

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA y
METALÚRGICA**



“PROCESO DE LIXIVIACIÓN EN PILAS”

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO METALURGISTA**

PEDRO ARMANDO PUENTE TORRES

LIMA – PERÚ

2009

RESUMEN

El objetivo principal de este informe es describir el proceso de lixiviación en pilas que realiza la mina Pierina para obtener la separación de los metales oro y plata del mineral depositado en el pad de lixiviación. A su vez que se describe el proceso de lixiviación se exponen las mejoras las cuales se han aplicado como respuestas a las dificultades que experimentamos con la variación de la calidad del mineral a lixiviar. La aplicación de las mejoras en los sistemas de riego y en la preparación de las pilas nos ayudó a mejorar la lixiviación del mineral de Pierina cuya bondadosa calidad para la lixiviación como se caracterizaba había empezado a decaer.

La Mina Pierina es una operación minera que inició sus operaciones en 1998, cuyas reservas de oro alcanzaron 1.07 millones de onzas en el 2008. Pierina pertenece a la empresa Minera Barrick Misquichilca S.A. cuya gerencia general se encuentra en Lima. Minera Barrick Misquichilca es una subsidiaria de la corporación Barrick Gold Corporation que es el primer productor de oro en el mundo y cuya sede principal se encuentra en Toronto.

Pierina es una mina que se explota a tajo abierto utilizando las técnicas de “Lixiviación In Situ” y Proceso de “Merrill Crowe” para recuperar el oro y la plata. Se ubica sobre la Cordillera de los Andes, departamento de Ancash, provincia de Huaraz, distrito de Jangas, a 10Km al noroeste de la ciudad de Huaraz con una elevación entre 3,800 y 4,200msnm.

La Mina Pierina tiene una gran importancia para Barrick Gold Corporation porque representó un hito muy importante en la corporación, ya que fue la primera operación minera de Barrick fuera de Norte América. El éxito de Pierina permitió y afirmó confianza para que la corporación desarrolle y explote proyectos fuera del continente Americano.

El siguiente informe se centra en la definición del proceso de lixiviación, los conceptos necesarios para entenderla, las condiciones requeridas para realizarla, los fundamentos teóricos y la aplicación de mejoras como producto del mejoramiento continuo y del trabajo en equipo que Pierina viene desarrollando en todos sus procesos.

ÍNDICE

RESUMEN.....	01
ÍNDICE.....	03
CAPÍTULO 1	
INTRODUCCIÓN.....	05
CAPÍTULO 2	
ANTECEDENTES	
2.1 Ubicación de la mina	06
2.2 Accesos a la mina.....	07
2.3 Clima y vegetación.....	07
2.4 Organización de la mina.....	08
2.5 Proceso Metalúrgico	
2.5.1 Planta de Chancado.....	09
2.5.2 Sistema de Lixiviación.....	12
2.5.3 Recuperación de Au y Ag.....	12
2.5.4 Fundición.....	15
CAPÍTULO 3	
LIXIVIACIÓN EN PILAS	
3.1 Definición.....	16
3.2 Variables del Proceso.....	17
3.3 Lixiviación en Valle y Recuperación del Proceso en Pierina.....	18
3.4 Percolación de soluciones.....	19
3.5 Construcción del pad.....	20
3.6 Equipos usados en el área de lixiviación.....	20

CAPÍTULO 4

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

4.1 Termodinámica de la cianuración.....	24
4.2 Química de la lixiviación.....	25
4.3 Mecanismo electroquímico.....	26
4.4 Cinética de la reacción.....	28

CAPÍTULO 5

SISTEMAS DE RIEGO

5.1 Sistemas de riego por goteo.....	29
5.2 Sistemas de riego por aspersión.....	30
5.3 Materiales usados en los sistemas de riego.....	33
5.4 Diseño hidráulico de sistemas de riego por goteo.....	35
5.5 Mejores prácticas de Lixiviación.....	37
5.6 Plan de Cierre.....	38

CONCLUSIONES.....	39
-------------------	----

BIBLIOGRAFÍA.....	40
-------------------	----

ANEXOS

Anexo 1: Diagrama de Flujo del Proceso Productivo.....	42
Anexo 2: Reporte de Responsabilidad de la Mina Pierina.....	43

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS.....	44
---------------------------------	----

CAPÍTULO 1.

INTRODUCCIÓN.

Cuando empecé a trabajar en el área de lixiviación, los supervisores siempre tuvieron una actitud de mente abierta, por lo cual hubo mucha libertad para que los practicantes y las nuevas incorporaciones puedan manifestar sus opiniones, puntos de vistas e implementar iniciativas y soluciones a las oportunidades de mejoras que se iban presentando conforme se desarrollaban las actividades.

Esta política laboral permitió identificar oportunidades de mejoras no advertidas durante buen tiempo atrás, no obstante que los objetivos trazados por la Gerencia siempre se cumplían; sin embargo, la aplicación de estas mejoras permitió presentar a la gerencia planes de mayor producción que generaron a su vez que se amplíen las metas y objetivos con el mismo costo de personal.

Cabe destacar, que antes de implementar estas mejoras las celdas de riego se estructuraban con diseños hidráulicos no que permitían optimizar el sistema de bombeo de la solución lixivante aplicado sobre las pilas de lixiviación enfocados a la recuperación del oro y plata. Siendo así, que verificaron diferentes charlas técnicas con los diferentes proveedores de sistema de riego, a efectos de compatibilizar los nuevos requerimientos con el material de trabajo.

Asimismo, debemos tener en cuenta que en los últimos años el mineral ha experimentado un déficit en su conductividad hidráulica, debido al agotamiento de su naturaleza porosa y aparición de material fino y arcilloso en el tajo, lo cual propiciaba encharcamientos y canalizaciones indeseadas. Esta situación ameritó la formación de equipos de trabajo en vía de solución que llegaron a cumplir su objetivo.

En el presente informe describo en los capítulos 3 y 4 el Proceso de Lixiviación en pilas de una manera general y haciendo referencia al proceso en Pierina; en el capítulo V enfoco la operación actual propia de Pierina acompañado de las mejoras aplicadas.

CAPÍTULO 2.

ANTECEDENTES.

2.1. UBICACIÓN DE LA MINA.

La mina Pierina se encuentra ubicada en el departamento de Ancash, provincia de Huaraz, distrito de Jangas. En el lado oriental de la cordillera negra a 10 Km al Noroeste de la ciudad de Huaraz con una altitud entre los 3800m.s.n.m y 4200m.s.n.m.

La mina se encuentra comprendida entre las coordenadas;

8 948 700 - 8 956 500 N y

211 300 - 218 200 E

(Sistema de coordenadas referido a Datun Provisional Sudamericano la Canoa-Venezuela).



Figura N° 1: Mapa de ubicación de la Mina Pierina

2.2. ACCESOS A LA MINA.

El acceso desde la ciudad de Lima a Pierina es la siguiente:

Lima Huaraz (carretera asfaltada)	407 Km.....	7.00 Hr
Huaraz Jangas (carretera asfaltada)	15 Km.....	0.20 Hr
Jangas Mina Pierina (carretera afirmada).....	18 Km.....	0.45 Hr

Del mismo modo, también es accesible desde Huaraz, siguiendo las rutas:

Huaraz – Mina Santo Toribio – Tinyash.....	23 Kms.....	0.45 Hrs.
Huaraz – Mina Santo Toribio – Cuncashca.....	21 Kms.....	0.40 Hrs.

2.3. CLIMA Y VEGETACIÓN.

- CLIMA:

La temperatura anual Promedio es de 11 °C.

El clima está muy bien diferenciado en dos temporadas:

La temporada de lluvias, de noviembre a marzo y

La temporada seca, de abril a octubre.

El promedio anual de lluvia es de 1,200mm aproximadamente.

Una humedad relativa promedio de 84%.

- VEGETACIÓN:

La vegetación registrada en el área de la mina consiste de 285 especies. Un 85% de ellas son plantas que forman semillas, mientras que las restantes son especies que forman esporas tales como líquenes y helechos. Unas 22 especies (8%) son cultivadas, siendo cultivos principales la papa, el maíz, la cebada, el trigo, el haba, la arveja y el trawi (kiwicha).

La gran diversidad de plantas del área del asiento minero Pierina puede agruparse dentro de ocho distintas comunidades de vegetación o habitat:

- Pajonal de Puna.
- Estepa arbustiva.
- Bosquecillo de Polylepis.
- Bosque de aliso.
- Monte ribereño.
- Bosque de eucaliptos.
- Cultivos.

2.4. ORGANIZACIÓN DE LA MINA.

La Mina Pierina se divide en 3 grandes áreas: Operaciones Procesos, Operaciones Minas y Administración.

Dentro de las áreas operativas de Procesos y Minas, se encuentran las áreas de soporte como: Laboratorio Químico, Mantenimiento y Servicios Técnicos.

Dentro del área administrativa se encuentran la Gerencia de Operaciones, Logística, Departamento Legal, Seguridad, Medio Ambiente, Control de Pérdidas, Relaciones Comunitarias, Relaciones Públicas y Recursos Humanos.

VISIÓN DE BARRICK: Ser la mejor compañía de oro en el mundo, encontrando, adquiriendo, desarrollando y produciendo reservas de calidad, en una manera segura, rentable y socialmente responsable.

VISIÓN DE LA MINA PIERINA: Continuar siendo la mina modelo y núcleo del crecimiento de la Región Sudamérica, fortaleciendo la cultura de excelencia y minería responsable.

El Proceso Productivo de la Mina Pierina se divide en:

1. Proceso de Minado: Exploración, Perforación, Disparo, Carguío y Acarreo o Transporte.

2. Proceso Metalúrgico: Chancado Primario, Chancado Secundario, Lixiviación en Pilas (Tecnología de Relleno de Valle), Recuperación de Oro y Plata (proceso “Merrill Crowe”) y Fundición.

2.5. PROCESO METALÚRGICO.

El Proceso Metalúrgico se desarrolla a continuación:

2.5.1. Planta de Chancado.

La planta de chancado recibe el mineral proveniente de la mina y su función es reducir las partículas a un tamaño que permita la lixiviación (disolución del Au y Ag). Se desarrolla en 2 etapas sucesivas:

- Chancado Primario:

Tiene como objetivo reducir el tamaño del mineral proveniente de la mina desde un tamaño máximo de 34 pulgadas, hasta obtener un tamaño menor a 6 pulgadas. En esta Planta se utiliza una chancadora primaria giratoria, "Svedala" de 42" x 65". La dimensión de 42" es la abertura de alimentación en su punto mas ancho y la dimensión de 65", es el ancho del eje en su base.

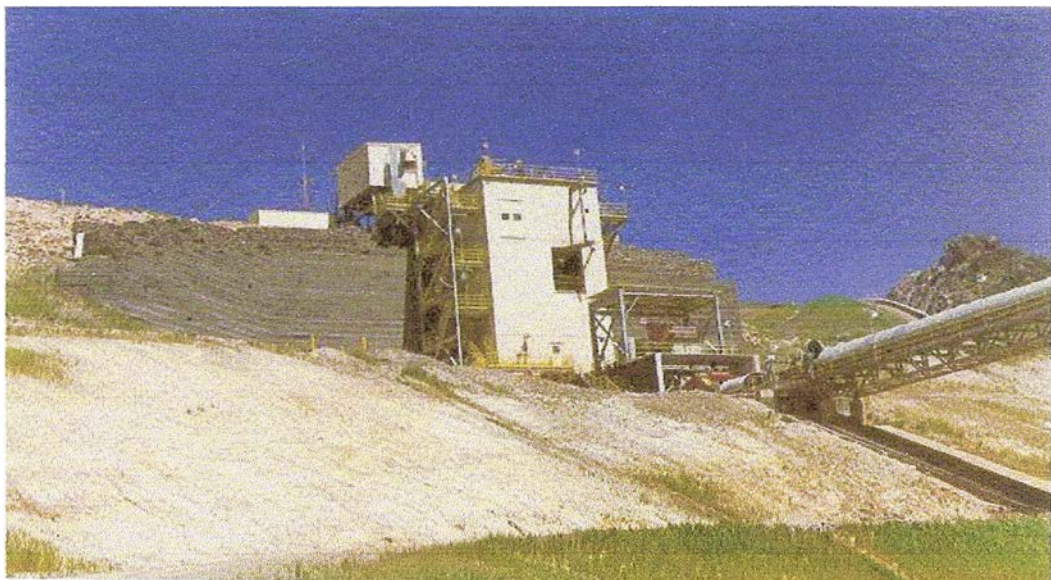


Figura N° 2: Planta de Chancado Primario

- Chancado Secundario:

Se utilizan dos chancadoras cónicas estándar, marca "Nordberg" de 7 pies, provistas de un sistema de clasificación previa (zarandas). Las zarandas, son fabricadas por "Simplicity Material Handling Ltd.", tienen 8 pies de ancho y 24 pies de largo. Tienen dos pisos uno superior y otro inferior, con aberturas seleccionadas según la separación de tamaños en particular. El piso superior tiene aberturas relativamente grandes (3 pulgadas) para eliminar la carga de material pesado del piso inferior. El piso inferior (piso de zarandeo) es de estructura más ligera y tiene mas orificios (de 1.5 pulgadas). Siendo la mayoría de las partículas más pequeñas que las aberturas, caen y pasan por las mallas de la zaranda y para convertirse en el producto final de la planta de chancado. Las partículas gruesas permanecen en la parte superior de las mallas de la zaranda y finalmente se desprenden del extremo de la zaranda y caen en las chancadoras cónicas. La zaranda esta instalada en un ángulo de 18 grados. Las instalaciones de Chancado primario y secundario tienen la capacidad de tratar 45,000 toneladas por día.

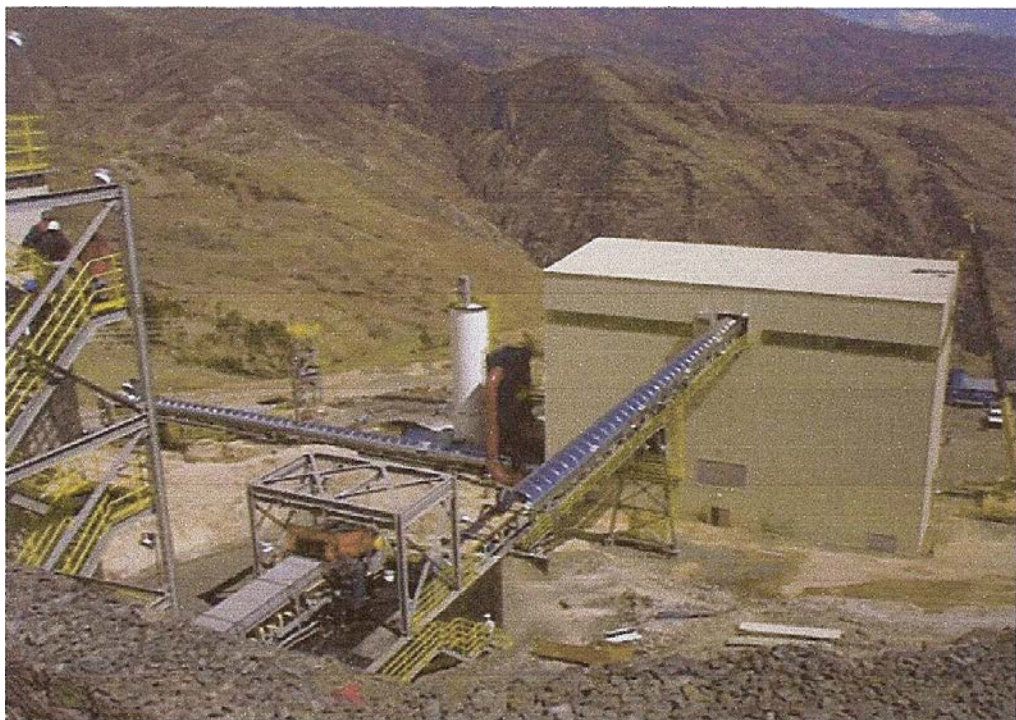


Figura N° 3: Planta de Chancado Secundario

Después del chancado, el mineral se transporta a una distancia de 2,360 metros, por medio de una faja sobre terreno hasta la tolva de almacenamiento de mineral chancado. Esta tolva descarga el mineral directamente a los camiones de transporte, que llevan el mineral a las pilas de lixiviación y lo depositan en las celdas de apilamiento. Completada la celda, el mineral es nivelado mediante tractores, se instala la tubería de distribución por encima del mineral y se aplica solución cianurada para comenzar el proceso de lixiviación.

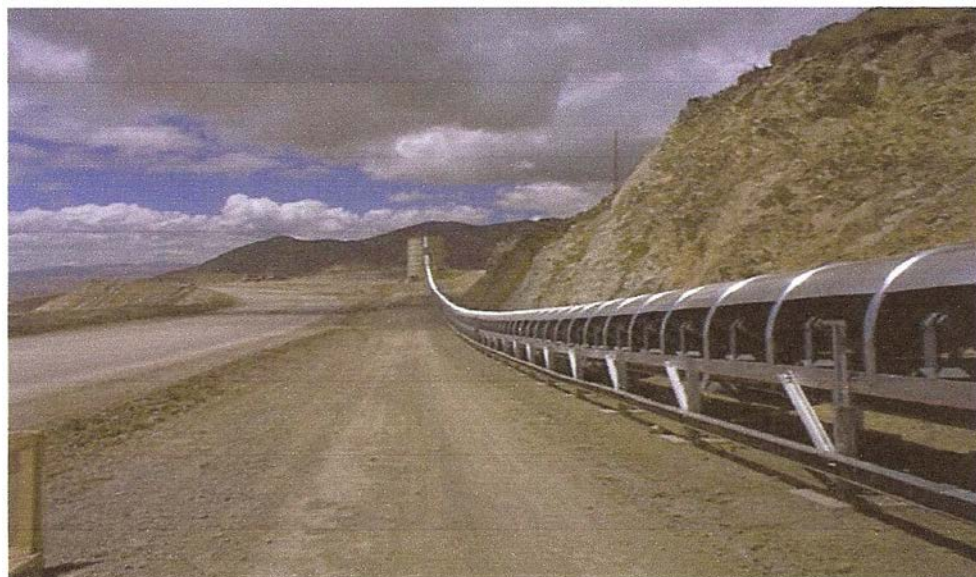


Figura N° 4: Faja Sobreterreno (2,360 m)

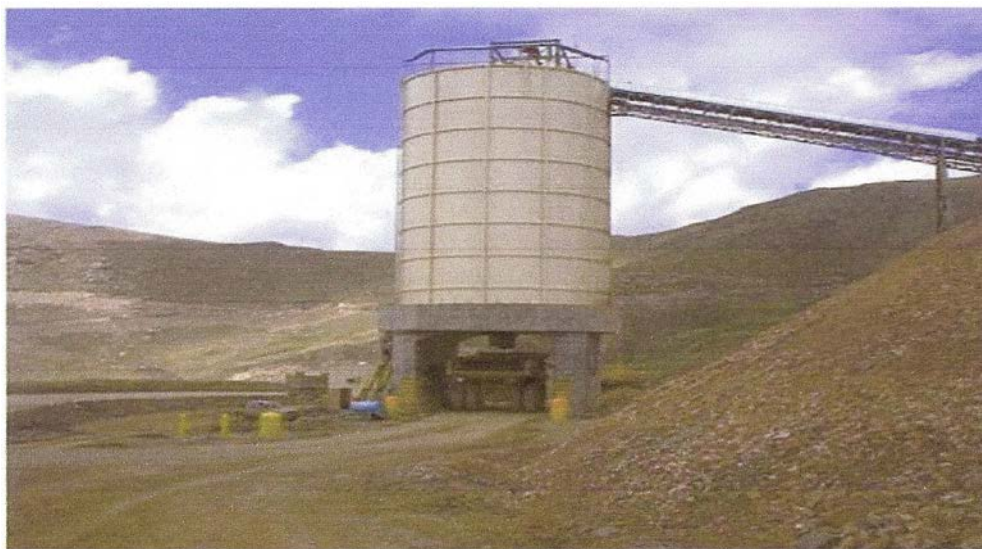


Figura N° 5: Tolva de Descarga

2.5.2. Sistema de lixiviación .

El sistema de lixiviación ocupa un área menor a 300 hectáreas. La capacidad diseñada para la plataforma de lixiviación es de 140 millones de toneladas métricas (peso seco del mineral) aproximadamente. Para la construcción de las pilas se utiliza el sistema de relleno en valle. La solución rica dreña desde las pilas de lixiviación por gravedad hacia la zona de almacenamiento, ubicada en la parte inferior del valle. La zona de almacenamiento de la solución esta diseñada para contener por lo menos 553,500m³ de solución enriquecida. La capacidad de la zona de almacenamiento de la solución rica es tal, que permite contener la misma en caso de presentarse condiciones de operación anormal de la planta o por la acumulación de soluciones durante la temporada de lluvias. La solución rica es entonces bombeada desde el interior del valle, hacia la planta de "Merrill Crowe".



Figura N° 6: Sistema de Lixiviación

2.5.3. Recuperación de Au y Ag (Planta de "Merrill Crowe")

La solución rica proveniente de las pilas de lixiviación, es filtrada en los filtros clarificadores hasta lograr una solución cristalina menor de 5 ppm de sólidos. Luego de la filtración, la solución rica es desoxigenada. La solución rica varía desde 5 a 8mg/l de oxígeno, esta debe ser reducida a 0.5-1.0mg/l, para una producción de un buen Barren (efluente del filtro prensa con 0.01 ppm de contenido de Au) y usar cantidades razonables de zinc. Para conseguir esto, se circula la solución filtrada a

través de una torre que contiene empaques de plástico (packing), estos interrumpen el flujo de la solución formando capas muy finas. La solución desoxigenada debe ser drenada desde la torre de vacío con una bomba sellada para fluidos, de modo que se asegure que no se produzcan filtraciones de aire a la solución. Luego, el polvo de zinc es agregado a una solución desoxigenada de oro cianurado, el zinc es disuelto y el oro sale de la solución como sólido fino. Estos sólidos son filtrados desde la solución, generalmente a través de un filtro de placas, para la remoción de oro. Los sólidos son removidos periódicamente de la prensa, siendo fundidos para recuperar el oro.



Figura N° 7: Planta de "Merrill Crowe"

• **Fundamento de Precipitación de Oro con polvo Zn .**

Este proceso esta basado en el hecho de que el metal a ser recuperado (oro), a partir de la solución cianurada, es más noble que el metal usado para la precipitación (Zinc). Es así como se han determinado los potenciales normales de reducción a 25°C. A continuación se detallan algunos:

Electrodo (Media Celda)	E° (volts)
$\text{Au}^+ + \text{e}^- = \text{Au}$	- 1.68
$\text{Ag}^+ + \text{e}^- = \text{Ag}$	- 0.799
$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2$	0.00
$\text{Fe}^{+2} + 2\text{e}^- = \text{Fe}$	0.440
$\text{Zn}^{+2} + 2\text{e}^- = \text{Zn}$	0.763

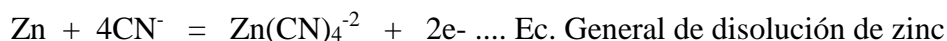
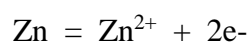
Tabla N° 1: Potenciales Normales de reducción a 25° C

Interpretación de la escala de potenciales normales de electrodos:

- Un E° más grande (más positivo), significa un metal más noble, o sea es más difícil de pasar los iones a la solución (corrosión difícil). Especie oxidante.
- Un E° más pequeño (más negativo), significa un metal menos noble, más fácil de pasar los iones a la solución (corrosión fácil). Especie reductora.

Básicamente se trata de un proceso electroquímico donde el zinc se disuelve (reacción anódica) y los electrones cedidos sirven para reducir el complejo aurocianurado a oro metálico (reacción catódica).

La disolución anódica del zinc, es el resultado de dos reacciones:

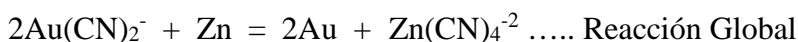


La reacción catódica del complejo aurocianuro sería:

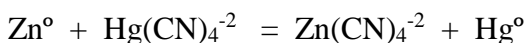
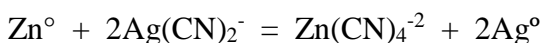
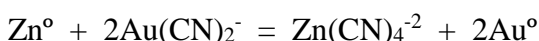


Hay que resaltar que las dos reacciones se producen simultáneamente, y que el zinc cuando se disuelve cede sus electrones al complejo aurocianurado, para que se reduzca a oro metálico.

La ecuación general es la siguiente:



Las reacciones principales que intervienen directamente en el proceso Merrill Crowe son:



2.5.4. Fundición.

El precipitado húmedo proveniente de los Filtros Prensa es trasladado a tres Homos de Retortas. La finalidad de estos equipos es secar el precipitado colectado y recuperar todo el Mercurio que se encuentra en él, por ello se trabaja con rampas de temperatura hasta alcanzar un máximo de 550°C. El ciclo total de la Retorta es de 24 horas y se trabaja bajo una condición de vacío de 7" Hg. El Mercurio removido es colectado por un sistema de condensadores enfriados por agua y se almacena en un colector, el cual es descargado al final del ciclo, a contenedores o frascos especiales de Hg para su almacenamiento seguro.

El precipitado de Oro y Plata, frío y seco, y que ha sido procesado en las Retortas, debe ser mezclado con los fundentes necesarios para cargar los Homos de Inducción y así proceder a la fusión. Se requiere cerca de 2 horas para que la carga se funda completamente y llegue a una temperatura de 1200 °C (aprox.), con el fin de realizar las escorificaciones y la colada final para obtener las barras Doré. Se utiliza el sistema de colada en cascada para la obtención de las barras.



Figura N° 8: Planta de Fundición

CAPÍTULO 3.

LIXIVIACIÓN EN PILAS.

3.1. DEFINICIÓN:

El proceso de lixiviación en Pierina, consiste en la distribución de una solución diluida de cianuro de sodio mediante sistemas de tubos de goteo, de modo que pase a través de la pila de mineral chancado. El cianuro de sodio disuelve selectivamente las partículas de oro y plata contenidas en el mineral. La percolación de las soluciones se almacenan en una especie de laguna subterránea formada por el mismo mineral y contenida por el dique, de tal modo que no existen espejos de solución expuestos al medio ambiente. La solución así almacenada recibe el nombre de solución rica. Que es bombeada a la planta de Merrill Crowe usando una o más bombas sumergidas llamadas “Bombas Caisson” de acuerdo a la necesidad de la planta.

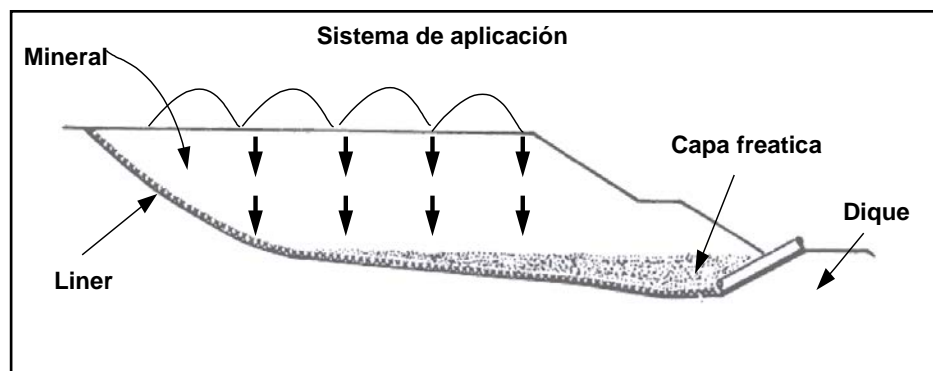


Figura N° 9: Pila en Valle

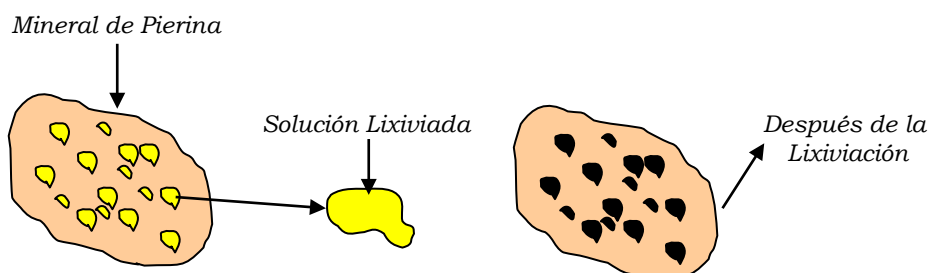


Figura N° 10: Lixiviación

3.2. VARIABLES DEL PROCESO.

Las variables claves dentro del proceso deben ser controladas cuidadosamente por el operador. Estas variables incluyen parámetros tal como: presión, ratios de flujo, niveles y densidades por mencionar algunos.

- **Granulometría.** Por el diseño de planta, la granulometría con que trabajamos en las pilas es de 80% - 1½", el cuidado que debemos tener, es el de mantener bien regulado el set de las chancadoras secundarias para lograr esta granulometría, y en la distribución de los finos, ya que por motivos de segregación estos se distribuyen heterogéneamente, además debemos estar atentos a los contenidos de arcillas, para saber su ubicación dentro de la pila y minimizar taponamientos o bloqueos.

- **Flujo de solución de lixiviación.** Nos aseguramos, de que la solución de lixiviación esté circulando a la tasa especificada, monitoreando los flujómetros. Un caudal demasiado alto produce una lixiviación ineficiente, debido a la formación de canalizaciones en el lecho del mineral o una fuga de solución en el sistema; y un caudal demasiado bajo produce una pérdida de producción.

- **Altura de la pila.** La altura es establecida de acuerdo a la permeabilidad del mineral para asegurarnos una percolación sin problemas, en el caso de Pierina es de 10 m de alto, apilado con volquetes de 153 toneladas.

- **Ciclo de lixiviación.** Es el tiempo de lixiviación al que es sometida una celda de las pilas de lixiviación. En nuestro caso este es aproximadamente de 90 días, con lo que lograremos extracciones mayores a 80% en un lift o nivel. Es importante mantener este ciclo ya que si lo acortamos las extracciones se verán mermadas, y si por el contrario lo prolongamos, la ley de la solución rica disminuirá. La variación de un ciclo de lixiviación deberá ser bien sustentada con pruebas y con la disponibilidad y capacidad de bombeo desde la planta.

- **pH de la solución.** Es la concentración de H^+ u OH^- en la solución que nos va a indicar el grado de acidez o alcalinidad. La solución rica no debe tener un pH menor de 9.5, el que se debe mantener en el transcurso del proceso para no permitir la generación del ácido cianhídrico que es muy perjudicial para la salud. En nuestro caso la alcalinización la obtenemos con cal que es adicionada en el mineral después de la segunda etapa de chancado.

- **Compactación de la pila.** Se debe tener especial cuidado en rpiar o romper las áreas que han sido compactadas por el transitado de volquetes u otros equipos pesados, de lo contrario, estas zonas compactadas no permitirían que filtre la solución lixivante, reduciendo la recuperación de oro y acumulación de solución en el interior del lecho o la superficie.

3.3. LIXIVIACIÓN EN VALLE Y RECUPERACIÓN DEL PROCESO EN PIERINA.

Pierina utiliza el método de llenado en valle para la lixiviación en pilas. Las pilas de lixiviación son inicialmente construidas en la parte baja del valle. A medida que el mineral es acumulado en capas de 10 m de alto, la zona de lixiviación se expande gradualmente en el valle, ocupando más área.

Este método requiere de una estructura de retención fuerte, de menas gruesas estables y un revestimiento de muy alta resistencia debido a la cabeza hidráulica y al peso del mineral acumulado. La mena permanece en contacto con la solución de lixiviación durante toda la vida de la operación y se pueden conseguir recuperaciones mayores a 80%.

La quebrada que contiene a la zona de apilamiento se llama Quebrada Pacchac. Esta quebrada ha sido acondicionada para llevar a cabo el proceso de lixiviación por cianuración, teniendo en cuenta estándares internacionales de protección al medio ambiente.



Figura N° 11: Pad de Lixiviación

3.4. PERCOLACIÓN DE LAS SOLUCIONES:

Se llama percolación al descenso de la solución lixiviante a través del lecho del mineral por efecto de la gravedad, el comportamiento de este descenso estará afectado por las características de la solución (viscosidad, densidad, etc) y las del mineral (% espacio vacío, distribución por tamaños, % finos, afinidad por la solución, aire atrapado, etc).

Cuando se inicia el riego constante de una pila, inicialmente, la solución quedará atrapada en el mineral, una parte en forma de películas delgadas de solución sobre las partículas, otra parte en las fisuras y porosidad de la roca y otra final en los pequeños intersticios dejadas entre las partículas, este es el momento de la máxima retención de solución que un lecho de mineral puede tener, la cual es particular para cada tipo de mineral y distribución granulométrica. La única forma en que este líquido salga del mineral será por evaporación. Cuando el mineral ha llegado a este punto, se llama % de humedad de saturación o de percolación, ya que si se continúa añadiendo solución, esta ya no podrá ser retenida, y fluirá hacia la parte inferior del lecho. El porcentaje de saturación varía desde 10% hasta 50% dependiendo del tipo de mineral y su composición por tamaños o distribución granulométrica de éste, en nuestro caso de 12%.

3.5. CONSTRUCCIÓN DEL PAD.

Las tareas más importantes llevadas a cabo en la etapa de construcción, para el acondicionamiento son detalladas a continuación, de acuerdo a la secuencia de construcción.

- a. Relocalización de vegetales y especies nativas de la zona.
- b. Remoción y relocalización del suelo orgánico superficial para su uso posterior.
- c. Acondicionamiento de la superficie de la quebrada.
- d. Construcción de un dique de contención del mineral y la solución.
- e. Instalación de subdrenajes para la captación de ojos de aguas naturales, los mismos que actualmente son monitoreados diariamente.
- f. Compactación de toda la superficie expuesta con arcilla.
- g. Revestimiento con una manta de polietileno de alta densidad, (geomembrana de HDPE resistente a la radiación ultravioleta, al ataque químico y a la tracción).
- h. Instalación de un sistema de captación de filtraciones con bomba sumergible para el rebombeo de la solución captada dentro del pad.
- i. Revestimiento con una segunda manta de polietileno de alta densidad (liner).
- j. Instalación de drenajes para la recolección de la solución rica.
- k. Revestimiento con mineral fino (chancado a $-3/4''$) para proteger el liner.
- l. Apilamiento del mineral sobre todas las actividades enumeradas anteriormente.

Todo el acondicionamiento mencionado nos proporciona hasta 3 niveles de seguridad (sin contar el dique), para contener cualquier filtración de solución y su rebombeo al pad de lixiviación.

3.6. EQUIPOS USADOS EN EL ÁREA DE LIXIVIACIÓN.

Dada la amplia variedad de trabajos que se realizan en lixiviación, es necesario contar con el apoyo de equipos livianos y pesados que ayudan, en su

conjunto, a realizar un trabajo de acuerdo a estándares de calidad y medio ambiente. Para tal efecto en Pierina contamos con los siguientes equipos:

1. Bobcat: Es un minicargador de operación hidráulica y tracción en las cuatro ruedas, al cual se le puede cambiar el lampón con un brazo retroexcavador acoplable. No posee adecuada amortiguación que lo haga estable a considerables velocidades, alcanza los 10 Km/h. Cuenta también con un equipo percutor para romper piedras. Combustible usado: Diesel.

2. Cargador IT24F: Equipo de transporte pesado que cuenta con tres accesorios: Las uñas, el cucharón y un brazo para manipular materiales (cumple la función de grúa). Fundamentalmente sirve para el traslado de materiales de la zona de almacenamiento al área de lixiviación, y viceversa. Combustible usado: Diesel.

3. Camioneta 4x4: Vehículo de transporte de pasajeros y carga hacia los diferentes puntos del Pad y de la propiedad, su mayor velocidad, estabilidad y seguridad le permite recorrer rutas más largas y en menor tiempo que los anteriores. Combustible usado: Gasolina

4. Camión grúa: Vehículo de mayor tamaño para el transporte de carga y levantamiento de objetos pesados de hasta 1 TM mediante un brazo hidráulico ubicado entre la cabina del conductor y la tolva, permitiéndole cargar y descargar su tolva de equipos y materiales pesados, para luego transportarlos. Combustible usado: Diesel.

5. Generadores eléctricos: Básicamente es un motor de combustión, que acciona sobre el generador eléctrico, transformando la energía del combustible a energía eléctrica. Estos equipos son usados en lixiviación para suministrar energía eléctrica a las planchas de calentamiento, máquina de fusión 628, máquinas para pegado de liner con aire caliente (leyster) y algunos otros equipos eléctricos, en lugares alejados a una toma de corriente. Debido a lo inestable de su voltaje, no se debe usar para equipos electrónicos. Combustible usado: Diesel.

6. Grupo de iluminación: Usado en la iluminación del apilamiento de mineral durante la noche, es básicamente un generador eléctrico, con un poste y luminarias instaladas. Combustible usado: Diesel.

7. Máquina de Termofusión No. 14: Máquina de fácil transporte; que permite la termofusión o pegado en caliente, de tuberías de Polietileno con diámetros de 1” hasta 4”.

Esta compuesta de dos abrazaderas, una fija y otra móvil, las cuales, están sujetas a cada tubería, para cepillar y calentar las superficies a pegar, luego, mediante una palanca, se desplaza la abrazadera móvil sobre unos carriles, presionándola contra la otra tubería, realizando el pegado.

8. Máquina de Termofusión No. 28: Al igual que la máquina anterior, esta máquina sirve para la termofusión de tuberías de polietileno, la diferencia es que esta puede trabajar con tuberías de 2” a 8”, y debido a su mayor tamaño, está sujeta a un chasis con ruedas para su traslado; además, esta máquina por trabajar con tuberías de mayor dimensión, su operación de cepillado y movimiento se realiza gracias a un sistema hidráulico, el cual, usa una bomba eléctrica para generar la presión necesaria.

9. Máquina de Termofusión No. 618: Esta máquina es muy similar a la anterior máquina No. 28, la diferencia radica en que está diseñada para trabajar con tuberías desde 6” hasta 18”, además, que tiene un motor de combustión interna para el bombeo del aceite hidráulico, y para la generación de electricidad para el funcionamiento de la plancha de calentamiento.

10. Máquina de cuña: Máquina eléctrica de pequeño tamaño, la cual, se desplaza sobre los bordes sobrepuestos parcialmente de dos láminas de HDPE que se desean unir, dejando en su recorrido ambas láminas unidas mediante fusión superficial. Cuando los dos bordes están dentro del equipo, son expuestos al calor, esto es generado por una resistencia eléctrica en forma de cuña, fundiendo las superficies a unir de ambas láminas, las cuales son presionadas una contra la otra,

mediante unos rodillos a ambos lados, los cuales dejan una pista en el medio de la pega, para posteriores ensayos de calidad.

11. Máquina de extrusión: Como su nombre lo indica, estos equipos son esencialmente, un tornillo extrusor, el cual empuja continuamente un material de aporte fundido hacia una boquilla, que descarga el material para su aplicación en superficies de HDPE, ya sea para juntas o sellado de orificios. Además, tienen un Leyster para calentar la superficie sobre la cual va a pegar el material fundido.

12. Máquina de fusión por aire caliente (Leyster): Este equipo es simplemente una resistencia eléctrica enrollada, la cual calienta el aire que es insuflado a través de la resistencia por un ventilador, originando una corriente de aire muy caliente, la cual es capaz de fundir la superficie de un objeto de polietileno, ya sea una lámina, tubo, hilo, etc. Es por esta razón, que se usa para realizar pegas de láminas de poco espesor (<0.5 mm), realizar un fijado inicial de láminas de mayores espesores (>0.5 mm), calentar superficies que serán pegadas con extrusora, fundir varillas de plástico, etc.

CAPÍTULO 4.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

4.1. TERMODINÁMICA DE LA CIANURACIÓN.

Es necesario recurrir a sus propiedades termodinámicas y a sus estados estables y metas estables, representados clásicamente en los diagramas de Pourbaix, que relacionan el potencial de oxido reducción (Eh) del metal con el pH del medio. Estos diagramas muestran que compuestos como $\text{Au}(\text{OH})_3$, AuO_2 , HAuO_3^{2-} y también el ión Au^{3+} requieren elevados potenciales redox (superiores a la descomposición del oxígeno) para formarse.

La lixiviación del oro metálico es entonces bastante difícil a causa de la gran estabilidad de este último. En el diagrama Au-H₂O-CN el campo de estabilidad del complejo aurocianuro, esta limitado por una recta que inicialmente muestra una pendiente pronunciada, tornándose luego casi horizontal debido a la acción oxidante del oxígeno en medio básico, hecho que a su vez permite que se haga efectiva la reacción de lixiviación por formación de aurocianuros.

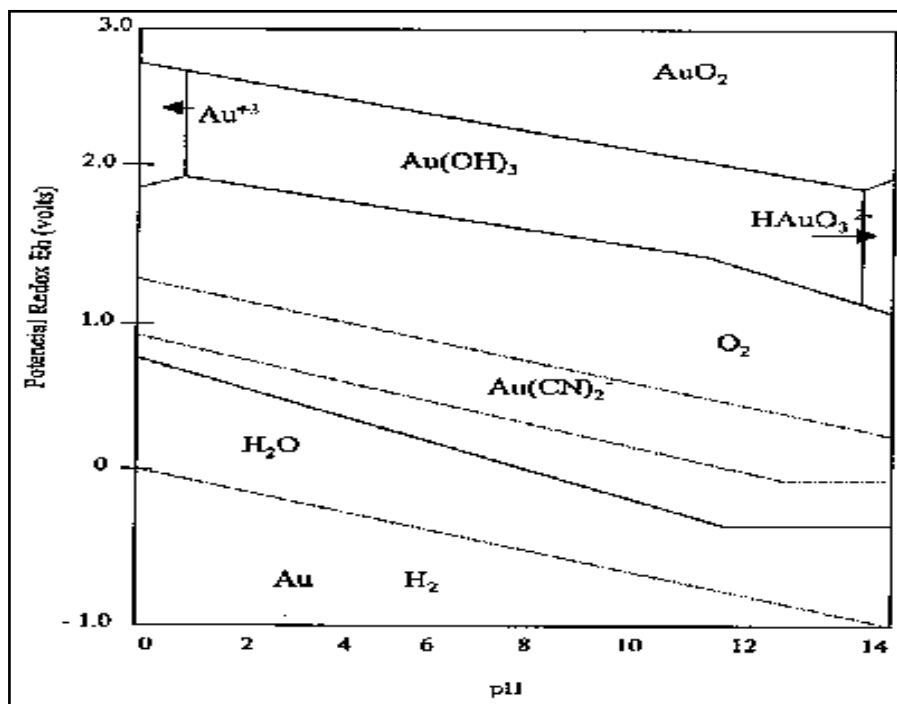


Figura N° 12: Diagrama de Pourbaix del sistema Au-H₂O-CN

4.2. QUÍMICA DE LA LIXIVIACIÓN.

1. Oxidación o disolución anódica del oro.

- $\text{Au} + 2\text{CN} \rightleftharpoons \text{Au}(\text{CN})_2^- + \text{e}^-$
- $E = -0.61 + 0.06 \log [\text{Au}(\text{CN})_2^-]/[\text{CN}^-]^2$
- $E^0 = -0.61 \text{ V}$

2. Reducción catódica.

- $\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 4 \text{OH}^-$
- $E = 0.40 + 0.06/4 \log [\text{PO}_2]/[\text{OH}^-]^4$
- $E^0 = 0.40 \text{ V}$

3. Ecuación de Elsner.

- $4\text{Au} + 8\text{CN} \rightleftharpoons \text{Au}(\text{CN})_2^- + \text{e}^-$

Potencial de reducción electroquímico.

- $\text{M}^{+n} + \text{ne}^- \rightleftharpoons \text{M}$
- $E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{(\text{M})}{(\text{M}^{+n})}$

Donde:

E es el potencial de la ecuación.

E^0 potencia estandar REDOX.

R es la constante de los gases 8.314 Joules/°K.mol.

n es el número de electrones que se reducen.

F constante de Faraday (96475.3 J/mol/V).

4. Expresiones del potencial de reducción.

Reducciones de iones de Au a forma metálica.

- $\text{Au}^+ + \text{e}^- \text{ ---- Au}^0 \quad E = 1.73 + 0.059 \log \text{Au}^+$
- $\text{Au}^{3+} + 3\text{e}^- \text{ ---- Au}^0 \quad E = 1.498 + 0.0197 \log \text{Au}^{3+}$

Para compuestos oxidados

- $\text{AuO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+ + \text{e}^- \text{ ---- Au(OH)}_3 \quad E = 1.457 + 0.059 \log \text{pH}$
- $\text{Au(OH)}_3 + 3 \text{H}^+ + \text{e}^- \text{ ---- Au} + 3 \text{H}_2\text{O} \quad E = 1.457 + 0.059 \log \text{pH}$
- $\text{Au}^{3+} + 3 \text{H}_2\text{O} \text{ ---- Au(OH)}_3 + 3 \text{H}^+ \quad E = 1/3 \log \text{Au}^{3+} - 0.693$

5. Estabilidad del agua.

- $\text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4\text{e}^- \text{ ---- } 2 \text{H}_2\text{O} \quad E = 1.23 - 0.06 \text{pH} + 0.015 \log \text{PO}_2$
- $2 \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \text{ ---- } 2\text{OH}^- + 2 \text{H}_2 \quad E = -0.06 \text{pH} - 0.0295 \log \text{P H}_2$

6. Otras reacciones involucradas.

- $\text{Au(CN)}_2 + \text{e}^- \text{ --- Au} + 2 \text{CN} \quad E = 0.5 + 0.06 \log [\text{Au(CN)}_2] - 0.119 \log [\text{CN}]$

4.3. MECANISMO ELECTROQUÍMICO.

En el caso específico de la cianuración, se ha podido establecer que la disolución está regida por los principios electroquímicos de la corrosión. Fue Thompson quien demostró este hecho utilizando para ellas pequeñas esferas de oro y una solución de KCN como soporte de estas. Haciendo circular una corriente de aire constante, al cabo de tres días, una ligera corrosión en el lado opuesto de la incidencia del flujo, después de otros tres días, la partícula había sido reducida a la mitad.

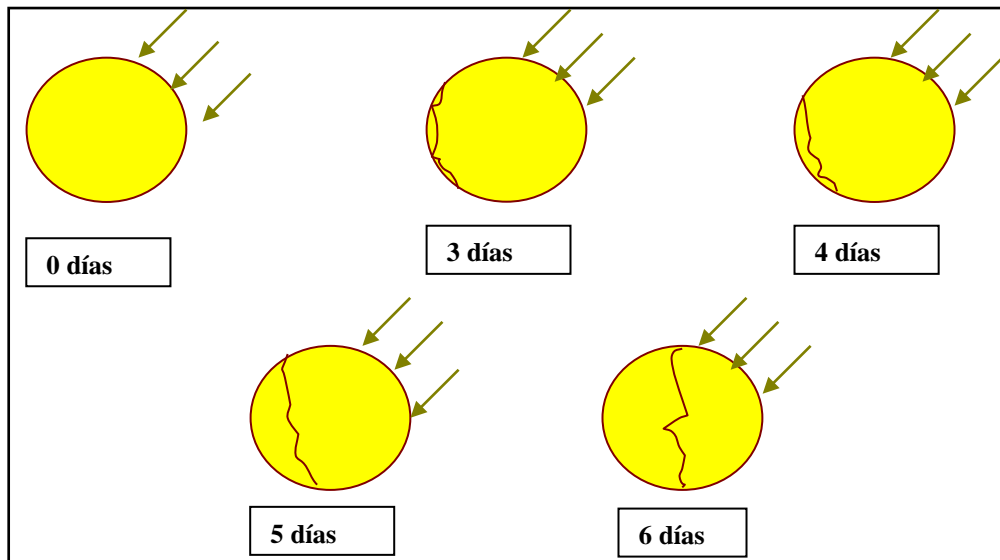


Figura N° 13: Experimento de Thompson

Ilustración de la naturaleza electroquímica de la disolución de partículas de oro en KCN, en presencia de oxígeno. Las flechas indican la dirección del flujo del oxígeno.

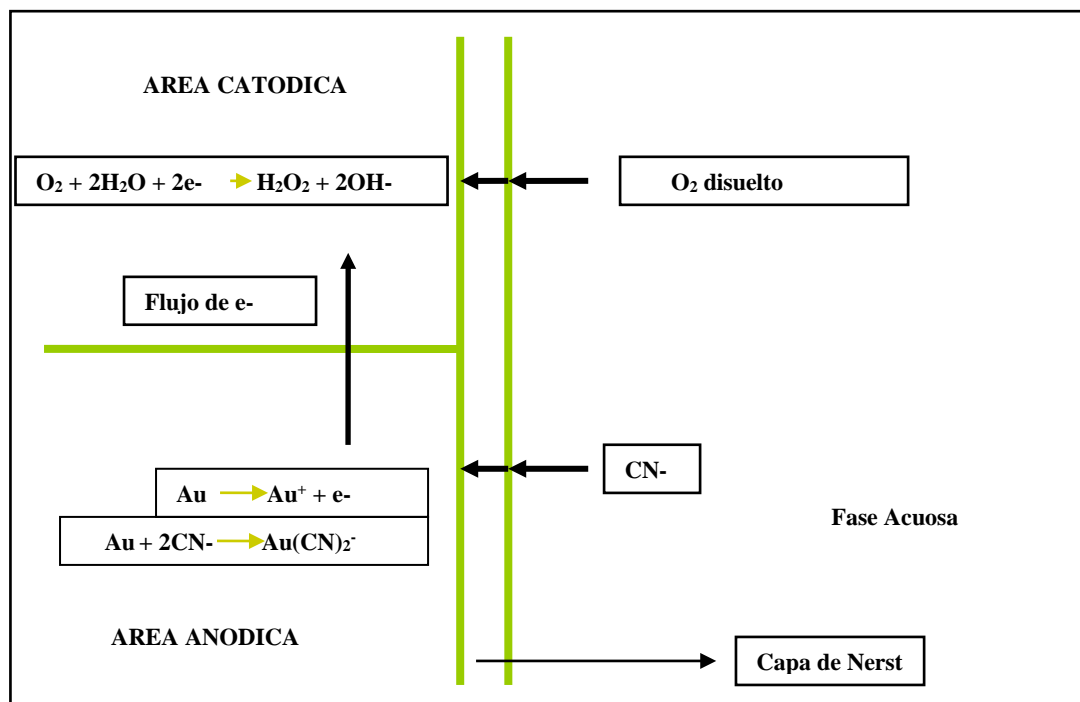


Figura N° 14: Esquemización de la disolución del oro

Representación esquemática de la disolución del oro en soluciones cianuradas, por corrosión electroquímica.

4.4. CINÉTICA DE LA REACCIÓN.

El tiempo de la reacción está determinada por la etapa de menor velocidad (llamada etapa controlante). Es por eso que es importante identificar a esta para incrementar su rapidez. Una reacción fisicoquímica en la cual se hallan involucradas una fase sólida y una fase líquida, se consume en las cinco etapas siguientes:

1. Difusión de los reactantes desde la solución hasta la interfase sólido – líquido.
2. Adsorción de los reactantes en la superficie del sólido.
3. Reacción en la superficie.
4. Desorción de los productos de la reacción de la superficie del sólido.
5. Difusión de estos productos de la interfase sólido - líquido a la solución.

El tiempo que emplean las etapas 1 y 5 es controlado por las velocidades de difusión en tanto que el de las etapas 2, 3 y 4 es función de la rapidez de los procesos químicos. Si la difusión es muy lenta, una mayor agitación es necesaria para acelerar la reacción, si en cambio esta última es retardada por los procesos químicos, se debe incrementar la temperatura.

La cianuración es gobernada por las leyes de Fick, expresadas matemáticamente de la siguiente manera.

- $d(O_2)/dt = D_{O_2} A_1 / \delta \{ [O_2] - [O_2]_s \}$
- $d(CN^-)/dt = D_{CN^-} A_2 / \delta \{ [CN^-] - [CN^-]_s \}$

Donde:

- $d(O_2)/dt$ y $d(CN^-)/dt$, son las velocidades de difusión de O_2 y CN^- respectivamente expresadas en moles/s.
- D_{O_2} y D_{CN^-} son los coeficientes de difusión en cm^2
- A_1 y A_2 son las superficies anódicas y catódicas sobre las cuales se lleva a cabo la reacción.
- δ ancho de la capa límite de Nerst.
- $[O_2]$ y $[CN^-]$ son las concentraciones de oxígeno y cianuro en la solución, en moles /ml.
- $[O_2]_s$ y $[CN^-]_s$ son concentración sobre la superficie de reacción.

CAPÍTULO 5.

SISTEMAS DE RIEGO.

5.1. SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO.

Los goteros son dispositivos insertados en tuberías delgadas o mangueras. Estos dispositivos son de forma cilíndrica con la parte interior hueca. La parte exterior del cilindro es de una forma tal que con superficie interior de la manguera o tubería delgada forma un laberinto que el flujo de la solución hacia el exterior.

Tienen como su principal ventaja la mejor distribución de la solución en la parte superior, cada punto de goteo forma de cono cuyo vértice es el gotero. Se forman áreas sin riego las cuales serán regadas con el riego de la siguiente pila de mineral que se colocará encima de esta.

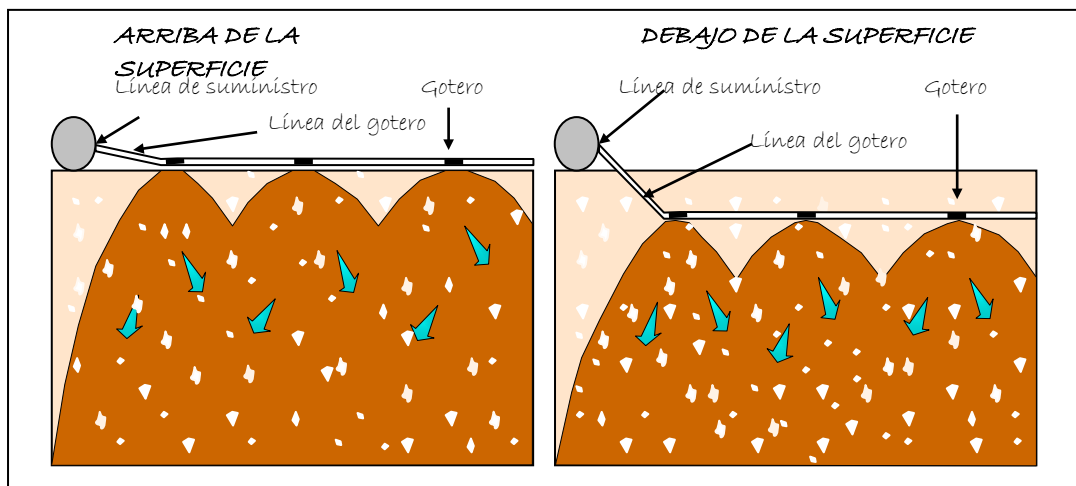


Figura N° 15: Riego por goteo

El escoger un determinado tipo de sistema de riego no es una cuestión de gusto ni de elección al azar, se tienen en cuenta una serie de ventajas y desventajas para realizar dicha elección, por ejemplo los sistemas de riego por goteo se usan bajo las siguientes condiciones:

- Si el agua es escasa.
- Si el pH de trabajo no permite precipitación por la dureza del agua.
- Peligro de congelamiento en la alta cordillera.
- Existencia de fuerte viento permanente.

La densidad de riego de un sistema por goteo se mide en $\text{lt} / \text{hr} \cdot \text{m}^2 = \frac{Q}{S \times L}$

Donde:

Q = Flujo del gotero (lt/hr)

S = Espacio entre goteros de una misma manguera (mt.)

L = Espacio entre mangueras (mt.).

5.2 SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN.

Estos sistemas son usados con minerales que no contengan muchos finos, principalmente con arcilla, debido a que producen gotas gruesas y si hubiera muchos finos producen un lavado de estos, los cuales se acumulan formando una capa impermeable, dificultando una distribución uniforme de la solución en la parte superior de las pilas. Los aspersores riegan en forma circular, produciendo anillos concéntricos en donde los mayores caudales están en la periferia.

Resulta favorable cuando hay agua abundante, las condiciones climáticas son favorables, las aguas son muy duras y el peligro de precipitación de carbonatos es evidente, el régimen de viento es moderado o intermitente a ciertas horas del día, y finalmente cuando haya necesidad de agregar oxígeno a la solución lixivante.

La densidad de riego de un sistema por aspersión se mide $\text{lt} / \text{hr} \cdot \text{m}^2 = \frac{Q}{S \times L}$

Donde:

Q = Flujo del aspersor (lt/hr)

S = Espacio de aspersores en la parte lateral (mt.)

L = Espacio entre laterales (mt.)

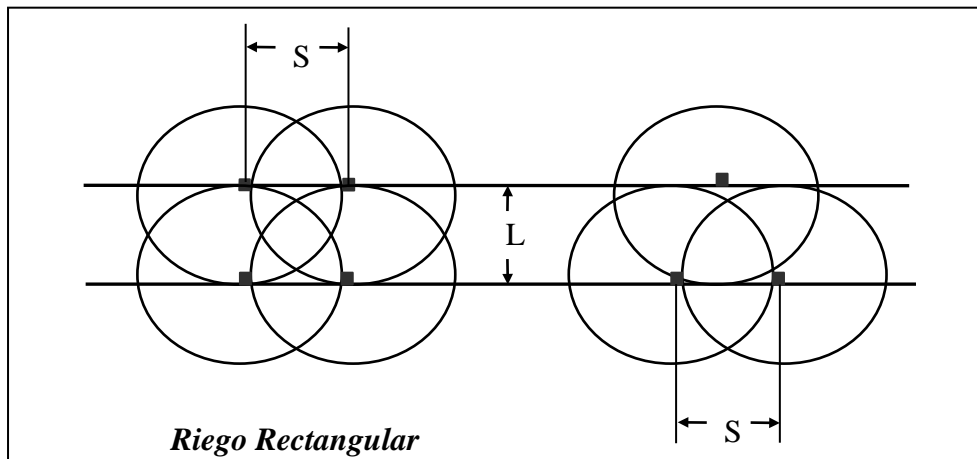


Figura N° 16: Uniformidad de riego por aspersión

En estos sistemas se crean áreas sobre regadas por trasposición entre los círculos que forman cada aspersor. Para reducir estas áreas tendríamos que separar los aspersores.

Prácticamente todos los terrenos pueden ser regados por aspersión. Es especialmente recomendable en:

- ◆ Suelos de textura gruesa (ROM).
- ◆ Cuando la disponibilidad del recurso hídrico no es limitante
- ◆ Cuando se tienen aguas muy duras, y por lo tanto peligro de precipitación de carbonatos (incrustaciones)
- ◆ Cuando se requiere una buena oxigenación de la solución.
- ◆ Condiciones climáticas favorables (temperatura mínima 0° C).
- ◆ Viento moderado ó intermitente a ciertas horas del día.

Los aspersores pueden ser clasificados por:

- ◆ Capacidad (tamaño boquilla).
- ◆ Tamaño de gota.
- ◆ Ángulo de riego.
- ◆ Ángulo de influencia.
- ◆ Giratorios o fijos.
- ◆ Sistemas portátiles o fijos.

Ventajas con respecto al riego por goteo:

- ◆ Menor costo de instalación.
- ◆ Mayor simplicidad de instalación.
- ◆ Mayor versatilidad para el riego.
- ◆ Menor mantenimiento (soluciones sucias).

Desventajas:

- ◆ Menor precisión en la entrega de la solución, y por consiguiente mayor gasto de esta.
- ◆ Mayor presión de trabajo que acarrea mayor riesgo de daño al equipo y más necesidad de energía por m³ de solución.
- ◆ Registra mayor pérdida por evaporación.
- ◆ El impacto de las gotas en la superficie produce una mayor compresión de la corteza.
- ◆ El modelo o forma de precipitación de un aspersor sobre el terreno es triangular y varía según la presión de trabajo.
- ◆ De aquí se desprende la necesidad de superposición de los aspersores para obtener una aplicación uniforme de solución sobre el área de riego.
- ◆ Espacios de un 60% del diámetro de humectación entre aspersores son generalmente satisfactorios.
- ◆ La uniformidad de aplicación del riego está afectada por la disposición de los aspersores sobre los laterales:
 - a. Triangular.
 - b. Rectangular.

El viento desplaza las gotas de solución y modifica la distribución.

Para disminuir el efecto del viento se puede:

- a. Disminuir el espaciado entre aspersores.
- b. Aumentar el tamaño de gota.
- c. Establecer ciclos de riego en función del viento.
- d. Regar solo de noche.

5.3. MATERIALES USADOS EN LOS SISTEMAS DE RIEGO.

- **Tubería HDPE:**

Son utilizadas generalmente como tróncales principales para la alimentación de solución lixivante y su uso es en forma permanente. Las características principales de esta tubería son:

- Tipos de unión: soldadas por termofusión
- Resistencia al impacto: buena
- Flexibilidad: alta
- Montaje: lento y requiere mano de obra.
- Protección: contra los rayos ultravioletas y cambios térmicos propios de la serranía.
- Peso: moderadamente pesado

También son usadas como subtróncales que alimentan a sistemas de riego por goteo que permanecerán por tiempos prolongados en un sitio.

- **Tuberías Yellomine:**

Estas tuberías son utilizadas en los sistemas de riego tanto de goteo como aspersión para la distribución de la solución lixivante. Su ventaja radica en que permite instalaciones rápidas y dinámicas, es decir, permite aumentar o disminuir el área de riego durante la operación sin que esto signifique parar completamente la celda en riego. Sus características son:

- Alta resistencia al impacto
- Se montan rápidamente y se ahorra mano de obra por el tipo de acople rápido, permitiendo que se inserte un pasador plástico a través de un orificio en su acoplamiento, que le da resistencia mecánica. Para la resistencia hidráulica el acople cuenta con un anillo.
 - Flexibilidad: baja
 - Peso: ligero.

- **Válvulas Mariposa:**

Para regular los flujos hacia los diferentes puntos del pad, se usan válvulas mariposa, estas válvulas interiormente tiene un plato circular o sello con un eje central unido al cuerpo principal de la válvula, este gira sobre el eje en una amplitud de 90°, cuando el plato se encuentra paralelo al sentido del flujo la apertura es 100 % y cuando se encuentra perpendicular al flujo se encuentra cerrada totalmente. El sello vulcanizado en el cuerpo hace más duradero y precisa su retención, eliminando las turbulencias alrededor del sello que ocasiona un desgaste más rápido. La fuerza de presión es empleada para empujar el disco hacia su asiento (solo en una dirección) aumentando la retención de la válvula.

- **Flujómetros:**

Se usan para cuantificar el flujo que esta pasando a través de una tubería, tomando acción para mantener una densidad de riego establecida; se usa básicamente un tipo de flujometro que es una hélice en el interior del tubo, una de sus aletas esta marcada con una pequeña pieza metálica, que al dar una vuelta completa, pasa por un sensor, éste envía una señal a un dispositivo electrónico; este calcula, según el numero de revoluciones por minuto de la hélice, el flujo de solución en gpm o m³/hr .

- **Materiales para sistemas de riego por goteo.**

Los sistema de riego por goteo son tuberías delgadas fabricadas de un material de alta densidad, las cuales tienen unos emisores o goteros, estos goteros tienen un laberinto de pasajes y canales, llamado camino tortuoso, el cual esta especialmente diseñado para mantener un flujo determinado a través de él, y poco dependiente de las variaciones de presión. En estos sistemas se usan:

- Troncales de HDPE o Yelomine perforados cada metro.
- Líneas de goteo de ½” o 16mm
- Conectores de línea a línea o línea a troncal de ½”
- Ochos, para cerrar los terminales de las líneas.
- Gobernadores de presión, que permiten mantener una presión determinada estable.

- **Materiales para sistemas de riego por aspersión.**

El riego de la solución lixivante es por medio de un dispositivo llamado aspersor, que se encuentra distribuido sobre una tubería, que provee su alimentación. Este dispositivo dispersa un pequeño chorro de solución en múltiples gotitas. En este sistema se usa:

- Troncales de Yellomine 8”
- Ramales de Yellomine 2” con sus acoples, tapones y pasadores.
- Aspersores, que pueden ser, miniwobbler, nebulizadores, etc
- Válvulas de globo de 2”.

5.4. DISEÑO HIDRÁULICO DE SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO.

La superficie interior de una tubería de HDPE es muy suave o lisa y es por eso que tiene un bajo coeficiente de fricción. Hay un arrastre mínimo sobre la pared de la tubería, debido a la resistencia extremadamente alta a la corrosión, y hasta se podría decir virtualmente que no hay deterioro de la superficie interna por la presencia de un medio abrasivo.

Los parámetros importantes en el diseño de un sistema de tuberías son: el diámetro de la tubería, caída de presión o “Head Loss” y el flujo del fluido. En la práctica es aconsejable trabajar dentro de ciertos rangos de velocidad del fluido. Estos rangos varían, dependiendo del tipo de fluido que es bombeado y el diámetro de la tubería. La siguiente tabla muestra una guía para la selección de velocidades para situaciones dadas.

<i>Agua o fluidos de viscosidad similar</i>	<i>3-10 inches</i>	<i>10-28 inches</i>	<i>28-54 inches</i>
<i>Succión de la bomba</i>	<i>30 – 122</i>	<i>91 – 183</i>	<i>152 – 244</i>
<i>Descarga de la bomba</i>	<i>91 – 152</i>	<i>122 – 244</i>	<i>183 – 366</i>
<i>Sist. de drenaje por gravedad</i>	<i>91- 152</i>	<i>122 – 244</i>	<i>183 – 305</i>

Tabla N° 2: Velocidades sugeridas de líquido (cm/seg), para tubería por tamaños

CAÍDA DE PRESIÓN:

Un fluido esta definido como "una sustancia que en equilibrio estático, no puede sostener fuerzas tangenciales o cortantes".

El flujo volumétrico puede ser determinado de la ecuación de continuidad:

$$Q = A \times V$$

Donde Q: flujo, m³/s; A: Área, m²; V: velocidad, m³/s

El cálculo de la caída de presión en un lateral de riego de agua y fluidos de viscosidad parecida, están basadas en la Ecuación de Hazen-Williams y el factor de Christiansen.

$$hfl = 1.31E^9 \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} \cdot D^{-4.87} \cdot L \quad \text{ecuación de Hazen – Williams.}$$

$$F = \left(\frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \sqrt{\frac{m-1}{6N^2}} \right) \quad \text{factor de Christiansen.}$$

$$hfl = 1.31E^9 \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} \cdot D^{-4.87} \cdot L \cdot F \quad \text{Hazen – Williams y Christiansen.}$$

Donde: hfl = Pérdidas de presión por fricción, (m)
C = Coeficiente de Hazen Williams para la tubería,
Q = Flujo, (m³/hr)
D = Diámetro interior de la tubería, (mm),
L = Longitud de la lateral (m)
N = N° de salidas.
m = factor experimental de Christiansen (0.75 – 1.0).

Esta ecuación puede ser usada para calcular cualquiera de las variables, caudal, diámetro requerido, o pérdidas de presión por fricción.

<u>Tipo de tubería</u>	<u>Coef. C</u>
Tubería HDPE	155
Vidrio	135
Madera lisa	120
Fierro fundido	110
Fierro fundido antiguo	95
Tuberías viejas en malas condiciones	70

Tabla N° 3: Coeficientes de Hazen-Williams para flujo en varios tipos de tuberías

5.5 MEJORES PRÁCTICAS DE LIXIVIACIÓN.

Desde la aparición de mineral con bastante contenido fino y arcilloso se empezó a revisar el sistema de riego existente, pues se realizaba la lixiviación por aspersión y por goteo. Se identificó que el riego por aspersión producía compactación en la superficie de las celdas de riego y a su vez encharcamiento. Detectada la defección se procedió a discontinuar su uso, que por mucho tiempo sirvió para el riego de las pilas. Finalmente, en la actualidad solo se opera con el sistema por goteo.

Los goteros usados actualmente tienen un flujo de 1,6 L / hr que aplicados a una malla de riego de 0,5 m x 0,4 m obtenemos una tasa de riego de 8 L / m² . hr. Anteriormente se trabajaba con goteros de 10 L / hr aplicados a una malla de 1,0 m x 0,8 m (12,5 L / m² . hr). Es importante resaltar que el sistema de goteo anterior permitía la compactación en la superficie de las celdas de riego y a su vez encharcamiento, debido al impacto de los 10 L / hr.

Las celdas instaladas se diseñan considerando una longitud de tubería y longitud de manguera que no ocasione un pérdida a de presión mayor al 10% de la presión de hidráulica requerida por cada gotero (± 1.5 psi). Desde que las celdas se estructuran con diseños hidráulicos, la uniformidad del riego se ha mejorado de modo que las recuperaciones de Oro y Plata se han incrementado.

Las prácticas de descompactación de las áreas superficiales de las pilas, consistían en recorridos cruzados con el riper de los tractores, sin embargo, se

identificó que la capa descompactada contenía gran cantidad de material fino producto de la interacción de las lluvias y del apisonamiento de los equipos pesados que producía el ascenso de dicho material. Para corregir esta situación se implementó la remoción del mineral con una profundidad de medio metro, para luego proceder con el ripeo mencionado.

5.6 PLAN DE CIERRE.

De conformidad a las políticas de protección, preservación y recuperación del Medio Ambiente y a la ley que regula el cierre de minas, se está trabajando en un plan para la cierre de la cancha de lixiviación.

Luego de que la lixiviación del mineral deje de ser una operación rentable, se procederá con los trabajos de remediación los cuales contemplan el enjuague del pad para que las descargas cumplan con los estándares comprometidos en el EIA.

Para el enjuague se retirará todas coberturas plásticas del pad para describir el mineral impregnado con cianuro y permitir que el agua de las lluvias lave de manera natural el mineral. Durante este proceso se utilizará la planta de detoxificación para destruir los complejos cianurados de la solución que se descarga de las pilas de lixiviación.

Después que el mineral del pad haya sido enjuagado se procederá con la remediación de la superficie del pad, para esto se requiere proporcionar un pendiente adecuada mediante el corte y relleno. Sobre la nueva superficie con gradientes corregidas se cubrirá con vegetación oriunda de la zona cuyos requerimientos para su subsistencia son los proporcionados por el medio ambiente de la zona.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES.

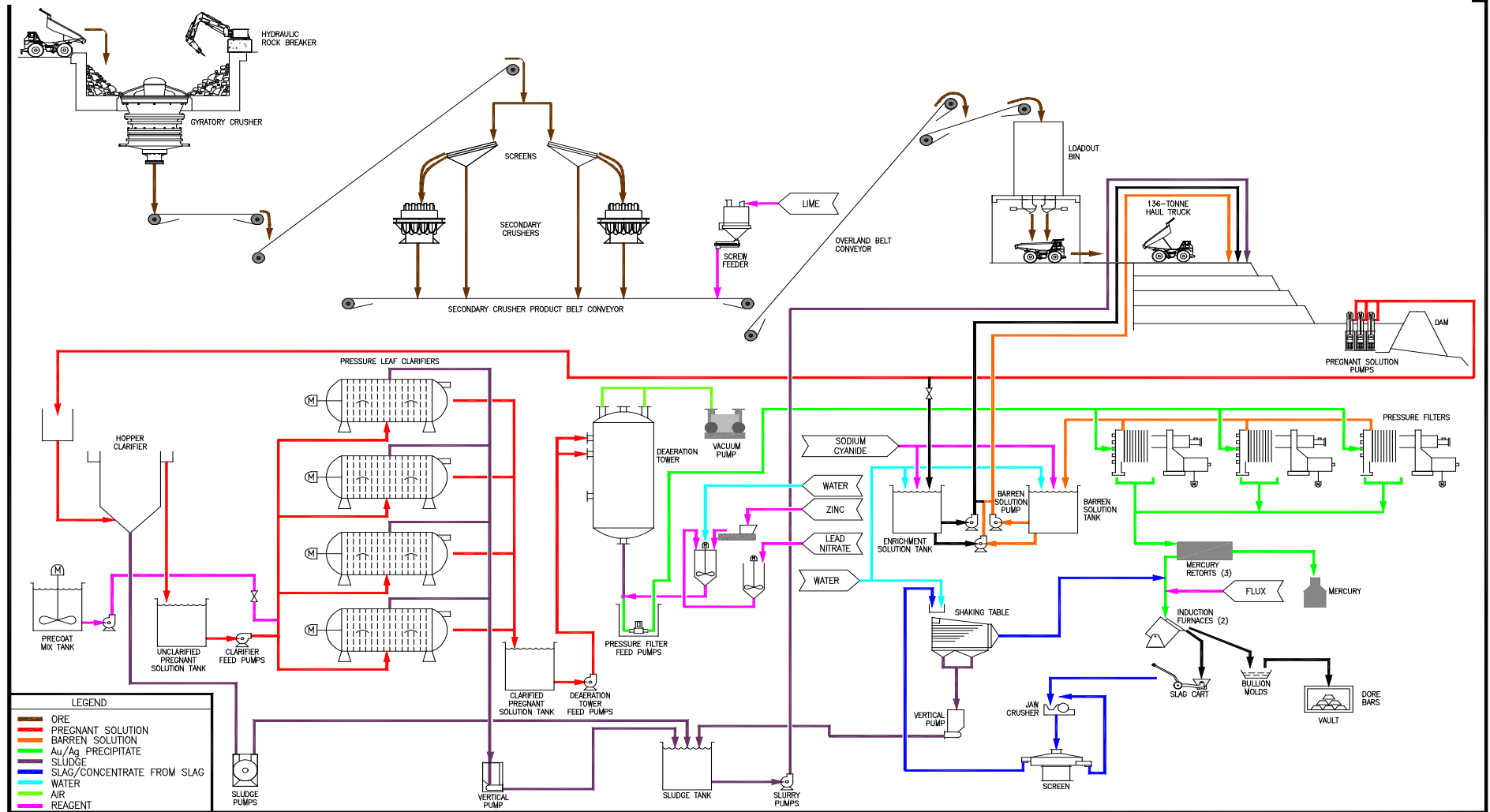
1. El uso de riego por goteo de flujo suave de 1.6 L / hr.m² aplicados a mallas reducidas, aumentan la humectación del mineral y por lo tanto ha favorecido el incremento de la recuperación del Oro y la Plata.
2. La remoción de la capa superficial compactada previa al ripeo de las pilas ha permitido reducir los encharcamientos beneficiando la percolación de la solución lixivante de manera homogénea en las pilas.
3. Los adecuados diseños de las celdas (longitud de subtrunciales y líneas de riego) ha permitido que los flujos de los goteros sean más uniformes permitiendo un riego más parejo sobre el área de riego.
4. El control adecuado de los flujos sobre las celdas por parte de los operadores o controladores de riego ha permitido asegurar el volumen de solución que requieren las celdas para poder obtener la máxima extracción deseada.
5. Una de las medidas para mejorar el rendimiento de una empresa es mejorar la capacitación profesional del personal, y para lograr este objetivo se recomienda:
 - Que todo el personal que labora en una empresa conozca la misión y visión de la empresa y la importancia de su participación para alcanzarlos.
 - Se debe programar un plan de entrenamiento a los operadores de primera línea sobre la importancia de la coordinación efectiva en las operaciones para evitar demoras y por ende tiempos perdidos en un proceso productivo.

BIBLIOGRAFÍA.

- (1) Germán Cáceres, " Cianuración de Minerales de Oro ", Seminario presentado en la Universidad de Chile, Santiago, 1993.
- (2) G. Cáceres, W. Silva & D. Guzman, " Fundamentos de cianuración y Precipitación de oro y plata ", Curso de capacitación, Universidad de Atacama, Copiapó, 1989.
- (3) John Marsden & Lain House, " The Chemistry of Gold Extraction ", Ellis Horwood Limited, 1992.
- (4) D van Zyl, I. Hutchinson & J. Kiel Editors, " Introduction to Evaluation, Design and Operation of Precious Metal Heap Leaching Projects ", Society of Mining Engineers, Littleton, Colorado, 1988.
- (5) Randol International Ltd, " Gold and Silver Recovery Innovations ", phase IV workshop, Sacramento, California, 10-11 November 1989

A N E X O S

ANEXO 1: Diagrama de Flujo del Proceso Metalúrgico



ANEXO 2: Reporte de Responsabilidad de la Mina Pierina

	2005	2004	2003	2002	2001
Cumplimiento Ambiental					
Número de Actas de Infracción Regulatorias	5	0	0	0	0
Multas Abonadas (en US\$)	0	0	0	0	0
Capacitación Ambiental (Horas)					
Capacitación Ambiental a Empleados	2.936	2.235	1.311	1.332	1.200
Capacitación Ambiental a Contratistas	4.682	3.513	2.800	2.100	900
Manejo de Derrames (Derrames Reportables en litros)					
Volumen que escapó Contención de 2do nivel	2.005	50	0	99	26.800
Volumen que escapó Límites del Emplazamiento	0	10	0	696	0
Emisiones al Aire y Descargas al Agua					
Total de Descarga de Agua con Permisos (en Kilolitros)	0	0	0	0	202.994
Valores fuera de límites según Permiso de Agua	0	0	0	0	0
Emisiones de Gases Tipo Invernadero (Toneladas)	110.000	93.000	83.000	72.500	67.500
Valores fuera de límites según Permiso de Aire	0	0	0	0	0
Consumo de Energía (Giga Joule)					
Consumo Directo	1.165.901	945.736	859.671	758.130	718.589
Consumo Indirecto	222.003	215.386	199.060	170.775	149.971
Giga Joules consumidos/onza de oro producida	2,2	1,8	1,2	1,0	1,0
Consumo de Agua (en Kilolitros)					
Consumo	517.406	626.293	446.372	296.028	291.699
Litros consumidos/onza de oro producida	824	970	490	330	320
Litros consumidos/tonelada de mineral procesado	36	41	31	24	n/d
Manejo de Materiales (Toneladas)					
Uso de Cianuro	2.348	2.633	2.641	2.757	2.354
Uso de Explosivos	7.708	6.998	5.849	n/d	n/d
Residuos y Reciclaje					
Disposición de residuos peligrosos (Toneladas)	90	112	43	n/d	n/d
Disposición de residuos no-peligrosos (Toneladas)	811	945	988	n/d	n/d
Descarte de metal reciclado (Kilogramos)	256.970	640.296	127.100	543.292	179.683
Aceite Usado reciclado (Litros)	615.441	407.643	385.149	335.514	351.352
Baterías recicladas (Kilogramos)	3.476	0	5.320	3.135	7.253
Cumplimiento en Salud & Seguridad					
Número de Actas de Infracción Regulatorias	0	0	0	0	0
Multas Abonadas (en US\$)	0	0	0	0	0
Capacitación en Salud y Seguridad (Horas)					
Capacitación en Salud y Seguridad para Empleados	30.510	3.062	3.275	2.285	1.720
Capacitación en Salud y Seguridad para Contratistas	16.738	4.655	5.482	2.997	2.845
Capacitación en Respuesta a Emergencias	21.539	8.087	5.804	3.922	4.176
Desempeño en Salud y Seguridad					
Fatalidades	0	0	0	0	0
Índice de Lesiones con Tiempo Perdido	0,4	0,4	0,7	0,7	0,2
Índice Total de Lesiones con Tratamiento Médico	1,3	1,7	1,5	1,6	1,0
Entregas a la Comunidad (en US\$)					
Donaciones	206.496	0	0	0	n/d
Iniciativas de la Comunidad	207.784	454.344	597.736	161.025	n/d
Desarrollo de Infraestructura	2.654.190	667.000	1.009.951	817.635	n/d

n/d No disponible

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS.

TABLAS.

Tabla N°1	Potenciales Normales de Reducción a 25°C.....	13
Tabla N°2	Velocidades sugeridas de liquido (cm/seg) para tubería por tamaños.....	35
Tabla N°3	Coefficientes de Hazen-Williams para flujo en varios tipos de tuberías.....	37

FIGURAS.

Figura N°1	Mapa de ubicación de la Mina Pierina.....	06
Figura N°2	Planta de Chancado Primario.....	09
Figura N°3	Planta de Chancado Secundario.....	10
Figura N°4	Faja Sobreterreno (2,360m)	11
Figura N°5	Tolva de Descarga	11
Figura N°6	Sistema de Lixiviación	12
Figura N°7	Planta de “Merrill Crowe”	13
Figura N°8	Planta de Fundición	15
Figura N°9	Pila en valle.....	16
Figura N°10	Lixiviación.....	16

Figura N°11	Pad de Lixiviación.....	19
Figura N°12	Diagrama de Pourbaix del sistema Au-H ₂ O-CN.....	24
Figura N°13	Experimento de Thompson.....	27
Figura N°14	Esquematización de la disolución del oro.....	27
Figura N°15	Riego por goteo.....	29
Figura N°16	Uniformidad de riego por aspersión.....	31