



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



CAMARAS Y PILARES EN YACIMIENTOS AURIFEROS

EXAMEN DE SUFICIENCIA DE COMPETENCIA PROFESIONAL

PRESENTADO POR:

Bach. REYNOLD RENZO BERNEDO VILCA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO - PERÚ

2006



DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi padre Don Aurelio Bernedo Quispe, quien supo brindarme todo su apoyo y constante preocupación en bien de mi formación profesional.

En memoria a mi querida Madre Doña Carmen Vilca Flores quien me dio oportunidad de vida, me guío por el camino del bien para así servir a la sociedad en conjunto.

A mis queridos tíos Don Humberto Teobaldo Muñoz Apaza y Doña Juana Vilca Flores, quienes me dieron su apoyo incondicional y consecuente para la culminación de mis aspiraciones.

Reynold Renzo Bernedo Vilca



AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater; cual es la Universidad Nacional del Altiplano y a todos los docentes de la facultad de Ingeniería de Minas, por las oportunas sabias enseñanzas impartidas por ellos; quienes me han orientado hábilmente para poder realizar mi formación profesional. De igual forma mis agradecimientos a todas aquellas personas que en forma oportuna contribuyeron en la concretización del presente trabajo.

Reynold Renzo Bernedo Vilca



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN 8

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEORICA DE CÁMARAS Y PILARES EN YACIMIENTOS AURIFEROS

1.1 ASPECTOS GENERALES 9

1.2 MINAS DE ORO EN EL PERÚ 10

1.2.1 Introducción 10

1.2.2 Yacimientos de oro que se explotan en Departamento de Puno 12

1.3 SELECCIÓN DEL METODO DE EXPLOTACIÓN 13

1.3.1 Factores que influyen en la selección del método de explotación 14

1.4 CAMARAS Y PILARES 16

1.4.1 Campo de aplicación del método 16

1.4.2 Plan general de trabajo 17

1.4.3 Accesos a los frentes de trabajo 19

1.4.4 Sostenimiento del techo 21

1.4.5 Ventajas y desventajas del método 22

1.5 RECUPERACION DE PILARES 23

1.6 DISEÑO DE LOS PILARES..... 24

1.7 FACTOR DE SEGURIDAD 27

CAPÍTULO II

APLICACIÓN PRÁCTICA DE CÁMARAS Y PILARES EN LA MINA RINCONADA

2.1 ASPECTOS GENERALES 28



| | | |
|------------|---|-----------|
| 2.1.1 | Ubicación y acceso | 28 |
| 2.1.2 | Historia del yacimiento | 29 |
| 2.2 | ASPECTOS GEOLÓGICOS | 29 |
| 2.2.1 | Geología General | 29 |
| 2.2.2 | Geología Regional | 29 |
| 2.2.3 | Geología Local..... | 30 |
| 2.2.4 | Génesis del Yacimiento | 31 |
| 2.2.5 | Geología Económica..... | 31 |
| 2.2.6 | Mineralogía..... | 32 |
| 2.3 | SELECCIÓN DEL METODO DE EXPLOTACIÓN | 32 |
| 2.3.1 | Condiciones de aplicación | 33 |
| 2.3.2 | Clasificación de tipo de roca..... | 33 |
| 2.3.3 | Clasificación por índice de calidad de roca (RQD) | 33 |
| 2.3.4 | Características generales del yacimiento aurífero primario..... | 34 |
| 2.4 | DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN SELECTIVO | |
| | “CIRCADO “ | 34 |
| 2.4.1 | Sistema de Minado..... | 36 |
| 2.4.2 | Perforación y voladura..... | 37 |
| 2.4.3 | Acarreo y transporte..... | 40 |
| 2.4.4 | Ventilación de labores mineras..... | 41 |
| 2.5 | DISEÑO DE LOS PILARES..... | 42 |
| 2.6 | LABORES DE DESARROLLO Y PREPARACIÓN..... | 44 |
| 2.6.1 | Secuencia de explotación..... | 44 |
| 2.6.2 | Operaciones unitarias..... | 45 |
| | CONCLUSIONES | 51 |
| | RECOMENDACIONES | 52 |
| | BIBLIOGRAFIA | 53 |

ÁREA : Ingeniería de Minas

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 12 de octubre del 2006



ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Características geométricas y distribución de leyes | 15 |
| Tabla 2: Características geomecánicas | 15 |
| Tabla 3: Clasificación por índice de calidad de roca..... | 33 |
| Tabla 4: Características según el método de explotación subterránea | 35 |
| Tabla 5: Datos de perforación y voladura de rocas | 45 |
| Tabla 6: Distribución de taladros | 46 |
| Tabla 7: Material roto en galería | 47 |
| Tabla 8: Material roto en tajeo | 47 |
| Tabla 9: Mineral roto en galería | 48 |
| Tabla 10: Mineral roto en tajeo | 49 |
| Tabla 11: Personal necesario para limpieza de desmonte | 50 |
| Tabla 12: Personal necesario para limpieza de Mineral | 50 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Explotación de mina con el método cámaras y pilares | 18 |
| Figura 2: Pilares cuadrados | 25 |
| Figura 3: Pilares rectangulares | 26 |
| Figura 4: Pilares Irregulares | 26 |
| Figura 5: Diseño de pilares | 27 |
| Figura 6: Vista de las labores en método de explotación cámaras y pilares | 36 |
| Figura 7: Distribución de taladros en la perforación | 37 |
| Figura 8: Labores mineras | 38 |
| Figura 9: Diseño de pilares | 43 |
| Figura 10: Grafico de estabilidad | 43 |



RESUMEN

El presente trabajo realizado es la aplicación del método de CAMARAS Y PILARES EN YACIMINETOS AURIFEROS; las condiciones son para cuerpos en forma de lentes o tabular Horizontal inclinados y escaleras de menores de 30° de buzamiento, cajas competentes con soporte al techo con pernos de roca, es el único método de alta productividad y rendimiento para depósitos sedimentarios en carbón, calizas, oro. Se viene aplicando este método actualmente en las minas de la Rinconada Ananea, la mineralización es en forma de mantos como son: Sol de Oro, Serpiente de Oro, Tigre de Oro, cuyas leyes fluctúan desde 10 a 60 gramos de Au/TM, la zona de mayor interés se tiene a lo largo de la falla San Francisco por los cactus existentes y las actuales labores mineras que están en operación. Es necesario señalar la mineralización que es de origen hidrotermal, como flujo y guía mineralizante se tiene las cuarcitas que formaron las vetas, mantos por intrusión del intrusito esto que aflora en la parte norte (Uscucaca) de granito holo -cristalino, por ello el guía de control de la mineralización existente es el cuarzo gris-ahumado de brillo grasoso y presencia de pirita en las cajas de veta. El tratamiento de recuperación de oro (Au) es por amalgamación y cianuración, llegando a recuperarse un aproximado de 80% y se evita la contaminación de mercurio y aguas acidas a las cuencas de la laguna Rinconada, esto mediante programas de monitoreos y manejo ambiental, para preservar el medio ambiente.



CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEORICA DE CÁMARAS Y PILARES EN YACIMIENTOS AURIFEROS

1.1 ASPECTOS GENERALES

Los yacimientos Auríferos en los Andes peruanos y en muchos rincones de Perú desde los tiempos más remotos se sabe que las minas de oro son muy numerosas en el Perú, pero falta conocerlas bajo su aspecto práctico, esto es, de la mayor o menor facilidad que su explotación ofrezca. A este respecto son pocos los datos que existen, pudiendo solo realizarse sucesivamente los estudios de esta naturaleza, variable según las condiciones peculiares de cada localidad.

Tocante a lo que fueros las minas de oro en los tiempos anteriores á la conquista, y desde esta hasta la época actual, poco es lo que se sabe; pero no obstante puede tenerse una idea de cómo se realizaba en esos tiempos la explotación del oro.

Así conocemos por el acta original del escribano Pedro Sancho que presentó el hecho, a la cantidad de oro que recibieron los conquistadores por el rescate de Atahualpa, que fué de 1,220.166 pesos de oro. A esta cantidad debe agregarse lo que, en los primeros años de la conquista, particularmente en el Cuzco (1534), saquearon los soldados españoles; y aunque es poco lo que sobre este punto se sabe con certeza, puede asegurarse que fue muy inferior a lo recibido en Cajamarca.

Estas cantidades escogidas en todas las diversas partes del Imperio Incaico representaban el oro acopiado en un número desconocido de años anteriores á la conquista, y convertido, como se acostumbraba, en objetos de adorno de los templos y palacios y en



otros trabajos artísticos, que la bárbara e ignorante avaricia de los soldados españoles destruyó, fundiéndolos para hacer más fácil su repartición.

Los objetos de oro encontrados posteriormente, sobre todo en las tumbas (huacas), son bastante numerosos, pero rara vez representan una cantidad algo seria de ese metal: por manera que puede considerarse hoy, después de tantos años transcurridos, y tantas investigaciones verificadas, unas veces a impulsos de la codicia, otras del interés científico que la cantidad entregada en 1533 á los conquistadores como rescate de Atahualpa, representaba la mayor parte de lo acumulado hasta entonces.

En los tiempos coloniales los quintos y diezmos y otros impuestos que gravaban a favor del fisco los metales preciosos, pudieron dar alguna luz sobre su producción; pero a más de que el oro se presta a fácil contrabando, faltan o no se conocen, muchos de los documentos pertinentes, y hay que contentarse con avalúos más o menos probables.

1.2 MINAS DE ORO EN EL PERÚ

1.2.1 Introducción

La pródiga naturaleza que ha colmado al Perú de tantas riquezas no ha sido menos generosa en dotar á este privilegiado país con numerosas minas o lavaderos del más precioso metal cual es el oro. No hay región el Perú que no ofrezca algún depósito aurífero; los cerritos que forman pequeñas cadenas en la llana región de la Costa; las profundas quebradas de la Sierra; la elevada e inhospitalaria Cordillera; los vírgenes bosque de la Montaña, en una palabra, todas las zonas ofrecen minas y lavaderos de oro.

El oro es sumamente repartido en toda la extensión del Perú; y si es verdad que hay lugares donde la cantidad de este metal contenía en terrenos auríferos es demasiado



pequeña para pagar los gastos de extracción, lo es también. Que hay otros, en que las minas y lavaderos pagan dichos gastos con usura.

La riqueza del Perú en metales preciosos es proverbial siendo muy común el oír decir, exagerando la riqueza de un lugar a el valor de una cosa, es rico como el Perú o vale un Perú. Esta riqueza en oro está confirmada por los antiguos historiadores al tratar del rescate del Inca Atahualpa, en cuya ocasión, los conquistadores quedaron asombrados al ver la inmensa cantidad de oro labrado que existía en el país.

Bajo el gobierno español, si debemos juzgar por las numerosas bocaminas, socavones; ruinas de casas, ingenios quimbaletes para moler el mineral aurífero, la explotación del oro fue bastante activa; pero admira la falta casi absoluta de datos sobre la producción de dicho metal. Actualmente la explotación de las minas de oro en el Perú es muy reducida, verificando en muy pocos lugares y en muy pequeña escala; y verdaderamente sorprende el ver que una región tan rica en oro, recién en los últimos años con la puesta de los yacimientos como Marsa, Sipan, Yanacocha, Pierina Aruntani, etc. Figura como productores de este precioso metal. Los ríos Huarihuari é Inambari en la provincia de Sándia y Carabaya; el río Mantaro en Chuquibamba, Uco, Balzas, etc.; el río Tablacha al pié de la población, de Pallasca, y tantos otros, siguen continuamente acarreado en sus arenas numerosas partículas de oro. ¿De donde traen el oro, estos ríos? Es indudable que toman este metal de los cerros o depósitos de tierras auríferas situados mas arriba hacia el origen de las quebradas que formas mantos o vetas auríferas.

Muchas minas de oro que han sido abandonadas y otras no exploradas por no pagar los gastos de explotación por la escasa ley de sus minerales, hoy son con el auxilio de las máquinas y métodos más modernos ser explotadas en grande escala y ofrecer muchas ganancias.



1.2.2 Yacimientos de oro que se explotan en Departamento de Puno

En el departamento de Puno, las provincias que has sido consideradas como minas de oro mas ricas son las de Carabaya y de Sandia, en donde se hallan los lavaderos y vetas auríferas, la cual es muy escabroso y difícil, lo es también que esa región ha dado y puede dar todavía inmensas riquezas; de manera que con razón la región de Carabaya ha sido considerada como la más rica en oro de todo Sur América.

Las minas de oro de Carabaya son, sin duda alguna las mas antiguamente conocidas, pues el nombre de Carabaya, más o menos modificado en Caruaya, Collahuaya, etc., es citado por los antiguos historiadores como el de un lugar muy rico en oro, conservándose la tradición de una grande pepita de la forma de una cabeza de caballo, y de cuatro arrobas y libras de peso, que fue sacada de los lavaderos de la quebrada de Inahuaya, y de otra como la cabeza de un hombre, hallada en 1556, en un resquisio de la peña, y que vió el historiados Garcilaso

Hallándose este precioso metal tanto en los depósitos de terrenos de aluvión, como en vetas de cuarzo y pizarras. Los principales yacimientos son:

Asiento Mineral de San Antonio de Poto. - Este importante Asiento Mineral se halla situado al sur de la Cordillera Oriental que atraviesa la provincia de Sándia y casi en el origen del río que baña la población del Crucero,

El oro se halla diseminado en una tierra de color ceniciento, formada de piedras cuarzosas, pizarra y una arenisca metamórfica con tierra gredosa, distinguiéndose de los demás terrenos auríferos, que por lo común son de color rojizo.



La tierra aurífera de San Antonio de Poto forma inmensos depósitos que se extienden desde los cerros nevados de Comuni y Ananea hasta la población de San Antonio de Poto.

Minas de oro en el cerro de Ananea.- Al NE del pueblo de San Antonio de Poto, y en un cerro nevado inmediato al de Comuni, más arriba citado, se hallan las ruinas de un pueblo que se conoce con el nombre de Ananea, y del que no se tiene la menor tradición solo por los restos de la iglesia, que comentan entre los pobladores sobre las ruinas, se puede deducir que ha sido fundada por los españoles.

La población de Ananea se halla todavía a mayor elevación sobre el nivel del mar, estando situada a 5,210 metros de altura, y se puede decir que se halla casi más arriba del nivel de la nieve perpetúa, puesto que a un lado del pueblo se vé esta última, extenderse algunas cuadras más abajo.

Inmediato a las ruinas de la población y en las mismas calejuelas, se notan muchas bocaminas observándose en muchas de ellas unas estalactitas de hielo transparente, producidas por el agua de las goteras, que se solidifican a medida que va cayendo.

Las bocaminas del cerro Ananea se hallan excavadas en un manto que sigue la dirección de las capas de una pizarra ferruginosa, cuyo rumbo es de N. 15 E. a S. 15 O., hundiéndose el SE. E. con un ángulo de 30° a 35°.

1.3 SELECCIÓN DEL METODO DE EXPLOTACIÓN

La explotación de una mina se define como el conjunto de operaciones que permiten el arranque, carguío y extracción de mineral, que para una operación normal es fundamental que todos los servicios anexos como:



- Ventilación
- Fortificación
- Drenaje
- Suministro de Energía, Aire, Agua.

El objetivo de la explotación de un yacimiento es la extracción de menas y sustancias minerales sistemáticamente, de manera que la comercialización de la sustancia mineral proporcione la utilidad esperada. La explotación de una mina se compone de tres operaciones mineras básicas:

- Accesos y desarrollos de aperturas mineras
- Preparación o infraestructura de la mina
- Arranque o explotación de la mina.

1.3.1 Factores que influyen en la selección del método de explotación

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

- Características Geográficas
- Características Geométricas y distribución de leyes.
- Características geomecánicas
- Condiciones Económicas

1.3.1.1 Características geométricas y distribución de leyes del yacimiento

Las propiedades más importantes que deben conocerse en un yacimiento para elegir el sistema de explotación adecuado son las siguientes:

- La forma del yacimiento o cuerpo mineralizado
- Potencia si se trata de una veta o manto
- Diseminación de las leyes si se trata de un yacimiento masivo.

- Profundidad respecto de la superficie
- Dimensiones del yacimiento, su cubicación.
- Naturaleza mineralógica de los componentes de la mena.
- Sus leyes o repartición de la mineralización en el interior del cuerpo mineralizado.
- Distribución de leyes en la veta, cuerpo o diseminado.

Estos factores se pueden resumir en la siguiente tabla.

Tabla 1: Características geométricas y distribución de leyes

| FORMA | POTENCIA DEL MINERAL | BUZAMIENTO | Distribución de leyes |
|---|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Masivo (M).• Tabular (T)• Irregular (I) | <ul style="list-style-type: none">• Estrecha (E): < 10m.• Intermedia (IT): 10-30m.• Potente (P): 30 -100 m.• Muy potente (MP): > 100m. | <ul style="list-style-type: none">• Tumbado (T): < 20°.• Intermedio (IT): 20° -55°• Inclinado (IN): > 55° | <ul style="list-style-type: none">• Uniforme (U).• Diseminado (D)• Errático (ER) |

1.3.1.2 Características geomecánicas

Se refiere al comportamiento geomecánico de las cajas, piso y del mineral en donde se ha de realizarse las aberturas subterráneas. Se evalúa la resistencia de la roca o mineral, espaciamiento de fracturas, y la resistencia de las discontinuidades, el que nos refiere la calidad de la masa rocosa que enfrentaremos, tal que el método seleccionado no sea afecto por la inestabilidad durante el minado. Estos factores se pueden resumir como (ver Tabla 2).

Tabla 2: Características geomecánicas

| Resistencia del material | Espaciamiento entre fracturas (fracturas/m) | Resistencia de las discontinuidades. |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Pequeña (P) : > a 8 Mpa• Media (M) : 8 - 15 Mpa.• Alta (A) : > a 15 Mpa | <ul style="list-style-type: none">• Muy pequeña (MP) : > 16• Pequeño (P) : 10 -16.• Grande (G) : 3-10• Muy Grande (MG): < 3 | <ul style="list-style-type: none">• Pequeña (P) : Discont. limpias con superficie suave• Media (M) : Discont. Limpias con superficie rugosa.• Grande (G): Discont. Rellenas con material de igual resistencia o > que la roca in-situ. |



Con las dos características se puede seleccionar en una primera etapa el método de explotación.

1.4 CAMARAS Y PILARES

El método de explotación Room and Pillar, o también cámaras y pilares, consiste como su nombre lo indica, en la explotación de cámaras separados por pilares que sirven de sostenimiento del techo. La recuperación de los pilares puede ser parcial o total, en este último caso, la recuperación va acompañada del hundimiento controlado del techo que puede realizarse junto con la explotación o al final de la vida del yacimiento, lógicamente el hundimiento del techo en este caso es totalmente controlado.

En un principio, el método de cámaras y pilares se llevaba en forma irregular, o sea, que las dimensiones y distribución de cámaras se hacía sobre la marcha de la explotación, dejando pilares en forma irregular obedeciendo solamente a las características presentadas por el yacimiento, como por ejemplo zonas de más baja ley, diques de estériles etc. Hoy en día dado a las condiciones de mecanización y a los adelantos obtenidos en las técnicas de reconocimiento, el método, se planifica con anterioridad a la explotación propiamente tal, llevándose los caserones con una distribución regular como así mismo el trazado de los pilares.

1.4.1 Campo de aplicación del método

Este método de explotación es aplicado ampliamente y en los últimos años se ha desarrollado bastante, debido a su bajo costo de explotación y a la vez que permite hasta cierto punto una explotación moderadamente selectiva. Los yacimientos que mejor se presentan para una explotación por Room and Pillar, son aquellos que presentan un ángulo



de manto bajo, aunque también es aplicable en yacimientos de manto entre 30° y 40° , es decir, en yacimientos de manto crítico, donde el mineral no puede escurrir por gravedad. Por otra parte, la estructura o forma del yacimiento debe ser favorable a un desarrollo lateral de la explotación, por ejemplo, mantos o yacimientos irregulares con gran desarrollo en el plano horizontal.

En cuanto a la potencia del yacimiento, el método ha sido aplicado con éxito en yacimientos de hasta 40 – 60 m esto en combinación de relleno. Los casos más comunes de aplicación son para yacimientos de baja potencia destacándose espesores de 2 a 20 metros, en caso de las minas de oro generalmente el manto es más reducido hasta de unos pocos centímetros de espesor.

1.4.2 Plan general de trabajo

a. Desarrollo:

El desarrollo del yacimiento va a depender de una serie de factores, todos relacionados entre sí, y que pesarán con mayor o menor importancia según las características del yacimiento. Dentro de los principales factores se encuentran la posición del yacimiento con respecto a la superficie del terreno, la forma, la simetría y estructura del cuerpo mineralizado. La geotecnia de las rocas encajonantes como del yacimiento es otro punto importante que deberá tenerse presente para la elaboración del programa de desarrollo.

Por otra parte, deben tomarse muy en cuenta los trabajos o condiciones de explotación como son la velocidad de arranque, transporte y extracción, desagüe, ventilación y seguridad del trabajo.

Es así como es posible hacer un desarrollo totalmente por el yacimiento, por el estéril o un desarrollo combinado en estéril y por mineral.

b. Preparación:

El Room and Pillar sistemático, como anteriormente requiere de una programación previa del trazado con replanteo en el terreno de la dirección y orientación de los ejes de todos los trabajos de preparación como así mismo del de explotación y distribución de pilares.

La preparación del sector que se desea explotar, comienza por limitar dicho paño por galerías paralelas con la pendiente que se les desea dar y que va a depender de la mecanización de la mina. En seguida se corren los frontones de explotación a partir de dichas labores, uniéndose ambas galerías con el objeto de establecer los circuitos de ventilación. A partir de estos frontones se inicia la etapa de explotación o de arranque.

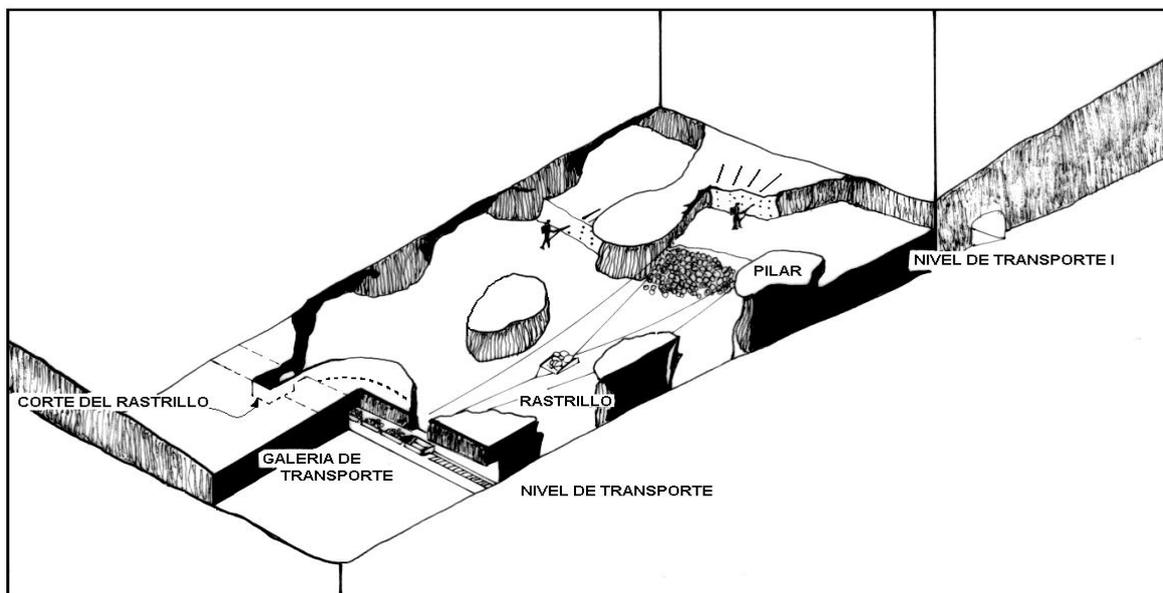


Figura 1: Explotación de mina con el método cámaras y pilares
Fuente: HUSTRULID



Las variaciones y forma de llevar la preparación van a depender de:

- Potencia explotable del yacimiento y variación de ésta.
- Angulo de manto del yacimiento.
- Dilución de la ley.
- Características del techo y piso en cuanto a la facilidad de establecer y definir la potencia explotable.
- Resistencia del techo a los desprendimientos y producir contaminación del mineral.
- Resistencia del piso para soportar la carga de los pilares que podría producir en ciertos casos el hinchamiento del piso y contaminar el mineral.
- Velocidad de arranque y capacidad del equipo de perforación.
- Capacidad del equipo de arrastre (scrapers) o carguío del mineral.
- Transporte en los frentes de explotación.
- Distribución y problema de recuperación de los pilares.

1.4.3 Accesos a los frentes de trabajo

Es conveniente avanzar con los frentes hasta unir rápidamente las galerías base con los frontones, para establecer los accesos a los frentes de trabajo, tiene la ventaja de que las operaciones de perforación y carguío se independizan, no produciéndose dificultades entre ambas, siendo posible trabajar y tener acceso a la perforación por un extremo, cuando el trabajo de carguío se efectúa al mismo tiempo en el otro extremo. Por otra parte, al romper el frontón con la galería superior, se establece de inmediato la ventilación del tajeo introduciéndolo al circuito principal de la mina.

- perforación:



La perforación de los tiros de arranque puede hacerse de muchas maneras distintas, en mantos angostos el desquinche de las cámaras puede hacerse con tiros paralelos al eje del tajeo o tiros perpendiculares a dicho eje. Si las condiciones lo permiten, es común el uso de jumbos, máquinas que tienen gran capacidad de perforación. En nuestras minas generalmente se realiza con equipos Jack-legs.

- **Extracción del mineral desde los tajos**

El mineral arrancado puede ser movido de muchas maneras diferentes dependiendo como en los puntos tratados anteriormente de las características del yacimiento, producción, grado de mecanización.

En yacimientos horizontales o de baja pendiente (ángulo de manteo), cuya potencia no permite una mecanización, puede palearse a mano sobre carros y transportarse el mineral al exterior o vaciarse.

Si se justifica la instalación de Scrapers, es posible usarlos con ventajas cargando directamente sobre carros o sobre otros medios de transporte ubicadas frente a cada tajeo; en este caso el Scrapers limita el largo de la limpieza.

Cuando los tonelajes arrancados son considerables y la pendiente favorable, el movimiento del mineral puede hacerse con palas mecánicas que cargan sobre camiones tales como Dumpers de 3.0 a 4.30 m³, Esta combinación pala – camión tiene la ventaja de distanciar bastante los puntos de extracción, además son de alto rendimiento y costo de operación bajo. En ciertas minas se ha llegado al uso de Cargadores Frontales de grandes dimensiones del balde que carga sobre camiones de 25 a 30 toneladas de capacidad.



1.4.4 Sostenimiento del techo

Es un problema delicado y muy importante al proyectar una explotación por este método.

La estabilidad del techo va a definir la distancia y sección de los pilares, y ancho de las cámaras, (influida naturalmente por la potencia del yacimiento). A su vez, la densidad de pilares influirá fuertemente sobre la recuperación del yacimiento.

No hace muchos años atrás, la experiencia del comportamiento del terreno era la única manera de establecer una distancia máxima sobre pilares, lo que se obtenía después de varios años de explotación del yacimiento. Hoy en día, existe una ayuda, que de una manera u otra, coopera con el explotador de minas a la solución de este problema mediante el estudio de la mecánica de rocas. Puede decirse que es una rama relativamente nueva, actualmente en desarrollo, que da ciertas normas o guías en el estudio del problema de la luz máxima entre pilares y la sección más conveniente.

El caso es plantear el problema a través de fórmulas, pero si se puede decirse a manera informativa, que es posible estudiar y decidir la distancia entre pilares y la sección más conveniente. Para ello es preciso realizar una serie de experiencias que toman en cuenta las siguientes observaciones:

- La variación de la carga sobre el pilar con respecto al tiempo.
- La variación de la deflexión del techo al variar la luz entre pilares.
- La variación de los ruidos microsísmicos.
- La resistencia de la roca a la tracción y compresión.
- La distribución y orientación de los planos de diaclasas, estratificación y otras estructuras.
- Otras pruebas que sean necesarias.



1.4.5 Ventajas y desventajas del método

Ventajas:

- El método hasta cierto punto es selectivo, es decir zonas más pobres pueden no explotarse sin afectar mayormente la aplicabilidad del método.
- En yacimientos importantes puede llegarse a una mecanización bien completa lo que reduce ampliamente los costos de explotación.
- En yacimientos que afloran a la superficie puede hacerse todo el desarrollo y preparación por mineral, o en caso contrario los desarrollos por estéril pueden ser muy insignificantes.
- Actualmente con el avance de la técnica de sostenimientos de techo pueden explotarse cámaras de luces amplias con bastante seguridad.
- Permite la explotación sin problemas, de cuerpos mineralizados ubicados paralelamente y separados por zonas de estériles.
- La recuperación del yacimiento aún no siendo del 100 % puede llegarse a recuperaciones satisfactorias del orden del 80 a 90 %.

Desventajas:

- Si el yacimiento presenta una mineralización muy irregular, tanto en corrida como en potencia podría llegar a afectar la explotación, limitando mucho la planificación del método, como así mismo la perforación y provocar problemas de carguío sobre todo para posibles mecanizaciones.
- Problema de manto del yacimiento, cuando el manto está muy cerca del manto crítico (45°), se producen problemas para el movimiento del mineral en los caserones y aún este problema es más grave, si se trata de mantos angostos. En el



caso de mantos potentes hay problemas en la mecanización de la perforación lo que se traduce en dificultades de movilidad al usar el equipo pesado de perforación.

- Dilución de la ley: Es un problema que es muy importante y que en casos de techos débiles puede ser causa que llegue a limitar la aplicación del método.
- Fortificación del techo: En ciertos casos cuando no es posible controlar el techo y es necesario llevar cámaras muy angostas, puede concluirse, en un cambio de método de explotación por otro más adecuado, o emplear un método combinado, por ejemplo: Room and Pillar con Shrinkage.
- Problemas de recuperación del yacimiento es muy baja, se debe entonces pensar en otro método.

1.5 RECUPERACION DE PILARES

En muchas minas los pilares se pueden recuperar, esto generalmente cuando el yacimiento es potente, algunas consideraciones para la recuperación de los pilares pueden ser:

- En ciertos casos se justifica realizar estudios sobre la recuperación de pilares, sobre todo en yacimientos importantes. Actualmente se han hecho recuperaciones interesantes de pilares en ciertos yacimientos donde la inversión se ha pagado ampliamente.
- La recuperación puede hacerse de varias maneras:
 - Recuperación con hundimiento controlado del techo.
 - Recuperación de Pilares en forma alternada.
 - Recuperación parcial de pilares.
- Recuperación por hundimiento controlado del techo:



Consiste en controlar perfectamente bien la estabilidad del techo y provocar el hundimiento a voluntad.

- Recuperación de pilares y reemplazo por pilares artificiales:

Este método es uno de los más corrientes y consiste en el reemplazo del pilar de mineral por un pilar de concreto, encastillado de madera, muro de piedra de manpostería o simplemente por un gran número de pies derechos de sostenimiento.

- Recuperación parcial de Pilares:

En algunos casos se adelgazan los pilares a un máximo y luego se refuerza con concreto (es una especie de camisa o cilindro alrededor del pilar).

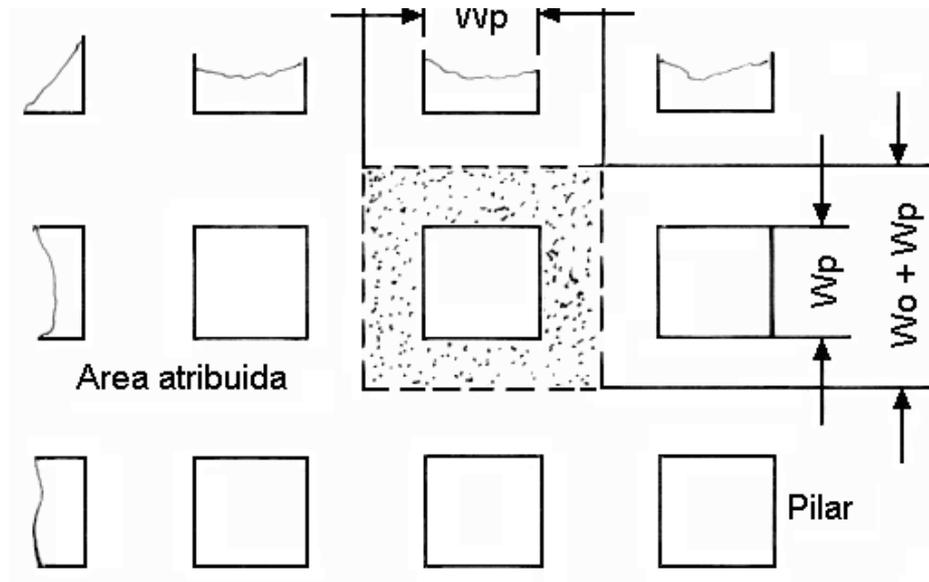
1.6 DISEÑO DE LOS PILARES

En las cámaras grandes o de mayor amplitud, los pilares generalmente fallan, hay muchas técnicas que se consideran para el diseño de los pilares. Los pilares pueden ser: rectangulares, cuadrados, circulares, irregulares y corridos.

Cuando se requiere dimensionar los pilares, el problema es encontrar una solución de equilibrio, por una parte, es muy importante conservar la seguridad de los trabajadores, equipos durante la excavación y muchas veces a los dueños les importa extraer la mayor parte del recurso mineral; esto nos obliga a definir la relación de extracción.

Para el diseño de los pilares generalmente es lo que más interesa es el comportamiento geomecánico de la zona del mineral y de la sobrecarga. El diseño más aproximado es por la teoría del área atribuida.

Teoría de la Área Atribuida. - Consiste en que cada pilar está cargado por el peso del material suprayacente, podemos imaginarnos que es como un prisma ficticio cuya sección viene determinada por la geometría del pilar y que alcanza desde la superficie del terreno hasta la corona del pilar.



$$\sigma_c = \sigma_v (1 + W_o / W_p)^2$$

Figura 2: Pilares cuadrados

Donde:

$$S_a = \frac{S_v(1+w\%)}{1+e}$$

$$\sigma_v = S_a \times Z$$

Cuando está saturado: $e = S_v \times W\%$

W_o = Ancho de cámara

W_p = Ancho del pilar

Z = Altura de sobrecarga

σ_v = Tensión vertical promedio

σ_c = Tensión axial promedio

S_a = Peso específico aparente de sobrecarga

S_v = Peso específico verdadero de sobrecarga

E = Proporción de vacíos

$w\%$ = Contenido de humedad

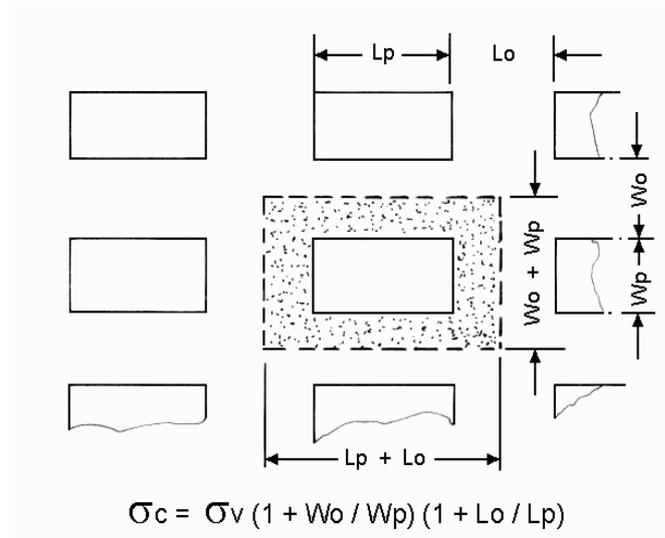


Figura 3: Pilares rectangulares

Donde:

- W_o =Ancho de la cámara
- W_p =Ancho del pilar
- L_o =Longitud de la cámara
- L_p =Longitud del pilar

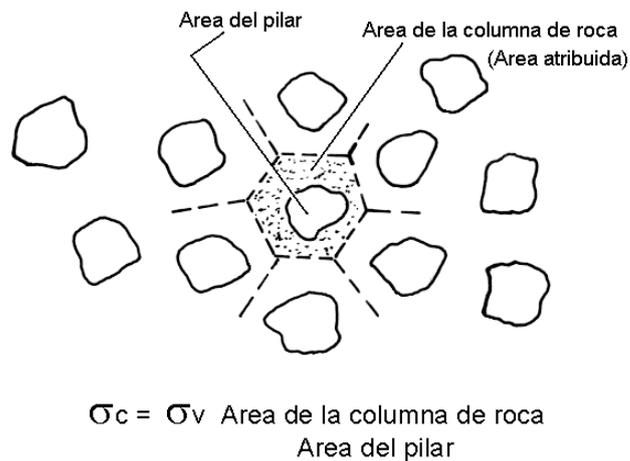


Figura 4: Pilares Irregulares

1.7 FACTOR DE SEGURIDAD

El factor de seguridad es un medio para controlar la estabilidad de los pilares. Para que el pilar no colapse el factor de seguridad debe estar entre algunos rangos que recomiendan los investigadores geotécnicos.

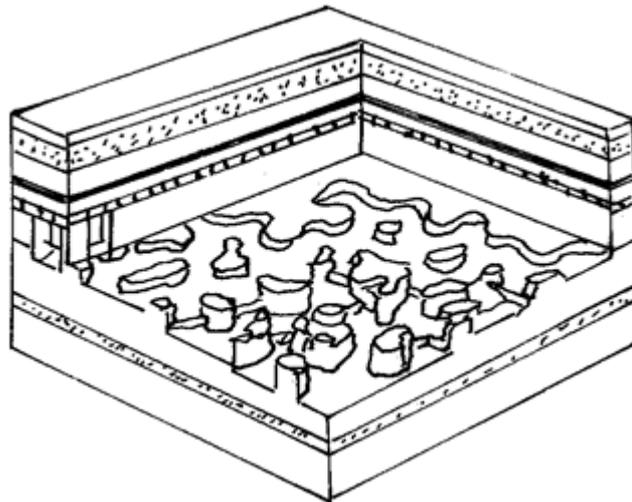


Figura 5: Diseño de pilares

Fuente: HUSTRULID

El factor de seguridad se emplea en el diseño de los pilares

$$FS = \frac{\text{Resistencia del pilar}}{\text{Tensión Axial Promedio}}$$

El factor de seguridad varía de acuerdo al tipo del yacimiento

$$\sigma_p = C1[0.778 + 0.222(W/H)]$$

Donde:

σ_p = Es la resistencia del pilar, psi.

$C1$ = Es la resistencia a la compresión Uniaxial de un espécimen cúbico.

W = Es el ancho del pilar en pulg.

H = Es la altura del pilar en pulg.



CAPITULO II

APLICACIÓN PRÁCTICA DE CÁMARAS Y PILARES EN LA MINA RINCONADA

2.1 ASPECTOS GENERALES

El asiento minero la Rinconada es un yacimiento aurífero reconocido desde muchos años atrás, los trabajos que se realizan en las diferentes labores mineras en su mayor parte son por medio de contratistas y controlados por la Cooperativa.

2.1.1 Ubicación y acceso

El yacimiento aurífero está ubicado en la parte Occidental de la Cordillera Oriental del Departamento de Puno. La altitud del yacimiento se encuentra aproximadamente a 5,500 m.s.n.m. cuyas coordenadas son:

Coordenadas absolutas:

Norte: 8 383 292,590 Km.

Este: 452 217,878 Km.

Coordenadas geográficas:

Longitud: 69° 26'50''

Latitud: 14° 37'10''

Entre las prolongaciones Occidentales de los nevados de Ananea, pertenecientes a la Cordillera de Carabaya y el acceso a los yacimientos se realiza de la siguiente manera tomando como punto de referencia la ciudad de Puno.

| | |
|-----------------------|-----------|
| Puno - Juliaca | : 42 Km. |
| Juliaca - Putina | : 101 Km. |
| Putina - Ananea | : 45 Km. |
| Ananea - La Rinconada | : 20 Km. |



Total : 208 Km.

2.1.2 Historia del yacimiento

Se tiene conocimiento de que en estos yacimientos se extrae el oro desde la época de los Incas. En el Virreinato los Jesuitas explotaron el yacimiento en menor escala.

En la era Republicana desde el año 1830 los yacimientos auríferos de la zona fueron trabajados intensamente por los invasores chilenos.

2.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS

2.2.1 Geología General

El oro es el metal precioso que ha fascinado al hombre desde las épocas pasadas, por su valor y por su resistencia al intemperismo, por su facilidad de trabajo. Sus propiedades físicas lo han hecho indispensable para usos estéticos e industriales y se le vincula con el Sistema Monetario Internacional.

Los yacimientos auríferos primarios que son (endógenos) se presentan en forma de vetas, cuerpos, mantos, diseminados; y los depósitos secundarios (exógenos) son los denominados "placeres auríferos", y pueden tener un origen fluvial, glacial y marino.

2.2.2 Geología Regional

En la parte Sur - Este del Perú, en la Cordillera Oriental muestra una alineación geomorfológico y estructural de NW - SE, en la zona en estudio, se encuentra emplazado en el flanco Oriental, perteneciente a la vertiente del Atlántico y a las depresiones



longitudinales de valles glaciares y fluvio-glaciares del Terciario Superior y Cuaternario Inferior.

Las rocas intrusivas pertenecen a distintas etapas de la intrusión como podemos citar:

| Edad: | Intrusivo: |
|---------------------|--------------------------------|
| Paleozoico | : Granito |
| Jurásico - Cretacio | : Sienita |
| Terciario - Medio | : Diorita, monzonita y dacitas |

2.2.3 Geología Local

Las estructuras mineralizadas están emplazadas en la Cordillera Oriental con rumbo NW - SE, en las rocas pizarrosas y areniscas de la formación Ananea en forma de vetas, de tipo filoneo, con mineralización de cuarzo y contenido de vetillas de oro.

Están emplazadas en estructuras las vetas mineralizadas de cuarzo masivo con arsenopirita, pirita y oro en vetillas, así como contenido de diseminación de oro nativo, enclavadas en pizarras intercaladas con arenisca y se encuentran en las cuarcitas correspondientes de formación Sandía, siendo dichas formaciones los metalotectos de la zona.

Las estructuras varían en promedio 30 cm. con leyes hasta de 0.50 Oz. Ag/TM, presentándose en fajas delgadas, milimétricas entre el cuarzo. La mineralización es discontinua por lo que no es posible estimar el potencial económico existente.

Además, en el área del yacimiento se puede observar una secuencia de Lutitas y Pizarras negras intercaladas con cuarcitas, que pertenecen a la formación Ananea.



2.2.4 Génesis del Yacimiento

La mineralización se encuentra emplazada en rocas pizarrosas y areniscas de la formación Ananea, en forma de vetas y vetas capa filoneano, con mineralización de cuarzo y contenido de venillas de oro.

La mineralización del oro está relacionado al ciclo Eohercínico siendo de origen hidrotermal; la zona mineralizada queda restringida al segmento SE - NO desde La Rinconada hasta los alrededores de Condoriqueña. Estos yacimientos están relacionados al Paleozoico Inferior, considerados como estrato ligado de oro

La zona de mayor interés podemos mencionar a lo largo de la traza de la falla San Francisco por la cantidad de labores antiguas existentes. La mineralización aurífera primaria del área de la Rinconada se encuentra en Pirrotita - Arsenopirita, también se encuentra bajo la forma de criadores de sulfuros asociados a mantos de cuarzo ahumado, en los Estratos de pizarras, Lutitas esquistosas y cuarcitas de formación Ananea. Asimismo, se encuentran en las cuarcitas correspondientes a la formación Sandia.

Las venillas mineralizadas son de origen hidrotermal, como guía se tiene a las Cuarcitas durante el ascenso de los flujos mineralizantes, para formar las vetas, capas (mantos), siendo por lo tanto contemporáneos con la sedimentación del Paleozoico Inferior.

2.2.5 Geología Económica

Las vetas capa (mantos) que constan de cuarzo gris azulado, con brillo grasoso, las potencias son variables que en muchos casos alcanzan hasta los 30cm. y de gran extensión.



Las leyes de oro en los mantos fluctúan de 10 a 60 Gr. Au/TM; sin embargo, en la distribución son muy erráticas y pueden ocurrir bolsonadas con leyes muy altas en algunas zonas.

2.2.6 Mineralogía

Los principales minerales que podemos encontrar son:

Minerales de mena:

- Oro
- Galena

Minerales de ganga:

- Pirrotita - arsenopirita
- Cuarzo - pirita
- Chalcopirita - bornita

2.3 SELECCIÓN DEL METODO DE EXPLOTACIÓN

Para la selección del método de explotación en la corporación minera San Francisco en donde se tiene un manto con una potencia de 1 – 30cm. Con un buzamiento de 14° – 25°, dureza de las cajas competente, Dureza del mineral: Competente, con un RQD de 80 A 90.2% y discontinuidades limpias, distribución de la ley sé mantiene prácticamente constante en muchos lugares, la labor se encontrará aproximadamente a 5040 m.s.n.m. y la altura de la cordillera es 5860 m.s.n.m. con una resistencia a la compresión de la pizarra de 2000 Kg/cm² y de mineral de 200 MPa,

Con estos preliminares podemos elegir el método de explotación más adecuado teniendo en cuenta la selección por el método numérico.

En el yacimiento aurífero primario de rinconada para la selección del, método de cámaras y pilares se tomaron los criterios de aplicación

- En cuerpos con buzamiento horizontal, normalmente no debe exceder de 30°
- El mineral y la roca encajonante debe ser relativamente competente
- Minerales que no requieren de clasificación en la explotación
- En depósitos de gran potencia y área extensa en mayoría de los casos

2.3.1 Condiciones de aplicación

Geometría del yacimiento:

- Forma : irregular
- Potencia : variable; <0.50 m.
- Buzamiento : sub horizontales; 10° a 40°

2.3.2 Clasificación de tipo de roca

El yacimiento aurífero de Rinconada está formado por rocas metamórficas:

- Pizarras Negras de 2.5TM/m³
- Pizarras cuarcititas de 2.6TM/m³

2.3.3 Clasificación por índice de calidad de roca (RQD)

Tabla 3: Clasificación por índice de calidad de roca

| RQD | Calidad de La Roca |
|-----------|--------------------|
| < a 25% | Muy mala |
| 25 – 50% | Mala |
| 50 – 75% | Regular |
| 75 – 90% | Buena |
| 90 – 100% | Muy buena |



La calidad de la roca es medida por:

$$RQD = 115\% - 3.3\% J_v$$

Donde:

$$J_v = \text{cantidad de fisuras} / \text{m}^3$$

El caso del yacimiento se obtuvo un $J_v = 6$ fisuras/m³

$$\Rightarrow RQD = 115\% - 3.3\% (6) = 95.2\%$$

∴ Es de muy buena la calidad de la roca

2.3.4 Características generales del yacimiento aurífero primario

- Geometría del yacimiento: mantos
- Potencia de mineral: 1.0 - 30cm
- Buzamiento: 14° - 25°
- Dureza de las cajas: competente
- Dureza del mineral: Competente
- Distribución del mineral: Uniforme a regular

2.4 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN SELECTIVO “CIRCADO “

Se aplica este método para zonas mineralizadas con potencia de veta angosta (<0.50m) y altos valores de mineral, por lo que se debe arrancar en una primera etapa desmonte y luego el mineral pudiendo invertir esta secuencia de acuerdo a las condiciones de dureza del mineral y el desmonte.

Evaluación por método de explotación subterránea.

Tabla 4: Características según el método de explotación subterránea

| FACTORES | DATOS | CARACTERÍSTICA | Block caving | Open Stopes | Sublevel caving | Longwall | Room and pillar | Shrinkage | Cut and fill | square set |
|--------------------------|-------------------------|----------------|--------------|-------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|--------------|------------|
| geometría/leyes | | | | | | | | | | |
| Forma: | manto | Tabular | 2 | 2 | 4 | 0 | 4 | 2 | 4 | 2 |
| Potencia: | 1 - 30 cm | Estrecha | -49 | 1 | -49 | 4 | 4 | 1 | 4 | 4 |
| buzamiento | 14° - 25° | Echado | 3 | 2 | 1 | 4 | 4 | 2 | 0 | 2 |
| Dist. Leyes: | constante | uniforme | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Sub total | | | -40 | 8 | -40 | 12 | 15 | 8 | 11 | 11 |
| geomecánica | | | | | | | | | | |
| zona del minetral | | | | | | | | | | |
| resistencia (ore): | 200 Mpa | Media | 1 | 3 | 3 | 1 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| Esp. Fracturas: | 3 fracturas/m | Muy grande | 0 | 4 | 4 | 0 | 4 | 4 | 2 | 1 |
| Resistencia (disc.): | disc. Limpias | Media | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| Sub total | | | 4 | 9 | 9 | 4 | 9 | 9 | 7 | 5 |
| zona del techo | | | | | | | | | | |
| resistencia (roca): | 2000 Kg/cm ² | Alta | 1 | 4 | 1 | 0 | 4 | 1 | 2 | 2 |
| Esp. Fracturas: | 3 fracturas/m | Muy grande | 0 | 4 | 1 | 0 | 4 | 0 | 2 | 2 |
| Resistencia (disc.): | disc. Limpias | Media | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| Sub total | | | 3 | 10 | 4 | 2 | 10 | 3 | 7 | 7 |
| zona del piso | | | | | | | | | | |
| resistencia (roca): | 2000 Kg/cm ² | Alta | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 |
| Esp. Fracturas: | 3 fracturas/m | Muy grande | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| Resistencia (disc.): | disc. Limpias | Media | 3 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 4 | 4 |
| Sub total | | | 9 | 9 | 10 | 9 | 10 | 7 | 8 | 8 |
| TOTAL: | | | -24 | 36 | -17 | 27 | 45 | 27 | 33 | 31 |

Fuente: Nicholas

El método de explotación seleccionado es **ROOM AND PILLAR CON CIRCADO**, esto se ha seleccionado en base a las calificaciones dadas a cada factor o parámetro que influye en la selección.

2.4.1 Sistema de Minado

El método de explotación es selectivo. Circado al piso y con relleno. El minado se realiza a partir de los inclinados y en dirección de avance en forma de tajadas, dejando pilares de 2 m x 2 m y según el diseño cerca de la galería a cada 6 - 8 m; en sitios alterados se reducen la distancia entre pilar a pilar entre 4 – 6 m. dependiendo del grado de alteración.

De cada tres tajadas se levanta el mineral (quiebra) haciendo taladros a metro de distancia y paralelos entre sí.

El vacío que resulta del minado, es rellenado con el material estéril proveniente del taje completando el ciclo.

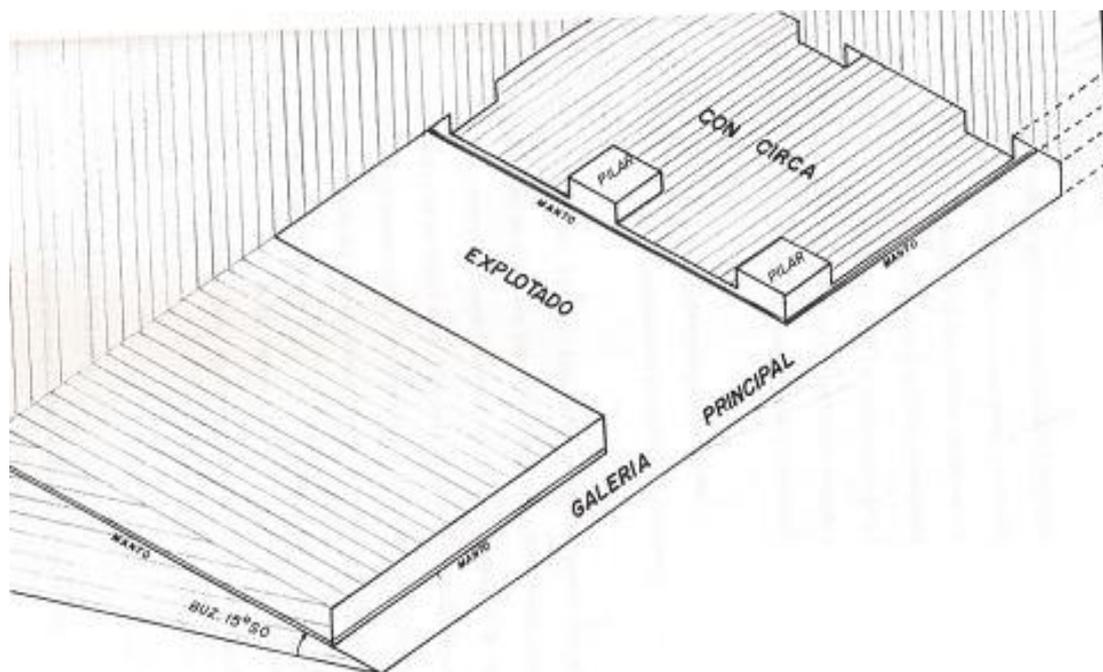


Figura 6: Vista de las labores en método de explotación cámaras y pilares
Fuente: HUSTRULID

Croquis de perforación y voladura:

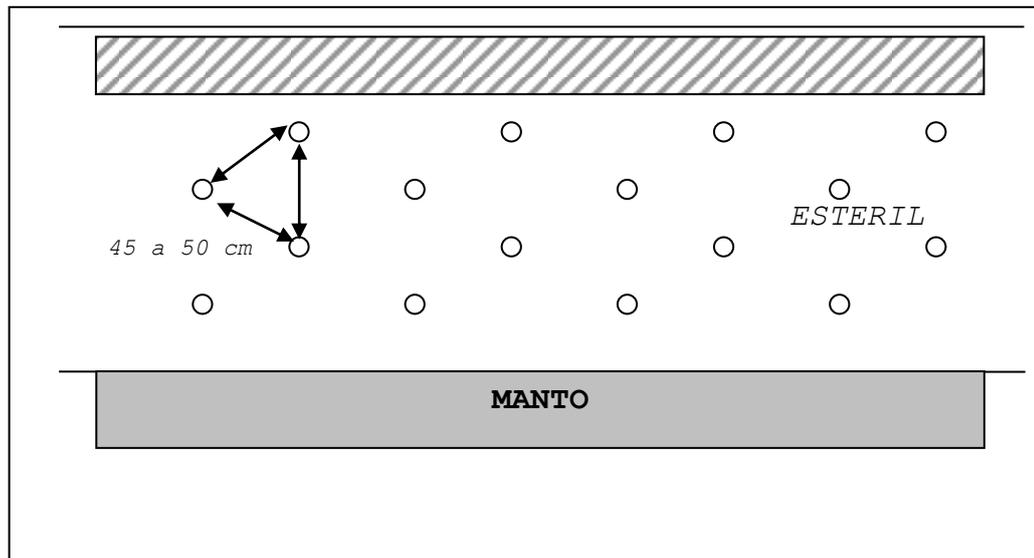


Figura 7: Distribución de taladros en la perforación

La malla de perforación en un tajeo es 3 x 2 espacios a 45 - 50 cm., de taladro a taladro. El disparo se realiza con 5 cartuchos por taladro.

2.4.2 Perforación y voladura

2.4.2.1 Perforación en frente

En labores de desarrollo la perforación se ha diseñado con una sección de 2.0 x 2.0 m., en dicho frente el número de taladros varía de 20 a 23.

2.4.2.2 Parámetros y cálculos

El número de taladros se calcula mediante la siguiente expresión:

$$N = \frac{P}{e} + K \times S$$

Donde:

| | | | | |
|---|---|------------------------------|---|---------|
| P | = | Perímetro | = | 8.00 m. |
| e | = | Espaciamiento entre taladros | = | 0.60 m. |
| K | = | Factor de roca (semidura) | = | 1.5 |

$$S = \text{Sección de frente} = 4.00 \text{ m.}$$

Reemplazando datos tenemos:

$$N = \frac{8.00}{0.60} + 1.50 \times 4.00 = 19.333 \cong 20 \text{ taladros}$$

- Longitud de perforación por taladro 4.50' = 1.37 m.
- Avance promedio por disparo = 1.20 m.
- Eficiencia del disparo = 90%
- Peso específico de desmonte de roca estéril = 2.50 TM/m³
- Tipo de roca = Semidura
- Velocidad de perforación de taladro = 0.73pies/min.
- Tiempo total de perforación (promedio) = 2 h: 30min.

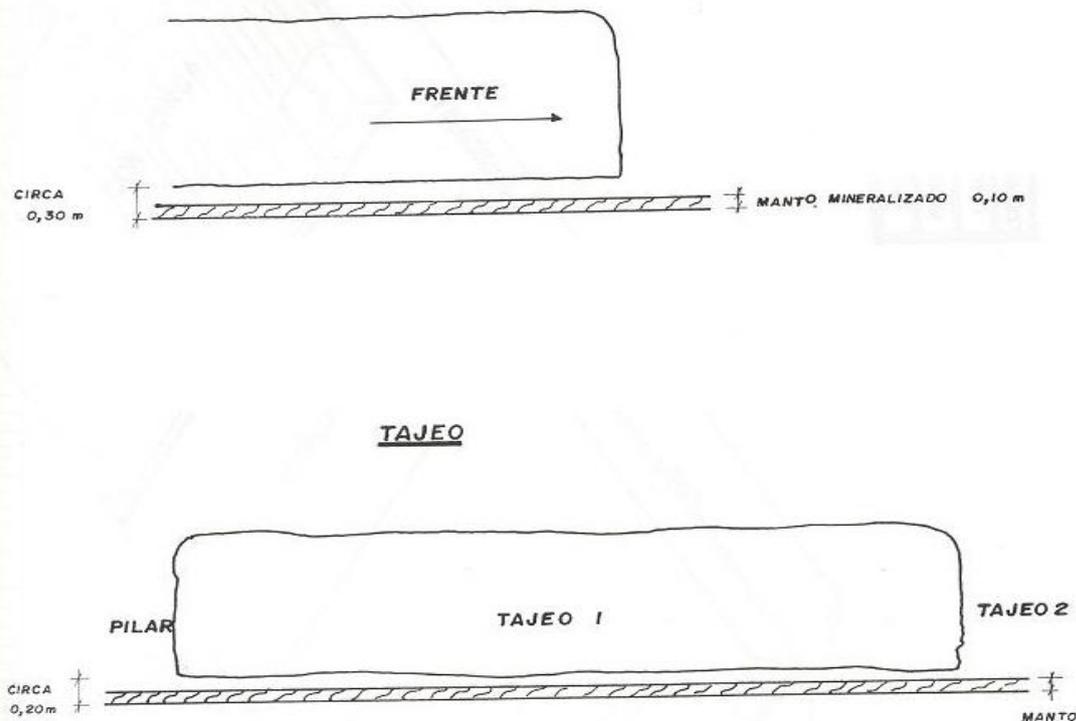


Figura 8: Labores mineras



2.4.2.3 Voladura

La voladura se realiza con cartuchos de fabricación EXSA, mecha lenta y fulminantes N° 6 de fabricación FAMESA.

- Dinamita: caja de 25Kg., 308 unidades de 7/8'' x 7'' y 65% de potencia.
- Mecha lenta
- Fulminante N° 6

Distribución de dinamita por taladro en el frente es:

| Taladros | N° taladros | N° cartuchos | Total cartuchos |
|--------------|-------------|--------------|-----------------|
| Arranque | 4 | 8 | = 32 |
| Ayudas | 4 | 7 | = 28 |
| Resto | 12 | 5 | = 60 |
| | | +3 | = 3 |
| Total | | | 123 |

2.4.2.4 Factor de Carga

El factor de potencia, de acuerdo a los trabajos realizados es el siguiente:

- Volumen 2 x 2 x 1.20 m. = 4.80 m³/disp.
- Peso del cartucho. = 0.0812 Kg.
- Tonelaje 4.80 m³ x 2.50 TM/m³ = 12.00 TM/disp.
- Peso total de cartuchos por disparo = 9.984Kg.
- Factor de potencia = $\frac{9.984 \text{ Kg.}}{4.80\text{m}^3}$ = 2.0799 Kg. /m³
- $\frac{9.984 \text{ Kg.}}{12 \text{ TM}}$ = 0.832 Kg./TM



2.4.3 Acarreo y transporte

Hasta ahora la mayor parte de material que se mueve es producto de labores de desarrollo y preparación, el volumen arrancado por disparo es:

2.4.3.1 Para Estéril

- Sección 2.00 x 2.00 = 4.00 m²
- Avance por disparo = 1.20 m.
- Volumen de estéril insitu por disparo:
4.00 m² x 1.20 m. = 4.80 m³
- Porcentaje de esponjamiento = 30%
- Volumen esponjado: 1.30 x 4.80 m³ = 6.24m³

2.4.3.2 Para Mineral

- Densidad del mineral = 2.65 TM/m³
- Potencia promedio del manto = 0.054 m.
- Volumen del mineral:
0.12m. x 2.00 m. X 1.20 m. = 0.288 m³/disp.
- Toneladas de mineral: 2.65 TM/m³ x 0.288 m³ = 0.763 TMH/disp.

Para el transporte se cuenta con un Scoop Jarvis Clark modelo J - 100 de 1 yd³ de capacidad de cuchara. Entonces el número de ciclos que debe de realizar el Scoop en estéril es:

- 1 yarda³ = 0.76452 m³
- Fill factor = 0.9
- N° de Viajes = $\frac{6.24}{0.7645 \times 0.9} = 9.06$ Viajes/disparo

Esto indica que el Scoop debe realizar un máximo de 9 viajes en limpieza. El tiempo por ciclo que demora es de 20 – 30 minutos en una distancia promedio de 300 m.



2.4.4 Ventilación de labores mineras

La ventilación es natural y con labores paralelas, en vista que este comunicado con otras labores vecinas que existen y también por el techo. Los gases provenientes del disparo demoran en ventilarse entre media y una hora; solamente en los frontones se ayuda con ventilación auxiliar.

El sistema consiste en llevar aire fresco al interior de las labores (ventilación natural), mediante la inyección de aire comprimido con el único fin de proporcionar aire fresco a los trabajadores y controlar la contaminación ambiental y para remover los polvos y gases producidos por la voladura.

La ventilación en la mayoría de las labores es natural, por que se tiene labores paralelas comunicados entre sí y con otras labores vecinas, se puede indicar la ventilación es incipiente, cuando la labor es más profunda se tiene que hacer ventilar los frentes de trabajo con aire comprimido, para que no ocasione gaseamiento a los trabajadores.

Para extraer los contaminantes como el polvo y gases provenientes del disparo se utiliza un ventilador aspirante pero muy limitadamente en algunas contratas de 8, 000 cfm. de capacidad y de 21" de diámetro cuyo trabajo es aprovechado parcialmente, ya que no está cerca de los frentes de trabajo. Los gases provenientes del disparo demoran mucho tiempo en ventilarse y diluir los contaminantes, por eso en los frontones se ayuda con ventilación auxiliar de aire comprimido.



2.5 DISEÑO DE LOS PILARES

Las dimensiones de las cámaras; están delimitados por los pilares generalmente con una longitud de 6 a 8m. Por cámara, se realiza 2 cámaras entre pilar y pilar para comodidad de explotación, la altura de las cámaras es de 1.8m. (1.5 desmonte y 0.3 quiebra)

Para determinar si las dimensiones del pilar y la cámara son optimas se calcula el factor de seguridad, se tiene una cámara de 6 *1.8 m, pilares de 3 * 1.8m, la labor se encontrará a 5040 m.s.n.m. y la altura de la cordillera es 5860 m.s.n.m. la densidad de la pizarra es 2.6TM/m³ y su resistencia de la roca es 2000 Kg/cm² con un RQD de 95.2%

Datos:

Ancho del pilar (W_p) = 3 m.

Altura del pilar (H_p) = 1.8 m.

Ancho de la cámara (W_c) = 6 m.

Profundidad bajo la superficie (z)= 5860 – 5040 = 820 m.

Peso especifico (γ) = 2.6 TM/m³ = 0.0256 MN/m³

Resistencia a la a compresión (σ_r)= 2000 Kg/cm² = 196 MPa

RQD = 95.2% = Macizo rocoso de muy buena calidad

Formula:

$$FS = \frac{\sigma_{mp}}{\sigma_p}$$

$$\sigma_{mp} = k * \sigma_r ; \quad \sigma_p = z\gamma(1 + \frac{W_c}{W_p})^2$$

donde:0

σ_{mp} = Resistencia media del pilar

σ_p = Resistencia del pilar

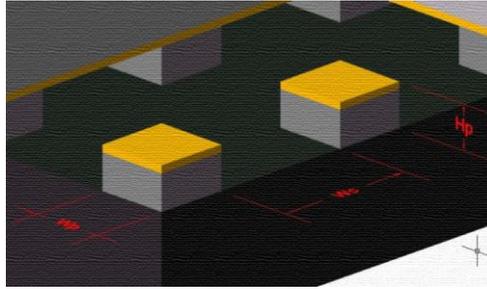


Figura 9: Diseño de pilares

Solución:

Determinaremos la resistencia media del pilar

$$\sigma_{mp} = k * \sigma_r$$

$K = \text{cte}$; se determina por tabla

$$W_p/H_p = 3/1.8 = 1.667$$

K

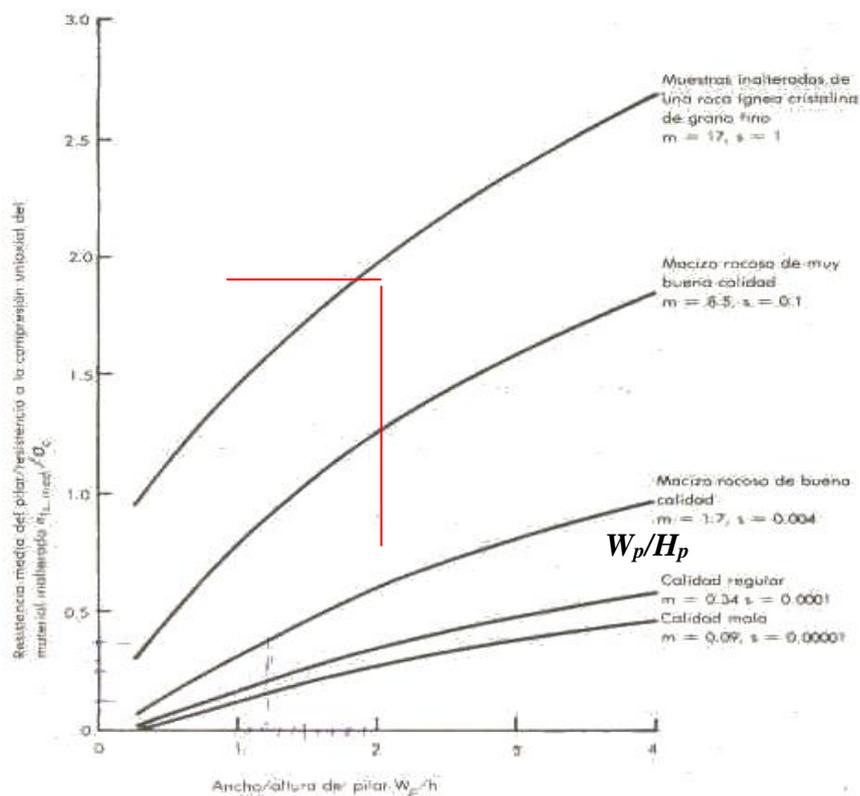


Figura 10: Grafico de estabilidad



De la tabla $K = 1.1$

$$\sigma_{mp} = k * \sigma_r = 1.1 * 196 = 215.6MPa$$

Determinamos la resistencia del pilar

$$\sigma_p = z\gamma \left(1 + \frac{W_c}{W_p}\right)^2$$

$$\sigma_p = 820 * 0.0256 \left(1 + \frac{6}{3}\right)^2 = 188.928MPa$$

Calculamos el factor de seguridad

$$F_s = \frac{\sigma_{mp}}{\sigma_p}$$

$$F_s = \frac{\sigma_{mp}}{\sigma_p} = \frac{215.6MPa}{188.928MPa} = 1.14$$

Ejemplo de un pilar con un ancho de 1.5 y altura de 3 metros.

2.6 LABORES DE DESARROLLO Y PREPARACIÓN

Inicialmente se prepara la galería principal que se desarrolla sobre el manto, y tomando el rumbo del manto la sección de la galería es de 3 * 1.8m. el desarrollo de estas galerías tiene dos etapas la primera que es de sección de 3 * 1.5m² en desmonte y 3 * 0.3m² en mineral (manto) que se puede llevar en el techo o piso este desarrollo se denomina circado.

En donde se realizan 27 tal/disp en desmonte y de 2 – 3 tal/disp en la quiebra (recojo de mineral) la quiebra se realiza en avances de 20 – 30m.

2.6.1 Secuencia de explotación

Los pilares en este caso tienen un área de 3 * 3m² la perforación y voladura se realiza por “método de circado”.

2.6.2 Operaciones unitarias

2.6.2.1 Perforación

En la perforación se emplean perforadoras livianas tipo jack-leg, que operan con una presión de 80 PSI y 130 CFM. La longitud de barrenos es de 5 pies y 39 mm de diámetro de broca. En la explotación de las primeras cámaras, es importante el control topográfico para evitar distorsiones en la dirección de la misma.

Cálculo de N° de Talad.

Datos:

Sección: 3*1.5 m². (galería)

Sección: 3*6 m². (Cámara)

Tipo de roca: Dura(c=0.5;K=2)

Longitud de taladro: 5 pies

$$\#Tal = \frac{4\sqrt{A}}{C} + KA$$

$$\#Tal = \frac{4\sqrt{3*1.5}}{0.5} + (2)(3*1.5) = 26Tal(galeria)$$

$$\#Tal = \frac{4\sqrt{3*6}}{0.5} + (2)(3*6) = 33Tal(camara)$$

Tabla 5: Datos de perforación y voladura de rocas

| | <i>Galería</i> | <i>Cámaras</i> |
|---------------|----------------|----------------|
| N° de tal | 26 | 33 |
| Efic. de Perf | 95% | 95% |
| Efic de Vold | 86% | 90% |
| Hrs. de perf. | 2 | 2.5 |
| Disp/dia | Variable | variable |

2.6.2.2 Voladura

El arranque de mineral o desmonte se realiza en dos etapas:

Primera etapa, consiste en disparar la caja techo, teniendo en cuenta 1.50m como altura de minado (de caja piso a caja techo), la siguiente operación unitaria es la limpieza del desmonte, dejando gran parte como “pirca” en el mismo tajeo.

Segunda etapa, consiste en disparar el mineral, para luego proceder con la limpieza hasta los echaderos correspondientes. Se emplea:

- Dinamita: Famesa semigelatinosa de 65% (7/8” de ϕ * 7” de L.)
- Guías de seguridad: Famesa de color Blanco
- Fulminante: N° 6

Tabla 6: Distribución de taladros

| Tal | N° | Fulm.#6 | Dinamita | Guia (m) |
|----------------|-----------|-----------|------------|--------------|
| Alivio | 1 | 0 | - | - |
| ayudas | 4 | 4 | 28 | 7.20 |
| Arranque | 4 | 4 | 20 | 7.20 |
| Sub Ayudas | 8 | 8 | 40 | 14.4 |
| Cuadradores | 10 | 10 | 50 | 18.0 |
| totales | 27 | 26 | 138 | 46.80 |

2.6.2.3 Limpieza

la limpieza se realiza por rastrillo lo que favorece en la mayor utilización de los winches eléctricos de arrastre, que tienen motores de 10 o 15 HP, con rastra de 32”, 6 pies cúbicos de capacidad, utilizando para el arrastre cables de acero ½” x 6 x 19 y poleas de 6” o 8” ϕ , Rendimiento: 2.00 m³/tarea

2.6.2.4 Transporte

Con carretillas tipo Bugge, con una capacidad de 80 Kg/viaje (0.08 TM/viaje).

Movimiento de material arrancado

- Sección: $3*1.5m^2$ en estéril y $3*0.2m^2$ en mineral (quiebra)
- Potencia del circado: 0.2m en tajeo y 0.3m en galerías
- Potencia del mineral: 0.1m
- Buzamiento del manto: 12° - 22° SW
- Rocas encajonantes: semidura a dura
- Densidad de roca(ganga): $2.6 \text{ TM}/m^3$
- Densidad de mineral: $2.9 \text{ TM}/m^3$
- Factor de Esponjamiento: 1.45
- Factor d humedad (ganga): 0.96
- Factor de humedad (manto): 0.95

a) Material roto en estéril

Tabla 7: Material roto en galería

| <i>unidad</i> | <i>galería</i> |
|---------------|--|
| Vol/disp | $3*1.5*1.25 = 5.625 \text{ m}^3/\text{disp}$ |
| Vol.Espj. | $5.625*1.45 = 8.156 \text{ m}^3/\text{disp}$ |
| TM. Rotas | $5.625*2.6 = \underline{\underline{14.625 \text{ TM/disp}}}$ |
| TM. secas | $14.625*0.96= 14.04 \text{ TM/disp}$ |

Tabla 8: Material roto en tajeo

| <i>unidad</i> | <i>tajeo</i> |
|---------------|---|
| Vol/disp | $6*1.3*1.3 = 10.14 \text{ m}^3/\text{disp}$ |
| Vol.Espj. | $10.14*1.45 = 14.703 \text{ m}^3/\text{disp}$ |
| TM. Rotas | $14.703*2.6 = \underline{\underline{26.364 \text{ TM/disp}}}$ |
| TM. secas | $26.364*0.96= 25.31 \text{ TM/disp}$ |



N° de viajes/H-gdia = 15 viajes/H-gdia (prom)

N° de viajes/disp(desm)

$$galeria = \frac{14.63TM / disp}{0.08TM / viaje} = 182.875viajes / disp$$

$$camara = \frac{26.36TM / disp}{0.08TM / viaje} = 329.5viajes / disp$$

N° de H.-gdia/disp

$$galeria = \frac{182.875viajes / disp}{15viajes / H - gdia} = 12H - gdia / disp$$

$$camara = \frac{329.5viajes / disp}{15viajes / H - gdia} = 22H - gdia / disp$$

b) Material roto en mineral

Tabla 9: Mineral roto en galería

| <i>unidad</i> | <i>galería</i> |
|---------------|--|
| Vol/disp | $3*0.3*1.25 = 0.9 \text{ m}^3/\text{disp}$ |
| Vol.Espj. | $0.9*1.45 = 1.305 \text{ m}^3/\text{disp}$ |
| TM. Rotas | $0.9*2.9 = \underline{2.61TMH/disp}$ |
| TM. secas | $2.61*0.96 = 2.506 \text{ TMS/disp}$ |



Tabla 10: Mineral roto en tajeo

| <i>unidad</i> | <i>tajeo</i> |
|---------------|---|
| Vol/disp | $6*0.2*1.3 = 1.56 \text{ m}^3/\text{disp}$ |
| Vol.Espj. | $1.56*1.45 = 2.26 \text{ m}^3/\text{disp}$ |
| TM. Rotas | $1.56*2.9 = \underline{4.524 \text{ TMH/disp}}$ |
| TM. secas | $4.524*0.96 = 4.343 \text{ TMS/disp}$ |

a.

Nº de viajes/disp(mineral)

$$galeria = \frac{2.61TMH / disp}{0.08TMH / viaje} = 32.625viajes / disp$$

$$camara = \frac{4.524TMH / disp}{0.08TMH / viaje} = 56.55viajes / disp$$

Nº de H.-gdia/disp

$$galeria = \frac{32.625viajes / disp}{15viajes / H - gdia} = 2H - gdia / disp$$

$$camara = \frac{56.55viajes / disp}{15viajes / H - gdia} = 4H - gdia / disp$$

Recuperación metalúrgica; Solo llega a representar un 33% en galería y 50% en cámara y en pilar 0%

Mineral recup. (TMS/disp)

$$galeria = 2.506 * 0.33 = 0.827TMS / disp$$

$$Camara = 4.343 * 0.50 = 2.172TMS / disp$$



Seguridad; Esta en función al sostenimiento temporal a realizar depende de la calidad de roca en la caja techo, variando desde: Puntales de seguridad, gatas hidráulicas, cuadros de madera y pernos de anclaje.

c) extracción del mineral

Después del quiebre el mineral es seleccionado por pallaqueo, usando para la extracción saquillos de polietileno o yutes pesándolos y llevados a la planta de tratamiento

d) Personal de operaciones unitarias

Tabla 11: Personal necesario para limpieza de desmonte

| Desmonte | Galería | Cámara |
|-----------------|----------------|---------------|
| Carretilleros | 12 | 22 |
| Paleros | 2 | 2 |
| Total: | 14 | 24 |

Tabla 12: Personal necesario para limpieza de Mineral

| Mineral | Galería | Cámara |
|----------------|----------------|---------------|
| Carretilleros | 2 | 4 |
| Paleros | 2 | 2 |
| Total: | 4 | 6 |



CONCLUSIONES

1. El método de cámaras y pilares es una alternativa más adecuada para yacimientos horizontales caso la Rinconada.
2. Desde muchos años atrás y hasta ahora en la mina rinconada se sigue trabajando en forma artesanal y convencional.
3. El yacimiento aurífero primario presenta un gran número de mantos mineralizados, muchas de las cuales no han sido evaluadas.
4. El método de cámaras y pilares con circado resulta eficiente para este yacimiento.



RECOMENDACIONES

1. En la actividad de exploración se recomienda realizar perforación diamantina (DDH) para realizar el cálculo de reservas y vida de la mina.
2. Elaborar Estudio de Impacto Ambiental.
3. Para evitar desplomes y sostenimiento debe reducirse la cámara a $5.5 * 1.8$ metros en su primera etapa, para un $F_s = 1.3$ para estabilidad.



BIBLIOGRAFIA

- Hustrulid, W., & Bullock, R. (2001). *Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies*. SME. Obtenido de [https://books.google.com.pe/books?id=N9Xpi6a5304C&dq=HISTRULID,+W.+\(1997\)+Underground+Planning+methods&hl=es&source=gbs_navlinks_s](https://books.google.com.pe/books?id=N9Xpi6a5304C&dq=HISTRULID,+W.+(1997)+Underground+Planning+methods&hl=es&source=gbs_navlinks_s)
- Llanque-Maquera, O. E., & Navarro-Torres, V. F. (1999). *Explotación subterránea : métodos y casos prácticos*. Lima: Perú offset editores. Obtenido de http://biblioteca.unap.edu.pe/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=42879
- Lopez-Jimeno, C., & Bustillo-Revuelta, M. (1997). *Manual de Evaluación y Diseño de Explotaciones Mineras*. Madrid: Entorno Grafico. Obtenido de <https://www.casadellibro.com/libro-manual-de-evaluacion-y-diseno-de-explotaciones-mineras/9788492170821/584889>
- Medina, P. (2000). *Planeamiento De Producción Para La Explotación Del Yacimiento Aurífero De Riticucho La Rinconada Ananea – Puno*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Quisocala, C. (1999). *Explotación de Yacimientos Auríferos en la Mina San Miguel de Untuca*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.