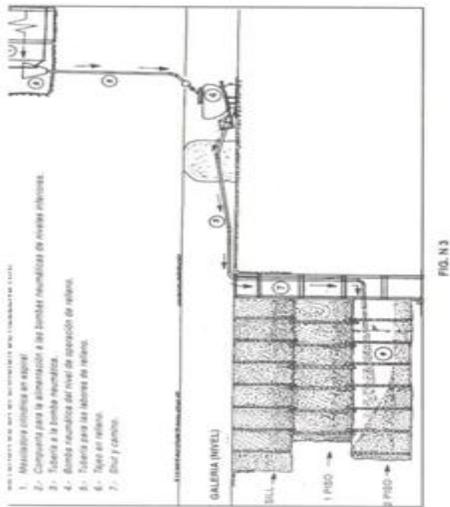


FIG. N.3

TECNOLOGÍAS DE EXPLOTACIÓN EMPLEADAS EN LAS MINAS SUBTERRÁNEAS DEL PERÚ

FIG. N.4 CORTE Y RELLENO DESCENDENTE ALTERNO

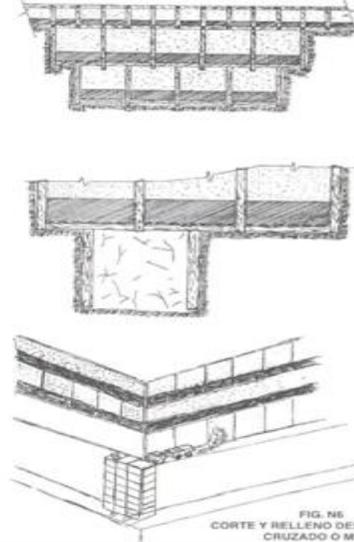
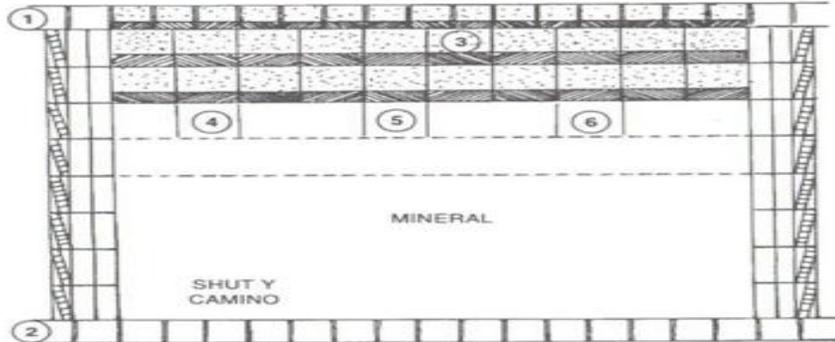


FIG. N.5 CORTE Y RELLENO DESCENDENTE CRUZADO O MICHÍ

TECNOLOGÍAS DE EXPLOTACIÓN EMPLEADAS EN LAS MINAS SUBTERRÁNEAS DEL PERÚ

FIG. N.1 CORTE Y RELLENO DESCENDENTE



- ① Galería superior.- Rellenada con cuadros
- ② Galería inferior
- ③ Sill - Primer piso relleno completamente
- ④ ⑤ y ⑥ Labores en explotación

FIG. N.2 TRAZO DE PERFORACION EN U.C.F.

