

Métodos de explotación en la mediana minería del Perú

Mining methods of the peruvian medium size mining operations

Estanislao de la Cruz, Ángel Álvarez, Carlos Rodríguez V., Alfredo Huamaní, Lidia de la Cruz, Víctor Lázaro*

RECIBIDO: 26/06/2012 - APROBADO: 10/07/2012

RESUMEN

En el Perú tenemos yacimientos minerales en la costa y en la sierra (andes peruanos), en los que se puede encontrar la mineralización en forma de vetas, mantos y cuerpos. Las empresas mineras de acuerdo al tipo de yacimiento y algunos criterios eligen el método de explotación. Por el volumen de producción, puede ser de la gran minería, mediana minería, pequeña minería y minería artesanal. Luego de la independencia del Perú, casi todas las minas han sido abandonadas porque los trabajadores eran los naturales (indios) del imperio incaico, quienes fueron esclavizados por los invasores (españoles) que trabajaban con mano de obra sin costo alguno. Cuando quisieron reiniciar las operaciones mineras, ningún peón quería ir a la mina porque "ir a la mina era ir a morir". Hasta que los gobernantes de ese entonces (1895) ofrecieron muchas ventajas a los extranjeros para que puedan explotar minas en el Perú, razón por la que en 1905 llega al Perú una empresa norteamericana que en 1915 llega a formar la Cerro de Pasco Corporation, que funcionó hasta 1974, año en que fue nacionalizada. Esta empresa implementa tecnologías de explotación en seis grandes unidades mineras ubicadas en la región central del Perú, con profesionales mineros, geólogos y químicos, generalmente, que por requerimiento de la mediana y pequeña minería, migran con el Know How adquirido y así iban implementando técnicas a nivel de mediana y pequeña minería del Perú, las que actualmente se conocen como corte y relleno ascendente y descendente, corte reducción, hundimiento de bloques y la formación de cuadros o enmaderado.

Palabras clave: Métodos de explotación mineros, mediana y pequeña minería, explotación de minas, minería peruana.

ABSTRACT

Mineral deposits in Peru are found along both the coast, and the mountain range (Peruvian Andes). Ore deposits occur in veins, strata and bodies. Mining companies select their exploitation methods following various criteria such as ore and deposit types, ore deposit size, position below surface and so on. Considering production level, mining operations may be large, medium and small sizes. After the Independence period, nearly all mines were abandoned as mine workers were indian natives who were enslaved by invaders. Indians worked at no cost to the spaniard mine owner. When mines were required to start operations, no worker wanted to return to mines as the mining work was synonymous of death. By 1895 peruvian rulers offered many advantages to foreigners working mines in Peru. In 1905 a U.S., mining company established in Peru and by 1915 a foreign mining company initiated operations: The Cerro de Pasco Corporation. This company was finally nationalized in 1974. Cerro de Pasco Corporation implemented new mining technologies at each of its 6 major mining units located in the central region of Peru. Mining professionals, geologists and chemical specialists from this company migrated to the medium and small mining operations taking with them the new techniques learned in mining methods such as cut and fill, shrinkage, block caving and square setting among others.

Keywords: Methods of mining exploitation, medium and small mining, peruvian mining.

* Docentes de la EAP de Ingeniería de Minas, UNMSM. E-mail: edelacruz@unmsm.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

Nuestra mentalidad al investigar los métodos de explotación que emplea la mediana minería en el Perú es tener una visión de conjunto de la tecnología de explotación de minas subterráneas en la mediana minería del Perú, quienes con sus posibilidades económicas e inquietudes de sus profesionales se ingenian en implementar el método de explotación que están aplicando en su unidad de producción; porque la gran minería trae expertos extranjeros para implementar un determinado método de explotación para su yacimiento donde invierten gran capital.

En el Perú hay alrededor de 60 empresas de la mediana minería de los que en nuestro estudio estamos abarcando 10 empresas mineras de las que se trata las fases de sus operaciones, que algunos no toman en cuenta el orden que debe tener un método de explotación, simplemente describe el yacimiento, las labores mineras, la producción, dando mayor importancia a la organización de la empresa, problemas con su personal y otros. En este trabajo queremos ordenar y tomar temas concernientes a la tecnología de explotación de las minas subterráneas de la mediana minería del Perú.

II. MARCO TEÓRICO

Para hacer un estudio de un método de explotación en la minería subterránea, se debe tener presente los siguientes pasos:

- Exploración
- Desarrollo
- Preparación
- Explotación
 - Diseño de perforación
 - Voladura
 - Limpieza
- Ventajas
- Desventajas
- Eficiencia, seguridad, variantes

III. MÉTODOS Y RESULTADOS

3.1. Mina San Rafael: explotación por subniveles

Está situada en el distrito de Antauta, provincia de Melgar, departamento de Puno, a una altitud aproximada de 4500 msnm a una altitud que varía entre los 4500 y 5200 msnm en la cordillera oriental de los Andes del Perú. La mina San Rafael es la principal productora de estaño en el país y una de las más

importantes del mundo. Los métodos de explotación en subsuelo empleados son el almacenamiento provisional y el derribo por subniveles con capacidad de extracción de 2700 toneladas/día, con leyes que promedian el 5% de estaño.

3.1.1 Explotación por subniveles

La disposición natural del mineral en el yacimiento en forma de vetas con ensanchamientos en su estructura denominados bolsanadas o cuerpos, con buzamientos que oscilan entre 48 hasta 75°.

La potencia de la mineralización en vetas que oscila entre 2.0 m hasta 6.00 m y en los cuerpos hasta los 35.00 m, lo cual favorece la aplicación del método.

Las características de la roca encajonante (intrusivo, pórfido, monzogranítico) muy competente y de dureza media.

Profundización del yacimiento con mineralización continuada, cuyo acceso es a través de una rampa principal de 6 x 4 m² sección y gradiente negativa de 10%.

3.1.2 Preparaciones para el minado actual con bancos de 25 m de altura

Desde la rampa principal se accede mediante una cortada a la zona mineralizada y se desarrollan niveles de preparación cada 25 m con una sección inicial de 5 m x 4 m siguiendo la dirección del rumbo de la estructura mineralizada.

Estas galerías luego son desquinchadas en toda la potencia de la veta o cuerpo, dejando pilares provisionales de una sección de 10 m x 5 m en el caso de cuerpos potentes.

Posteriormente, se desarrollan galerías de extracción cada 100 m de altura (*bypass*), cuya sección es de 5 m x 4 m, ubicadas en la caja piso y paralelas a la estructura mineralizada, las cuales están a 15 m de distancia de la veta o cuerpo. Desde el *bypass* se preparan estocadas (*drawpoints*) cada 15 m con una sección de 4 m x 3 m en dirección perpendicular a la estructura mineralizada.

En los extremos de los tajeos se desarrollan chimeneas sobre mineral de una sección de 2 m x 1.5 m, que sirven de cara libre para la voladura de los bancos.

A fin de diversificar la secuencia de minado y disponer de más caras libres se desarrollan rampas auxiliares entre niveles.

3.1.3 Explotación

A inicios del año 1992 se toma la decisión de introducir el método de “*sub-levelstopping*”, desarrollándose

para ello niveles de perforación ubicados cada 25 metros.

El método de explotación se realiza en blocks mineralizados que tienen una longitud que varía de

100 hasta los 200 m. En sus extremos se desarrollan chimeneas que servirán de cara libre (*slot*) que están ubicadas en la caja techo de la estructura. (Ver Figuras N.º 1 y 2).

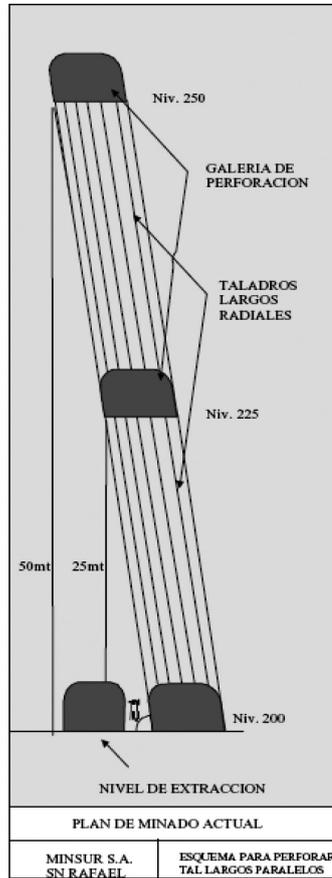


Figura N.º 1.

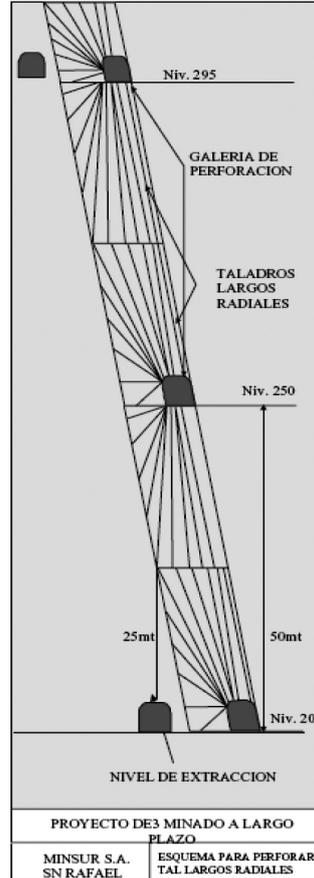


Figura N.º 2.

3.2. Mina Yauricocha: Explotación por subniveles

La mina Yauricocha se encuentra ubicada en el distrito de Alis, provincia de Yauyos, departamento de Lima, a una altitud promedio de 4600 msnm.

3.2.1 Método de Explotación

El método de minado elegido y su actual ejecución se describen como la preparación de accesos al cuerpo mineralizado, subniveles paralelos a los cuerpos, ventanas transversales a los cuerpos, chimeneas de extracción y bolsillos. La secuencia está en función del planeamiento elaborado previamente.

3.2.2 Labores de preparación

Comprenden la construcción de chimeneas, los subniveles paralelos al mineral, ventanas de acceso al mineral, construcción de bolsillos y refuerzo de cimbras.

3.2.3 Desarrollo

Cuerpo catas. El acceso principal es la rampa negativa (-11%) RP0153W que se ubica en la galería 2989-SE del nivel 670, cuya sección es de 2.4 x 2.4 m y unirá los niveles 670 y 720, teniendo una longitud de 444 m. (Ver Figuras N.º 3 y 4).

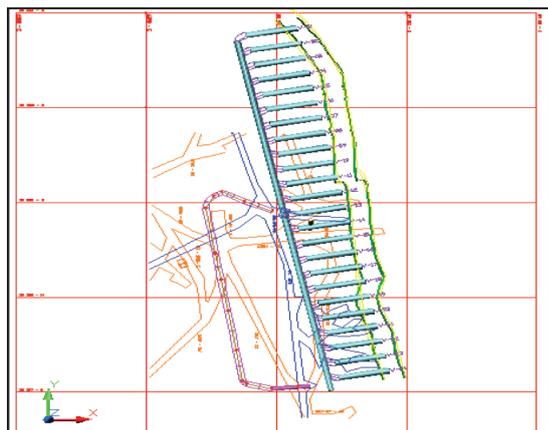


Figura N.º 3.

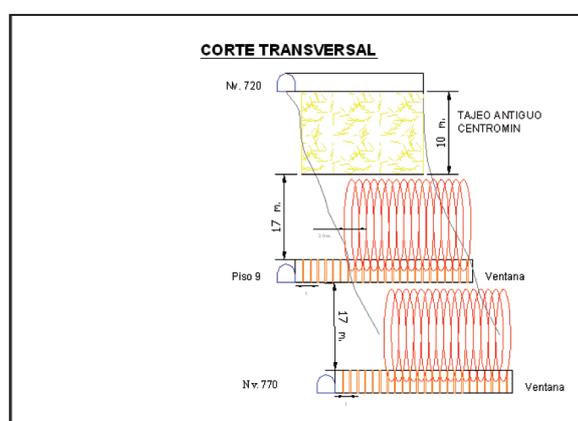


Figura N.º 4.

3.2.4 Labores de preparación. Construcción de chimeneas

Cuerpo catas. Se han construido tres chimeneas CHIM 904, CHIM 906, CHIM 066 de sección 1.5 x 1.5 m cada una y de 30 m de longitud.

3.2.5 Construcción de subniveles

Cuerpo catas. El cuerpo catas tendrá un portón general con subniveles cada 10 m. En el piso 16 se ha construido un subnivel principal, que tiene una sección de 2.4 x 2.4 m y una longitud de 191 m, que corre paralelo y separado en promedio 15 m del cuerpo mineralizado. Es a partir de allí donde se construyen las ventanas.

Se estima que solo el 20% de este subnivel va a requerir algún tipo de sostenimiento, ya que se está emplazando en caliza y las labores actuales en el Nv 670 y Nv 720 no tienen sostenimiento.

En el piso 8 el subnivel principal tiene una sección de 2.4 x 2.4 y una longitud de 198 m. Del mismo modo, solo el 20% requiere sostenimiento. En el Nv. 720 solo

se construirán un *bypass* y una cámara para carguío de carros mineros. El total de laboreo en este Nv es de 22 m, ya que el cruceo 2027 ya fue construido por CENTROMIN.

3.2.6 Explotación, perforación y voladura

Para ejecutar los bolsillos se utilizarán técnicas de perforación y voladura convencionales, debido a la muy mala calidad de la estructura mineralizada. El flujo de mineral se va a producir al ejecutar los bolsillos, de no suceder esto se abrirán tantos como sea necesario hasta provocar el flujo gravitacional del mineral. No será necesario diseñar ningún tipo de voladura sistemática ni usar taladros largos por el poco tiempo de autoaporte del mineral.

3.2.7 Explotación y acarreo de mineral

El mineral se extrae por los *drawpoints* con *scoops* eléctricos, para catas con el TamrockMod EJC 61E de 1.5 yd³ y para Cuye con el Wagner Mod EHS T1A de 1 yd³, que son los equipos con que cuenta la empresa en la actualidad. De acuerdo con las necesidades para incrementar la producción, se están adquiriendo dos *scoops* eléctricos de 2.5 yd³ marca Wagner y Tamrock. A continuación se detallan los rendimientos para cada *scoop*.

Tabla N.º 1.

Densidad de mineral roto	2.33 T/m ³
Distancia máxima de acarreo	50 m
Rendimiento scoop 1 yd ³ /h	19.43 TM
Rendimiento scoop 1.5 yd ³ /h	29.14 TM
Rendimiento scoop 2.5 yd ³ /h	48.57 TM
Rendimiento por guardia scoop 1 yd ³	117 TM
Rendimiento por guardia scoop 1.5 yd ³	175 TM
Rendimiento por guardia scoop 2.5 yd ³	291 TM

3.3. Minera Atacocha: corte relleno mecanizado Generalidades

Atacocha se ubica en la zona central del Perú, a 15 km al NE de la ciudad de Cerro de Pasco, en un macizo de la Cordillera Occidental de los Andes.

Se pueden considerar dos unidades, Atacocha y Santa Bárbara, con una distancia entre ambas de aproximadamente 1 km, con marcadas diferencias tanto en la génesis como en la mineralización.

3.3.1 Método de Explotación

En 61 años de operación continua, la mina Atacocha ha aplicado varios métodos de explotación, como son:

“Shrinkage”, “Square Set”, “UnderCut and Fill”; los cuales fueron modificados en función a las características físicas del yacimiento y necesidades técnico-económicas que se han generado en el transcurso del tiempo. Actualmente, el 100% de la explotación se realiza con el método de corte y relleno ascendente mecanizado.

Labores de preparación

Tabla N.º 2. Preparación para la explotación

Labor	Sección (m x m)	Longitud	Precio Unit (US \$)	Costo Total (US \$)
Rampa principal (15%)	2.70m x 2.70m	400	240	96,000
Ventanas de acceso	2.70m x 2.70m	420	240	100,800
Ventanas al Ore pass	2.40m x 2.40m	40	200	8,000
Ventana al draw point	2.40m x 2.40m	20	200	4,000
Ore pass	2.00m x 2.00m	60	190	11,400
Chimeneas de ventilación	1.50m x 1.50m	180	130	23,400
				243,600

3.3.3. Explotación

El diseño de perforación se especifica en la tabla N° 3

Tabla N.º 3. Características técnicas de la perforación

Malla de perforación :	1.10 m x 1.1 Om	Inclinación del taladro : 70°.
Altura de arranque :	2.71 m	Diámetro, taladro : 37 mm
Eficiencia perforación:	22 tal/guardia	t/taladro : 11.1
"Upper Drill Wagón":	Costo de propiedad :	0.96 \$/m 0.28 \$/t
	Costo de operación	0.84 \$/m 0.25 \$/t
	Total :	1.80 \$/m 0.53 \$/t

Voladura. En la voladura se emplea Examon V en los niveles superiores y la dinamita Semexsa de 6 0% x 1 1/8" x 7" en los niveles inferiores (por problemas con la ventilación). Se dispara por tandas de 80 taladros utilizando Fanel. El factor de potencia es de 0.178 Kg/TM para la dinamita y de 0.225 Kg/TM para el Examon V. En la limpieza de mineral se utilizan los Scooptram de 2.0 ydj.

Limpieza. Para el acarreo de mineral disparado en las cámaras hacia los echaderos utilizaremos un “scooptram” eléctrico de 2.0 yd³, que recorrerá una distancia máxima de 80 m.

Relleno. El relleno es totalmente hidráulico. El drenaje del agua del relleno demora una guardia, debido a la buena percolación existente.

Tabla N.º 4.

Densidad del mineral	: 3.40 t/m ³	Distancia de acarreo	: 80 m.
Capacidad del cucharón	: 1.53 m ³	Velocidad promedio	: 5.00 km/h
Factor de carguío	: 0,86	Rendimiento	: 48.13 t/h
Factor de esponjam.	: 40%	Horas trab./Gdia	: 4.5 h
Carga útil/viaje	: 3.20 t	Rendimiento/Gdia	: 216 t/Guardia
Costo de prop. y operac.	: 33.75 \$/hora		

3.4. Mina Andaychagua: corte relleno descendente

La mina Andaychagua, ubicada aproximadamente a 180 km al este de Lima, tiene su veta principal formada por el emplazamiento de fluidos hidrotermales que han rellenado las fracturas y espacios vacíos con ligero reemplazamiento de las cajas.

El mineral se compone de sulfuros masivos y disseminados de Zn, Pb y Ag.

Su producción actual es aproximadamente de 450,000 t por año de mineral de zinc y plata, el método de explotación es de corte y relleno descendente, y se explota con leyes de zinc 6.2% y plata 7.8 Oz/t.

3.4.1 Método de explotación

La mina Andaychagua se explota con el método de corte y relleno descendente, con un relleno cementado competente que varía desde 4 m hasta 14 m de ancho

3.4.2 Desarrollo

La infraestructura de la mina se desarrolla en cada piso, las rampas tienen una gradiente de 12%, con una sección de 4 m x 4 m.

Se explota el mineral con cortes de 8 m de altura en sentido descendente. Los tajeos tienen 230 m de longitud y cada ala, este y oeste, se explota con un solo acceso independiente que sale de las rampas principales.

3.4.3. Explotación

Diseño de perforación. Se realizan perforaciones verticales a ambos lados del tajeo con malla de perforación de 1.5 m x 1.7 m y un diámetro de 2.5". Se perforan 8 m más 1.5 m de sobre perforación.

Voladura. La voladura se realiza con ANFO usando una cara libre o slot, que servirá después del ciclo para extraer la segunda parte del mineral disparado.

Limpieza. Se utilizan scoops de 6.0 yd³ para el acarreo de mineral y solo se extraen 3 m de los 8 m de mineral disparado hasta llegar a una altura de tajeo de 8 m.

La extracción se realiza con volquetes de 20 tm que llevan el mineral de los *bypass* a la superficie.

3.5. Mina Raura: corte y relleno ascendente

La mina Raura se encuentra ubicada en el departamento de Huánuco (distrito de San Miguel de Cauri, provincia de Lauricocha) y es accesible a través de la carretera Lima-Huacho-Oyón-Raura de 303 km; la altitud varía de 4300 a 4800 msnm.

El cuerpo Blanquita está ubicada en la zona de El Abra al lado oeste de la mina Raura, a 6 km de la planta concentradora, accedendo por línea de cauville y luego con un túnel sin rieles. Este cuerpo fue explorado en el año 2002 con 532 m. de labores de exploración y desarrollo y con 4241 m de sondajes diamantinos, obteniéndose reservas indicadas de 579446 TM, adicionalmente se desarrolló una chimenea Alimak de 325 m de longitud para ventilación.

3.5.1 Método de Explotación

Se ha considerado para la explotación el método por "corte y relleno ascendente". Este diseño comprende en una primera etapa la explotación de un bloque entre las cotas 4660 y 4760 (100 m de altura) y 319 000 TM de mineral, se ha estimado una producción inicial de 5000 TM/mes y luego se incrementará a 10 000 TM/mes.

3.5.2 Desarrollos y preparaciones

Como se mencionó en un numeral anterior, inicialmente la explotación comprende un bloque de 100 m de altura para lo que se requiere de la ejecución de las siguientes labores preparatorias de acuerdo a la Tabla N.º 5.

Tabla N.º 5. Resumen de las labores de preparación

ÍTEM	Sección	Longitud	Precio Unit.	CostoTotal
Reservas (Ton)		319,325		
Labores de preparación				
Desarrollo de rampa				250,734.40
Chimenea Ore Pass	3.5 x 3.0	610 m	411.04	25,310.70
Inclinado del Ore Pass a la Rampa	2.0 x 2.0	90 m	281.23	12,655.35
Crs. de la Rampa al Ore Pass	2.0 x 2.0	45 m	281.23	26,988.80
Crs. de la Rampa a la Chimenea Alimak	3.0 x 3.0	80 m	337.36	16,193.28
Chimenea de ventilación	3.0 x 3.0	48 m	337.36	26,225.00
Snvs. d la Chim. Alimak	1.8 x 1.8	100 m	262.25	4,999.00
Crs. de acceso desde la Rampa	1.8 x 1.5	25 m	199.96	151,812.00
Realces de los accesos para los cortes	3.0 x 3.0	450 m ³	337.36	11,684.80
		436 m ³	26.80	526,603.33
Costode preparación(US\$/Ton)				1.66

El desarrollo de una rampa de 3.5 m x 3.0 m de sección y hasta 15% de gradiente, ubicada en la caja piso, hacia el NW del cuerpo mineralizado. En diferentes subniveles, desde la rampa, se desarrollarían dos cruceros de acceso al cuerpo, los mismos que serían realizados para efectuar los cortes de mineral. Estos cruceros tendrían hasta 18 % de gradiente. La construcción de un echadero de mineral (*orepass*) junto a la rampa; la rampa y el *orepass* estarían conectados en cada subnivel por un crucero. (Figura N.º 5).

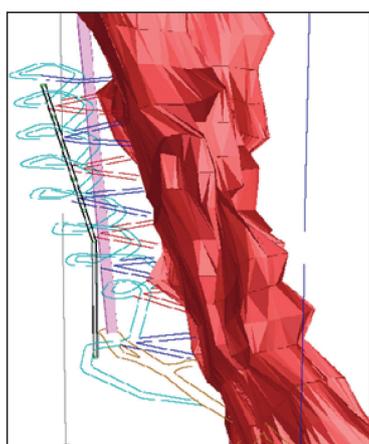


Figura N.º 5. Diseño de explotación del cuerpo Blanquita

3.5.3 Explotación

Perforación y voladura. Se seleccionó un Jumbo de dos brazos, la perforación será en *breasting* con

longitudes efectivas de perforación aproximadas de tres metros.

Relleno. Se analizaron tres alternativas de relleno: Detrítico con chimenea, que se desechó por no disponer de detritus en superficie; Relleno Hidráulico, que requiere de una bomba Marhs adicional de alta presión, que por el momento no es recomendable porque la inversión requerirá de mayores reservas; Detrítico transportado desde superficie, el que es factible a pesar de su alto costo 4.85 US\$/TM.

3.6. Cía. Minera Caylloma: corte relleno – shirinkage

El distrito minero de Caylloma se localiza a 14 km al NW del pueblo de Caylloma, capital del mismo nombre, provincia de Caylloma, Región Arequipa. Se encuentra a una altura de 4500 a 5000 msnm.

Sus coordenadas son: 8°317,650 N 192,584 E

3.6.1 Métodos de explotación

Corte y relleno ascendente. Se utiliza el método de Corte y Relleno Ascendente denominado “OverCut and Fill”. El minado de corte y relleno es en forma de tajadas horizontales empezando del fondo del tajo y avanzando hacia el nivel inferior.

Luego de cada corte de mineral y una vez extraído completamente el mineral del tajo, este se rellena con material estéril hasta tener una altura de perforación adecuada (2,5 m). El relleno cumple dos funciones:

proporcionar un nuevo piso para la perforación y de sostenimiento de la labor.

3.6.2 Labores de preparación

Las vetas se desarrollan en sentido horizontal en galerías, las cuales están separadas entre 25 a 50 m entre niveles, dependiendo de la zona. En sentido vertical se desarrollan chimeneas espaciadas cada 50 m, quedando dividida la veta en bloques. Las chimeneas se proyectan hasta superficie o hasta el nivel superior.

Entre dos chimeneas extremas separadas a 25 m se construye un buzón-camino-buzón (triple), lo que permite así definir el block a explotar.

El piso inicial puede ser camada de madera (si se realizó desde la galería) o puente de mineral de 2,5 m de altura.

El corte de los tajos se hace con cara libre hacia las chimeneas. El disparo es en toda la longitud del tajeo (una sola tanda). Es una adecuada práctica que en los extremos del tajeo cerca de las chimeneas se realice un corte más, para que el relleno tenga fluidez.

3.6.3 Explotación

Diseño de perforación. Es del tipo vertical o realce. El ancho de minado mínimo es de un metro, espacio suficiente para que el perforista opere su máquina y trabaje con comodidad. Se usa perforadoras tipo Jacklegs, Atlas Copco, utilizando barrenos integrales de 2, 4, 6, 8 pies de longitud. En la perforación se usa como mínimo tres guidores, que contribuyen a uniformizar el paralelismo de los taladros perforados.

La malla de perforación para vetas menores o iguales a 50 cm es en zigzag con burden de 25 a 30 cm. Para vetas de 0.80 - 1.00 m., se hacen taladros alternados en número dos y uno por fila, con un burden de 30 cm.

Shirinkage dinámico convencional. Es conocido también como almacenamiento provisional. El método se usa en labores que presentan cajas semiduras o duras y un buzamiento mayor de 60°. En este método el mineral es cortado de manera continua en rebanadas horizontales empezando de la parte baja y avanzando hacia arriba.

3.6.4 Labores de preparación

Se prepara bloques de desarrollo y preparación de 50 m de longitud delimitados por chimeneas. En altura la separación entre niveles va desde los 25 a los 50 m. Delimitado el tajeo, se corre un subnivel y se procede a sellar chimeneas cortas con un ángulo de 45° a partir del segundo disparo, con la finalidad

de facilitar que el mineral roto caiga a la tolva. La separación de las chimeneas de eje a eje es de 5 m.

El realce de mineral se realiza levantando el techo en forma vertical a todo lo largo del tajeo. De todo el mineral roto solo se extrae el 40% por los buzones, produciendo un hundimiento, hasta una altura que permita realizar el nuevo corte. A medida que se va cortando mineral, se comunica ventanas a las chimeneas para ingresar del personal y servicios.

Estas ventanas están separadas cada 4 m, en vertical, dejando pilares laterales, hacia la chimenea.

Limpieza. Después de la voladura, se ventila la labor. Para ello las mangueras deben estar en el tajo y desde el nivel inferior se abren las válvulas y buscando que el gas salga hacia el nivel superior.

Se extrae el mineral en coordinación con los perforistas del tajo. Este método se usa en las vetas de San Cristóbal y Bateas.

3.7. Unidad minera Iscaycruz (sub-niveles ascendentes con relleno cementado)

Iscaycruz es una mina subterránea que se encuentra ubicada en la parte oriental de la Región Lima, a 4700 msnm, la mineralogía del yacimiento se encuentra emplazada en las calizas de la Formación Santa y corresponde al tipo de reemplazamiento metasomático, con una inyección hidrotermal tardía.

3.7.1 Método de Explotación

Actualmente el método de minado subterráneo empleado en Iscaycruz es: "subniveles ascendentes con relleno consolidado". La ventaja de este método consiste en que permite obtener una alta recuperación del mineral con una baja dilución, en forma rápida y segura.

3.7.2 Labores de preparación y desarrollo

El ingreso al interior de la mina se realiza mediante una rampa negativa construida en la caja techo del cuerpo mineralizado (cuarcitas). A partir de esta labor, se preparan subniveles perpendiculares al rumbo del cuerpo mineralizado. Una vez interceptado el cuerpo en potencia, se ejecuta una galería central paralela al rumbo del cuerpo. Cuando ya está delimitado el cuerpo en sus extremos, se procede a la explotación mediante cruceros transversales. Para tener una mayor flexibilidad en el minado, se ejecuta un *bypass* en los extremos norte y sur del cuerpo, permitiendo de esta manera tener mayor número de frentes de minado.

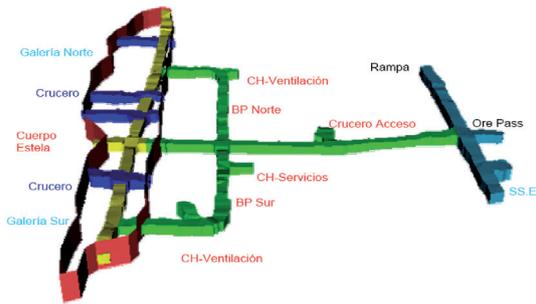


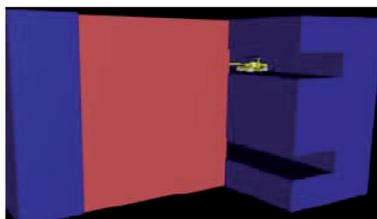
Figura N.º 6. Bypass

3.7.3 Ciclo de minado

Una vez delimitado el cuerpo, se procede a la ejecución de los crucesos en los subniveles inferior y superior (de caja techo a caja piso). Estas labores se realizan transversales al cuerpo para poder delimitar su potencia. Una vez concluidos los crucesos, se inicia la comunicación mediante la perforación y voladura de una chimenea vertical (10 m), la que servirá de cara libre del minado del tajo.

Posteriormente, se realiza la perforación y voladura de los taladros de producción ordenados en filas, paralelos a la cara libre. Para la limpieza del tajo se utilizan *scoops* de 3,5 yd³ accionados a control remoto. Una vez que queda vacía la cavidad, se procede inmediatamente a rellenar con agregados cementados. Después de transcurrido el tiempo de fraguado del relleno (aproximadamente siete días), se procede al minado de los tajeos adyacentes de acuerdo con la secuencia de minado.

1) Perforación horizontal (cruceo superior e inferior)



3) Limpieza de mineral

Figura N.º 7.

Explotación, Diseño de perforación y voladura
Malla típica para taladros largos

2) Perforación vertical (taladros largos)



4) Relleno con AGREGATED FILL (agregado+cemento+agua)

Figura N.º 8.

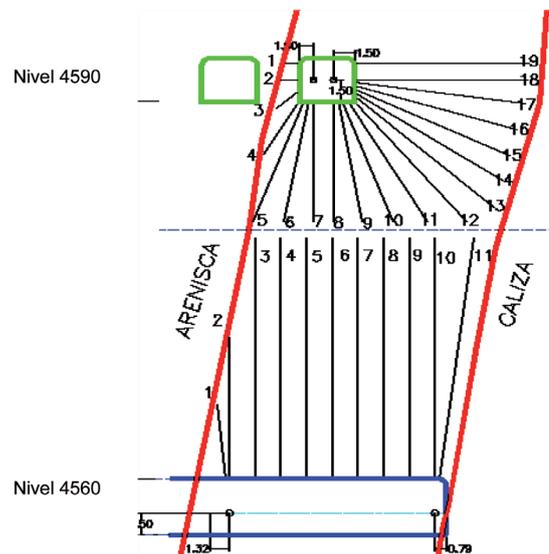


Figura N.º 9. Mina Chupa - Sección Transversal Tajeo 250.

Aplicamos esta malla en roca suave de dureza RMR. 21-35, para lo cual se perforan tres taladros de alivio de 5" de diámetro con una separación de 0.50 cm entre uno y otro taladro. Con respecto a los taladros de arranque, están a una distancia de 1.50 cm entre uno y otro. Los taladros cuadradores y arrastre están a una distancia de 0.80 cm. Tomando en cuenta los taladros de arranque y la corona, los taladros quedan vacíos. Para un mejor control, estos tienen una separación de 0.40 cm entre uno y otro taladro. Para su aplicación se requiere mucho criterio.

3.7.4 Sistemas de Relleno

Relleno cementado. Iscaycruz cuenta con una planta de relleno cementado (agregado cementado) que permite cubrir las demandas de la operación. El ingreso

de relleno a la mina es vía camiones hasta la chimenea de relleno. De esta chimenea se distribuye el relleno a los diferentes tajeros mediante equipos de acarreo. La dosificación del relleno agregado cementado es la siguiente: grava 86%, relave cicloneado 10%, cemento 4% y relación agua/cemento: 1/1.

Relleno en pasta. Iscaycruz también cuenta con una planta de relleno en pasta. Este se define como una masa pastosa capaz de ser bombeada y transportada a través de tuberías, compuesta de partículas finas (relave), cemento, agua y un elemento químico llamado floculante. Es una mezcla homogénea que no se segrega y cumple los requerimientos de resistencia para la cual fue diseñada. Como requerimiento básico, es necesario que el contenido mínimo de finos que pasa la malla-635 en el relave sea el 15% de su peso. Esto junto, con el floculante, le permite obtener

la consistencia de pasta y la cohesividad necesaria para evitar la segregación de las partículas, haciendo que cambie de una masa fluida a una masa plástica (pasta) de fácil bombeo, que evita los atoros y reduce el desgaste prematuro de la tubería de transporte.

IV. CONCLUSIONES

El método Corte y Relleno ascendente es empleado por dos empresas mineras: Empresa Minera Atacocha y Empresa Minera Caylloma.

El método Corte y Relleno descendente es empleado por una empresa minera: Empresa Minera Andaychagua.

El método Shrinkage dinámico es empleado por una empresa: Empresa Minera Caylloma.

El método Tajero por subniveles es empleado por tres empresas mineras: Empresa Minera San Rafael, Empresa Minera Yauricocha, Empresa minera Iscaycruz.

La gran mayoría de estas empresas no emplean y ponen en práctica las fases de operaciones mineras:

En las empresas mineras San Rafael, Yauricocha, Atacocha, Andaychagua, Raura, Caylloma, Iscaycruz; no se contempla en sus operaciones las fases de exploración, ventajas, desventajas, eficiencia, seguridad ni variantes.

De las 40 empresas mineras de la mediana minería solamente se estudió siete.

V. RECOMENDACIONES

Sería recomendable que se continuara con este y otros estudios, a fin de conocer la tecnología de explotación en la mediana minería del Perú para uso y aplicación

de los empresarios de la mediana y pequeña minería y estudiantes de las escuelas de ingeniería de minas de las diferentes universidades del Perú.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AIME, Hand Book
2. Arévalo Sánchez, Sofía; Blas Bernardo, Luis; Cruz Contreras, Jesús (2011). Trabajo práctico del curso de Explotación Subterránea I "Métodos de explotación en la minería peruana" - Escuela de minas, UNMSM 2011.
3. B. Stoces, Elección y crítica de los métodos de explotación en minería - Omega.
4. Corte Relleno Ascendente, Mina Atacocha.
5. Corte Relleno Ascendente, Mina Caylloma.
6. Corte Relleno Descendente, Mina Andaychagua.
7. Cummins - Givens, Mining Engineers Hand Book.
8. Echegaray Palma, Frank; Juber Delgado, César; Luque Pareja, César; Ugarte (2011). Trabajo práctico del curso de Explotación Subterránea I "Métodos de explotación subterránea en la Mediana Minería" - Escuela de Minas, UNMSM 2011.
9. EIA de la Mediana Minería del Perú (descripción de proyectos).
10. IIMP, trabajos presentados en las diferentes Convenciones de Ingenieros de Minas del Perú.
11. IIMP: Minería.
12. Informes de los Planes Operativos de las Empresas Mineras del Perú.
13. J. Vidal, Explotación de Minas I - II - III.
14. Revista: Engineering and Mining Journal.
15. Shrinkage dinámico, Mina Caylloma.
16. Tajero por subniveles, Mina Iscaycruz.
17. Tajero por subniveles, Mina San Rafael.
18. Tajero por subniveles, Mina Yauricocha.
19. Tesis Profesional de las diferentes Universidades del País.
20. Trabajos Técnicos presentados a los diferentes Simposium de Minería, organizados por las diferentes Universidades del Perú.
21. Trabajos técnicos presentados en los diferentes congresos mundiales de minería.
22. Trabajos Técnicos y Autores. Minería N.º 206 - Agosto 1989.