

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA

SECCION DE POST GRADO



**“ LIXIVIACION IN SITU, TECNOLOGIA
LIMPIA PARA LA EXPLOTACION DE LA
MINA MONTERROSAS ”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE MAESTRO
EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN MINERIA Y MEDIO
AMBIENTE**

ROGER NEMESIO BENDEZU BENAVIDES

LIMA – PERU

2001

"LIXIVIACION IN SITU, TECNOLOGÍA LIMPIA PARA LA EXPLOTACIÓN DE LA MINA MONTERROSAS"

INDICE

	<u>Pág.</u>
RESUMEN	1
ABSTRACT	1
INTRODUCCION	2
CAPITULO I	
1.0 Lixiviación In Situ y Medio Ambiente.	
1.1 Ventajas y Desventajas de la Lixiviación In Situ	4
C. APITULOII	
2.0 Consideraciones Ambientales en el Proceso de la Lixiviación In Situ	6
2.1 Antecedentes	6
2.2 Calidad del agua	6
2.3 Calidad del aire	7
2.4 Calidad de la roca circundante	8
CAPITULO III	
3.0 La Tecnología de la Lixiviación In Situ	10
3.1 Antecedentes	10
3.2 Tipos de Lixiviación In Situ	12
3.3 Factores de la Lixiviación In Situ	15
3.3.1 Geología	15
3.3.2 Minerología	15
3.3.3 Hidrogeología	16
3.3.4 Fragmentación	17
3.3.5 Accesibilidad	19
3.3.6 Permeabilidad y precolación	19
3.3.7 La textura y la permeabilidad	19
3.3.8 Efectos de las burbujas de gas	20
3.3.9 Efecto de la presión y la profundidad del paquete mineral	21
3.3.10 Efecto de la temperatura	21
3.3.11 Transferencias de masas durante la percolación del lixivante	22
3.3.12 Efecto del tamaño de la partícula	22
3.3.13 Interacción físico-química	
3.3.14 Actividad bacteriana	24

CAPITULO IV

4.0 Lixiviación In situ del Mineral de cobre de Baja Ley de la Mina “ Monterrosas” Ica	31
4.1 Generalidades	31
4.2 Antecedentes	32
4.3 Aplicabilidad de la Lixiviación In Situ	34
4.4 Estudios y Pruebas Preliminares	35
4.5 Geología	40
4.6 Reservas de mineral lixiviable	55
4.7 Zona Propuesta para la Lixiviación In Situ	57
4.8 Preparación y desarrollo	58
4.9 Preparación para la lixiviación In Situ	60
4.10 Perforación y Voladura de los Blocks	61
4.11 Lixiviación.	68
4.12 Equipos y accesorios para la Perforación y Voladura	70
4.13 Organización y Administración	72
4.14 Perfomance de Perforación y Voladura	73
4.15 Estudio Económico	73
4.16 Evaluación Económica	76

CAPITULO V

5.0 Consideraciones Ambientales en la Lixiviación In Situ de la mina “ Monterrosas”	78
5.1 Descripción del Medio Ambiente actual	79
5.2 Descripción de las actividades mineras	86
5.3 Identificación y Evaluación de los efectos previsibles	86
5.4 Plan de Manejo Ambiental	88
5.5 Medidas de Mitigación	90
5.6 Plan de Contingencias	91
5.7 Plan de Abandono y Cierre	92
5.8 Análisis Costo - Beneficio	93

CAPITULO VI

6.0 Conclusiones y Recomendaciones	95
6.0.1. Conclusiones.	95
6.0.2. Recomendaciones.	98
6.0.3. Vita	99
6.1 Bibliografía	100
6.2 Apéndice	102

RESUMEN

En el Capítulo I, del presente trabajo se desarrolla la tecnología de la lixiviación en el contexto ambiental, mostrando sus ventajas y desventajas. En el Capítulo II, se describe las consideraciones ambientales en relación a la tecnología propuesta, fundamentalmente referidas al medio físico.

En el Capítulo III, se muestra las diferentes técnicas de lixiviación y su aplicabilidad en relación a las características del yacimiento; asimismo los factores físicos, químicos y biológicos que gobiernan el proceso de la lixiviación, tales como la mineralogía, geología, hidrogeología, solubilidad, tamaño de partícula, interacción físico-química, actividad bacteriana, etc.

En el Capítulo IV, se desarrolla la aplicación de la tecnología in Situ, en la explotación del mineral de cobre de baja ley del yacimiento Monterrosas de Ica, describiendo sus aspectos técnicos y económicos. Finalmente en el Capítulo V, se desarrolla el Estudio Ambiental para el proceso de lixiviación, específicos para este caso.

ABSTRACT

In the Chapter I of the present work; the technology of the lixiviación is developed in the environmental context, showing its advantages and disadvantages. In the Chapter II, it is described the environmental considerations in relation to the proposed technology, fundamentally referred to the physical means.

In the Chapter III, it is shown the different lixiviación techniques and their applicability in relation to the characteristics of the location; also the physical, chemical and biological factors that govern the process of the lixiviación, such as the mineralogy, geology, hidrogeología, solubility, particle size, interaction physical-chemistry, bacterial activity, etc.

In the Chapter IV, the application of the technology is developed in Situ, in the exploitation of the mineral of cooper of low grade of the location Monterrosas of Ica, describing its technical and economic aspects. Finally in the Chapter V, the Environment Study is developed for the lixiviación process, specific for this case.

LIXIVIACION INSITU, TECNOLOGIA LIMPIA PARA LA EXPLOTACION DE MINERALES EN LA MINA MONTERROSAS

INTRODUCCION

El problema de contaminación originada por las actuales operaciones mineras, obliga a la búsqueda de nuevas tecnologías de explotación no contaminante. El agotamiento de yacimientos de alto contenido metálico y la tendencia decreciente de los precios de los metales en el mercado mundial, está impulsando a la macro explotación de los yacimientos minerales de leyes marginales, los mismos que en la actualidad se han hecho eficientes y económicos gracias al desarrollo tecnológico. Sin embargo este tipo de explotación origina el movimiento de grandes volúmenes de rocas y minerales y la utilización de gran cantidad de insumos, es así que para obtener una tonelada de cobre fino, hay que movilizar 100 ó mas veces de materiales e insumos, que los requeridos por la minería convencional; originando de esta manera grandes impactos negativos.

Los problemas mas importantes generados por la gran cantidad de efluentes y emisiones producidos son la desestabilización y deterioro del paisaje natural, la contaminación del medio ambiente, y consecuentemente problemas en el ámbito socio económico.

Ante este grave panorama de contaminación ambiental originado por la intensiva explotación de los yacimientos minerales se hace necesario el desarrollo y la aplicación de nuevos métodos y tecnologías que permitan una racional y eficiente explotación de estos recursos y fundamentalmente que sean compatibles con el medio ambiente. En este sentido, la tecnología de la Lixiviación In Situ que se propone en el presente trabajo permitiría cumplir con los objetivos señalados y consecuentemente al desarrollo sostenible de la minería.

CAPITULO I

1.0 LA LIXIVIACIÓN IN SITU Y EL MEDIO AMBIENTE.

Ante el creciente deterioro del Medio Ambiente, originado en general por el desarrollo industrial y en particular por la industria minera, la sociedad en su conjunto y las organizaciones ecologistas e internacionales como las Naciones Unidas han manifestado su creciente preocupación, es así que en 1990 la Organización de las Naciones Unidas convoca en Río de Janeiro, a la Conferencia Mundial del Medio Ambiente, con la participación de 103 países, cuyos acuerdos y conclusiones se constituyen en un compromiso de todos los países a tomar las acciones necesarias para mitigar la contaminación del medio ambiente. En nuestro país a partir de la promulgación del Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales en 1990 y posteriormente con la promulgación del Decreto Supremo 016-93 sobre la Protección del Medio Ambiente en la Industria Minera, se han dado los lineamientos básicos para el control del ambiente, parte de ello constituye la presentación de los Estudios de Impacto Ambiental, como un requisito para la apertura de las operaciones mineras.

La necesidad de tratar minerales cada vez de menor ley y de metalúrgica complicada o de difícil accesibilidad, aunada a las crecientes exigencias del control ambiental, han impuesto serias limitaciones en las prácticas convencionales de minado y del procesamiento metalúrgico.

Los avances logrados en el desarrollo de la tecnología de la lixiviación in situ para los minerales sulfurados, complementado con la tecnología bacteriana para la recuperación de estos minerales, como un proceso natural y equilibrado, permitirá contar con una avanzada tecnología no contaminante.

Sin embargo este sistema tiene también sus limitaciones, como es la posibilidad de contaminación de las aguas subterráneas, la recuperación integral de todo tipo de minerales y de las soluciones, aspectos que deberán seguir investigándose para hacer mas viable el proceso.

1.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA LIXIVIACIÓN IN SITU.

1.1.1 VENTAJAS.

- Se puede tratar diversos tipos de minerales sulfurados o mezclas de éstos.
- Se puede utilizar cerca o en la fuente misma de los minerales a tratar (In Situ) o como un complemento en la minería convencional.
- Los minerales marginales, remanentes o inaccesibles pueden ser recuperados, permitiendo una explotación racional y sostenible de los recursos naturales.
- Menor superficie de disturbación y de subsidencia
Mínimo impacto ambiental debido al menor uso de equipos pesados por prescindir de las plantas de concentración y fundición.
- El proceso no requiere de altas temperaturas ni presiones, que puedan originar disturbación en el medio ambiente.
Cualquier efluente que se origine puede ser convenientemente neutralizado y no da lugar a la producción de sub productos gaseosos nocivos.
- Empleo de la lixiviación bacteriana para generar lixiviante en forma de soluciones de sulfato férrico, ello permitirá tratar minerales en ambientes que no soporten adecuadamente el crecimiento de las bacterias.
- No depende de la escala a que se trabaje, se adecúa al volumen de producción.
- Permite recuperar los valores económicos de los minerales tóxicos y refractarios que se encuentran contaminando la naturaleza.

- Evita la manipulación de reactivos, produciéndose y regenerándose en el mismo lugar.
- La lixiviación, complementada con otros procesos como la extracción por solventes - electrodeposición, minimizan la contaminación ambiental.
- Frente a los procesos metalúrgicos convencionales son más efectivos, económicos y sobre todo no contaminantes.
- Bajos costos de operación y de capital de inversión.
- Menores de riesgos de salud y de seguridad para el personal.
- Menor consumo de energía debido a que el mineral no es transportado, sólo las soluciones son bombeadas.
- Mínima contaminación del aire, aguas superficiales y de los suelos.
- Fácil apertura y cierre de las operaciones.
- Se puede utilizar para la explotación de una gran variedad de metales como el cobre, uranio, zinc, cobalto, níquel, molibdeno, vanadio, manganeso y no metálicos como: halita, potasio, boro, magnesio, etc.

1.1.2 DESVENTAJAS.

- Dificultad, en algunos casos, en la recuperación de las soluciones.
- Dificil control de las soluciones dentro del paquete mineral por canalización de las soluciones o por pérdidas a traves de las rocas circundantes, debido a fallas, estratificaciones, diaclasamiento, etc.
- Dificultad en la uniforme distribución del lixivante dentro de la masa mineral.
- Posibilidad de contaminación de las aguas subterráneas circundantes.
Lenta recuperación de valores minerales en comparación con los métodos convencionales.
- Alto consumo de lixivante por parte de la ganga en el que esta contenido el mineral y por parte de la roca encajonante, dependiendo del tipo de roca.

CAPITULO II

2.0 CONSIDERACIONES AMBIENTALES EN EL PROCESO DE LA LIXIVIACION IN SITU.

2.1 ANTECEDENTES.

En la actualidad gracias al avance tecnológico, la mecanización y la automatización, la minería es una de las industrias que más ha evolucionado; sin embargo, ello a traído como consecuencia el deterioro y la degradación del medio ambiente, fundamentalmente en sus componentes físico y biológico.

2.2 CALIDAD DEL AGUA.

La Tierra es conocida como el planeta azul por la gran cantidad de agua que alberga en su superficie, de ella el 94% es salada y sólo el 3% es dulce, ambos se constituyen en un elemento fundamental para la vida.

El hombre a través del tiempo ha vertido al agua todo tipo de residuos: sólidos, líquidos y gaseosos.

Los mayores contaminantes son los residuos industriales y dentro de ellas los procedentes de la industria minera tales como los hidrocarburos, metales pesados o iónicos, finalmente desechos orgánicos, los que son arrojados a los ríos, lagos y a los mares. Asimismo, las lluvias arrastran los contaminantes atmosféricos que finalmente van a parar a los ríos y mares.

Ello ha originado entre otras cosas el calentamiento de las aguas, disminución de la disolución del oxígeno, cambio de pH y turbidez, lo que a la vez origina la disminución del paso de la luz solar y destruye la vida acuática. Esto es agravado por la acción tóxica de los diversos metales como el mercurio, plomo, arsénico, cadmio así como residuos radiactivos arrastrados por las aguas industriales.

Para preservar la calidad del agua y considerando que el recurso agua, tanto superficial como subterránea constituyen una categoría compleja y dinámica, la legislación medio ambiental, mediante el D.S. 059-92-EM, obliga al Estudio de Impacto Ambiental, a fin de tomar las medidas para caracterizar de manera adecuada el recurso agua, sus usos y los impactos potenciales que pueda sufrir.

La evaluación de la calidad del agua involucra los parámetros inorgánicos tales como: sólidos totales en suspensión, temperatura, pH, Eh, sólidos totales disueltos, iones principales, ión sulfato, alcalinidad, acidez, cianuro, nitrógeno y fosfatos. Metales disueltos, metales totales y los parámetros orgánicos tales como el fenol, petróleo, grasas, etc.

La aplicación de la lixiviación in situ, requiere un amplio estudio de la hidrogeología de la zona, debido a que las aguas subterráneas es uno de los aspectos ambientales mas sensibles a ser afectadas por esta tecnología.

2.3 CALIDAD DEL AIRE.

La envoltura gaseosa que envuelve la tierra llamada tropósfera contiene 21% en volumen de oxígeno gaseoso, siendo el elemento fundamental para la vida.

Al igual que con el agua, el hombre viene contaminando la atmósfera, así por ejemplo la emisión de los compuestos orgánicos llamados clorofluorocarbonados, están originando la destrucción de la capa de ozono. Asimismo la combustión de los combustibles fósiles, producen sustancias tóxicas como el monóxido de carbono, bióxido de carbono y carbono elemental; de esta manera se emite a la atmósfera la

combustibles fósiles, producen sustancias tóxicas como el monóxido de carbono, bióxido de carbono y carbono elemental; de esta manera se emite a la atmósfera la enorme cantidad de 80 millones de toneladas de CO₂ al año. este gas es el principal causante del efecto invernadero. La industria minera arroja también a la atmósfera gases de SO₂ y NO₂ que dañan la vida terrestre y producen las lluvias ácidas.

A fin de preservar la calidad del aire, la legislación minera ha previsto su control mediante la determinación de los siguientes parámetros: velocidad y dirección del viento, temperatura, altura de inversión, partículas totales en suspensión, gases (SO₂, NO₂, CO, etc.), plomo y otras partículas de metal.

La contaminación del aire en el proceso de lixiviación in situ. sólo se reducirá a limitadas emanaciones de gases de SO₂ y a los polvos en suspensión originados por las unidades móviles.

2.4 CALIDAD DE LA ROCA CIRCUNDANTE.

Los suelos, son una delgada capa que cubre la corteza terrestre, que conjuntamente con el agua, el aire y la biósfera constituyen el ambiente donde se desarrolla la vida. Los suelos presentan espesores y características particulares, dependiendo de factores como el tipo de roca madre, topografía, clima, hidrología, vegetación, etc.

Como los otros aspectos ambientales los suelos han sido formados lentamente en el tiempo geológico, evolucionando equilibradamente con los aspectos químicos, físicos y biológicos de la naturaleza. En realidad el espesor de los suelos involucrado al desarrollo de la vida abarca pocos metros, por lo que es muy sensible. El equilibrio natural de los suelos en la actualidad se ve afectado permanentemente por la acción del hombre, por lo que su protección y conservación se toma en un aspecto de primera importancia para la conservación del medio ambiente.

En el proceso de mantener la caracterización adecuada de los suelos es necesario definir los siguientes parámetros:

- Propiedades físicas, como su textura, grado de compactación, erosionabilidad y otros.

Propiedades químicas, como el pH, Eh, salinidad, metales, iones, etc.

Propiedades biológicas, se refieren al sustento ecológico microbiano que va influir en la calidad de la vegetación.

En el caso de la lixiviación in situ, la afectación de los suelos sería mínima debido que los reactivos estarían actuando en profundidad fuera de los límites de los suelos, donde las rocas encajonantes estarían actuando como un aislante natural en el proceso.

CAPITULO III

3.0 LA TECNOLOGIA DE LA LIXIVIACION IN SITU.

3.1 ANTECEDENTES

Los orígenes de la Lixiviación in situ en forma natural, se remontan a tiempos inmemorables. Las primeras noticias escritas al respecto datan del año 150 a.c., cuando Liu An, del Reino Huaiman de la Antigua China, escribió un libro llamado Humainancius, donde se menciona la existencia de ciertas aguas azules de sabor amargo que al evaporarse originaban una sustancia de color azul y que al contacto con el fierro producían cobre. Asimismo los Tartesos, Fenicios, Romanos y otras civilizaciones recuperaban las soluciones sulfatadas que fluían naturalmente de los cuerpos mineralizados y de las labores mineras. En el Siglo XVII, en el río Tinto, España, se recuperaba comercialmente el cobre, a partir de las soluciones provenientes de la lixiviación natural de minerales sulfurados posiblemente con la participación de las bacterias, este proceso continua desarrollándose en la actualidad.

De esta manera, ya sea en minas antiguas o en desechos minerales, se ha venido desarrollando la explotación del cobre de una manera empírica en diversos países. En el Perú, en la mina de Cerro de Pasco a partir del año 1935 se desarrolla paulatinamente la

tecnología de la lixiviación in situ, inicialmente recuperando el cobre a partir de las soluciones del drenaje de mina y posteriormente intensificándose la lixiviación mediante el “lavado” de los tajos antiguos y a partir del año 1960, lixivando los echaderos de mineral de baja ley provenientes del desarrollo del tajo abierto. Un proceso similar se lleva a cabo en las minas de Quiruvilca, lixivando tajeos antiguos en subsuelo.

Hasta esta época no se tenía idea de la participación de las bacterias en la oxidación, hasta que 1947 por primera vez se aísla el *Thiobacillus Ferroxidans*.

En la década del 60, gracias al conocimiento de los fenómenos físicos, químicos y más recientemente biológicos que gobiernan el proceso, se intensifica la explotación de los minerales sulfurados de baja ley, principalmente en canchas, pads, botaderos e in Situ.

En la década del 70, algunas empresas mineras principalmente americanas y canadienses empiezan la aplicación de la tecnología de la lixiviación in situ con la finalidad de recuperar los minerales de baja ley remanentes de la explotación a tajo abierto y subsuelo, como también en minerales no disturbados.

Para el proceso de la lixiviación in situ, la fragmentación adecuada es uno de los aspectos de mayor importancia.

La aplicación de nuevas tecnologías de perforación y voladura mas eficientes, permitirá una adecuada fragmentación para lograr una óptima permeabilidad del mineral a la acción de la solución lixivante. La primera mina donde se realizó una voladura de este tipo fue en el Proyecto Old Reliable, Arizona, en 1970, en el que se utilizó el método convencional de voladura del tipo denominado “coyote”, donde fueron utilizados más de 8 000 Ton. de ANFO. La segunda voladura tuvo lugar en la mina Big Mike Copper, en Nevada, donde a pesar de las consideraciones especiales de lixiviación, el disparo tuvo las características de una voladura de banqueo del tipo “open pit” y en el que fueron utilizados 180 Ton. de ANFO. La tercera voladura fue hecha en la mina Agnew Lake Ltd. en Ontario ⁽¹⁰⁾, en sub suelo donde un yacimiento filoniano fue minado mediante la perforación de taladros largos de 3” y 6” de diámetro, utilizando el explosivo powermex 500, empleando el tipo de voladura de bancos invertidos. Luego en la mina Zonia de la AEC-Kennecot, Arizona, donde fue fragmentado un yacimiento en profundidad mediante una voladura nuclear. La mina

Cities Service Corporation, de la Empresa Miami Cooper, ubicado en Arizona Operaciones, es una lixiviación subterránea, con una producción de 16 TCS de cobre por día, es una operación que se viene desarrollando exitosamente. La Mina El Teniente ⁽¹³⁾, de La Codelco, en Chile, también explota in Situ, minerales de cobre de baja ley, con una producción de 15 toneladas de cobre por día. De esta manera se han puesto en operación otras muchas minas en forma exitosa en diferentes partes del mundo.

En la actualidad el proceso de lixiviación in Situ está ampliamente difundido en muchos lugares especialmente en América, Europa del Este, Australia y Asia, para la explotación de yacimientos de cobre, uranio, plata, oro, plomo, zinc y otros.

3.2 TIPOS DE LIXIVIACION IN SITU

Existen dos tipos de lixiviación dependiendo básicamente de la localización física del mineral: fuera del yacimiento (en pilas y botaderos) y en el mismo yacimiento (In Situ), tecnología de la que trata el presente trabajo.

3.2.1 LIXIVIACION EN PILAS Y BOTADEROS

Comprende la recuperación de los valores metálicos a partir de los minerales de baja ley, producidos por el desbroce de las minas, de los minerales marginales o de los minerales complejos, que no pueden ser económicamente tratados mediante métodos convencionales.

- **Lixiviación en pilas.-** se aplica a minerales de contenido metálico más alto, pueden ser minerales oxidados, mixtos y complejos ya sean de cobre, oro, plata o zinc. En el caso del oro y plata usando soluciones de cianuro y para el caso del cobre generalmente el ácido sulfúrico. En este caso las pilas son diseñadas para ser lixiviados más rápidamente, digamos en periodos de meses. Las pilas son preparadas con el material minado previamente triturado y finalmente transportado y emplazado sobre una base impermeable especialmente preparada para la lixiviación. Las pilas pueden tener alturas que pueden variar de unos pocos a muchos metros, numerosas operaciones de este tipo se desarrollan actualmente en el mundo y en nuestro país.

Lixiviación en botaderos.- Se aplica en bancos de mineral de baja ley, producto del desbroce en las minas a tajo abierto y que fueron depositados en zonas aledañas sin una planificación previa y sin las consideraciones técnicas necesarias para obtener una máxima recuperación, la idea en este caso es hacer un lavado del mineral que se consideraba irrecuperable.

3.2.2 CONSTRUCCION.

Tanto las pilas como los botaderos en general, se construyen en forma similar.

El material triturado o simplemente volado, producto del desbroce o desarrollo de las minas se depositan en capas formando bancos, el ancho y altura de estos pueden variar desde unos metros a decenas de metros. Pruebas realizadas en diferentes botaderos han demostrado que el oxígeno, elemento indispensable para el proceso, puede penetrar desde la superficie hacia el interior, hasta 60 metros. Así mismo se ha demostrado que el anhídrido carbónico contenido en el aire, es consumido por las bacterias antes que se agote todo el oxígeno. Por tal motivo la construcción de estas pilas de mineral deben limitarse a estas dimensiones a fin de garantizar la oxigenación de todo el paquete mineral. Se recomienda la construcción de bancos de 50 m. de lado con 2 caras libres para que la oxigenación sea completa en todo el volumen del mineral.

Durante el proceso de construcción será necesario evitar la compactación del material por acción del peso de los camiones, se ha demostrado que la compactación puede llegar hasta tres metros de profundidad, impermeabilizando la cancha, para evitar esto será necesario remover la superficie por diferentes medios, se recomienda también depositar el material por medio de fajas transportadoras para evitar lo anterior.

Otro aspecto que hay que evitar es la segregación de los materiales producidos al momento de ser descargados por los camiones en los taludes, donde se produce la clasificación de los materiales quedando los finos cerca a la superficie y los gruesos en la parte baja. La acumulación de finos origina que las sales de hierro se precipiten en este sector impermeabilizando la superficie.

3.2.3 LIXIVIACION IN SITU.

Es el caso en que los minerales son lixiviados en su emplazamiento natural es decir en el mismo yacimiento⁽¹⁾. Este método se aplica para la recuperación de los minerales remanentes de explotaciones subterráneas y superficiales, yacimientos de baja ley, en minerales de metalurgia complicada e inaccesibles que no pueden ser explotados económicamente por los métodos convencionales o como un complemento de éstos.

3.2.4 APLICACIÓN DEL LICOR LIXIVIANTE.

La solución es aplicada en la parte superior de la columna de mineral y se deja percolar a través de ella. La aplicación del lixivante puede desarrollarse mediante el sistema de inundación, aspersion o inyección.

El método de aspersion, se aplica mediante la instalación de un sistema de tuberías en la superficie de la cancha, los mismos que presentan perforaciones a través de los cuales fluye la solución lixivante.

El método de inundación, consiste en colmatar el mineral para lo cual previamente se han construido diques u otros medios de contención del líquido.

El método de aspersion e inundación, tiene la desventaja de estar afecto a la evaporación y a la depositación del fierro férrico en la superficie.

El método de inyección, consiste en la instalación de tubos hasta el fondo de las canchas, a través de cuyas perforaciones se inyecta la solución lixivante a diferentes profundidades, cuando éstos se llenan de sedimentos pueden ser expulsados a presión y proseguir con el proceso. Estos tubos se colocan verticalmente a un espaciamiento de 8 metros por 8 metros y pudiendo llegar hasta 30 metros o más de profundidad.

La velocidad de aplicación esta en relación directa a la superficie de la pila, la permeabilidad del mineral y a la altura.

3.3 FACTORES DE LA LIXIVIACION IN SITU

En general, el proceso de la lixiviación in Situ, está gobernado por factores físicos, químicos y biológicos. En el pasado se le dió mayor importancia a los factores químicos pero en la actualidad los factores físicos y más recientemente los factores biológicos son igualmente importantes en el proceso de la lixiviación. A continuación se detalla los principales factores de la lixiviación in Situ.

3.3.1 GEOLOGIA

El adecuado conocimiento de la geología del yacimiento como tipo, origen, génesis, ubicación física dentro de la corteza terrestre, geometría, características generales del mineral y de las rocas circundantes, así como estructura, buzamiento, fallamientos, plegamientos, diaclasamiento, estratigrafía, nivel freático, corrientes de aguas subterráneas, etc. son los factores que permitirán un adecuado diseño del proceso. Dentro de éstos están comprendidas las labores de preparación, diseño de la perforación y voladura, manejo y tratamiento del flujo de las soluciones lixiviantes. La geología permitirá del mismo modo evaluar y mitigar el grado de afectación que estas soluciones puedan ocasionar en el subsuelo y en el medio ambiente.

Si consideramos que en el país existen ⁽¹⁹⁾ aproximadamente mil quinientos millones de toneladas de minerales de cobre, plomo, plata y zinc que no pueden ser tratados mediante las técnicas convencionales, podemos decir que estas reservas potenciales pueden ser recuperadas económicamente por el sistema de lixiviación in Situ. (Es complemento del 4.5.3 GEOLOGÍA REGIONAL).

3.3.2 MINERALOGIA.

Broadey ⁽²⁾ decía: “Las técnicas para el procesamiento de los minerales in Situ, es el opuesto al proceso de génesis del que resultó el emplazamiento del cuerpo mineral”. En este sentido un adecuado conocimiento de la naturaleza química y física del proceso del emplazamiento primitivo del mineral, permitirá diseñar el método más apropiado de recuperación. Dentro de este fenómeno estará

involucrada la disolución de los metales bajo condiciones geoquímicas y geofísicas en un ambiente subterráneo, revirtiendo el proceso originario de depositación y de formación del mineral, es decir poniendo los valores metálicos en su forma iónica tal como sucedió en el momento de su formación y de esta manera facilitar su recuperación⁽⁷⁾.

El conocimiento de las propiedades físicas, químicas y mecánicas del mineral como son: la textura, porosidad, dureza, permeabilidad, cristalización, temperatura de formación y los valores metálicos y su distribución dentro del yacimiento, son aspectos a tomarse en cuenta en el proceso de liiviación in situ. (Es complemento del 4.5.10 EXAMEN MINERAGRAFICO).

3.3.3 HIDROGEOLOGIA.

La hidrogeología, es decir el conocimiento del agua subterránea como parte de la geología del yacimiento, es uno de los aspectos más importantes que se debe tomar en consideración para la aplicación de la lixivación in Situ. Su dominio abarca los aspectos de la roca encajonante, el comportamiento del ciclo hidrológico de la zona, propiedades físicas y químicas del agua, calidad del agua, contenido de radionucleidos y finalmente su movimiento y emplazamiento del agua en el subsuelo.

La presencia del agua subterránea está condicionada a la existencia de un medio poroso y permeable en la roca huésped. La porosidad en un material no consolidado depende del grado de compactación, forma y distribución del tamaño, mientras que en un material consolidado dependerá del grado de cementación y del estado de disolución y fracturación de las rocas.

Los yacimientos de sulfuros metálicos en nuestro medio se encuentran emplazados indistintamente en rocas plutónicas, volcánicas, sedimentarias o metamórficas. Las rocas plutónicas, volcánicas y metamórficas tienen una porosidad de 1 % a 3% y una permeabilidad de 0.005 mm/día a 0.20 mm/día. En este tipo de rocas la porosidad está dada por la presencia de fallas, diaclasas o algún tipo de alteración de la roca. Como es de notar la presencia de aguas

subterráneas en este tipo de rocas es mínima. Las rocas sedimentarias presentan una porosidad inferior a 1% (lutitas) a 20% (dolomitas) y una permeabilidad de menos 1 mm/día (lutitas) a 200 mm/día (calizas). Como se puede notar las rocas sedimentarias son más favorables para la presencia de aguas subterráneas al estar conformado por granos de diversos tamaños, grado de cohesión y tipo de cementación, que es mejorado grandemente por la presencia de fallas, diaclasas y otras alteraciones de la roca.

Las aguas subterráneas están involucrados en mayor o menor grado dentro del ciclo hidrológico de la naturaleza y además se constituyen en una fuente potencial para el consumo humano por lo que es necesario preservar y evitar su contaminación.

Considerando que la lixiviación in Situ consiste en la disolución de los minerales en el subsuelo mediante la utilización de reactivos químicos muy potentes tanto ácidos como alcalinos existe la posibilidad de contaminación de las aguas subterráneas en el entorno del área de explotación, pudiendo limitar la aplicación del método de lixiviación in Situ.

Sin embargo la aplicación de técnicas adecuadas permitirán evitar o minimizar la contaminación de las aguas subterráneas, así como su restauración al final de la explotación. Lo último, por ejemplo, se puede lograr inyectando reactivos neutralizantes a través de las mismas vías usadas anteriormente o reemplazando el agua subterránea contaminada por aguas limpias. (Es parte del 4.5.4 A HIDROLOGÍA).

3.3.4 LA FRAGMENTACION

La fragmentación es uno de los factores más importantes que intervienen en la recuperación del mineral, ya que la proporción de extracción está en función del tamaño de las partículas (**Gráfico 1**).

Para una lixiviación in Situ el mineral debe ser roto en partículas tan pequeñas como sea posible para hacerla lo suficiente permeable y porosa de manera que

el percolante pueda fluir adecuadamente a través de la masa mineral. La lixiviación es inversamente proporcional al área de la superficie pero es directamente proporcional al volumen del material expuesto. El volumen está dado por el área de exposición multiplicado por la profundidad de penetración del lixivante ⁽²⁰⁾, el cual se mueve por acción capilar a lo largo de planos de fracturamiento natural o producidos artificialmente ya sea por trituración mecánica o por las voladuras.

Siendo la fragmentación un aspecto fundamental para la lixiviación in situ, será necesaria la aplicación de las técnicas pertinentes a fin de lograr que el mineral sea lo suficientemente permeable y poroso para que el lixivante pueda percolar a través de su masa. El proceso de fragmentación del mineral también crea microfracturas que son canales disponibles para el ingreso del lixivante

Dependiendo de las características geológicas, geométricas y profundidad del yacimiento se puede aplicar diversas técnicas de perforación y voladura para el fracturamiento del mineral, que van desde los métodos convencionales como el block caving, shirinkage, sub level caving, arch back o más modernos y eficientes como el vertical cráter retreat (VCR), bench blasting, inverted bench blasting (IBB) e incluso la voladura nuclear. La voladura nuclear todavía tiene una utilización muy limitada y es aplicada en yacimientos inaccesibles o de gran profundidad.

Por otra parte los procedimientos de lixiviación se adecuarán a la facilidades de aplicación del lixivante y su recuperación, así por ejemplo el método de inyección y recuperación de la solución mediante la perforación de taladros largos en el cuerpo mineral fragmentado, se aplican cuando no es posible la inyección o recuperación de las soluciones mediante labores subterráneas.

En el presente trabajo se desarrolla el procedimiento de preparación para la lixiviación in Situ de cuerpos mineralizados de cobre de baja ley, accesibles

mediante labores subterráneas convencionales y utilizando para su fragmentación la técnica de perforación VCR y voladura IBB⁽⁵⁾.

Cuando el mineral es lo suficientemente poroso y permeable no será necesario su fragmentación. En la actualidad se busca técnicas para la disolución de los minerales sin necesidad de fragmentarlos, aunque presenten baja porosidad y permeabilidad.

3.3.5 ACCESIBILIDAD

La lixiviación in Situ, es el método más apropiado para la explotación de los yacimientos inaccesibles y los ubicados a gran profundidad. Dentro de estos minerales inaccesibles se consideran los remanentes de explotaciones antiguas, minerales en zonas intensamente disturbadas y minerales ubicados a gran profundidad, etc, todos estos tipos de yacimientos pueden ser ventajosamente explotados mediante la lixiviación in Situ. Como se señaló anteriormente se puede llegar a estas zonas mediante labores convencionales y actualmente mediante la perforación de taladros largos.

3.3.6 PERMEABILIDAD Y PERCOLACION.

El proceso de percolación depende de las características de flujo del líquido y de las características físicas y químicas del material a ser tratado ⁽¹⁶⁾.

El periodo que puede durar un proceso de lixiviación se mide en términos de meses o años, mientras que un ciclo de lixiviación puede tener una duración de 2 a 14 días.

El proceso de percolación requiere el optimizar el control de diversos factores para acortar el tiempo de cada ciclo.

A continuación se describe algunos factores que rigen el proceso de percolación.

3.3.7 TEXTURA Y LA PERMEABILIDAD.

Son los factores más importantes que regulan la velocidad de percolación. El flujo a través de la porosidad media, ha sido bastante estudiado pero hasta la

fecha no se ha desarrollado un método teórico general que pueda predecir la permeabilidad de un determinado mineral.

En general el flujo del lixivante a través del paquete de mineral está dado por la ecuación de Darcy:

$$Q = \frac{-kAP}{\mu h}$$

donde:

Q = Caudal

k = Permeabilidad específica del mineral

A = Area de la sección

P = Presión del fluido a través del mineral

h = Profundidad del banco

μ = Viscosidad de la solución

De lo expuesto, el caudal de percolación está en relación directa con la permeabilidad específica de los diferentes materiales (k), valor que puede cambiar apreciablemente el rate de percolación. Así por ejemplo, un incremento del 25 % del volumen intersticial dentro del paquete de mineral, puede elevar hasta en 100% la capacidad de flujo.

3.3.8 EFECTO DE LAS BURBUJAS DE GAS.

La presencia de gases u otro tipo de burbujas de gas dentro del material, puede reducir sustancialmente la velocidad de percolación. Si la solución es alimentada de arriba hacia abajo las burbujas de aire pueden ser atrapadas reduciendo efectivamente la percolación, pero si la alimentación es de abajo hacia arriba posiblemente la generación de burbujas será mucho menor y las existentes serán extraídas fácilmente (**Gráfico N° 2**)

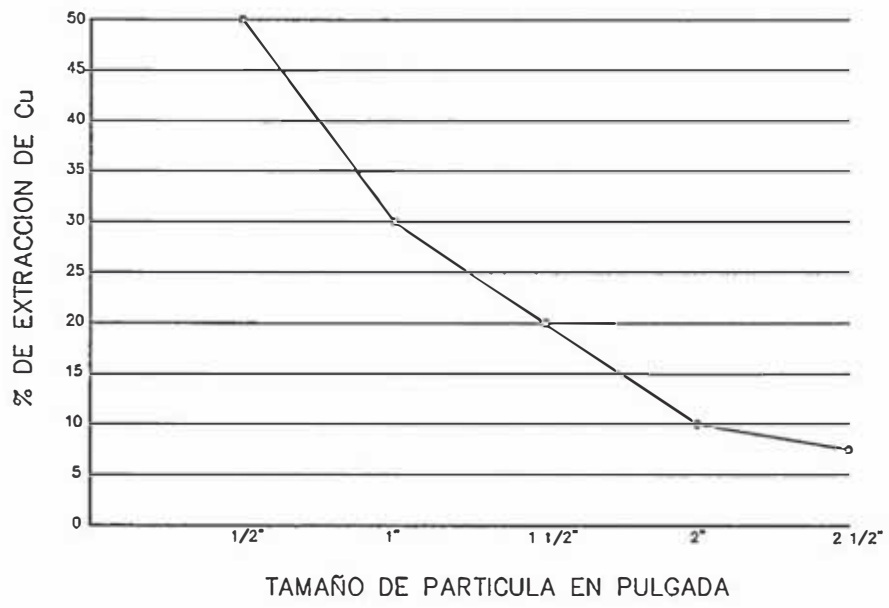


GRAFICO N°1

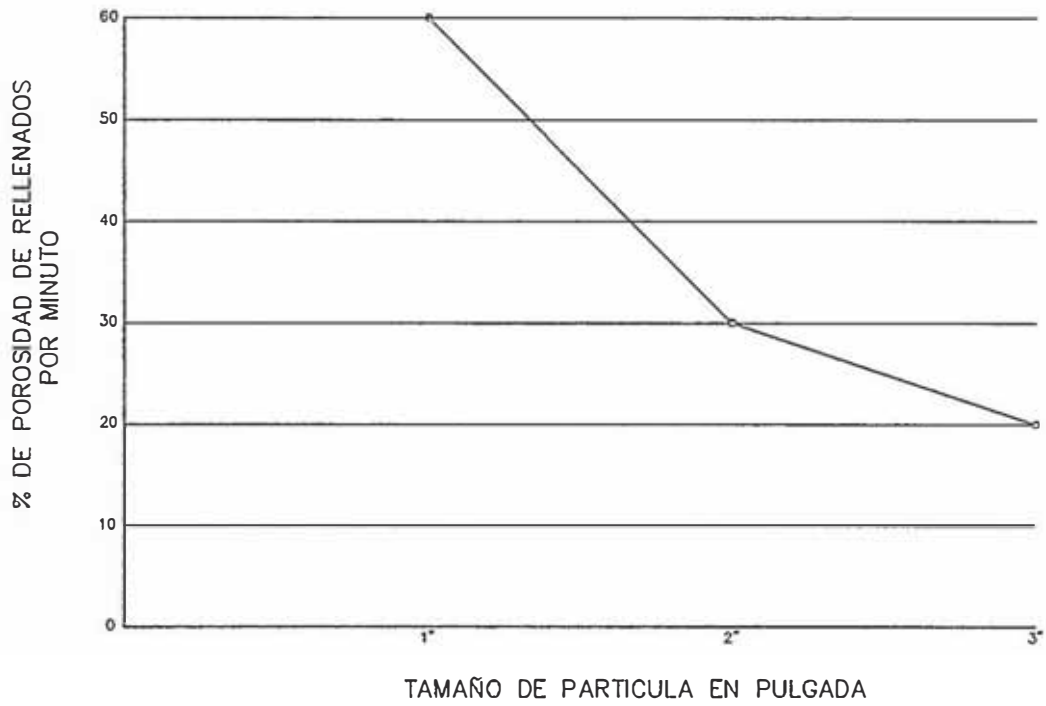


GRAFICO N°2

3.3.9 EFECTO DE LA PRESION Y PROFUNDIDAD DEL PAQUETE MINERAL.

Zenz y Othmer ⁽²¹⁾, han establecido que en minerales de partículas de tamaño uniforme, la presión del flujo a través del mineral bajo un estado de percolación descendente es equivalente a la altura del líquido en la cresta del banco. Ello indica que la efectiva presión debido a la altura (carga de presión), es aproximadamente un pie del licor percolante por un pie de la altura de banco.

La velocidad de percolación disminuye a medida que la altura del banco crece. Cuando la altura de un banco se duplica el rate de percolación disminuye aproximadamente en 15 %.

El diseño de la altura de un banco esta en función a la combinación del tiempo de contacto requerido para la transferencia de la masa, la permeabilidad del material y la facilidad para el manipuleo del material.

El incremento de la presión hidrostática en varios pies de agua puede originar la disminución de la velocidad de percolación. Si el material es relativamente compresible, uno u otra presión sobre el material puede originar la reducción de la permeabilidad del paquete de mineral.

3.3.10 EFECTO DE LA TEMPERATURA.

La Ley de Darcy muestra que la velocidad del flujo es inversamente proporcional a la viscosidad del licor de percolación.

La viscosidad del agua varía apreciablemente con la temperatura, se ha demostrado que con lixiviantes acuosos la velocidad de percolación a 80° C, puede ser cinco veces más a la obtenida a 5 °C. Trabajos llevados a cabo en minerales de cobre sulfurados en la Planta “Inspiración” han demostrado que para un incremento de temperatura de 20 °C a 35 °C, la recuperación del cobre se incrementa de 50 % a 75 %.

3.3.11 TRANSFERENCIA DE MASAS DURANTE LA PERCOLACION DEL LIXIVIANTE.

El proceso de transferencia de masas durante la operación de percolación puede ser dividida en dos etapas: La primera, es la actual disolución de las partículas de mineral y la segunda, es el lavado y recuperación de los valores disueltos. Algunas variables que afectan esta operación de transferencia de masas son el tamaño de partícula, porosidad de la partícula, potencia del reactivo y la velocidad de percolación.

Sullivan ⁽²⁰⁾ y su equipo de trabajo llegaron a la conclusión de que la disolución y la penetración del licor lixiviante dentro de las partículas está gobernada por la velocidad de percolación y el grado con que las películas de aire o gas que cubren las superficies internas entre las partículas es reemplazada por la película de líquido, sus datos experimentales también indicaron que al abrirse los canales, la acción de la capilaridad se convierte en una importante fuerza conductiva.

La solubilidad de los gases atrapados entre las partículas es también una importante variable. La penetración del lixiviante dentro de las partículas se incrementó enormemente al abrirse los canales de solubilidad al ser reemplazado el aire con el dióxido de sulfuro.

Un efecto similar a los obtenidos con dióxido de azufre se obtuvo usando un lixiviante no saturado con aire. Sullivan y sus colaboradores concluyeron que el tamaño de partícula fue la primera variable controlable que afecta la penetración del lixiviante. El tamaño óptimo de partículas para una óptima operación esta determinada por la velocidad de penetración y percolación. El mínimo tamaño recomendable para una percolación es una malla de -3 a -4.

3.3.12 EFECTO DEL TAMAÑO DE PARTICULA.

Es conocido que la velocidad de lixiviación se incrementa exponencialmente a medida que el tamaño de la partícula decrece y el volumen

de lixiviante que participa en el proceso, es el mismo que actúa en la superficie de la partícula y el que penetra en la profundidad de la misma.

Pruebas realizadas en columnas ⁽³⁾, para la lixiviación biológica de un mineral sulfurado para una pila de 17 m x 17 m x 33 m, que hacen un total de 9537 m³ ó 25,000 Ton, con una ley de 0.8 % de cobre, para una sección transversal que involucra 120 Ton, para diferentes tamaños de partículas y a una temperatura de 95 °F, para un rate de percolación de ¼ lit./ por pie² /hora, haciendo un total de 625 gal./hora. El desarrollo del proceso para cuatro semanas de lixiviación dio los siguientes resultados:

TAMAÑO DE PARTICULA		% COBRE
-3/16	+3/16	2.00
- ½	+3/8	2.50
- ¾	+ ½	1.80
-1	+ ¾	1.50
- 1 1/2	+1	1.00
-2	+1 1/2	0.05
-1 1/2	+2	0.03
-1	+3	0.02
-3	+4	0.02
-4	+5	0.02

Finalmente se obtuvo un ritmo de extracción de 1% por año correspondiente a 6.74 lib/día y una solución rica de cobre de 50 mg/lit o 0.1 lib/tn.

3.3.13 INTERACCION FISICO – QUIMICA.

La mayor reserva de los metales comerciales se encuentra principalmente en los cuerpos mineralizados que se presentan como minerales sulfurados. La extracción de metales a partir de estos sulfuros se logra mediante la oxidación acuosa del sulfuro a la forma de sulfato, produciéndose soluciones de los que se puede recuperar más fácilmente los metales. En el **Gráfico N°3**, se muestra el proceso mediante el cuál el lixiviante penetra en la partícula de sulfuro de cobre aprovechando las fracturas o microfaturas existentes.

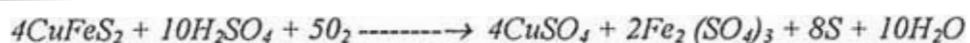
En el proceso físico- químico que ocurre en los minerales sulfurados se consideran dos aspectos fundamentales: la termodinámica, que indicará las condiciones necesarias de equilibrio químico para la lixiviación y la cinética que indica la velocidad con que el sistema se aproxima al equilibrio termodinámico. En un buen sistema de lixiviación la velocidad de reacción debe ser lo suficientemente rápida para obtener el producto en un tiempo razonable.

Los minerales sulfurados para llegar a ser lixiviados deberán ser previamente oxidados, por lo tanto la solución lixivante deberá presentar un conveniente potencial de oxidación para que esto ocurra. Existen muchos oxidantes que pueden cumplir con esta función, pero el ion férrico y el oxígeno son los más usados.

Mediante el gráfico propuesto por M. Pourbaix ⁽¹⁵⁾ (Gráfico N° 4) se describe los cálculos termodinámicos y se presenta los resultados del cálculo. La figura muestra el sistema Fe - H₂O, como una función del pH (acidez) y Eh (volt), que nos indica el potencial de oxidación o reducción de un determinado ambiente químico.

Por otro lado, en el otro gráfico se muestra las regiones estabilizadas del Eh y pH para los minerales más importantes de cobre. La observación de este diagrama nos indica por ejemplo que si el Eh se mantiene por encima del valor de 0.5 volt y el pH por debajo de 4, entonces el mineral de sulfuro de cobre será lixiviado. Comparando los gráficos, es obvio que la cantidad de ion férrico presente, lixiviará a estos minerales de cobre.

Durante la lixiviación de los sulfuros son generados el ácido y las sales de fierro mediante las siguientes reacciones:



3.3.14 ACTIVIDAD BACTERIANA.

3.3.14.1 ANTECEDENTES.

GRAFICO N°3

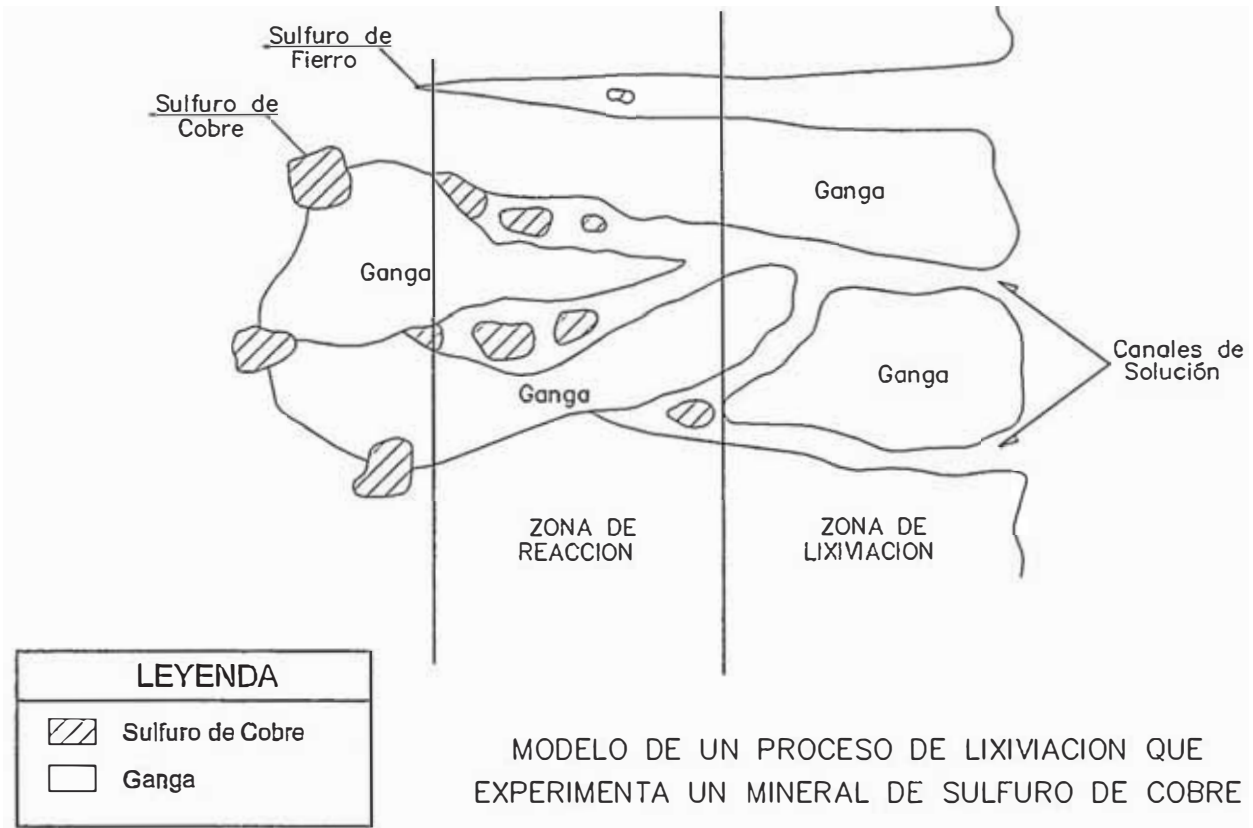
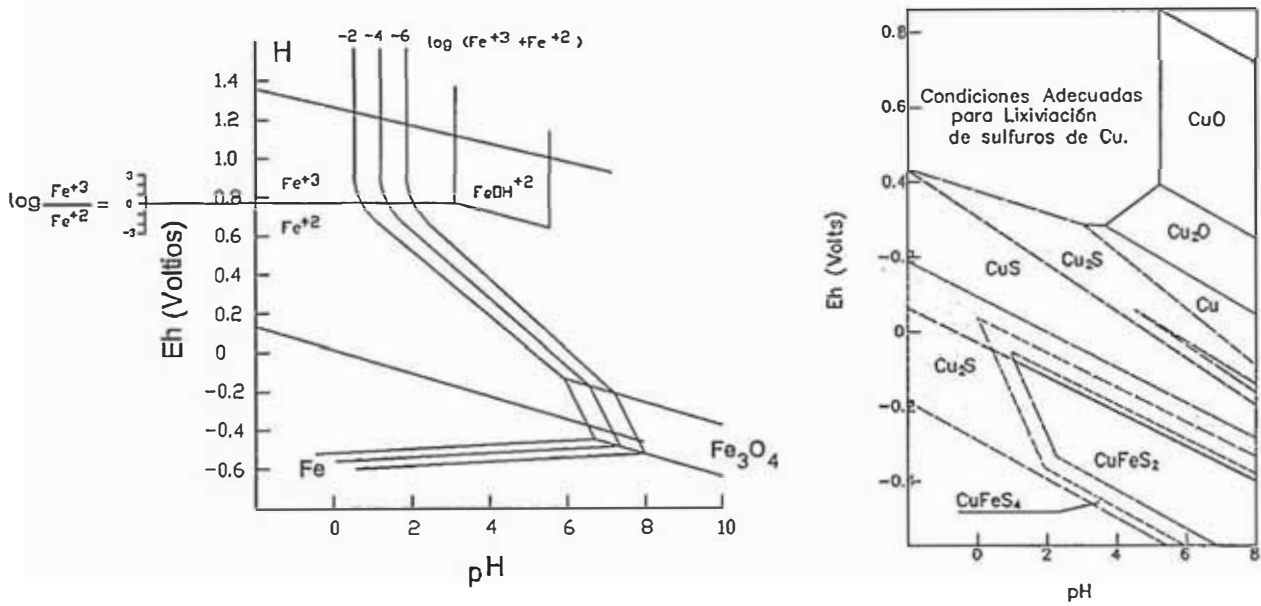


GRAFICO N°4



MODELO DE M. POURBAIX MOSTRANDO REGIONES DE ESTABILIDAD PARA MINERALES DE COBRE

Se sabe desde hace mucho tiempo que los microorganismos juegan un rol significativo en la concentración y distribución de muchos elementos en la litosfera.

Aunque el conocimiento del ataque bacterial de los sulfuros es relativamente reciente, la lixiviación natural de ellos ha ocurrido desde tiempos inmemoriales. El primer estudio que determinó que ciertas especies microbiológicas, influyen en algunas reacciones químicas inorgánicas datan de 1888, cuando Winogradski descubrió que ciertas bacterias filamentosas en agua con cierto contenido de fierro, originaban la acumulación de ciertas formas oxidadas e insolubles de fierro.

Posteriormente los estudios sobre la oxidación bacteriana del sulfuro de zinc de Rudolp y Herbrunner en el año 1922, han demostrado que el ion férrico y el ácido sulfúrico analizados en el drenaje de las minas de carbón resultaron del ataque de las bacterias a los minerales sulfurados que se encuentran en las vetas de carbón. Finalmente, los estudios de Colmer y Hindle en 1947 sobre el papel de los microorganismos en la oxidación del ion ferroso a ion férrico, al aislar por primera vez el *thiobacillus ferrooxidans*, han estimulado en las últimas décadas a una mayor percepción en cuanto a la contribución de los microorganismos en lo referente a la protección ambiental y por el potencial que tienen en la recuperación de metales a partir de los sulfuros primarios.

En la actualidad se estima que un 12 % de la producción total de cobre en el país, se obtiene por lixiviación química y microbiológica. Asimismo, se aplica en la recuperación del oro, plata y minerales refractarios.

3.3.14.2 BACTERIAS LIXIVIANTES.

Los microorganismos que participan en la oxidación de los minerales sulfurados pueden ser clasificados en tres categorías:

Autótrofos, que obtienen su propio sustento para su ciclo energético y vital de los materiales inorgánicos con los que están en contacto y obtienen el carbón que requieren para su crecimiento a partir del dióxido de carbono.

Heterótrofos, que requieren de material orgánico disponible para completar su ciclo vital. Obtienen el carbono de substratos orgánicos.

Mixtótrofos, que pueden utilizar carbón de la materia orgánico disponible o del dióxido de carbono.

Estas bacterias a su vez por su modo de operar en presencia de oxígeno, pueden ser:

Aeróbicas, que tienen la capacidad de oxidar los sulfuros de los metales pesados a sulfatos solubles. Necesitan la presencia de oxígeno libre para sobrevivir.

Anaeróbicas, pueden llevar a cabo su ciclo vital en ausencia del oxígeno. Genera la reducción de los sulfatos solubles a sulfuros metálicos insolubles.

Las bacterias más comunes que participan en la lixiviación de los minerales sulfurados son los siguientes:

Thiobacillus, es el grupo más importante que participa en la lixiviación, se caracterizan por presentar un metabolismo quimio-intético por su capacidad de utilizar la oxidación del azufre inorgánico y sus compuestos para producir energía para su crecimiento; requieren una temperatura de 30 a 35 °C, sin embargo hay especies que pueden desarrollarse a temperaturas de 45 a 50 °C. En orden de importancia los

thiobacillus que participan en la lixiviación son: *T. ferroxidans*, *T. thiooxidans*, *T. acidophilus* y *T. organoporus*.

El ***thiobacillus ferroxidans***, es el más importante de este grupo, por su capacidad de utilizar simultáneamente compuestos de azufre inorgánico y hierro ferroso. Es una bacteria aeróbica, acidófila, autotrófica, vive en un rango de pH de 1,5 a 5,0, requiere para su alimentación de nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y potasio. La energía para su crecimiento lo obtiene a partir de la oxidación del hierro ferroso, sulfuros solubles e insolubles y azufre. Pueden tolerar concentraciones hasta de 40 gr/lit de hierro, 70 gr/lit de cobre y 199 gr/lit de Zinc. (A. Pinches y A. Torma, 1970).

Leptospirillum ferroxidans, es autotrófica y sólo oxida al hierro férrico, puede lixiviar minerales bajo condiciones ácidas por su capacidad de producir hierro férrico, promoviendo de esta manera la lixiviación química, requieren de una temperatura de 30 °C y un pH de 1,5 a 5,0.

Existen otros tipos de bacterias como el *sulfolobus acidocaldarius*, el *thermosulfidooxidans*, etc. que son también importantes en el proceso de oxidación. En el cuadro siguiente se muestra un cuadro con los diversos tipos de bacterias y sus características más importantes.

**VELOCIDADES MÁXIMAS DE EXTRACCIÓN DE METALES
CONSEGUIDAS POR DIFERENTES MICROORGANISMOS EN
LIXIVIACIÓN DE MINERALES SULFURADOS ⁽¹⁴⁾**

Velocidad de extracción de metal, mg/l/h

Microorganismos	FeS ₂	CuFeS ₂	CuS	ZnS	NiS	AsFeS
T. ferrooxidans	59	109	224	444	468	53
T. thiooxidans	ND	ND	ND	244	230	ND

L. ferrooxidans	39	41	46	163	144	23
S. Thermosulfidooxidans	51	86	155	374	381	39
Thiobacillus sp.	49	81	152	361	365	35
Sulfolobus sp.	52	91	177	420	431	41

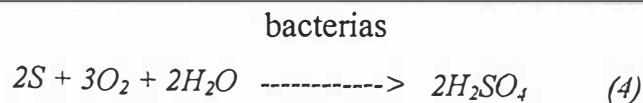
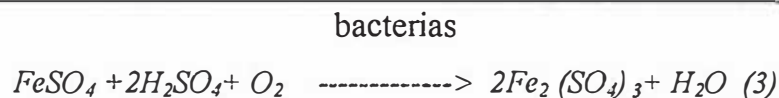
3.3.14.3 MECANISMOS DE LA OXIDACION DE MINERALES SULFURADOS POR LAS BACTERIAS.

Las reacciones de oxidación durante la lixiviación bacteriana de los minerales sulfurados pueden ser mejor comprendidas al examinar la oxidación de la pirita:

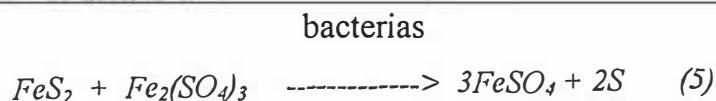


Las ecuaciones (1) y (2) muestran la oxidación puramente química de la pirita en condiciones ambientales y a una velocidad muy lenta debido a la formación de capas de azufre en la superficie de la pirita.

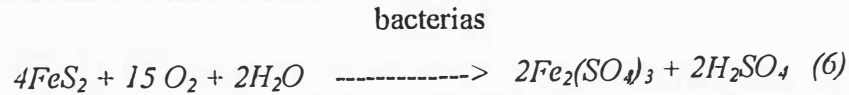
Ante la presencia de bacterias, las ec. (1) y (2) ocurren de la siguiente manera:



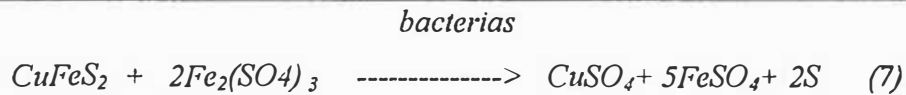
Las ec. (3) y (4), muestran la oxidación del sulfato ferroso y el azufre elemental a sulfato férrico y ácido sulfúrico, bajo estas condiciones químicas, la pirita en presencia del sulfato férrico reacciona como sigue:



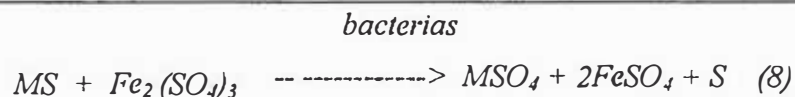
El sulfato ferroso y el azufre que se forman en la ecuación (5), son oxidados nuevamente por las bacterias a sulfato férrico y ácido sulfúrico como se muestra en la ecuación (3) y (4). La reacción global de la pirita en presencia de la bacteria puede escribirse así:



Esta reacción ocurre rápidamente y es controlada químicamente ya que los sub productos de esta reacción tal como el azufre no se adhieren a la superficie del mineral de pirita bloqueando las otras reacciones. Otros minerales sulfurados, tal como la chalcopirita, son lixiviados con la participación de bacterias y ocurren de la siguiente forma:



En general, la reacción por medio de bacterias de los sulfuros metálicos se puede escribir:



En la ecuación (7), se muestra el porqué, las bacterias oxidantes de hierro y azufre son importantes para asegurar las condiciones químicas para la disolución del mineral sulfurado al mantener los niveles adecuados del hierro férrico y del ácido sulfúrico lo cual origina que la fuerza del solvente vaya en aumento.

3.3.14.4 VARIABLES DE LA ACTIVIDAD BACTERIANA.

La bacteria como toda materia biológica está influenciada por su medio ambiente, los factores que influyen en el crecimiento y la actividad bacteriana son los siguientes:

- Temperatura.
- PH.
- Tamaño de las partículas.
- Concentración del mineral.
- Radiación solar.
- Oxígeno.
- Influencia de los finos.
- Decrepitación.
- Velocidad de circulación.
- Acción del fierro.
- Relación del ion férrico a ferroso.
- Nutrientes biológicos.
- Periodo de reposo.
- Geometría y dimensiones del material expuesto.
- Métodos de aplicación del lixivante.

CAPITULO IV

4.0 LIXIVIACION IN SITU DEL MINERAL DE COBRE DE BAJA LEY DE LA MINA “MONTERROSAS” DE ICA

4.1 GENERALIDADES.

En el presente capítulo se desarrolla la Lixiviación in Situ como una tecnología limpia para la explotación minera, aplicado en este caso a la veta de cobre de baja ley de la mina “Monterrosas”.

La veta Monterrosas ⁽⁴⁾ presenta una longitud aproximada de 4.5 Km. El Sector Central de la veta, de una longitud aproximada de 500 metros y materia del presente Estudio, presenta leyes marginales, conformado en su parte superior por óxidos de cobre con una ley de 1.0 % de cobre y sulfuros con una ley de 0.3 % de cobre, es decir 1.3 % de cobre total, en los niveles inferiores presenta sulfuros con una ley de 0.85 %. Estos valores mixtos y de baja ley, más su difícil accesibilidad, hacen propicia la aplicación de la lixiviación in Situ para la recuperación de estos minerales, que además presenta una serie de ventajas ambientales.

El referido yacimiento, fue explotado en su zona central hasta el nivel 1020. La parte superficial no fue explotado por su alto contenido de óxidos y por debajo del nivel 1020, no fue explotado por su baja ley y los bajos precios del mineral de cobre en esa época.

Las reservas probadas y probables (Acap. 5.6), calculadas para el Sector Central es de 1 510 000 TM, correspondiente a minerales remanentes y sin explotar con una ley de 0.95% de cobre total, sobre el que se propone en una primera etapa, aplicar la referida tecnología.

En los sectores Este y Oeste de la veta Monterrosas se estima una reserva de 1 600 000 TM, con una ley de 0,58 % de cobre, factibles de ser explotadas posteriormente.

Existen otras estructuras mineralizadas en el área de Monterrosas como la vetas Montekeka, Carmen, Sol Radiante, etc. que pueden ser explotadas de la misma manera en etapas subsiguientes.

4.2 ANTECEDENTES

Según antiguas referencias la región de Canza, de la cual forma parte el Yacimiento Monterrosas, fue conocida y trabajada desde antes de la Conquista. Sólo existen datos concretos sobre la actividad minera en la zona a principio de siglo XX, en que se trabajaron las vetas: “Adelaida”, “Tapadita” entre otras, explotándose principalmente óxidos de cobre con contenidos de oro y cobalto.

Alrededor del año 1958, la Cía. Minera Canza S.A. realizó una exploración a mediana escala de los depósitos de la región, procesando metalúrgicamente por lixiviación y flotación los óxidos y sulfuros de cobre, respectivamente y efectuando en la zona vecina a Monterrosas algunos trabajos mineros de pequeña importancia.

En marzo de 1967 la Cerro de Pasco Corporation, toma la opción de compra-venta e inicia los trabajos de exploración mediante labores mineras y sondajes

diamantinos, que tuvo como objetivo principal probar la existencia de un potencial del orden del millón de toneladas y con una ley no menor de 2 % de cobre.

En el mes de Julio de 1975, el estado le otorgó a Centromin Perú S.A. como Derecho Especial todas las concesiones de la ex Cerro de Pasco Corporation entre ellas el área de Monterrosas donde el Estado completó los trabajos de exploración anteriores habiendo logrado ubicar las siguientes reservas:

TIPO DE MATERIAL	TM	% Cu
Sulfuro	1'237,300	1.87
Oxidos	200,000	1.10

En marzo de 1982, Centromin Perú, a través de su Unidad de Producción "Los Montes", inicia la explotación de la mina el cual finaliza en agosto de 1987.

El método de explotación empleado fue el VCR *, combinado con la perforación DTH**, habiéndose perforado mas de 35 000 metros de taladros de 6 pulgadas de diámetro y utilizado mas de 1 250 toneladas de explosivos.

El mineral extraído a esa fecha fue de 1 456 000 TM de sulfuros con una ley de 1.0 % de cobre.

Por otra parte, los aspectos geológicos, estructurales y mineralógicos del yacimiento fueron ampliamente reconocidos durante la explotación desarrollada anteriormente, así como los parámetros de perforación y voladura. Debemos señalar que para lograr la fragmentación del mineral para la lixiviación in situ, se utilizarán las mismas técnicas y parámetros de perforación y voladura aplicados durante la explotación VCR.

* VCR – Vertical Crnter Retreat, Voladura de taladros verticales en retroceso.
 ** DTH – Down The Hole, Sistema de perforación dentro del taladro.

4.3. APLICABILIDAD DE LA LIXIVIACION IN SITU.

La aplicación de la lixiviación in situ en la mina Monterrosas se ve favorecida por la presencia de factores geológicos, mineralógicos, fisico-químico y ambientales adecuados como los que se anota a continuación:

a) Condiciones geológicas del yacimiento.

Geometría del yacimiento.- Filoneana y de forma tabular con alto buzamiento de 70° a 90°.

- Rocas encajonantes.- Bastante competentes, conformada por rocas intrusivas del tipo diorita y granodiorita.
- Características estructurales.- Sistema de fallas, fracturamientos y diaclasamiento, moderado que originarían una mínima pérdida de las soluciones.

b) Las características mineralógicas, cristalográficas y texturales de los minerales oxidados y sulfurados descritos en el acápite 4.5.12. demuestran la buena lixivialidad del mineral.

c) El proceso natural de oxidación y enriquecimiento supergénico que ha sufrido el yacimiento en el tiempo geológico, tal como se demuestra ampliamente en el acápite 4.5.14, permite predecir una buena lixivabilidad del yacimiento

d) Fragmentación del mineral, la explotación VCR, ha permitido demostrar la voladura de taladros largos y de gran diámetro en forma exitosa, para lograr una adecuada fragmentación del mineral, aspecto fundamental para la lixiviación in situ. Se ha comprobado también que las propiedades físicas y mecánicas del mineral son las más adecuadas para lograr una óptima fragmentación.

e) La presencia de soluciones sulfatadas, que en forma natural se han originado por la infiltración de las aguas superficiales es otro indicador que permiten predecir el éxito de la lixiviación in situ.

f) Finalmente las pruebas desarrolladas en el laboratorio demuestran la factibilidad del proceso (Acápite 4.4).

- g) No existe la posibilidad de pérdida de soluciones, por encontrarse el yacimiento, emplazado dentro del intrusivo diorítico y granodiorítico poco disturbado, sólo existen dos sistemas de fractura de cizallamiento, fácilmente controlables, atravesando la zona .
- h) El yacimiento se encuentra en una zona árida y desértica con un mínimo grado de precipitación pluvial y cuya infiltración no podrá interferir en el proceso.
- i) No hay evidencia de la existencia de aguas subterráneas, hecho comprobado por la explotación subterránea hasta el Nv. 1020 y por las perforaciones diamantinas hasta el Nv. 950.
- j) Las óptimas condiciones mostradas por el yacimiento, como se describen en los acápites anteriores, permitirán la aplicación de la lixiviación in Situ en forma eficiente y como una explotación compatible ambientalmente.

.4 ESTUDIOS Y PRUEBAS PRELIMINARES.

La lixiviación subterránea in situ de la mina Monterrosas se llevará a cabo en tajos de hasta de 60 metros de altura. Para simular mejor este proceso a nivel de laboratorio, lo recomendable son las pruebas en columnas.

La veta Monterrosas está constituida por minerales de baja ley tanto de óxidos como de sulfuros. En el presente trabajo se propone la lixiviación combinada de éstos, lo que permitiría un proceso mas eficiente y económico. Para de determinar la solubilidad, nivel de extracción, velocidad de extracción y consumo de ácido, tanto en los minerales de óxidos como de sulfuros de cobre, se han llevado a cabo pruebas de laboratorio en columnas a niveles preliminares, bajo las siguientes condiciones de lixiviación:

Fragmentación del mineral : 3/8”

Método: por inundación

Acido libre: 3.5 gr/lit

pH : 2.0

Periodo de prueba: 48 días

Temperatura : 30 °C

Humedad del mineral: 12 %

4.4.1 PROCEDIMIENTO

Se utilizaron dos columnas de PVC, "A" y "B" de 0.50 metros de altura y 6 pulgadas de diámetro cada una.

LIXIVIACION DE SULFUROS (COLUMNA "A")

- La columna "A", es cargada con 25 Kg de mineral de sulfuros de cobre primarios y secundarios con una ley de 0.85%.y una granulometría de 3/8".
- Se inunda con una solución acuosa de las siguientes características:

Cu (gpl)	Fe +2 (gpl)	Fe total(gpl)	Fe +3 (gpl)	Acido (gpl)
0.1	0.7	2.5	1.8	3.0

- Se mantiene un pH constante de 2.0, durante el proceso, para evitar la precipitación de sales de fierro (diagrama de Pourbaix)
- Periodo de prueba: 12 semanas
- A continuación se muestran los resultados :

Semana	Cu (gpl)	Fe +2 (gpl)	Fe total(gpl)	Acido (gpl)
1	0.1	0.7	2.5	3.0
2	0.3	0.9	2.5	3.0
3	0.5	0.8	2.5	3.0
4	0.8	0.8	2.5	3.0
5	1.0	0.9	2.5	3.0
6	1.2	0.9	2.5	3.0
7	1.4	0.9	2.5	3.0
8	1.6	0.9	3.0	3.0
9	1.7	0.9	3.0	3.0
10	1.8	1.0	3.0	3.5

11	1.9	1.0	3.0	3.5
12	2.0	1.0	3.0	3.5

Resultados de las pruebas en sulfuros:

Consumo de ácido: 3.0 Kg/Kg de cobre

Volumen de la solución : 9.0 lit.

Velocidad de extracción: 3 gr. / mes

Porcentaje de extracción: 4 %/mes

Periodo total de extracción proyectado : 60 meses

LIXIVIACION DE OXIDOS (COLUMNA "B")

- La columna "B", es cargada con 25 Kg de óxidos de cobre con una ley de 1.30 %, con una fragmentación de 3/8".
- Se inunda la columna, con la solución acuosa proveniente de la lixiviación de los sulfuros de la columna "A", que presenta las siguientes características:

Cu (gpl)	Fe +2 (gpl)	Fe total(gpl)	Fe+3(gpl)	Acido(gpl)
2.0	1.0	3.0	2.0	3.5

- Como en el caso de la lixiviación de los sulfuros debe mantenerse un pH =2, para evitar la precipitación de sales de fierro.
- A continuación se muestran los resultados de la lixiviación llevados a cabo en los óxidos de cobre.

Semana	Cu (gpl)	Fe +2 (gpl)	Fe total(gpl)	Acido (gpl)
1	3.0	1.0	3.0	3.5
2	3.0	1.0	3.0	3.5
3	3.5	1.0	3.0	3.5
4	4.5	1.0	3.0	2.5
6	4.6	1.0	2.8	2.5

7	4.7	0.8	2.6	2.5
8	4.8	0.8	2.5	2.5
9	5.4	0.8	2.5	2.5
10	5.6	0.8	2.5	2.5
11	5.8	0.7	2.4	2.5
12	6.0	0.6	2.0	2.5

Consumo de ácido: 3.5 Kg/Kg de cobre

Volúmen de la solución : 4.5 lit

Velocidad de extracción: 9 gr/mes

Porcentaje de extracción: 8 %/mes

Periodo de extracción proyectado: 3.5 años

Durante el proceso de la lixiviación de los óxidos, comparativamente a los observados en la etapa de los sulfuros, se observa un mayor consumo de ácido que indicaría la posibilidad que los minerales de sulfuro de cobre son un generador potencial de ácido.

De otro lado se puede observar que la solución lixivante al atravesar la zona de óxidos incrementa su contenido de cobre de 2 gpl a 6 gpl, a la vez que disminuye el contenido de ferroso a 1.0 gpl a 0.6 gpl, manteniendo un nivel óptimo del ferroso y del férrico, que permita llevar a cavo el proceso de la lixiviación química.

Los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio son de carácter preliminar, el proyecto definitivo requerirá pruebas a nivel piloto lo que escapa a los alcances del presente estudio. Sin embargo los resultados obtenidos, permitirán proyectar los parámetros generales para una operación de lixiviación a nivel de mina, apoyados por otras experiencias de lixiviación en otras minas del país especialmente Cerro Verde y Cerro de Pasco.

4.4.2 PARÁMETROS GENERALES CONSIDERADOS EN EL PROCESO DE LA LIXIVIACIÓN IN SITU DE LA MINA MONTERROSAS

- Característica de las soluciones participantes en el proceso:

LIXIVIACIÓN EN MINERALES DE SULFUROS (BLOCK "L")

Elemento	Lixivante gpl	Impregnado gpl
Cu	0.2	1.5
H ₂ SO ₄	3.0	3.5
Fe ^I	2.0	2.8
Fe ²⁺	0.6	1.0
Fe ³⁺	1.4	1.8

LIXIVIACIÓN DE MINERALES OXIDADOS (BLOCK "A")

Elemento	Lixivante gpl	Impregnado gpl
Cu	1.5	5.0
H ₂ SO ₄	3.5	3.0
Fe ^I	2.8	2.5
Fe ²⁺	1.0	0.7
Fe ³⁺	1.8	1.8

Fragmentación del mineral: 80 % menor 10 cm.

Altura de columna de mineral: 60 metros en sulfuros.

40 metros en óxidos

Rate de percolación: 8.5 lit/hora/m²

pH del lixivante . 2.0

Acido libre : 3.5 gpl

Consumo de ácido: 3.0 Kg de ácido por Kg de cobre.

Temperatura de lixiviación: 34 °C

Periodo de extracción de Cu en los sulfuros y óxidos: 5 años.

El nivel de recuperación para este periodo: 60 %.

Concentración de Cu en el impregnado: 5.0 gpl

Concentración de Cu en el barren: 0.20 gpl de cobre

Es importante señalar que debido a las precipitaciones pluviales en la zona se ha observado abundante presencia de filtraciones de aguas sulfatadas en las galerías antiguas, lo que evidencia la posibilidad de la lixiviabilidad natural de estos minerales. No se han investigado la presencia de bacterias, pero la lixiviabilidad natural del mineral indicaría la presencia de estos microorganismos.

El mineral de Monterrosas además del cobre presenta otros minerales como plata, oro y cobalto, los mismos que podrían ser recuperados posteriormente utilizando otros tipos de lixiviatas.

4.5 GEOLOGIA.

4.5.1 UBICACION Y ACCESO.

El área en estudio se ubica en el lado sur-oriental del Cerro Frontón Chico, en la región minera de Canza, a 15 kilómetros en línea recta al N 58° E de la ciudad de Ica. Políticamente pertenece al distrito de San José de los Molinos, de la provincia y departamento de Ica (Plano N°1y N°2)

Sus coordenadas UTM son las siguientes(Plano N°3):

VERTICE	NORTE	ESTE
1	8 454 000	434 000
2	8 454 000	436 000
3	8 453 000	436 000
4	8 453 000	434 000

Su altitud media es de 1100 m.s.n.m.

Es accesible desde la ciudad de Ica (kilómetro 300 de la carretera Panamericana Sur), mediante una carretera asfaltada que se dirige hacia el distrito de Los Molinos (8.3 Km) y desde este punto mediante una carretera afirmada hasta la mina de Monterrosas. La distancia desde Ica a la mina Monterrosas es de 20.5 Km. distribuidos de la siguiente manera:

RUTA	KILOMETRAJE	TIPO DE CARRETERA
Ica – La Tinguiña	8.3	Asfaltada
La Tinguiña – desvío Mina	12.2	Afirmada
Total	20.5	

4.5.2 FISIOGRAFIA Y CLIMA.

El clima de la zona es pre árido y semi cálido, con precipitaciones pluviales anuales mínimas, menores a los 300 mm, cuya ocurrencia se hace presente esporádicamente, algunas veces con fuerte intensidad ocasionando huaycos en los meses de verano. La morfología está representada por una topografía de pendientes suaves, las colinas oscilan entre 1000 y 1300 m.s.n.m. y caracterizan un relieve semi-maduro.

El área se encuentra en el perímetro de los conos de deyección de la Costa. Hidrológicamente, en la zona no existe ninguna fuente superficial de agua, tampoco se ha observado la presencia de aguas subterráneas.

4.5.3 GEOLOGIA REGIONAL.

Los depósitos cupríferos de la región de Ica se encuentran emplazados en el batolito de la Costa, en la cordillera occidental de los andes, a la que pertenecen la mayor parte de los depósitos de la zona ⁽⁸⁾.

Las partes expuestas de este batolito, perteneciente a la edad terciaria, forman una banda aproximadamente de 40 kilómetros de ancho, la que se prolonga siguiendo una dirección más o menos paralela a la línea de la costa. Los depósitos de la región de Canza, a la que se relaciona el Yacimiento Monterrosas, están ubicados sobre la porción marginal occidental de la banda batolítica (**Plano N°4**).

Esta porción del batolito, está constituido por cuerpos intrusivos que forman parte de la unidad Linga conformados por: diorita, granodiorita, granito, cuarzo-monzonita, adamelita, tonalita, hornblendita y epidotita; cortadas por dos estructuras principales, que dadas sus dimensiones y su composición mineralógica se las puede considerar como diques, donde se localiza la mineralización cuprífera. Estas rocas se encuentran en parte cubiertas por material aluvial, eluvial y eólico de espesor variable.

Es importante anotar las grandes cantidades de sedimentos inconsolidados de edad Holocénica, así como la existencia de terrazas marinas, conglomerados y arenas de Pleistoceno. Entre los sedimentos holocénicos tenemos los conos de deyección, cubiertos por una capa superficial de materiales provenientes en su mayor parte de la desintegración “in situ” de las rocas, y en menor proporción por material eólico.

4.5.4 ESTRATIGRAFIA.

La estratigrafía de la región de Ica es poco conocida. Unos cuantos afloramientos de pequeña magnitud han sido descritos y tratados en varias ocasiones por diversos autores que se han ocupado de la geología de la faja costanera entre Pisco y Nasca.

La edad de las rocas de la región, va probablemente desde el Pre-Cámbrico (como el “Complejo Basal de la Costa”), hasta el Cuaternario, constituido por material aluvial y arenas eólicas.

Rocas del Cretáceo, Terciario y Cuaternario, que aparentemente descansan sobre un basamento tipo granítico, han sido encontradas en Monterrosas y zonas aledañas, siendo las rocas cretáceas las que han alcanzado mayor distribución. No ha sido posible reconocer el Jurásico en la provincia de Ica.

(4.5.A HIDROGEOLOGÍA , está expuesto en el 3.3.3 HIDROGEOLOGÍA y en el 5.1.1 AMBIENTE FÍSICO – B) –C) –F) –G) –H).

4.5.5 ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS.

La totalidad del área mapeada en Monterrosas consiste en rocas intrusivas, las cuales forman parte del complejo batolítico costanero, el que por estar

intruyendo a la Formación Porfírica (de edad Cretácea), confirma la edad que se le asigna en el Perú: fines del Cretáceo a comienzos del Terciario.

Los intrusivos que afloran en el área de Monterrosas han sido clasificados según estudios petrográficos en: diorita, granodiorita, monzonita, adamelita, tonalita, hornblendita y epidosita. Sin embargo por constituir la mayoría de estas rocas segregaciones magmáticas de pequeña extensión areal, se las ha generalizado en el mapeo como diorita, hornblendita y granodiorita. La diorita en un pequeño intervalo transiciona insensiblemente en una andesita.

En términos generales, las rocas son holocristalinas, de textura granitoide de grano grueso a fino, de color variable desde gris claro a gris oscuro hasta negruzco, pasando por el tono gris rojizo (monzonita).

Las determinaciones de edades radiométricas por el método K-Ar, en muestras de diferentes lugares del Batolito, varían entre 60 y 110 millones de años, por tanto corresponden al intervalo Cretáceo Superior-Terciario inferior.

- **Diorita:** Es el intrusivo de mayor distribución de carácter ácido y básico como resultado de la segregación magmática, se localiza en la parte central del área de Monterrosas. Además de los minerales primarios y los accesorios, presenta minerales secundarios como fibras de actinolita, sericita, cuarzo, piritita, etc. La atraviesan vetillas rellenas de actinolita y magnetita casi paralelas al rumbo general de la veta Monterrosas.
- **La cuarzo – monzodiorita:** Se ubica en la parte noreste y noreste de la diorita. Sus minerales más abundantes son: Plagioclasa, hornblenda, cuarzo, ortoclasa y biotita; como minerales accesorios tenemos esfena, apatita y magnetita, La atraviezan venillas de actinolita, escapolita, hornblenda, cuarzo y epidota.
- **La cuarzo- monzonita:** Se ubica en al parte sureste de Monterrosas. Presenta vetas y vetillas de epidota, cuarzo y feldespatos potásicos. En la zona norte se ha encontrado granito y granodiorita como roca encajonante en la veta Huanaco.

Al noreste de la veta Monterrosas existen algunas brechas intrusivas que presentan fuerte caolinización y abundante limonita y pirita. Se observa algo de cobre soluble.

Granodiorita, Aflora en la parte central y extremo oriental. Constituye el intrusivo de mayor distribución dentro del área mapeada. Es una roca equigranular de grano medio, de color gris rosado en superficie fresca y rosácea en superficie intemperizada.

Hornblendita; Aflora mayormente en el extremo occidental del área mapeada y en menor cantidad en el extremo oriental, allí donde la mineralización de cobre es más intensa. El tamaño de los granos es de medio fino a grande y grueso. La roca consiste principalmente de hornblenda verde y actinolita. En algunos sectores se aprecia vestigios de epidota y algo de cuarzo. La mineralización, constituida principalmente por pirita, magnetita y chalcopirita, se presenta diseminada, masiva y/o en finas vetillas.

4.5.6 ESTUDIO PETROGRAFICO.

A continuación se incluye el estudio petrográfico de las rocas más características de la zona monterrosas.

Tipo de roca: Hornblendita

Descripción Macroscópica: La roca es de grano muy fino, verdosa, con diseminaciones de magnetita, pirita y chalcopirita. El componente verde corresponde a la hornblenda verde.

Descripción Microscópica: El tamaño del grano es de medio a fino, la roca consiste principalmente de hornblenda verde (localmente blanqueada) y actinolita. Minerales opacos se presentan como diseminaciones.

Tipo de roca: Granodiorita

Descripción Macroscópica: Color gris claro de grano medio.

Descripción Microscópica: Fenocristales de plagioclasas, pequeñas cantidades de ortosa, cuarzo, biotita y hornblenda.

Tipo de Roca: Diorita

Descripción Macroscópica: Diorita de grano medio, de color verdoso oscuro y fresca.

Descripción Microscópica: la roca consiste principalmente de plagioclasa y hornblenda con menor cantidad de minerales opacos como disseminaciones y algo de cuarzo. La plagioclasa es zoneada y maclada y no está alterada. La hornblenda está localmente cloritizada (blanqueada) a una “mica blanca”.

4.5.7 METAMORFISMO.

En el área de Monterrosas, la andesita a lo largo del contacto con los cuerpos intrusivos, muestra una débil silicificación y piritización, así como decoloraciones. Las rocas volcánicas debido a la silicificación se han vuelto más densas y duras. En algunos sitios se nota xenolitos de volcánicos parcialmente digeridos por los intrusivos, así como núcleos de minerales básicos posiblemente originados por segregaciones del magma.

Otra alteración de la andesita y diorita se produce por la acción de las aguas carbonatas calientes, que conducen a la formación de epidota, calcita, clorita y serpentina: a partir de minerales pre-existentes, dando lugar a las rocas verdes o grisáceas descompuestas y conocidas como propilitas.

4.5.8 GEOLOGIA DEL DEPOSITO. Veta Monterrosas (Planos N°5 y N°6)

Aflora discontinuamente a lo largo de 4.5 kilómetros ⁽⁶⁾ . Tiene un rumbo variable entre N 60°-75° W, con buzamiento de 75° NE a vertical. Su potencia varía de 2 a 25 metros. De acuerdo al mapeo geológico de superficie, se aprecia que su afloramiento presenta características peculiares determinadas por la naturaleza de la ganga; así, en el sector oeste está compuesta de minerales principalmente de fierro, magnetita y hematita; en el sector central de hornblenda, magnetita y piritita; y en el sector este de cuarzo.

La variabilidad en la ganga posiblemente está relacionada a la acidez y mineralogía de las rocas encajonantes que atraviesa; así por ejemplo, el sector central se halla en diorita, mientras que el sector este se encuentra en granodiorita, estos cambios se deberían a un fenómeno de segregación magmática, asociado a los diferentes tipos de roca, por lo que resulta interesante determinar la paragénesis de cobre en el yacimiento, aspecto que será tratado con mayor detalle en un acápite posterior.

La mineralización de cobre se halla asociada en todos los casos a los tipos de ganga arriba indicados, habiéndosele determinado con mayor frecuencia en el sector central, donde las zonas de oxidación y enriquecimiento supergénico son más potentes y definidas, debido posiblemente a la asociación mineralógica ya señalada.

Se observa evidencias de un proceso de oxidación intenso en la zona superior de la veta, (**Plano N° 7**) el cual alcanza una profundidad que varía entre 5 a 10 metros en el sector central de la veta. Los óxidos de cobre que han sido identificados son: malaquita, azurita, crisocola y cuprita; dentro de una ganga de hornblenda alterada y magnetita.

Las evidencias de enriquecimiento secundario son concluyentes, pues a lo largo de la explotación se ha observado chalcocita reemplazando a chalcopirita. La profundidad de la zona enriquecida varía entre 15 a 50 metros. La mineralización de sulfuros supergénicos la constituyen: chalcocita, covelita, bornita, chalcopirita, etc., parte de estos dos últimos podrían ser también de origen primario, no habiendo alcanzado una completa lixiviación.

Por debajo de esa profundidad, la mineralización de cobre es de sulfuros primarios, exclusivamente chalcopirita, chalcopirrotita y bornita; íntimamente asociadas a una ganga mayormente piritosa, abundante en magnetita y hornblenda, las cuales parecen persistir en las raíces del depósito.

La interpretación de las asociaciones minerales llevado a cabo a través del mapeo y muestreo, como de las secciones longitudinales transversales durante la explotación revelan que los minerales de cobre (tanto en la zona supergénica como primaria), se hallan asociados mayormente a las bandas de hornblenda y pirritas masivas, ocurriendo dentro de estas en forma diseminada y en pequeñas

fisuras algunas veces transversales y otras paralelas al rumbo general de la estructura. Dentro de la hornblenda, los sulfuros de cobre se encuentran en pequeñas fisuras de pocos milímetros de espesor.

4.5.9 GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

Las fuerzas que motivaron la fracturación han sido locales como regionales, tanto preminerales como post minerales. El diaclazamiento de la diorita a sido resultado de la contracción o el colapso por la retirada del magma.

Observaciones de campo ha permitido determinar la presencia de esfuerzos de tensión y compresión que originaron fracturas de tensión y cizalla, siendo estas últimas de mayor importancia. El juego de cizalla producidos tienen un rumbo nor-oeste y buzamiento nor-este y estan representados por las vetas monterrosas, monterrico y sol radiante. Las fracturas de tensión tienen un rumbo este-oeste y un buzamiento casi vertical hacia el norte y esta representado por las vetas Carmen Raquel y Montekeka.

Se observa tambien dos juegos de fracturas postminerales que desplaza a la veta con direcciones N 45° E y N 60° E, con buzamiento al NE y SE respectivamente.

4.5.10 EXAMEN MINERAGRAFICO.

Este examen consistió en determinar las cantidades relativas de pirita, chalcopirita y magnetita en tres muestras. Las pruebas se efectuaron en el Gabinete de Petrología de la Empresa Centromin Perú. En las secciones pulidas de las muestras, el porcentaje aproximado de pirita y chalcopirita está relacionado con el de magnetita, tal como se muestra a continuación:

Sección N°1

cp = 40% py = 10% mg = 15%

La chalcopirita, magnetita y pirita ocurren como disseminaciones.

Sección N°2

cp = 10% py = 15% mg = 30%

La magnetita y pirita se encuentran principalmente en venillas, así como en diseminaciones, la chalcopirita se presenta diseminada. Unos pocos granos de chalcopirita están marginados por la magnetita.

Sección N°3

cp = 15% py 10% mg = 50% hm = 1%

4.5.11 GENESIS.

Como resultado de la cristalización y diferenciación de esa gran masa continua que constituye el Batolito de la Costa y que a fines del Cretáceo intruyó la parte occidental del territorio peruano desde Chiclayo hasta Ocoña, se produjeron varias clases de rocas ígneas, que en Monterosas, dadas las evidencias de campo, han sido mapeadas como diorita, granodiorita y hornblendita, que se hallan en contacto a cuatro kilómetros al sur este, con volcánicos andesíticos de la Formación Porfirítica.

Movimientos orogénicos y epirogénicos posteriores, a comienzos del Terciario, produjeron los esfuerzos dinámicos que fracturaron las rocas, y crearon los canales para la ascensión y deposición de las soluciones mineralizantes que quedaron como residuo de la consolidación completa del Batolito de la Costa. Sin embargo G. Steinmann (1930) afirma que adicionalmente a estos flujos mineralizantes, se produjeron intrusiones terciarias menores que aportaron nuevos fluidos, dando origen a la gran mayoría de depósitos ubicados tanto al este, como al oeste del Batolito, principalmente al este, a lo largo de las partes más altas y centrales de la Cordillera de los Andes. Steinmann la llamó zona "hemimagmática" de las intrusivos terciarios y coincide con la faja de mayor plegamiento.

Los últimos efectos de erosión e intemperismo produjeron la denudación, oxidación y enriquecimiento supergénico de las estructuras mineralizadas. La presencia de minerales de mena y ganga, tales como la bornita, chalcopirita, chalcopirrotita, pirrotita, considerados como típicos termómetros geológicos, permiten clasificar el depósito como el de altas temperaturas y elevadas presiones

De acuerdo a la clasificación genética de los yacimientos minerales según W. Lindgren (1913 y 1933), revisada y modificada por L.C. Graton (1933) y A.F. Buddington (1935); Monterrosas se clasificaría como un depósito originado por actividad ígnea, hipogénico, hidrotermal de alcance hipotermal; producido por procesos químicos de concentración efectuados por la introducción de sustancias extrañas a las rocas pre-existentes, dependientes de la actividad ígnea: depositados y concentrados a gran profundidad, presiones y temperaturas elevadas, entre 300° y 500° C.

4.5.12 MINERALIZACION Y PARAGENESIS.

La mineralogía del prospecto Monterrosas es simple, los principales minerales de mena son: chalcopirita, bornita, chalcopirrotita y Chalcocita. Los minerales de ganga son: pirita y cuarzo. Otros minerales localmente abundantes y raros son: Hematita, Magnetita, Pirrotita y Hornblenda.

Según la secuencia mineral establecida por W. Lindgren (1937) y modificada por A.B. Edwards (1947 y 1957), la paragénesis de Monterrosas sería como sigue:

Cuarzo (continuado), hornblenda

Magnetita, hematita

Pirita, pirrotita

Chalcopirrotita

Cuarzo, pirrotita, chalcopirita

Chalcopirita, bornita, chalcocita , chalcopirita

Cuarzo

4.5.13 ALTERACIONES DE LAS CAJAS.

La naturaleza de los productos de alteración depende de: (a) las características de la roca original, (b) las características de las soluciones invasoras y (c) la temperatura y presión a que tuvieron lugar las reacciones.

En los depósitos de alcance hipotermal, la alteración de las rocas encajonantes usualmente no es notable o visible, porque las grandes profundidades de estos medios ambientes impide una importante temperatura diferencial entre las soluciones mineralizantes y las rocas de caja. Por esta misma razón, las vetas y sus productos de alteración acompañantes están probablemente como una gradación hacia la roca, más bien que como límites definidos.

Concluyendo, puede decirse que la alteración de las rocas encajonantes varía de acuerdo al tipo de roca y mineralización. Las alteraciones que presentan las rocas cerca del contacto con las estructuras son:

La hornblendita, presenta ligera epidotización.

Diorita, débilmente sericitizada, cloritizada, en sectores muy aislados e incipiente argilitización.

Granodiorita, débilmente cloritiza, sericitizada.

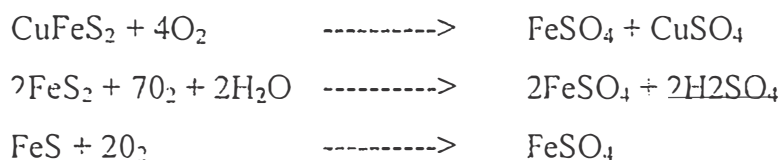
4.5.14 OXIDACION Y ENRIQUECIMIENTO SUPERGENICO.

En Monterrosas el cobre fue lixiviado con facilidad, y allí donde hubo suficiente pirita para formar ácido sulfúrico, la roca que contenía minerales carbonatados que neutralizaron el ácido, se fijó en forma de malaquita con azurita y crisocola subordinadas, quedando en la cobertura limonita y hematita, con impregnaciones de óxidos de cobre, que fue lo que despertó el interés por explorarlo y explotarlo. (Plano N° 6)

El exceso de solución de sulfato de cobre, elaborado a partir del ácido sulfúrico en la zona de oxidación, se filtró y formó al contacto con sulfuros primarios frescos los sulfuros supergénicos y la cuprita, como producto final de la oxidación de la chalcocita.

En Monterrosas Central a la altura del Pique Central, la zona de oxidación alcanza entre 5 a 10 metros de profundidad y la zona supergénica entre 15 a 30 metros. Por debajo de esta zona de cementación profundizan los sulfuros hipógenos.

Las ecuaciones que definen el proceso químico fueron propuestas por Ch. A. Anderson (1950). Los sulfuros hipógenos en contacto con el agua y oxígeno, se transforman y dan como resultado el sulfato de cobre:



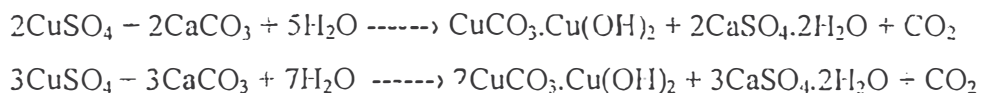
El sulfato ferroso por acción del aire se transforma en sulfato férrico:



El sulfato férrico en contacto con el agua se convierte en limonita, que constituye el sombrero de hierro:



En presencia de la calcita, el sulfato de cobre da lugar a la formación de malaquita y azurita.



El sulfato de cobre y el sulfato ferroso, al reaccionar mutuamente dan lugar al cobre nativo y la cuprita:





El mismo principio rige para la formación del crisocola y atacamita.

La solución de sulfato de cobre excedente al contacto en niveles más bajos o profundos con la chalcopirita y pirita, origina sulfuros secundarios más ricos. La pirita con el sulfato de cobre origina la chalcocina.



El producto final de la oxidación de la chalcocita es el cobre nativo:



De acuerdo con N.P. Peterson (1954), mucha de la covelita presente ha sido formada por la parcial oxidación de la chalcocita.

4.5.15 ZONEAMIENTO.

Durante el período de mineralización, soluciones residuales mineralizantes, invadieron el distrito formando las vetas. Existen diferentes ensamblajes mineralógicos para diferentes zonas dentro del distrito.

Las veta Monterrosas muestran una típica mineralización zonal, siendo más definida en la dirección horizontal, a lo largo de las estructuras, que en la vertical.

El zoneamiento horizontal, se puede atribuir a los cambios mineralógicos con relación a la temperatura de deposición de los minerales, deducidos del metamorfismo de las rocas encajonantes. De esta manera se ha determinado tres zonas principales. Las características de cada una de las zonas son las siguientes:

- **Zona Oeste:** Sector de la veta Monterrosas al oeste del pique principal, donde se aprecia mayor silicificación de las cajas, además se aprecia varios ramales de anchos variables de jaspe, formado por el metamorfismo térmico de la

calcedonia . El relleno de las fracturas, que alcanza hasta 15 metros de potencia, se caracteriza por el predominio casi absoluto de magnetita, hematita y siderita; el cuarzo se presenta en menor cantidad dentro de la estructura. La mineralización de cobre no es muy importante en este sector. Los minerales de esta zona, indican que la deposición fue a mayor temperatura que en el resto u otras zonas de la estructura.

Zona Central: Es el sector comprendido entre las inmediaciones del pique Principal. Se caracteriza por la mayor presencia de magnetita, hornblenda y pirita, a las cuales está asociada la mineralización primaria de cobre como: chalcopirita, bornita, chalcopirrotita y chalcocita. La ganga la conforman: pirrotita, cuarzo, y muy poca cantidad de yeso. En tramos se observa cristales prismáticos de actinolita con incipiente alteración a talco.

En la zona de oxidación y enriquecimiento se encuentran: azurita, malaquita, crisocola, cuprita, covelita, chalcocita, limonita, hematita y jarosita. La temperatura de deposición de los minerales primarios en esta zona, es menor que los de la zona oeste y mayor que los de la zona este.

Zona Este: Comprende el extremo oriental de las estructuras. En los afloramientos predomina el cuarzo y la mineralización secundaria la forman impregnaciones de malaquita, azurita y crisocola a lo largo de los planos de fractura. Esporádicamente se presentan chispas de chalcopirita y chalcocita. La mineralización hipogénica, dadas las características de la zona de oxidación, como lo observado en las labores de exploración, puede predecirse como sin valor económico, ya que la distribución de la mineralización está limitada al relleno de finas fracturas en el cuarzo. Esta zona corresponde a la de menor temperatura de deposición a lo largo de la estructura.

Las características del zoneamiento vertical en la parte central del yacimiento han sido plenamente definidas por la explotación llevada a cabo en este sector hasta el nivel 920, donde la zona de oxidación llega en promedio

a 10 m de profundidad, la zona supergénica a 30 m y la zona primaria a hasta 180 m de profundidad en las zonas de los clavos.

La información proporcionada por la explotación nos indica que la zona del mineral primario, principalmente pirita y chalcopirita desaparecen en profundidad, aumentando progresivamente la magnetita.

4.5.16 CONTROLES DE MINERALIZACION.

A) ESTRUCTURAL.

El principal control de la mineralización en el yacimiento Monterrosas es el estructural. Esto es evidente ya que la mineralización se presenta sólo en vetas por relleno de las fracturas a través de las cuales se movilizaron las soluciones mineralizantes. La diorita y granodiorita por ser rocas competentes y quebradizas, han sido fácilmente fracturadas, siendo las fracturas abiertas y regulares (fracturas de tensión).

B) LITOLÓGICO.

El control litológico está determinado por los dos tipos de rocas encajonantes a lo largo de la veta Monterrosas, las cuales probablemente han influido en la distribución espacial de los minerales. Así, puede verse que la asociación de chalcopirita, pirita, magnetita y hornblenda está localizada en la parte occidental del área mapeada (zona central); la asociación de magnetita, siderita y hematita al oeste de esta zona y, relleno mayormente de cuarzo con impregnaciones débiles de óxidos de cobre al este de la zona explotada.

La preferencia por la diorita y hornblenda mostrada por los clavos mineralizados es bien marcada. Sólo lentes discontinuos y pequeños se encuentran en la granodiorita.

4.5.17 FORMA Y TIPO DE YACIMIENTO.

La mineralización del yacimiento Monterrosas se presenta en vetas que han sido formadas por relleno de fisuras asociadas a la actividad ígnea, debido a la intrusión del Batolito de la Costa, que al final de su consolidación y formación de las fracturas de tensión, aportó las soluciones residuales mineralizantes que invadieron el distrito, dando lugar a la formación de vetas. G. Steinmann (1930) declara que hubieron intrusiones terciarias menores que también aportaron soluciones residuales y relaciona la gran mayoría de yacimientos ubicados en el perímetro del Batolito con éstas, llamándola zona “hemimagmática”.

En superficie la veta monterrosas ha sido reconocidas superficialmente a lo largo de 4.5 kilómetros, de los cuales 350 metros en el Sector Central han sido explotados parcialmente hasta la profundidad de 150 m. Verticalmente la mineralización ha sido reconocida plenamente hasta el nivel 1020. Las vetas en el nivel 1070 alcanzaron hasta 25 metros de ancho. La mineralización se encuentra confinada a dioritas en el sector oeste y granodiorita en el este. Las vetas tienen un rumbo variable N 60°-75° W y buzamiento de 75° NE a vertical.

Las vetas de mayor mineralización fueron formadas a lo largo de las fracturas de tensión. Las fallas locales de cizalla (originadas por esfuerzos de compresión), por contener mucho panizo no fueron mineralizadas, o fueron muy pobremente mineralizadas. En las fracturas de tensión, las zonas mineralizadas de valor económico la constituyen clavos mineralizados de ocurrencia aislada. Las vetas en Monterrosas, superficialmente presentan ramales y fracturas subsidiarias, mientras en profundidad se toman más definidas

.6 RESERVAS DE MINERAL LIXIVIALE.

Las reservas probadas y probables al 31 de diciembre de 1986 ⁽⁴⁾, fecha en que se paralizó la explotación de la mina, está conformada por las siguientes zonas:

- **Monterrosas Central (Plano N°8)**; se encuentra en la parte intermedia de la estructura y comprende una longitud de 500 metros con una potencia promedio de 20 metros. Este sector ha sido explotado hasta el nivel 1020, es decir hasta una profundidad de 150 metros.

Por debajo del nivel 1020 se ha estimado la continuidad de la estructura hasta el nivel 920, con un ancho promedio de 10 metros.

Asimismo entre la superficie y el nivel 1020, quedaron puentes, pilares, sombreros y cajas remanentes de la explotación anterior.

- **Las zonas Monterrosas Este y Oeste (Plano N°5)**, aledañas a la veta Monterrosas Central, presentan estructuras mineralizadas de menor potencial y ley; sin embargo, se infiere un importante volumen de mineral tal como se muestra en el cuadro de reservas. La zona Este que se encuentra a continuación de la Zona Central, ha sido explorada parcialmente mediante galerías en los niveles 1070 y 1130, en una longitud aproximada de 150 metros. Asimismo la Zona Oeste, otra area mineralizada semejante a la veta Monterrosas, ha sido ubicada a unos 300 metros de la Zona Central, también ha sido explorada en el nivel 1050, mediante una galería de 80 metros y cruceros cada 20 metros.

El peso específico para el cálculo del tonelaje, según el departamento de geología de Centromin Perú es de 3,5 para las TM y de 3,85 para las TCS.

Los niveles de explotación de la mina están referidas al nivel del mar.

RESERVAS PROBADAS Y PROBABLES

ZONA	NIVEL	CONDICION	TM	COBRE TOTAL %	PLATA (Oz)	ORO (Oz)	COBALTO (%)
Monterrosas Central	Superficial Nv. 11300	Remanente Explot. Blocks : A-B-C	415 000	1.30	2.8	0.06	0.1
Monterrosas Central	Nv. 1130 Nv. 1020	Remanente Explot. Blokse-F-G-H-I-JK.	195 000	0.90	2.7	0.06	0.1
Monterrosas Central	Nv. 1020 Nv. 950	Sin explotar Block : L	900 000	0.85	2.5	0.06	0.1
TOTAL			1 510 000	0.95	2.6	0.06	0.1

RESERVAS POTENCIALES

ZONA	TM	COBRE TOTAL %
Monterrosas Oeste	1 250 000	0.52
Monterrosas Este.	350 000	0.90
TOTAL	1 600 000	0.54

Existen otras estructuras mineralizadas en el area de Monterrosas como la vetas Montekeka, Carmen, Sol Radiante, etc. con leyes marginales que pueden ser explotadas por el sistema de lixiviación in situ.

4.7 ZONA PROPUESTA PARA LA LIXIVIACION IN SITU.

Para una primera etapa se propone la lixiviación de los siguientes bloques: El bloque "A", ubicado en el extremo Este de la veta Monterrosas Central, (Plano N°9) entre la superficie (Nv. 1190) y el Nv 1070 y comprende 250 000 TM con una ley de 1.3 % de cobre total (1.0% óxidos + 0.3% sulfuros). Es accesible desde la superficie y fue explotado en su parte inferior como sulfuros, habiendo quedando sin explotar la zona superficial por presentar minerales oxidados de cobre, no apto para el proceso de concentración por flotación en esa esa época.

El Bloque "L", ubicado en el sector central de la veta Monterrosas, entre los niveles 1010 y 950. La longitud de la veta en este sector es de 300 metros, con un buzamiento generalizado de 83° NE, 60 metros de alto y un ancho promedio es de 10 metros. Las características geológicas, mineralógicas y texturales se mantienen con respecto a lo observado en los niveles superiores. En el extremo NE de la veta se observa un sistema de fallas de cizalla que es la más importante, con una orientación N 50° E y buzamiento 85° SE. En la parte central y en el extremo SE, se observan fallas de menor importancia, con aproximadamente el mismo rumbo y buzamiento.

La mineralización en este nivel esta constituida por sulfuros primarios, principalmente de chalcopirita, chalcopirrotita y bornita, intimamente asociada a una ganga mayormente piritosa, magnetita y hornblendita. La reserva correspondiente al block "L" es de 900 000 TM con una ley de 0.85 % de cobre.

El BLOCK "L", es accesible desde superficie através del Nv 1070 y luego una rampa hasta el nivel 1020 (labores existentes). Desde este nivel se construirá un pique de 3.0 m. por 1.5 m. hasta el Nv. 1010, donde se construirá la cámara de perforación y voladura y que posteriormente se convertirá en el nivel de aplicación del lixiviante. Luego se continuará bajando el pique hasta el nivel 950 donde se construirá la cámara inferior de recepción del mineral fragmentado y que finalmente se convertirá en el nivel de recepción de la solución impregnada.

La cantidad total de mineral ha lixiviarse en esta primera etapa comprenderá la cantidad de 1 150 000 TCS, con una ley de 0.95 % de cobre total.

Mineral Potencial para la lixiviación: En etapas sucesivas pueden integrarse al proyecto de lixiviación los minerales remanentes de Monterrosas Central y los minerales potenciales de Monterrosas Este y Oeste, haciendo un total de 2 145 000 TM con una ley de 0.58 % de cobre.

La explotación de éstos minerales potenciales incrementará la vida y la rentabilidad del proyecto, justificandose plenamente la inversión y puesta en producción de la primera etapa.

4.8 PREPARACION Y DESARROLLO.

- **Las labores de preparación y desarrollo para el block "L", entre los Nv. 1010 – 950 (Plano N° 10).**

Pique desde el nivel 1020 al nivel 950, con una sección de 3 m por 1.5 m. con una longitud de 60 metros. Tendrá la finalidad de acceso, ventilación y bombeo de las soluciones.

- Cámara superior de perforación DTH, ubicada en el nivel 1010, tendrá una longitud de 300 m. por 10 m. de ancho y 4 m de altura. A partir de este nivel se perforarán los taladros DTH y la voladura VCR de las chimeneas y del tajo. Al final se constituirá en el nivel superior desde donde se aplicará el lixivante.

Cámara inferior en el nivel 950, tendrá la finalidad de proveer la cara libre inferior para la voladura del tajo, servirá de acceso y también para la recuperación de las soluciones productos de la lixiviación. Dicha cámara tendrá un largo de 280 m de largo por 10 m de ancho y 5 m de altura. La altura señalada servirá para captar el exceso de volumen debido al esponjamiento del mineral roto.

Galería en el Nv. 950, paralela a la cámara inferior y comunicándose cada 25 m., mediante cruceros de 5 m. de largo. Esta galería tendrá la finalidad de recepción y control de las soluciones cargadas de cobre y se construirá en la caja piso.

Dos chimeneas VCR, del nivel 1010 al 950, ubicadas en los extremos del tajeo, tendrán la finalidad de proveer cara libre para la voladura VCR y brindar la ventilación durante las operaciones de minado. Las dimensiones de la chimenea serán de 5 m por 5 m y posteriormente será ampliado al ancho del tajeo.

- Una chimenea VCR, de ventilación en el extremo oeste de la galería del nivel 950, con la finalidad de proveer la ventilación para el tajeo y la galería de control.

Preparación para la lixiviación del block "A" entre los niveles 1190 – 1070

El presente block se encuentra expuesto en la superficie, en su sector inferior fue explotado como sulfuros a partir del nivel 1130. El lixiviante se aplicará desde superficie y la solución rica será recuperada en el Nv. 1070. No habrán mayores gastos de preparación debido a que se aprovechará las labores de la explotación anterior, tanto para la captación y el control de las soluciones.

El mineral roto, producto de las labores de preparación y desarrollo que suman 93 000 TM, se emplazarán en el nivel 1020, este nivel explotado anteriormente presenta el espacio libre suficiente para captar este remanente; este material se integrará también al proceso de lixiviación.

4.9 PREPARACION PARA LA LIXIVIACION IN SITU.

Son labores complementarias para desarrollar el proceso de lixiviación, dentro de éstos tenemos la perforación de taladros para el ingreso y salida de las soluciones, preparación del tajo, para encausar adecuadamente las soluciones lixiviantes de tal modo que no se infiltren a través del piso o de las cajas del tajeo.

Comprende principalmente las siguientes acciones:

- **Entre los niveles 1010- 950 (Block “L”).**
- Perforación de dos taladros de 6 pulgadas de diámetro, en los que se instalarán las líneas de circulación de la solución lixiviante y de la solución impregnada, respectivamente.

Impermeabilización del piso del tajo del Nv. 950, con la finalidad de evitar la pérdida de las soluciones, así como la posible afectación de las aguas freáticas, mediante la colocación de mantas de polietileno. Para este efecto se practicará en el piso del tajo una cavidad longitudinal a ambos lados de una cierta profundidad, con la finalidad de que la manta de polietileno quede insertada en esta cavidad a lo largo del tajeo, a fin de captar todas las soluciones incluso

las que se puedan infiltrar a través de la caja piso. Luego de colocarse la manta de polietileno de alta resistencia se colocará una capa de mineral fragmentado de dos metros de altura que servirá como un medio de amortiguación, a fin de que los sucesivos disparos que se acumularán en el tajo no la dañen.

Perforación de taladros de control y captación de soluciones en la roca encajonante, con la finalidad de captar y controlar las posibles soluciones ácidas que puedan infiltrarse a través de la roca encajonante, se harán taladros de 6 pulgadas de diámetro especialmente en la caja piso y en zonas estructuralmente débiles como son las zonas de fallas y diaclazamientos. Estos taladros se perforarán verticalmente desde superficie hasta el nivel 940, es decir 10 metros debajo del nivel inferior del tajo, con la finalidad de monitorear las posibles infiltraciones que pueda originarse por las cajas o por el piso, ante la eventualidad de rotura de la manta de polietileno en la base del tajo.

Construcción de la cámara de bombeo en el nivel 950, con la finalidad de captación y bombeo de la solución impregnada, la misma que fluirá hacia a la cámara, debido a la gradiente positiva del nivel de colección.

- **Entre los niveles 1190(superficie) – 1070 (Block “A”)**

En la parte superficial propuesta, el lixivante se aplicará directamente. La colección de las soluciones tal como se expuso anteriormente se llevará a cabo en el Nv. 1070, a través de esta galería se enviará a la Planta SX-EW la solución rica, aprovechando la infraestructura existente.

4.10 PERFORACION Y VOLADURA DE LOS BLOKS.

4.10.1 GENERALIDADES.

La operación de perforación y voladura, con la finalidad de lograr una fragmentación adecuada del mineral es uno de los aspectos mas importantes para la lixiviación In Situ.

Las características geológicas, estructurales y geomecánicas del mineral y de las rocas encajonantes así como la experiencia propia del autor en la explotación desarrollada en la mina Monterrosas permitieron determinar los parámetros para la perforación y la voladura.

La referida mina fue explotada por el método VCR (Vertical Crater Retreat), cuya eficiencia es similar a una explotación a tajo abierto ⁽⁵⁾. Este método consiste en la perforación de taladros largos y de gran diámetro y luego la voladura de banqueo aprovechando la teoría del cráter.

En Monterrosas Central se perforó taladros de 60 metros de longitud, con diámetros de 6 y 6.5 pulgadas, mediante la técnica de perforación DTH (Down The Hole) y fueron volados con cargas concentradas de 1.0 metro de altura, utilizando explosivos de alto poder y espaciados mediante microretardos.

La perforación DTH y la voladura VCR, requerido para la fragmentación del mineral y para la lixiviación in situ; por su bajo costo, alta eficiencia, se muestran como una combinación ideal para lograr la explotación económica de los yacimientos marginales.

Se presenta a continuación un cuadro comparativo entre los costos(3) de operación de una minería convencional y la minería in situ.

	CONVENCIONAL (Strip ratio = 1 : 1) S/TM	IN SITU S/TM
Preparación	0.40	0.16
Perforación	0.38	0.44
Voladura	0.51	0.54
Transporte	0.35	0.10
Tratamiento (conc. + refin)	2.83	-
Lixiviación	-	0.63
Recuperación (SX + EW)	-	0.65
Administración	0.80	0.32

Medio ambiente y Seguridad	1.51	0.21
Gastos generales, ventas, etc	1.35	0.56
TOTAL S/TM	8.13	3.61

DTH – Down The Hole, Sistema de perforación dentro del taladro.

VCR – Vertical Crater Retreat, Voladura de taladros verticales en retroceso.

4.10.2 PAR. ÁMETROS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA.

- Estructura mineralizada : Veta filoneana de forma tabular, con rumbo general N75°W, con un buzamiento 85 ° N a Vertical.
- Mineral: Pirita, magnetita, hornblendita, sulfuros primarios y secundarios de cobre relleno de fracturas y micro fracturas dentro de una matriz de roca diorítica.
- Estructura : Fallamiento y diaclasamiento con rumbo general N 50° E y buzamiento de 85° SE. Se observa dos fallas localizadas al NE y SE de la explotación y la zona de diaclasamiento en la parte central.
- Textura : Compacta y fracturada en la zona de diaclasamiento
- Densidad in situ: 3.2 toneladas / m³
- Dureza : 6.0 en la escala de MOHS.
- Tenacidad : Quebradiza o friable de fácil fragmentación
- Frecuencia sísmica : Velocidad de las ondas 6000 a 7000 m/seg.
- Porcentaje de esponjamiento : 25 %
- Resistencia a la compresión : 1400 Kg/cm²
- Resistencia a la tensión : 480 Kg/cm²

Estos datos de campo y laboratorio permitieron determinar los parámetros de perforación y voladura.

4.10.3 PERFORACION.

Selección de la malla de perforación

La malla de perforación seleccionada para la voladura del tajeo es de 3.0 m. por 3.0 m. del tipo alterno con orientación de Norte-Sur, con un

diámetro de 6.5 pulgadas y concordante con la inclinación de la veta. (Plano N°). La referida malla permitiría obtener una fragmentación adecuada de acuerdo a la distribución de tamaños de partículas que se presenta a continuación:

Fragamentación (cm)	< 0.5	0.5-1	1-5	5-10	10-30	>30
Distribución (%)	25	20	15	25	10	5

De lo observado en el presente cuadro, el 85 % de los fragmentos presenta un diámetro menor a 10 cm, y 45 % de fragmentos menores a 1 cm., lo que asegura una óptima velocidad de percolación y recuperación.

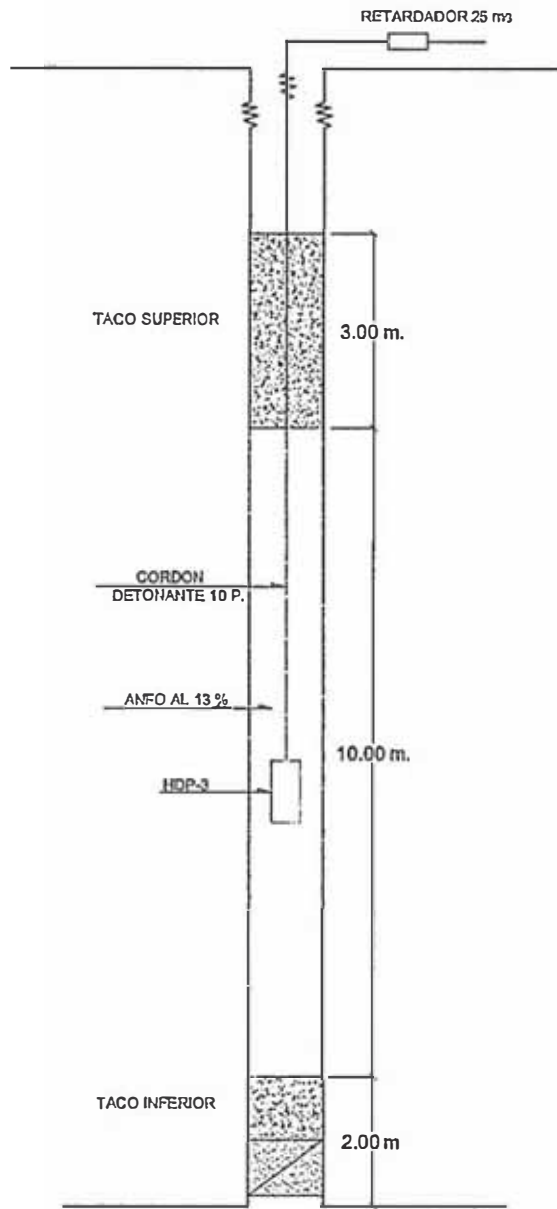
El trazo de perforación, para la voladura de las chimeneas, es del tipo cuadrangular en su parte externa con un espaciamiento de 1.0 metros, y en su parte interna del tipo triangular con un espaciamiento de 0.9 metros, con un número total de 7 taladros de 6.5 pulgadas de diámetro. (**Gráfico N° 5**).

Operación de perforación.

Los taladros serán perforados mediante un equipo DTH, con un diámetro de taladro de 6,5 pulgadas, alcanzando una longitud promedio de 60 metros, de nivel a nivel y con una inclinación concordante al buzamiento de la veta.

La perforadora será estacionada en los puntos de la malla, ubicados topográficamente. Cuando la perforación es vertical no hay dificultad en el posicionamiento de la máquina, pero si los taladros presentan inclinación deberán estacionarse perpendicularmente al rumbo de la veta.

Durante el proceso de perforación, especialmente en los primeros metros será necesario verificar el alineamiento de la columna de perforación tanto en el rumbo, como en el buzamiento.



COLUMNA DE CARGA EN TAJO

GRAFICO No. 5

En el transcurso de la perforación se realiza los muestreos correspondientes a partir de los detritus de perforación que se origina en el proceso.

4.10.4 VOLADURA.

Según datos obtenidos en el área de Monterrosas Central, los taladros perforados no presentan humedad y presentan regularidad en sus características geomecánicas, a excepción de las zonas de fallas. En general los explosivos seleccionados fueron los siguientes:

- **Anfo.**- Explosivo normalizado, 94.4% de nitrato de amonio y 5.6% de petróleo diesel N°2, son usados en taladros de banqueo.
- **Anfo Aluminizado.**- Para darle mayor energía al Anfo, es utilizado como carga de fondo en los taladros de banqueo. Presenta una mezcla de 85 % de nitrato de amonio, 5% de petróleo diesel N°2 y 13% de aluminio.
- **Slurrex.**- Es un Slurry aluminizado de alta potencia, y gran velocidad de detonación y poder rompedor y excelente resistencia al agua. Se usa como carga puntual por su alta energía y densidad relativa en los disparos tipo cráter para la construcción de las chimeneas.
- **Iniciadores.**- Para las columnas de Anfo y Anfo aluminizado se utilizan los iniciadores HDP-1 y para la columna de slurrex se emplea HDP-3..
- **Cordón Detonante.**- Pentacord 10 PE o similar con carga.
- **Retardos.**- Se utiliza retardos de 9 y 17 milisegundos en los intervalos.
- **El explosivo.**- utilizado normalmente es el Anfo con 13%de aluminio, salvo se presenten condiciones especiales para la voladura, en ese caso será necesario, el uso selectivo de otro tipo de explosivo.

Parámetros de Perforación y Voladura para el banqueo (5).

- Mineral: Diorita con relleno de magnetita, óxidos de fierro y cobre, sulfuros de cobre y pirita.

- Densidad del mineral: 3.2
- Malla de Perforación: Alterna- Alineados con rumbo E-W.
- Explosivo: ANFO + Al 13%
- Piedra o Burden: 3.0 m
- Espaciamiento: 3.0 m
- Diámetro de taladro: 6.5 pulgadas
- Longitud del taladro: 60 m.
- Taco Final: 3.0 m
- Taco de fondo: 2.0 m
- Iniciador: Booster HDP-1
- Retardos entre taladros: 25 milisegundos
- Longitud de carga: 10 m
- Densidad de carga: 28 lb/pie.
- Factor de potencia : 0. 80 Kg/ TM

Parámetro de perforación y voladura para chimeneas

Trazo de perforación: Externa-Cuadrada, 3m x 3m

Interna- Triangular, 0.9 m entre taladros

- Relación de atacado: 0.8
- Factor de potencia: 1.2 lb/pie
- Método de voladura: VCR (Vertical Crater Retreat)
- Densidad del mineral (sulfuro primario): 3.2 Tm/M3 (in situ)
- Explosivo: Slurrex 80.
- Densidad explosiva: 1.0 TM/M3
- Iniciador: Booster HDP-1
- Retardo entre taladros: 10 milisegundos
- Diámetro de taladros: 6.5 pulg.
- Longitud de taco de fondo: 0.9 m
- Longitud de taco superior: 0.9 m
- Longitud de columna de carga: 0.9 m
- Densidad de carga: 40 lb/pie

- Factor de potencia: 1.2 Kg/TM
- Método de voladura: VCR(Vertical Crater Retreat)

4.10.5 OPERACIONES DE CARGUÍO Y VOLADURA.

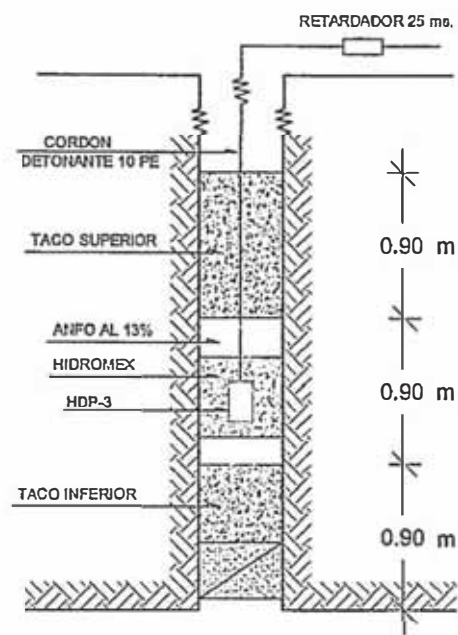
a) Para los taladros de banqueo (Gráfico N°6).

Una vez concluida la perforación de los taladros de nivel a nivel, se procede al banqueo de abajo hacia arriba en rebanadas de 10 m. de altura; para este efecto se procede de la siguiente manera: se taponea en su extremo inferior el taladro utilizando una cuña de madera de forma cilíndrica ligeramente de menor diámetro que el taladro, que es cortada diagonalmente en forma de dos cuñas, éstas van pegadas entre sí con cintas adhesivas ligeramente desplazadas para lograr un diámetro ligeramente menor que el taladro y que una vez ubicada en su posición, mediante golpes desde la parte superior con una bola metálica de una libra de peso, se desliza una con respecto a la otra hasta quedar presionada en el taladro a modo de un tapón. En seguida se coloca una columna de detritus que servirá de taco inferior de 2 metros de altura convenientemente atacada, sobre este material se rellena el ANFO hasta una altura de 8.0 metros., en el punto intermedio previamente se ha colocado el booster HDP, suspendida del cordón detonante 10 P. Sobre la carga superior se coloca un taco de 3 metros de altura con material detrítico tal como se muestra en el gráfico N° 6.

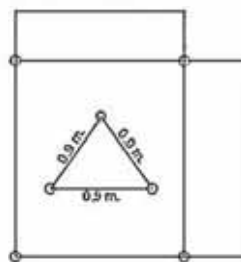
Una vez concluido el carguío de los taladros se procede a conectarlos entre sí secuencialmente, utilizando en este caso el sistema no eléctrico nonel con retardos de 25 milisegundos. Concluida esta operación se procede al iniciado de la voladura utilizando el cordón detonante 10 PE y en su parte final una guía de seguridad de 10 pies de longitud.

b) Para los taladros de la chimenea.

Por tratarse de disparos con una sola cara libre, la malla de perforación (Gráfico N° 6)deberá ser más ajustada, tal como se describe en el



COLUMNA DE CARGA CHIMENEA



TRAZO DE PERFORACION DE LA CHIMENEA

GRAFICO No. 6

acápite anterior, por lo tanto la longitud de carga de voladura será menor, en este caso de 3.0 metros y se utilizará también un explosivo de mayor potencia, en este caso slurrex.

Segun Levingstone, en ⁽⁹⁾ la longitud óptima para una voladura tipo cráter puede determinarse mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Long. Optima} = 0.5 \times S (3 \pi P)^{\frac{1}{2}} \times 10 \times D$$

S = Factor de energía (depende del tipo de explosivo y de la roca)

P = Grado de compactación de la carga Kg/dm³

D = Diámetro del taladro en mm

Como en el caso anterior se taponea el taladro en su parte inferior y sobre éste el taco inferior de 0.9 m de altura, luego la carga de slurrex de 1.0 m de altura, con un iniciador booster en la parte central suspendido con un cordón detonante 10 PE y finalmente un taco superior de 2 m de altura. Una vez concluido con el carguío de los siete taladros se conectan entre si, utilizando retardos del tipo fanel de 25 mili segundos. Finalmente como en el caso anterior se procede a iniciar la voladura.

4.11 LIXIVIACION.

Como se señaló anteriormente, se lixiviará en primer lugar la zona de sulfuros es decir el Block L (**Plano N° 11**), para lo cual la solución lixivante es aplicada por aspersion en el nivel 1010 con un rate de percolación de 8,5 lt/hora/m². Esta solución se percola hasta el nivel 950, desde donde es bombeada a la superficie para la lixiviación de la zona de oxidos perteneciente al Block A, a partir del nivel 1190 (superficie) al nivel 1070. En este nivel la solución es colectada y enviada a la superficie para su tratamiento. en la planta SX-EW.

La solución lixivante se hace llegar por gravedad a los diferentes niveles mediante un sistema de tuberías PVC de 4", 3", 2"φ y mangueras de polietileno de 2"φ, provistos de sistemas de aspersión y válvulas reguladoras de flujo. La solución rica es bombeada mediante tuberías de alta presión a superficie para su tratamiento.

La lixiviación se harán en forma sistemática considerando los periodos de oxidación-lixiviación, estos periodos pueden variar de acuerdo a la productividad del mineral.

La solución cargada de cobre (Acáp. 4.4) con una ley de 1.5 g/l , es recuperada y represada en el nivel 950 y desde este punto es bombeada a superficie (Nv. 1190), para la lixiviación de la zona "A"; la solución infiltrada se recuperará en el nivel 1070 y posteriormente será bombeada a la planta de tratamiento SX-EW. La solución lixivante al atravesar la zona de óxidos incrementará su contenido de cobre en 5 g/l y a la vez disminuiría su contenido de fierro. Ver diagrama de flujo en el **Plano N° 12**.

4.11.1 PARÁMETRO DE LIXIVIACIÓN.

Ver Acápite 4.4.2

4.11.2 EXTRACCIÓN POR SOLVENTES (SX) Y ELECTRO DEPOSICIÓN (EW).

La solución rica, llega desde el nivel 1070 por gravedad hasta la Planta SX-EW para su tratamiento, con una concentración de 5.0 g/l y luego la solución "barren" es bombeada a la mina para continuar con el ciclo de lixiviación.

4.11.3 BALANCE DE FLUJOS Y SOLUCIONES.

Area de lixiviación: Block (A+ L)	4 600 m ²
Tonelaje Block (A + L)	1150000 TM
Contenido metálico de cobre 1150000 x 0.95 %	10 925 TM
Cobre recuperable 10 925 x 60%	6 555 TM
Flujo lixivante: 4 600 m ² x 8,5 l/hor/m ²	39 100 l/hora
Flujo de impregnado recuperable: 39 100 x 90 %	35 190 l/hora

Volumen de impregnado por mes: 35 190 x 24 x 30	25 336 800 l
Contenido de cobre en el impregnado	5.0 g/l
Tonelaje teórico de cobre por mes:	127 TM
Porcentaje de extracción mensual de cobre fino:	1.93 %
Tiempo de extracción del mineral: 6555 / 127	5.0 años

12 EQUIPOS Y ACCESORIOS REQUERIDOS PARA LA PERFORACION, VOLADURA Y LIXIVIACION.

4.12.1 PERFORACION.

Perforador DTH ROC-306 A.COPCO
 Consumo de aire: 500 CFM
 Presión de aire: 150 PSI
 Longitud de barrenos: 5 pies
 Unidad de percusión: COP 6
 Consumo de agua: 27 lt/min.a una presión de 80 PSI
 Unidad de avance : 36 K pet. 7 700 lib
 Unidad de rotación BBR 6 de 1400 pies-lib
 Sistema Articulado
 Giro vertical: 180°
 Giro lateral: 140°
 Barrenos de perforación: 4.5" diámetro por 5
 Brocas: 6,5 "
 Compresora de aire: 9000 CFM y 150 PSI
 Línea de aire de 4": 400 m
 Línea de agua de 2": 400m

4.12.2 VOLADURA.

Tacos de madera de 6,0 pulg. de diámetro
 Hilo de yute de 1/32 pulg. de diámetro
 Explosivos anotados en el acápite de 4.4.2.

4.12.3 LIXIVIACION Y SX – EW.

Tubos PVC de 4 pulg. de diámetro

Tubos PVC de alta presión de 3 pulg. de diámetro

Tubo PVC de 2 pulg. de diámetro

Válvulas reguladora de 4”, 3” y 2 ”

Bombas de acero inoxidable de 2.5 HP

Bombas de acero inoxidable de 5 HP

Celdas de electrodeposición

Mezcladores o contactores.

Tanque de almacenamiento de 50 m³

4.12.4 SERVICIOS.**AGUA**

Tuberías PVC de 3”, clase 10

Bomba de 100 HP

Bomba de 15 HP

Tanque de almacenamiento de 150 m³ y 50 m³

Válvulas reguladoras de 3” y 2”

ELECTRICIDAD

Cable de alta tensión

Cable de mediana tensión

Transformadores de 50 y 100 Kv

VENTILACION

Extractor de 5000 CFM

LABORATORIO

Espectrofotómetro de masas

Balanza de precisión

Trituradora y molino.

TALLERES

Banco

Maquina de soldar

Equipo mecánico y eléctrico.

OBRAS CIVILES

100 m2 mina

200 m2 planta

100 m2 talleres

120 m2 almacén, laboratorio, oficina

5 Km de rehabilitación de carreteras

Agua y desagüe

Planta de tratamiento de aguas servidas.

4.13 ORGANIZACION Y ADMINISTRACION.

Superintendente General

Jefe de operaciones

01 Ingenieros metalurgistas

01 Ingeniero de Minas

01 Administrador

Perforación y voladura (para la etapa de preparación del mineral).

Por cada turno de 8 horas:

1 Supervisor

1 perforista.

1 ayudante de perforista

1 disparador

1 ayudante disparador

- **Lixiviación.**

Por cada turno de 8 horas

Mina

1 supervisor

2 lixiviadores

1 ayudante de apoyo

Planta SX-EW

1 supervisor

3 operadores

1 ayudantes de apoyo

Servicios y Mantenimiento

1 supervisor

2 operarios

1 empleados

4.14 PERFORMANCE DE PERFORACION Y VOLADURA (5).

Velocidad de perforación:	4.5 m/hora
Metros perforados/mes	1 600 m/mes
Disponibilidad mecanica	85 %
Disponibilidad efectiva	77 %
Velocidad neta de perforación	0.3 m/min.
Vida promedio de broca	1 000 m.
Vida promedio de barras	30 000 m
Vida promedio del martillo	10 000 m.
Rendimiento	100TM/m.de perforación
Factor de potencia	0.425 lb/TM

4.15 ESTUDIO ECONOMICO.

4.15.1 COSTOS

PREPARACIÓN Y DESARROLLO.

Pique del Nv. 1020 al 950 (3.5 x 1.5 x 60 m x \$ 500)	\$ 30 000
Cámara superior Nv.1010 (6x6x300 m x \$250/m)	\$ 90 000

Cámara inferior Nv 950 (6x6x300 m x \$300/m)	\$ 90 000
Chimeneas VCR (120 m x \$166 /m)	\$ 20 000
Habilitación Nv. 1190-1070	\$ 10 000
Costo total de preparación y desarrollo	\$ 240 000

PERFORACIÓN DTH (11 800 m)

	\$/ TM
Costo de broca de 6.5"	0.102
Costo de la barra	0.042
Costo del martillo DTH	0.063
Costo de labor	0.045
Costo de aire comprimido	0.083
Costo Equipo DTH(depreciación)	0.095
Costo total de perforación	0.439

VOLADURA.

	\$/TM
Costo de explosivos	0.405
Costo de materiales	0.096
Costo de labor	0.039
Costo total de voladura	0.540

EXTRACCION MINERAL REMANENTE

Costo de extracción(incluido depreciación)	0.10
--------------------------------------------	------

LIXIVIACIÓN MINA.

	\$/TM
Lixiviación ²⁾	0.63
Costo Total	0.63

TRATAMIENTO PLANTA (SX-EW).

Tratamiento ²	0.65
--------------------------	------

OTROS GASTOS.

Medio Ambiente y seguridad	0.210
Administración	0.320
Gastos generales	0.350
Gastos de ventas	0.210
Costo total otros gastos	1.090

COSTO UNITARIO DE PRODUCCION**Costo Total**

Costo Unitario de Operación	3.449 \$/TM
1 TM de mineral → 13.112 lib de cobre fino	0.263 \$/lib
Costo mensual $0.263 \times 127 \times 2200$	73 482
Costo Anual	\$ 871 728

14.15.2 INGRESOS.

Valor de la libra de cobre (proyectado a 5 años)	\$ 0.75
Producción mensual de cobre fino:	127 TM
Ingreso Mensual $127 \times 0,75 \times 2200$	\$ 209 550
Ingreso Anual	\$ 2 514 600

14.15.3 INVERSIONES.**Inversión fija**

Preparación y Desarrollo	240 000.00
Perforación y Voladura	250 000.00
Extracción	30 000.00
Lixiviación	120 000.00
SX- EW (150 gal/min.)	720 000.00
Servicios (agua,electricidad,otros)	670 000.00
Capital de trabajo	180 000.00
Escalamiento	150 000.00
Ingeniería y otros	140 000.00
TOTAL INVERSIONES	\$ 2 500 000.00

Cabe señalar que debido a la existencia de infraestructuras que han quedado de la explotación anterior como son: carreteras de acceso, pozos de agua en funcionamiento, bases para la tubería de agua, postes para la línea de alta tensión, plataformas, cimentaciones, pozas, presas, campamentos, etc, que abaratarán significativamente los costos de la inversión inicial.

Se estima que el tiempo para la puesta en marcha del proyecto es de un año.

14.15.4 FINANCIAMIENTO.

La ejecución del proyecto requiere una inversión de \$2 500 000, del cuál el 40 % es capital propio y el 60 % será financiada a una tasa de interés del 12% anual para un periodo de 5 años.

Monto de la inversión financiada:	\$1 500 000
Amortización anual:	\$416 115
Pago del principal:	\$300 000
Intereses anual:	\$116 115

4.16 EVALUACION ECONOMICA.

14.16.1 DETERMINACION DEL FLUJO NETO DE FONDOS

Ingresos Anuales($127 \times 0.75 \times 2200 \times 12$)	2 514 600
Costos Anuales ($127 \times 0.26 \times 2200 \times 12$)	(871 728)
Intereses anuales	(116 115)
Margen Bruto de Operación 21500	1 526 757
Depreciación anual 20% de 2,730 000	(500 000)
Utilidad antes de la participación laboral e impuestos	1 026 757
Participación Laboral (8 %)	(82141)
Utilidad antes de los impuestos	944656
Impuesto a la Renta 30% de 1016 694	(283 396)
Utilidad después del impuesto	661258
Depreciación	500 000
Amortización del principal	(300 000)
Utilidad Neta	861 258

14.16.2 FLUJO DE CAJA NETO

AÑO	0	1	2	3	4	5
Inversión	2500000					
Valor Residual						300000
Flujo de Caja	- 2500000	861258	861258	861258	861258	861258

14.16.3 VALOR ACTUAL NETO

$$\text{VAN} = 806\,740$$

14.16.4 TASA INTERNA DE RETORNO.

$$\text{TIR} = 19\%$$

14.16.5 RELACIÓN BENEFICIO / COSTO.

$$\text{B/C} = 2.0$$

14.16.6 TIEMPO DE RETORNO:

$$\text{TRI} = 2.9 \text{ años}$$

CAPITULO V

5.0 CONSIDERACIONES AMBIENTALES PARA LA LIXIVIACION IN SITU DE LA MINA MONTERROSAS.

5.1 DESCRIPCION DEL MEDIO AMBIENTE ACTUAL.

5.1.1 AMBIENTE FISICO.

Lo correspondiente a la geología, fisiografía y clima de la mina Monterrosas se describe en el acápite 4.5

A) CLIMA Y METEOROLOGIA.

El clima en la zona de la mina es pre-árido y semi-cálido ⁽¹³⁾, las temperaturas medias oscilan entre los máximos de 30°C y 24 °C para los meses de verano y los mínimos de 19 °C y 10 °C para la temporada de invierno. La temperatura máxima llega a 32 °C en los meses de enero y febrero y la mínima a 10 °C en los meses de junio y julio.

La Humedad Relativa Mínima en los meses de febrero y marzo llega a 68 % y la Humedad Relativa Máxima a 80 % en los meses de junio y julio ⁽¹⁷⁾. . Por los datos meteorológicos proporcionados

por el SENAMHI para esta zona, el promedio anual de precipitación pluvial mínima de 300 mm al año. La velocidad de los vientos es 1.5 m/seg y dirección promedio es de SE para los meses de enero a julio, y la velocidad de los vientos es de 0.9 m/seg y dirección promedio es de NW para los meses de agosto a diciembre. (Es complemento de 4.5.2 FISIOGRAFÍA Y CLIMA).

B) HIDROLOGIA.

No se observa cursos aguas superficiales en el área de la mina. Por estar ubicada sobre una elevación entre 1000 a 1300 msnm y relativamente alejadas de las quebradas de Cansas y La Yesera de dirección este-oeste. Estas quebradas tienen un régimen característico de los ríos de la costa, es decir transportan cierta cantidad de agua en los meses de verano permaneciendo secos durante el resto del año. Cabe señalar que los valles aledaños a la mina son cortos no penetrando hacia a las cordilleras, que hace que sólo se carguen de agua cuando llueve en la zona es decir cada siete o diez años. (Es parte de 4.5.4 – A HIDROGEOLOGÍA).

C) HIDROGEOLOGIA.

El ambiente físico más susceptible a ser afectado por la lixiviación in situ son las aguas freáticas, por lo tanto el aspecto de la hidrogeología de la zona debe ser adecuadamente estudiada. En los trabajos de explotación desarrollados hasta el nivel 1020 msnm y los trabajos de perforación diamantina realizadas hasta el nivel 900 msnm no se ha detectado la existencia de aguas subterráneas ni filtraciones locales. Esto debido que el yacimiento se encuentra emplazado dentro del maciso granodiorítico y diorítico perteneciente al batolito de la costa, asimismo se encuentra en una zona árida, exenta de precipitaciones pluviales y por la ausencia de aguas superficiales al no tener quebradas aledañas que

profundicen cordillera adentro y que puedan captar e infiltrar aguas subterráneas. (Es parte de 4.5.4 –A HIDROGEOLOGÍA).

D) PAISAJE Y SUELOS.

El área en estudio presenta un paisaje fisiográfico correspondiente a las áreas montañosas con elevaciones entre 1000 y 1300 m.s.n.m., con un relieve semi maduro y en el perímetro de los conos de deyección de la costa. (**Plano N° 14**)

Se aprecia el desagregado de los tipos de suelos correspondiente a cada paisaje edafológico. Son suelos superficiales de textura moderadamente gruesa a media. (Es complemento de 4.5.2 FISIOGRAFÍA y CLIMA).

E) USO DE LA TIERRA.

En el área es una zona erizada, no observándose la existencia de tierras con fines agrícolas debido a que es una zona bastante accidentada muy pedregosa y la existencia de fuentes de agua.

El área donde se ubica las operaciones es erizada, del tipo desértico, cubierto de material aluvial y eólico, no existiendo vegetación ni fauna silvestre, salvo algunos arbustos y árboles naturales. (Es complemento de 4.5.2 FISIOGRAFÍA Y CLIMA).

F) SISMISIDAD.

El área se encuentra dentro de la zona sísmica e incluso volcánica, producto de la subducción entre la Placa Oceánica de Nasca y la Placa Continental Sudamérica, de fracturamiento profundo con dirección NO, por lo que la mayoría de los sismos ocurridos en la zona son del tipo tectónico.

Los registros estadísticos de los sismos permiten conocer la naturaleza de éstos y evaluar los riesgos potenciales en las operaciones mineras.

El área está afectada por las fuentes sísmicas F3, F4, F7 y F8. A continuación se presenta un cuadro resumen de las fuentes:

FUENTE	MAGNITUD MÁXIMA (Escala de Richter)	PROFUNDIDAD (KM)
F3	8,60	10 – 50
F4	7,10	10 – 50
F7	7,00	70 – 100
F8	7,40	05 – 55

En el **gráfico N° 7** se muestra la distribución geográfica de las fuentes sísmicas en el Perú.

En el **gráfico N° 8**, se muestra las intensidades sísmicas Mercalli Moderadas, asociadas a periodos de 30, 50 y 100 años para la zona sur del país.

De acuerdo a estos datos, en la mina Monterrosas podría ocurrir sismos de una magnitud igual o mayor a 7 en la Escala de Richter, a una profundidad de 70 km y frecuencias de 50 años. Sin embargo al encontrarse emplazada dentro de una formación intrusiva diorítica y granodiorítica de gran competencia los efectos sería de menor consecuencia. (Es complemento de 4.5.2 FISIOGRAFIA Y CLIMA).

G) CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS.

Las labores subterráneas en la zona central del yacimiento así como las perforaciones diamantinas efectuadas hasta el nivel 900 m.s.n.m. no han detectado la presencia de aguas subterráneas. Sin embargo

será necesario el monitoreo de estas aguas a través de las perforaciones efectuados para tal efecto.

H) CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES.

En el área de influencia no existen cursos de aguas superficiales que puedan ser utilizados en las operaciones mineras. El agua que se utilizará para las operaciones de mina, planta y para el consumo humano será transportada desde unos pozos de bombeo situados a 4,5 Km proveniente del subsuelo.

I) CALIDAD DEL AIRE.

La calidad del aire en la zona de operación no será mayormente afectada salvo en el caso de la perforación y voladura para el proceso de fragmentación del mineral así como el proceso de transporte tanto de los minerales como el movimiento interno. Los análisis para la determinación de las Partículas Totales en Suspensión (PTS), deben efectuarse antes y durante la operación, en los puntos de monitoreo previamente determinados, para ser comparados con los valores de los Límites Máximos Permisibles, en concordancia con el Protocolo de Monitoreo para este tipo de análisis.

J) RUIDO.

Los niveles de ruido que podrían afectar al medio ambiente serían mínimos. Los ruidos producidos por la perforación, voladura sólo en la etapa de preparación del mineral son los más importantes. Sin embargo durante la operación de lixiviación el transporte y los motores son los que originarán ciertos niveles de ruido. Para el control será necesario el monitoreo sistemático y el uso de sistemas que mitiguen la generación de ruidos.

Los ruidos producidos por los camiones no serán significativos ya que el tráfico de éstos no es muy frecuente y sólo consiste en unos pocos viajes por día.

Se estima que el nivel del ruido no sobrepasa los 80 decibeles, sin embargo se deberá adoptar y reglamentar el uso obligatorio de protectores en las zonas de ruidos en estas operaciones.

5.1.2 MEDIO AMBIENTE BIOLÓGICO.

A) FLORA.

De acuerdo al mapa ecológico del Perú ⁽¹²⁾, (**Plano N°13**) se encuentra en la zona de vida: Desierto superárido-subtropical(ds-S), cuyas características con respecto a la flora son las siguientes:

- **Vegetación Natural**, en el área de la mina se observa una vegetación muy pobre, debido a la falta casi total de precipitación, ausencia de aguas superficiales, y de napa freática. Encontrándose esporádicamente algunas especies de tailandsias grises (tailadsias SP, bromiliaceae) y algunos cactus *Cereus*. Sin embargo en las temporadas de lloviznas y humedad, crecen algunas plantas estacionales de tallo corto.
- **Vegetación Cultivada**, en el entorno del área del proyecto no se encuentra ninguna especie de cultivos. Sin embargo a una distancia de 10 Km, en la localidad de la “Máquina”, se puede observar cultivos diversos como frutales u hortalizas.

B) FAUNA.

Desde el punto de vista zoogeográfico de Brack, el área corresponde a la ecorregión del Desierto del Pacífico (0 a 1000 m.s.n.m.)

Siendo la vegetación natural muy escasa, la fauna silvestre es también bastante limitada.

La especie de fauna mas observada es la Athene Cunicularia (lechuza) y la Gositta Peruviana (pampero).

En relación a la microfauna se puede observar la presencia de insectos y coleópteros.

Areas Naturales y Especies Protegidas, en la zona de estudio no existen áreas naturales ni especies protegidas.

5.1.3 MEDIO AMBIENTE SOCIO – ECONOMICO.

La mina Monterrosas y su área de influencia están localizados en el Distrito de Los Molinos, perteneciente a la provincia y Departamento de Ica. Las instalaciones de campamentos y las oficinas administrativas se ubicarán en la cercanías de la mina.

La población mas cercana es el caserío La Máquina que se encuentra a una distancia de 10 Km, en línea recta con dirección Oeste y una altura de 500 msnm., sobre el que es casi imposible sea afectado por un algún Impacto Ambiental.

Los impactos ambientales que se generen a raíz de la operación de la mina y sus actividades conexas no tendrían efectos negativos sobre el ambiente físico, biológico y humano por su lejanía a los ecosistemas. Sin embargo originará un impacto positivo en el aspecto socio - económico, debido a la generación de empleos y a la dinamización de la economía de la región.

A) CARACTERISTICAS DEL CASERIO “LA MAQUINA”.

*** POBLACION.**

El caserío La Máquina, es el poblado sobre la que influencia directamente la operación de la mina.

Según el Censo Nacional de Población y Vivienda de 1993, el Caserío La Máquina cuenta con una población de 65 habitantes, de los cuales 30 son hombres y 35 son mujeres.

*** TRABAJO.**

El potencial de generación de empleo directo será directamente proporcional al volumen de mineral a ser procesado. Se considera que para una producción de proyectada se requerirá el concurso de 12 trabajadores, este número se podría incrementar en la medida que se incremente la capacidad de la planta. Se puede considerar que los habitantes directamente beneficiados por la actividad podría llegar a 18.

*** EDUCACION.**

La tasa de analfabetismo en el caserío es de 8,9 % de la población mayor a los 15 años. En cuanto al nivel de educación alcanzado por la población de 5 años a más, el 62% ha logrado culminar la educación primaria, el 39% la secundaria y el 16% es analfabeta.

*** SALUD.**

La cobertura de salud para la población es limitada y se da en el Distrito de la Tinguíña. Las enfermedades más comunes son problemas gastro intestinales y respiratorias.

*** VIVIENDA.**

En 1993 se registraron un total de 28 viviendas particulares de las cuales el 82% son viviendas ocupadas, con un promedio de cinco miembros por hogar. El material utilizado en las viviendas es precario. En el 45% de las casas el material utilizado es de adobe, con techos de caña o estera y pisos de cemento en algunos casos.

*** SERVICIOS.**

Los hogares no cuentan con el abastecimiento de agua potable domiciliaria. Las formas de abastecimiento más comunes son: pilón de uso público, pozo común, cisterna, agua de río o acequia. No cuentan con los servicios de desagüe.

La cobertura del servicio de alumbrado eléctrico es importante, ya que 70 % de las viviendas particulares dispone de servicios de alumbrado público.

5.2 DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES MINERAS.

Las actividades correspondientes a las operaciones mineras han sido descritas en el acápite correspondiente en el Capítulo IV.

5.3 IDENTIFICACION Y EVALUACION DE LOS EFECTOS PREVISIBLES

La identificación de los Impactos potenciales corresponde a las diferentes áreas del proyecto y su evaluación se desarrollará mediante las matrices:

Matriz de Interacción de los Componentes Ambientales

Matriz de Calificación de los Impactos Potenciales.

. A) CRITERIOS DE EVALUACION Y PRIORIZACION.

La identificación de impactos ambientales potenciales, implica la predicción, interpretación y comunicación de los impactos ambientales que se puedan originar.

La identificación de los impactos ambientales se determinan en base al análisis de la interacción de las diversas actividades durante, antes y después de las operaciones y su influencia en el entorno de cada uno de ellos. Los impactos ambientales de las operaciones serán poco significativos, dado las características ecológicas del sistema de lixiviación IN SITU.

B) IDENTIFICACION DE LAS AREAS.

Se identifican el medio físico, el medio biológico y el medio socio económico y cultural:

En el **medio físico**, se caracteriza la ubicación específica de los sectores donde se desarrolla la explotación.

En el **medio biológico**, se caracteriza los aspectos de flora, alteraciones del patrón de vida, fauna, modificación de los hábitat, estabilidad ecológica, cobertura vegetal de acuerdo a la naturaleza del proyecto.

En el **medio socio económico y cultural**, se caracteriza, la población, migraciones, salud, cambio de niveles de empleo, calidad de vida y trabajo.

C) COMPONENTES AMBIENTALES.

Para facilitar la identificación y descripción de los impactos será necesario describir el medio ambiente en términos específicos, precisando la afectación a los diferentes componentes.

Tomando como base la caracterización ambiental se califica los efectos que generarán las operaciones, ponderando los impactos sobre la base de una sub matriz de identificación y tomando los criterios de efecto/magnitud.

D) IDENTIFICACION DE LOS IMPACTOS.

Para la identificación de los impactos, se ha dividido el proyecto en sus diferentes etapas, como la perforación, voladura, extracción, lixiviación, manejo y tratamiento de las soluciones, etc., en las cuáles se muestran las diversas actividades generadoras de impactos.

E) EVALUACION DE LOS IMPACTOS.

La matriz de identificación, permiten evaluar los componentes ambientales en base al efecto y gravedad. La calificación de los impactos se ha realizado en base a los siguientes niveles:

- **Impacto leve:** No afecta mayormente al factor ambiental.
- **Impacto moderado:** Puede tener cierto efecto sobre el componente ambiental debido a su magnitud, frecuencia, etc.
- **Impacto Fuerte:** Es bastante significativo en cuanto a duración, magnitud, etc.
- **Impacto negativo:** Afecta al medio ambiente sea leve, moderado o fuerte.
- **Impacto positivo:** Puede favorecer en alguna de sus variables al medio ambiente.

<u>IMPACTO</u>		<u>MAGNITUD</u>
<u>POSITIVO</u>	<u>NEG. ATIVO</u>	
Leve	Leve	1
Moderado	Moderado	2
Importante	Grave	
Muy Importante	Muy grave	4
	Catastrófico	5

5.4 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL.

A) GENERALIDADES.

Plan de manejo ambiental prevé todas las acciones necesarias para garantizar una operación racional, armónica y sostenida del proceso de lixiviación in situ en la mina Monterrosas.

B) OBJETIVOS.

Elaboración de un Plan de Manejo Ambiental que permita eliminar y minimizar los potenciales impactos negativos generados por la operación.

Establecer las medidas a adoptar para asegurar una eficaz mitigación de los posibles impactos negativos, para cada etapa del Plan de Manejo Ambiental.

C) MONITOREOS.

Se realizarán antes y durante la ejecución del proyecto para medir el grado de contaminación, debiéndose realizar las acciones necesarias para mitigar los efectos y mantener los niveles permisibles de contaminación.

D) TECNICAS.

El desarrollo de la explotación deberá realizarse en forma técnica y racional de acuerdo a las recomendaciones del MEM (DS N° 023-92-EM y DS N°016-93-EM) ⁽¹²⁾ y el Banco Mundial en lo relacionado a la Protección del Medio Ambiente.

E) CAPACITACION.

Se realizará y ejecutará los programas de charlas de inducción y motivación a todo el personal, relacionadas con la Seguridad y el Medio Ambiente.

F) PREVENCION.

Constituyen la base para programar las medidas de prevención mas importantes.

G) CRITERIOS GENERALES.

- El Plan de Manejo Ambiental es un manual de campo para el personal de explotación, el consultor ambiental y todo el personal involucrado en las operaciones.
- La política ambiental de la Empresa de ser la de prever y minimizar los impactos negativos.

- Se ha elaborado el Plan de Manejo Ambiental teniendo en consideración lo siguiente:
 - a. Todas las operaciones se desarrollarán de acuerdo a los lineamientos técnico-legales que garanticen un buen manejo ambiental.
 - b. Es obligatorio subsanar los impactos negativos generados.
 - c. Se establecerán las políticas y procedimientos para todas las operaciones unitarias del proyecto.

- Se establecerán las políticas de Salud, Seguridad y Medio Ambiente.

H) IMPACTO DE LA LIXIVIACION A LA HIDROGEOLOGIA.

El mayor impacto de la lixiviación in situ al medio ambiente físico, es lo que respecta a la hidrogeología. Para evitar ello deberán considerarse los siguientes aspectos:

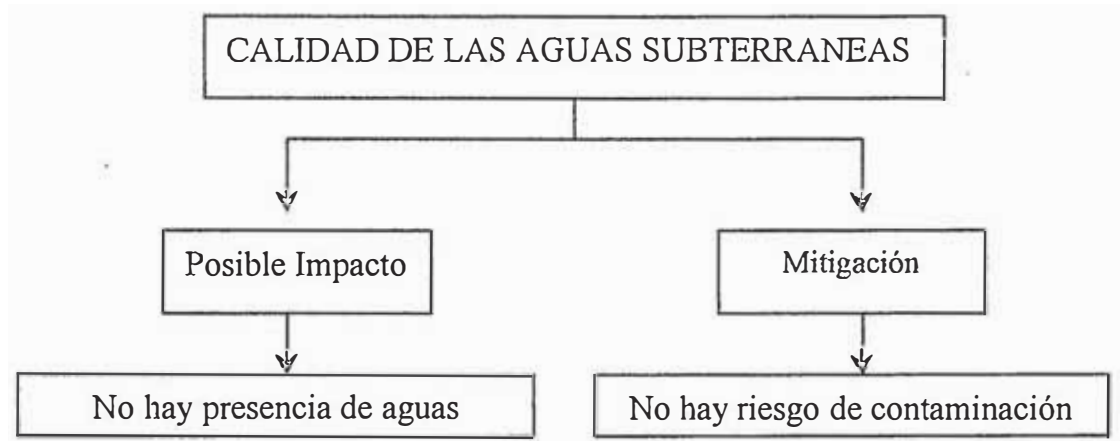
- Impermeabilización del piso de los tajeos en lixiviación.
- Perforación de taladros laterales en la caja piso, en los puntos geológicamente adecuados para el control, monitoreo y eventualmente para la recuperación de las soluciones.

5.5 MEDIDAS DE MITIGACION.

Deberá contener:

- Relación detallada de las acciones de mitigación que deberán llevarse a la práctica.
- El personal responsable que debe llevar a cabo las acciones de mitigación.
- Los parámetros que deberán controlarse para asegurar una eficaz acción.
- Los plazos adecuados para la ejecución y aseguramiento de todos los objetivos.

- Medidas de control para asegurar el cumplimiento de las acciones de mitigación.
- A continuación se describe algunas medidas de control y mitigación más importantes relacionados en este caso a las aguas subterráneas:



5.6 PLAN DE CONTINGENCIAS.

El plan de contingencias deberá diseñarse y planearse con la finalidad de evitar o neutralizar eventos extremos que no pueden ser controlados por simples medidas de mitigación.

Las emergencias potenciales pueden producirse en el proceso de la lixiviación in situ, por las siguientes razones:

- Infiltración de las soluciones lixiviantes en las aguas subterráneas
- Descarga o derrame de soluciones lixiviantes o contaminantes al ambiente en forma violenta, debido a sismos, lluvias torrenciales, inundaciones, etc.
- Explosiones o incendios producidos por cortocircuitos eléctricos, combustión de combustibles y ácidos y por actos externos.
- Quejas y tumultos de los lugareños.

5.7 PLAN DE ABANDONO Y CIERRE.

El plan de abandono deberá de garantizar la restitución del área a su estado inicial o incluso mejorarlo, para ello se propone las siguientes medidas a ser consideradas:

1. Deberá “lavarse” con aguas neutras los minerales lixiviados dentro de los tajeos.
2. Neutralizar las aguas ácidas que hayan quedado como remanentes en el proceso, tanto en superficie como en subsuelo, con lechada de cal u otros neutralizantes.
3. Bloquear, cubrir, impermeabilizar con caliza las áreas de lixiviación a fin de evitar la infiltración en el tajo, de las aguas superficiales y subterráneas.
4. El plan de abandono deberá contener los procedimientos para el desmontaje de los equipos caso por caso, sin crear deterioros al contorno de la planta. Se deberá prever los posibles usos que puedan tener las instalaciones en el caso de que otra compañía minera no asuma la continuidad de las operaciones. En el caso de desmontaje, el equipo se separará en reutilizable e inservible.
5. Efectuar planes de monitoreos en forma semestral después de la paralización de las actividades. Comprende principalmente el muestreo de los taladros de control perforados en la caja piso del tajeo.
6. Se deberá indicar la organización para los trabajos, cronograma de ejecución, personal necesario, personal de apoyo y montos estimados.
7. El responsable del plan de abandono notificará a la autoridad competente 30 días antes del término de los trabajos de restauración con el objeto de preparar la inspección oficial según los dispositivos vigentes.

El informe del plan de abandono deberá contener además:

- Inventario de todos los equipos, características.
- Personal de planta liquidado.
- Estado final de la salud de los trabajadores (análisis clínicos y de laboratorio)

Resultados del plan de monitoreo de cierre (360 días después de la paralización de los trabajos), indicando gráficamente la comparación con los resultados semestrales de los últimos 3 años.

ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO

Una adecuada evaluación cuantitativa y cualitativa del medio ambiente aún no es posible en nuestro país, debido a que no se cuenta con un Inventario de los Recursos Naturales y su valorización a precios de mercado, así mismo no se cuenta con el Índice del Producto Bruto Interno Ambiental y de los parámetros que permita determinar la calidad de los componentes ambientales.

Mientras tanto, el análisis costo - beneficio ambiental, se podrá estimar cuantitativa y cualitativamente buscando un equilibrio entre la eficiencia productiva y la sostenibilidad ambiental.

5.8.1 ESTIMACIÓN DE LA INVERSIÓN

Los DS. 016-93-EM y DS.059-93-EM, señalan que el 1% de la venta bruta anual debe invertirse en los Programas Ambientales, en los Programas de Seguridad y otras Normas Legales Vigentes .

De conformidad a lo señalado, a continuación se presenta la estructura de inversiones para un periodo de duración de 5 años.

ACTIVIDADES	COSTOS
1 Taladros de control 800m x 6" x \$15.00	12 000
2. Impermeabilización de pisos en minas y plantas	8 000
3. Poza de neutralización	10 000
4. Ejecución del plan ambiental	16 000
5. Ejecución de manejo ambiental	12 000
6. Ejecución del plan de rehabilitación y cierre	20 000
7. Ejecución del plan de contingencias	10 000
8. Ejecución del programa de Seguridad, Medio Amb. y otras normas legales vigentes	20 000
	\$ 108 000

CAPITULO VI

6.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.0 CONCLUSIONES

La Lixiviación in situ, considerada como una tecnología limpia, permitirá una explotación racional y sostenida de los recursos minerales.

La minería in situ, presenta mayores ventajas ambientales por originar menor disturbación superficial y menor contaminación del aire y del agua.

La explotación minera mediante la tecnología de la lixiviación in situ por sus bajos costos y versatilidad, permite la recuperación de minerales marginales, inaccesibles y de complicada metalúrgia; incrementando las reservas y por lo tanto dándole mayor valor al yacimiento.

Los costos operativos, incluidos la depreciación de equipos son del orden de 3.61 \$/ TM mas bajos, comparados a los de otros métodos de explotación. A continuación se presenta un cuadro comparativo de los costos directos entre la minería in situ y la minería convencional.

	CONVENCIONAL (\$/TM) Relación mineral/desmote 1 : 1	IN SITU (\$/TM)
Preparación	0,40	0,16
Perforación	0,38	0,44
Voladura	0,51	0,54
Transporte	0,35	0,10
Tratamiento(conc. + refin.)	2,83	-
Lixiviación	-	0,63
Recuperación (SX-EW)	-	0,65
Administración	0,80	0,32
M. Ambiente y seguridad	1,51	0,21
Gastos Generales, Ventas, etc.	1.35	056
TOTAL \$/TM	8.13	3.61

Los costos Ambientales y de Seguridad de la minería in situ son menores, en comparación a otros métodos de explotación convencional.

Los costos de operación y de inversión, vienen a ser la tercera y cuarta parte respectivamente, comparados a los de la minería convencional.

El método VCR usado para la fragmentación del mineral, por sus bajos costos, gran eficiencia y versatilidad es un complemento ideal para la aplicación de la lixiviación in situ.

El agotamiento de reservas minerales de alta ley, acompañado al bajo nivel de los precios, alientan al desarrollo de la gran minería.

La gran minería convencional origina el movimiento de enormes volúmenes de mineral y desmonte y el consumo de grandes cantidades de reactivos e insumos industriales.

La minería in situ, no origina residuos sólidos y gaseosos, y los afluentes líquidos producidos pueden ser convenientemente neutralizados no dando lugar a la formación de sub productos gaseosos nocivos.

- La minería in situ, es flexible y puede ser utilizado para tratar diversidad de minerales como sulfuros individuales o mezclas de éstos.

La lixiviación química complementada con la bacteriana genera sulfato férrico para el tratamiento químico de los minerales bajo condiciones naturales.

La aplicación de la lixiviación in situ en grandes profundidades, incrementa la temperatura y presión hidrostática lo que favorece el proceso, debido a la mayor disolución del oxígeno y por lo tanto a la lixiviación química.

La minería in situ por lixiviación, brinda un producto final (cobre electrolítico) evitando las etapas de concentración, fundición y refinación, donde se producen grandes volúmenes de contaminantes.

Los indicadores VAN, TIR y B/C ofrecen buenas perspectivas económicas.

El clima de la zona donde se localiza las operaciones es árido y desértico, no existiendo cursos de aguas superficiales que puedan ser impactados.

6.1.1 RECOMENDACIONES.

La minería in situ, por sus bajos costos de operación y menor impacto al medio ambiente, es la tecnología más recomendable para afrontar los actuales problemas de la producción minera.

Desarrollar esta alternativa a fin de hacerla más aplicable en otros tipos de yacimientos mineros, en especial a los que presenten mayor riesgo ambiental.

Seguir investigando para mejorar la recuperación de las soluciones, el control del proceso físico-químico y una adecuada distribución del lixivante dentro del paquete mineral, que haga mas viable, ambiental y tecnológicamente, el método de la lixiviación in situ.

- Se recomienda complementar los estudios técnicos para poner en marcha el presente Proyecto por sus buenas perspectivas económicas y ambientales.
- La ejecución de este Proyecto extendida a los tres millones de toneladas de sus reservas potenciales, incrementará la vida de la mina, contribuyendo significativamente al desarrollo económico y sostenido de la minería de la región.

Existe buenas posibilidades de aplicación del sistema en otros yacimientos del Distrito Minero de Ica y de nuestro país.

V I T A

Roger N. Bendezú Benavides, es ingeniero de minas colegiado. Sus estudios primarios y secundarios los llevó a cabo en el C.N. “San Luis Gonzaga de Ica” y sus estudios superiores en la U.N. “San Cristóbal de Huamanga”. Habiendo realizado estudios de postgrado en la “Universidad Nacional de Ingeniería”, en Ciencias con Mención en Minería y Medio Ambiente.

Se ha desempeñado profesionalmente en diversas Empresas Mineras como Centromin Perú , Hierro Perú y Monterrosas, ocupando el cargo de Superintendente de Minas en este ultimo. Actualmente se desempeña como Docente en la Facultad de Minas de la U.N. “San Luis Gonzaga”, Perito Minero adscrito al Ministerio de Energía y Minas y como Gerente de la Empresa SERMINCO EIRL.

Ha sido Presidente del Capítulo de Minas del Colegio de Ingenieros del Perú del Consejo Departamental de Ica en el Periodo de 1993-1995 y Director Vocal del mismo en el Periodo 1995-1997.

BIBLIOGRAFIA

1. Barlett, Robert W. 1998. "Solution Mining". Amsterdam. The Netherlands.
2. Bhappu, Roshan B. 1970. "In Situ Extraction and Leaching Technology" Las Vegas . Nevada .
3. Bruynesteyn, a. y D.W. Ducan. 1972. "Lixiviación Biológica de Minerales Sulfurados". Naciones Unidas - New York.
4. Centromin Perú. Reportes y Boletines de Información Perú. 1975 - 1988
5. Compañía Minera Los Montes. Reportes de Informaciones Internas Mina Monterrosas – Ica. 1982 - 1985
6. Cotera, Fernando. 1974. "Estudio Geológico y Económico de la Veta Monterrosas". Tesis de Grado. UNI.
7. Dudas L., Maas H. and Bhappu R. 1974. "Role of Mineralogy in Heap and in situ Leaching of Cooper Ores". Mountain States Research and Development. Tucson. Arizona.
8. INGEMMET. "Geología de los Cuadrángulos de Pisco, Guadalupe e Ica".
Marcos Fernández D. Carta Geológica Nacional. Dic.19 97.
9. Janssens, J y . Percival, P. 1980. "Vertical Crater Retreat Mining" Fifth Annual District Six Meeting of the C.I.M.
Kimberley - Bristish Columbia.
10. Lang, L.C. and Morrey W.B. 1974. "Scientific Blasting for In situ Leaching Proves Successful and Agnew Lake Mines" Technical Marketing Servises. Canadian Industries
11. Ministerio de Energía y Minas. Guías para elaborar estudios de Impacto Ambiental. Dirección General de Asuntos Ambientales. 1ª Edición Lima. 1997.
12. ONERN. Perfil Ambiental del Perú. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales del Perú.

13. valle, Alonso. 1984. "In Place Leaching of a Block Caving Mine". El Teniente División of Codelco. Chile.
14. Pooley, F.D. 1993. "Desarrollo Bio-Hidrometalurgia para el Procesamiento de Minerales" Universidad de Gales-G.Bretaña.
15. Pourbaix, M. J.N. 1963. "Thermodynamic of Dilute Aqueous Solutions"
An Arbor. Michigan .
16. Seidel, Don C. 1968. "Percolation Leaching". Colorado School Of Mines
Colden – Colorado.
17. SENAMHI, Boletines Informativos. 1997.
18. SME. Mining Engineering Handbook
AIME, Editor:Howard L. Hartman, Colorado – 1992
19. Sotillo, C. y Macha, W. 1975. "Potencial de la Lixiviación Bacteriana en el Perú". Programa J/GT/9. Lima.
20. Sullivan, J.D. and Ostrea E.O. 1931. "Factor Governing the Entry of Solution into Ores during Leaching". U.S. Bureau of Mines .
21. Zenz, F.A. and Othmer D.F . 1964. "Fluidization and Fluid Particle System". Reinhold, N.Y.