

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA
FACULTAD DE TECNOLOGIA Y CIENCIAS APLICADAS



TRABAJO FINAL
INGENIERIA DE MINAS

“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

-2.015-

TÍTULO

“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

Pertenece a:

Diego Hernán Vega

Docente Asesor:

Mgtr. Ingeniero de Minas

Gabriel Aldo Barrionuevo

-UNIVERSIDAD NACIONAL DE CATAMARCA-

Año: 2015

ÍNDICE
CONTENIDO

Dedicatoria	1
Agradecimientos	2
CAPÍTULO N°1	3
RESÚMEN	3
CAPÍTULO N° 2	4
INTRODUCCIÓN	4
2.1. OBJETIVO GENERAL	5
2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	5
2.3. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL	5
CAPÍTULO N°3	6
3.1. BREVE RESEÑA	6
3.2. UBICACIÓN DEL YACIMIENTO.....	6
Figura N°2: Acceso a Mina Farallón Negro	7
3.3. CLIMA.....	8
3.4. GEOLOGIA GENERAL	8
3.5. GEOLOGÍA REGIONAL.....	9
3.6. MINERALOGIA	10
3.6.1. Tipos de Mineralización.....	10
Figura N°5: Zonas con mineralización diseminada.....	10
Figura N°6: Zonas con mineralización vetiforme.....	11
3.7. ZONAS DE EXTRACCIÓN DE MINERAL DE MINA.	11
3.7.1. Vetas en Producción	11
3.7.1.1. Veta Esperanza Sudeste.....	11
3.7.1.2. Veta Esperanza	12
Figura N°8: Veta Esperanza	13
3.7.1.3. Veta Laboreo	14
Figura N°9: Veta Laboreo	14
3.7.1.4. Veta Encuentro	14
Capitulo N° 4.....	20
Fundamentos Teóricos	20
4.1. Compuestos de oro en solución.....	20

4.2. Química del cianuro.....	23
4.3. Termodinámica de la hidrometalurgia del oro	25
4.4. Condiciones de lixiviación del oro	27
4.5. Formación del complejo aurocianuro	28
4.6. Disolución del oro	29
4.7. Cinética de cianuración.....	30
4.8. Cinética heterogénea	31
4.8.1. Cinética de la disolución de oro y plata	33
4.9. Mecanismos de la cianuración.....	37
METODOLOGÍA DE TRABAJO	40
5.1. Materiales y Métodos	40
5.2. Lixiviación en Columnas	40
5.2.1. Preparación de la columna y de la solución	40
5.2.2. Toma de muestra	41
5.2.3. Preparación de la muestra	41
5.2.4. Trituración.....	41
5.2.5. Aglomeración.....	41
5.3. Determinación volumétrica de cianuro libre	41
5.3.1. Determinación de la alcalinidad protectora.....	42
5.4. Controles químicos.....	42
5.4.1. Análisis de muestra sólida.....	42
CAPÍTULO N°6	44
DESARROLLO.....	44
Figura N°13: Columnas en las que se realizaron los ensayos	46
Gráfico N° 1: Recuperación vs. Tiempo	48
Gráfico N° 2: Recuperación vs. Razón de lixiviación	49
Gráfico N° 3: Recuperación vs. Tiempo (Días)	52
Gráfico N° 4: Recuperación vs. Razón de lixiviación	53
Gráfico N° 5: Recuperación vs. Tiempo (Días)	56
Gráfico N° 6: Recuperación vs. Razón de lixiviación	57
CAPÍTULO N° 7	58
GRAFICA DE RESULTADOS FINALES DE LOS ENSAYOS	58
7.1. GRAFICA N°7.....	58

Gráfico N°7: Comparación de Recuperación sin aglomerar	58
7.2. GRAFICA N°8.....	59
Gráfico N°8: Comparación de Recuperación en aglomerado.....	59
7.3. GRAFICA N°9.....	60
Gráfico N°9: Comparación de todos los ensayos.....	60
CAPÍTULO N° 8	61
CONCLUSIONES	61
8.1. ALTERNATIVAS	62
CAPÍTULO N° 9	63
Anexos.....	63
9.1. Tablas N° 1 del Ensayo N°1.....	64
Columna N°1 con solución aglomerante 12.500 ppm	64
9.2. Tablas N° 2 del Ensayo N° 2.....	66
Columna N°2 con solución aglomerante 8.000 ppm	66
9.3. Tablas N° 3 del Ensayo N° 3.....	68
Columna N°3 sin aglomeración.....	68
9.4. Tablas N° 4 del Ensayo N° 4.....	70
Columna N°1 solución aglomerante 8.000 ppm	70
9.5. Tablas N° 5 del Ensayo N° 5.....	73
Columna N°2 sin aglomerar lixiviado con 500 ppm.....	73
9.6. Tablas N° 6 del Ensayo N° 6.....	76
Columna N°3 sin aglomerar lixiviado con 800 ppm.....	76
9.7. Tablas N° 7 del Ensayo N° 7.....	79
Columna N°1 Aglomerar sin CN lixiviado con 500 ppm	79
9.8. Tablas N° 8 del Ensayo N° 8.....	82
Columna N°2 sin aglomerar lixiviado con 2.000 ppm.....	82
9.9. Tablas N° 9 del Ensayo N° 9.....	85
Columna N°3 aglomerada sin cianuro lixiviado con 2.000 ppm.....	85
Bibliografía	88

ÍNDICE DE

GRAFICAS Y FIGURAS

<u>CAPITULO N°1</u>	1
Figura N°1: Grafica final de ensayos	3
<u>CAPITULO N°3</u>	6
Figura N°2: Ruta N°40, acceso a Mina Farallón Negro	7
Figura N°3: Croquis de ubicación del yacimiento Minero Aguas del Dionisio	7
Figura N°4: Mapa Geología General	8
Figura N°5: Zonas con mineralización diseminada	10
Figura N°6: Zonas con mineralización vetiforme	11
Figura N°8: Veta Esperanza	13
Figura N°9: Veta Laboreo	14
Figura N°11: Ciclo de lixiviación en pilas	18
Figura N°12: “Playa de Lixiviación N° 2”	19
<u>CAPITULO N°5</u>	44
Figura N°13: Columnas en las que se realizaron los ensayos	46
Gráfico N° 1: Recuperación vs. Tiempo	48
Gráfico N° 2: Recuperación vs. Razón de lixiviación	49
Gráfico N° 3: Recuperación vs. Días	52
Gráfico N° 4: Recuperación vs. Razón de lixiviación	53
Gráfico N° 5: Recuperación vs. Tiempo	56
Gráfico N° 6: Recuperación vs. Razón de lixiviación	57
<u>CAPITULO N° 6</u>	58
Gráfico N°7: Comparación de Recuperación sin aglomerar	58
Gráfico N°8: Comparación de Recuperación en aglomerado	59
Gráfico N°9: Comparación de todos lo ensayos	60



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

Dedicatoria

A Dios, a mis Padres Vega José, Nieto Irma y Hermanos, José, Roxana y Eugenia, porque durante este largo viaje de mi carrera universitaria siempre estuvieron conmigo y por las mil maneras de expresarme su apoyo, confianza y por creer en mí.

DIEGO HERNÁN VEGA



Agradecimientos

Al finalizar este trabajo tan importante, con seguridad el más importante en mi vida de estudiante universitario, es inevitable pensar en los sacrificios realizados, obstáculos superados y experiencias obtenidas. Esta anhelada meta hubiese sido imposible sin la participación de personas e instituciones que han facilitado las cosas para que este trabajo llegue a un feliz término. Por ello, es para mí un verdadero placer utilizar este espacio para ser justo y consecuente con ellas, expresándoles mis agradecimientos

- A mis padres que confiaron en mí y me enseñaron a ser perseverante y nunca me pusieron un límite para poder cumplir con este objetivo.
- A mis abuelos que desde el cielo me guiaron por el buen camino y me dieron fuerza durante toda la carrera.
- A mis hermanos que estuvieron en los momentos difíciles y me apoyaron en cada paso.
- Debo agradecer de manera especial y sincera al Mgtr Ingeniero de Minas Gabriel Aldo Barrionuevo por guiarme, aconsejarme y transmitirme sus conocimientos.
- A la Ingeniera Claudia Caletti que estuvo incentivándome cada día para que finalice la tesis.
- Quiero agradecer también, y de ninguna manera con menor importancia, a todos los profesores de la carrera, por brindar sus conocimientos y experiencias.
- A Verónica Vallejos que me acompañó y me contuvo en mis momentos de tristeza, alegría y emoción.
- A Javier Coronel por colaborar en la realización del trabajo final.
- A la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas.
- A mis compañeros de la facultad por acompañarme en esta de mi vida tan importante y significativa tanto en buenos y malos momentos.
- A la Empresa YMAD por brindarme la oportunidad de realizar mi tesis.

DIEGO HERNÁN VEGA



CAPÍTULO N°1

RESÚMEN

La cianuración es, desde hace más de 100 años, la tecnología preferida para la extracción de oro y plata de sus menas. Se ha investigado el comportamiento del cianuro en la disolución de oro, tratándose de mejorar la cinética y la recuperación de dicho metal. Para la realización de este trabajo se tomaron muestras de mineral de la planta de trituración del yacimiento Farallón Negro (YMAD), realizándose ensayos en columnas a escala de laboratorio para evaluar la recuperación de oro, cinética y consumo de cianuro.

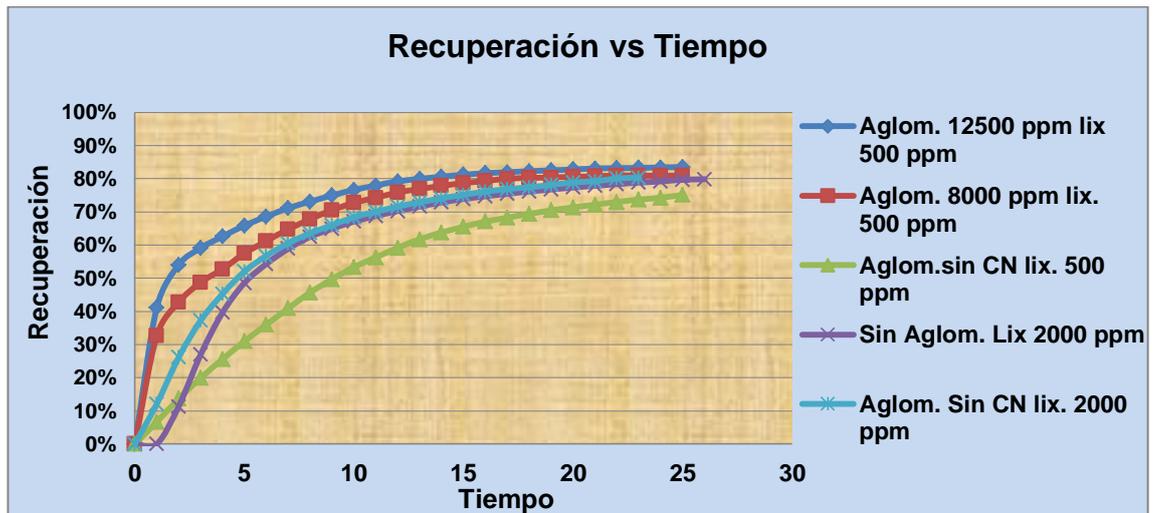


Figura N°1: Grafica final de ensayos

Se ha encontrado que aglomerar con una concentración de 12500 ppm (NaCN) se obtenía una mejor cinética y recuperación de metal útil, esto se puede observar en la figura 1.

Al bajar la concentración de CN en la solución aglomerante la velocidad de reacción disminuye manteniéndose la recuperación.

Otra variable importante que se analizó fue el consumo de cianuro y se encontró que el menor consumo se dio en el ensayo aglomerado sin cianuro y lixiviando con 500 ppm. El consumo de cianuro en estas condiciones fue de 928 g/t.

En todos los ensayos las recuperaciones alcanzadas fueron muy similares, lo que varió fue el tiempo que se tarda en llegar a las mismas debido a la diferente cinética.



CAPÍTULO Nº 2 **INTRODUCCIÓN**

El oro y la plata se disuelven rápidamente en soluciones diluidas con cianuro, este hecho es conocido desde hace siglos. La disolución se produce mediante un proceso electroquímico, que involucra la reacción anódica del oro como un complejo auro–cianuro, y la reacción catódica simultánea de reducción del oxígeno disuelto en agua.

La hidrometalurgia del oro y la plata ha tenido un gran desarrollo en los últimos 20 años, esto es debido principalmente, al alto precio del oro, por lo que se han desarrollado investigaciones tendientes a perfeccionar y optimizar el beneficio de dicho metal.

En este trabajo, se investigan variables y factores que influyen en la disolución del oro en soluciones de cianuro. En todo proyecto minero, se necesita estimar costos y producción en función a sus objetivos y metas, teniendo en cuenta como base el precio de los productos finales que se obtiene; y determinando a partir de allí el volumen de producción acorto y largo plazo, lo cual determina la rentabilidad del proyecto.

Farallón Negro cuenta con una planta de trituración de mineral que alimenta a las pilas de lixiviación con una capacidad de 700 t/d. El mineral triturado se aglomera con solución cianurada y se apila para su posterior lixiviación. En este trabajo se van a hacer ensayos en columnas donde se plantea lixiviar mineral sin aglomerar, aglomerando sin cianuro y aglomerando con cianuro. Con estas diferentes condiciones de lixiviación, se evaluará la cinética, recuperación y consumo de cianuro. Según los resultados obtenidos, se podrán ofrecer alternativas a la operación, que minimicen las pérdidas de producción por problemas operativos, como ser falta de personal, mantenimiento o rotura de equipos.

Los ensayos se hicieron en Farallón Negro, propiedad de la empresa YMAD (Yacimiento Mineros Agua de Dionisio).

Los ensayos se hicieron, utilizando mineral proveniente de la planta de trituración con una granulometría menor a 7/16”.

Se tomaron muestras de 300 kg de mineral de la planta de trituración, se prepararon con el método de homogeneización y cuarteo hasta obtener una muestra representativa para determinar la ley de cabeza.



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

Se acondicionarán los materiales para el ensayo: columnas, recipientes de solución de riego, sistema de riego, y los recipientes receptores de solución rica de lixiviación.

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el proceso de lixiviación de oro con cianuro a escala de laboratorio mediante ensayos en columna.

2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

Realizar ensayos en columnas con mineral aglomerado y sin aglomerar variando la concentración de cianuro en la solución aglomerante y en la solución lixivante.

2.3. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

La mina Farallón Negro explota mineral de oro y plata. Dependiendo de la ley del mineral que se extraiga, se considera mineral de alta ley y mineral de baja ley. En el segundo caso, el material se lleva a un proceso de conminución para obtener la granulometría de P80 -7/16”. El producto se aglomera con una solución (agua, cal, cianuro de sodio) que tiene una concentración de 12500 ppm de cianuro, y un pH mayor a 10. Luego de este paso el material se transporta a las playas de lixiviación, para ser regado con solución de cianuro de sodio con una concentración de 500 ppm y pH mayor a 10.



CAPÍTULO N°3

YACIMIENTOS MINEROS AGUA DE DIONISIO

MINA FARALLÓN NEGRO

3.1. BREVE RESEÑA

YMAD es titular de una concesión minera de 344 km², donde se encuentran yacimientos y manifestaciones mineralizadas del tipo vetiforme, que contienen oro, plata, manganeso; y del tipo diseminado que contiene cobre, oro, plata y molibdeno.

Es una empresa inter jurisdiccional, nacida a partir del Acta de Farallón Negro, con participación de la Provincia de Catamarca, la Universidad Nacional de Tucumán y el Estado Nacional.

YMAD opera por administración, en forma ininterrumpida desde 1978, de donde se obtiene oro y plata, que se refina en una planta (propiedad de YMAD) ubicada en la Ciudad de Catamarca, obteniéndose productos comerciales con el sello de YMAD, que se comercializan en el mercado local.

La dotación de YMAD, es de 316 personas, de las cuales 275 desarrollan sus actividades en Farallón Negro.

3.2. UBICACIÓN DEL YACIMIENTO

El distrito mineralizado Farallón Negro se localiza en la concesión minera de Yacimientos Mineros Aguas de Dionisio, que tiene una superficie de 344 km², la cual se ubica en el distrito Hualfín, Departamento Belén, Provincia de Catamarca, República Argentina; a una altura promedio de 2600 m.s.n.m. Los centros poblados más importantes son Belén y Santa María a 90 y 120 km, respectivamente.

El principal acceso hacia Farallón Negro es a través de la ruta N° 40, y a la altura de la localidad de Los Nacimientos, se desvía por una ruta interna, de ripio hasta el complejo minero. Desde la ciudad capital de Catamarca se encuentra a 320km.

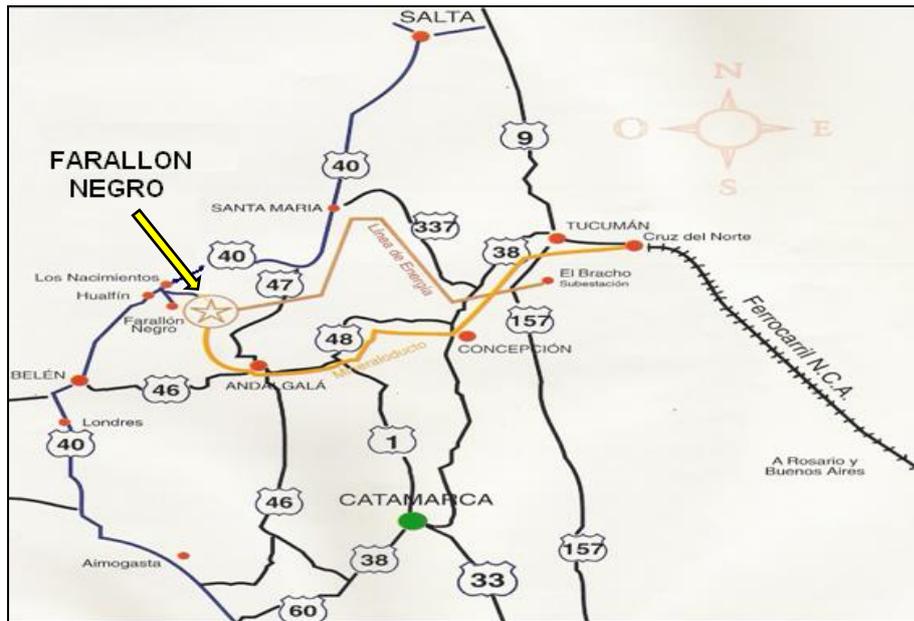


Figura N°2: Acceso a Mina Farallón Negro

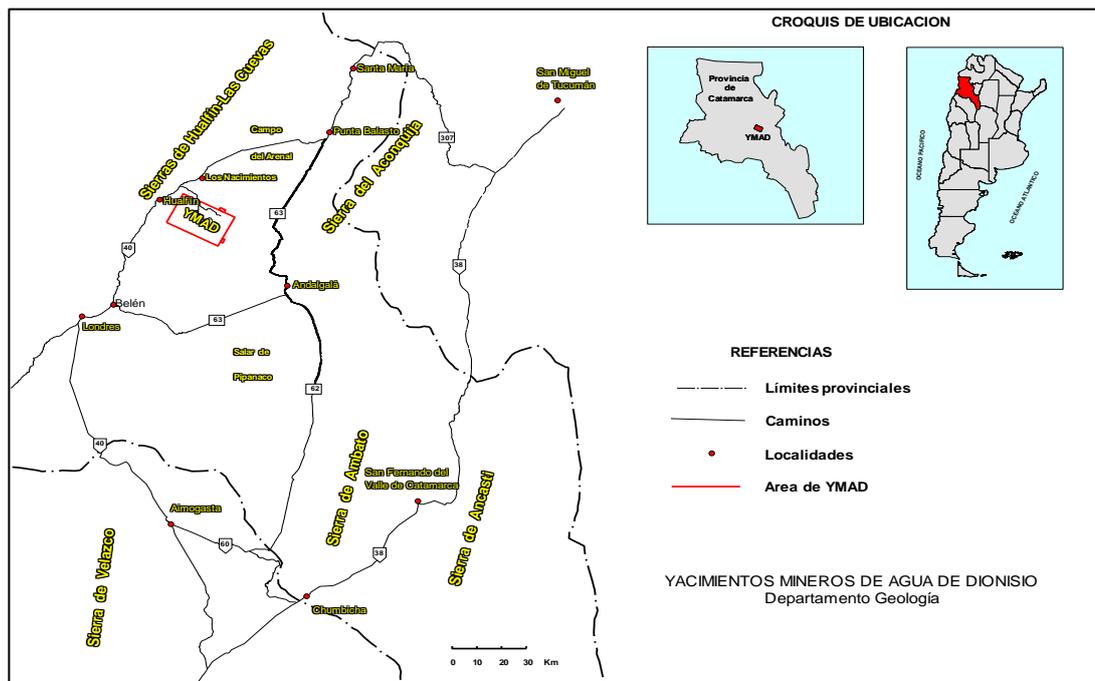


Figura N°3: Ubicación de Farallón Negro

3.3. CLIMA

Es un clima continental con grandes variaciones de temperatura, con largas sequías registrándose temperaturas de hasta 35° en verano descendiendo por la noche a generalmente 10°C. Según antecedentes las lluvias no se registran frecuentemente pero tiene épocas cortas de precipitaciones torrenciales. Las nevadas son muy poco comunes; registrándose estas sólo en las partes más elevadas, y en invierno se registraron temperaturas por debajo de los 0°C sobre todo en los meses de Junio - Julio.

3.4. GEOLOGIA GENERAL

Esta zona forma parte de serranías de escasa elevación constituyendo un complejo volcánico, ubicado entre el macizo del Aconquija hacia el Este, las sierras de Hualfín hacia el Oeste, el campo del Arenal al Norte y hacia el Sur, un conjunto de sierras que la separan del campo de Belén - Andalgalá.

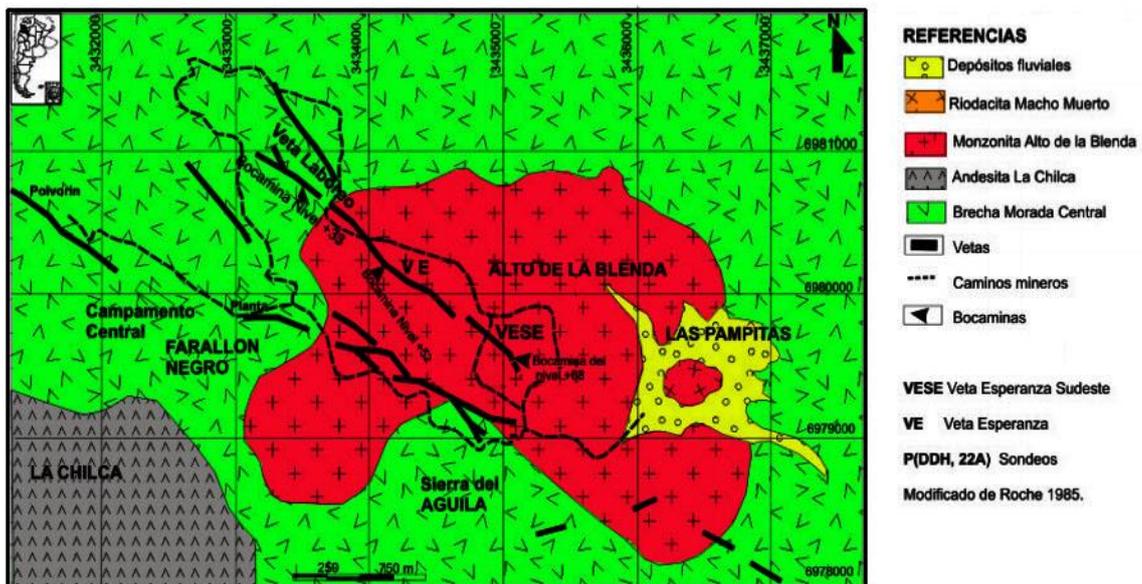


Figura N°4: Mapa Geología General

En general, está formado por un conjunto de morros y cerros con predominio de formas cónicas, típicas de zonas volcánicas de clima semidesértico y algunas filas más elevadas y abruptas, ubicadas en el sector SE. En el sector NE tenemos alturas menores y depresiones (campo de La Aguadita), como así también en la zona central (Las Pampitas y Bajo de La Alumbreira).



3.5. GEOLOGÍA REGIONAL

El cuerpo principal de sierras de la zona está formado por bloques cristalinos elevados y limitados por fracturas inversas en cuya constitución intervienen rocas metamórficas, constituidos por granito, granodiorita y venas pegmatitas (precámbricas). Sobre este basamento se superponen en discordancias las areniscas rojas del Calchaquenses (terciario inferior) y sobre ellos las areniscas grises o Araucanense (terciario superior).

Por lo tanto la zona mineralizada está formada por un complejo de origen volcánico (Serie Andesita, Meso-terciaria), dentro de la zona mineralizada se distinguen dos tipos de fracturas:

1. Las producidas por el ascenso de masas intrusivas de disposición radial, rellenas por lava de distinta composición.
2. Las originadas por movimientos tectónicos superiores rellenas por vetas metalíferas.

La mineralización de Farallón negro y Alto la Blenda ha ocurrido en tres etapas, las cuales se describen a continuación:

- 1) Primera Generación: Constituida exclusivamente de sulfuros (pirita aurífera, calcopirita, galena y blenda) acompañada de cuarzo.
- 2) Segunda Generación: Formada por carbonatos (calcita, aragonita, anquerita y siderita). Ha sido la de mayor volumen ya que relleno completamente las fracturas.
- 3) Tercera Generación: Constituida por minerales de Manganeso (pirolusita y psilomelano) acompañada de cuarzo aurífero y pirita. Es la más importante económicamente.

El oro fue depositado con la pirita y con el cuarzo en mayor proporción, la plata se encuentra asociada al oro (solución sólida), los óxidos de manganeso son minerales primarios.



3.6. MINERALOGIA

Sus vetas poseen una mineralogía muy amplia, constituidas por carbonatos de manganeso (magnesita), cuarzo, y óxidos de manganeso (pirolusita) con oro y plata.

La potencia de las vetas varía desde pocos cm. hasta 30m.; su estructura es denominada “en rosario”, porque se producen variaciones en la potencia tanto en sentido del rumbo como en profundidad.

El área de estudio está formada principalmente por rocas eruptivas y rocas intrusivas de la era cuaternaria.

3.6.1. Tipos de Mineralización

a. **-Diseminada** (Cobre porfídico con alteración hidrotermal): se observa en La Alumbreira, El Durazno, Las Pampitas y San Lucas.

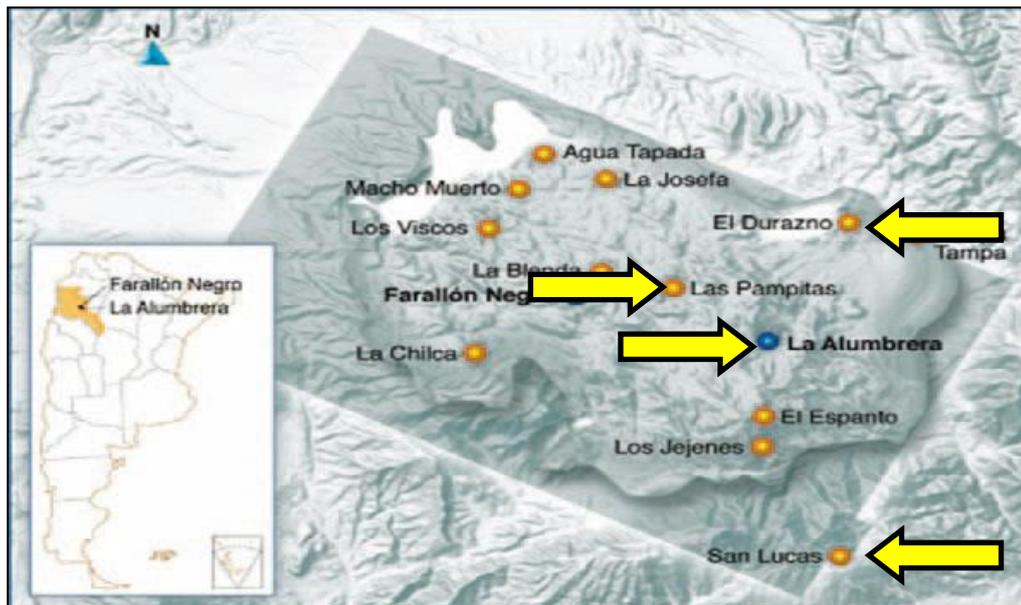


Figura N°5: Zonas con mineralización diseminada

b.-Vetiforme(Filones de cuarzo y carbonatos que contiene Oro, Plata y Manganeso): se encuentra en Farallón Negro, Los Viscos, Alto de la Blenda, Macho Muerto, Agua Tapada, Santo Domingo y La Josefa.

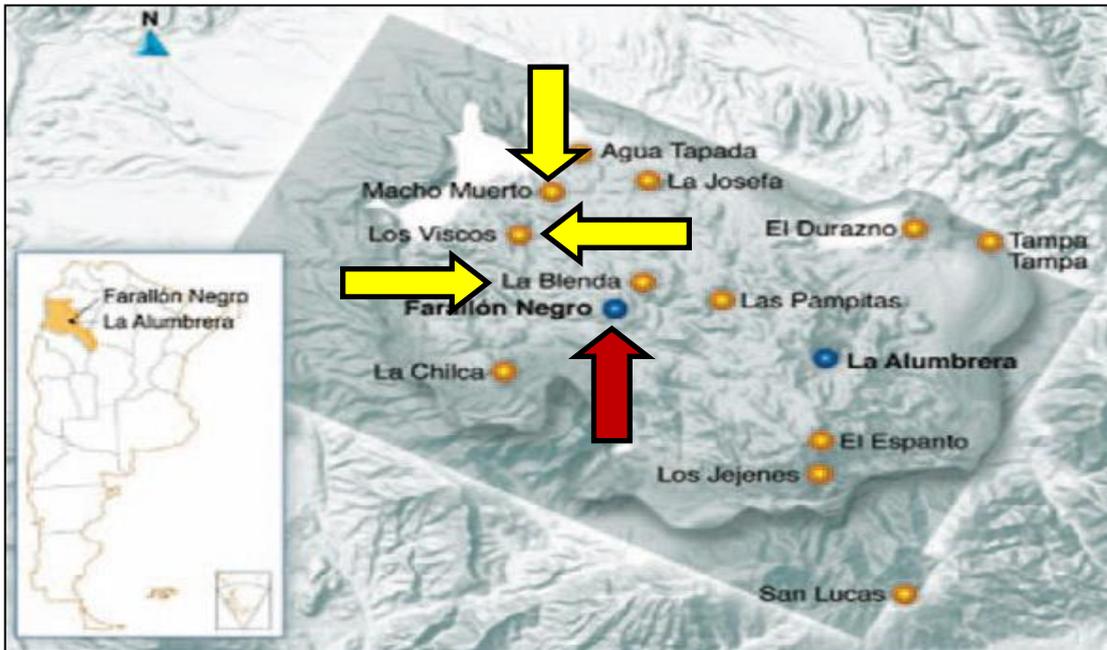


Figura N°6: Zonas con mineralización vetiforme

3.7. ZONAS DE EXTRACCIÓN DE MINERAL DE MINA.

El mineral extraído de la mina se clasifica según su ley en alta (4 g/t) y en baja (2 g/t).

3.7.1. Vetas en Producción

3.7.1.1. Veta Esperanza Sudeste

Es una veta con textura continua y estructura laminar y está conformada por óxidos de Mn, Qz, óxidos de Hierro (principalmente hematita), además de contener carbonatos rosados y blancos. La roca encajante es monzonita.

La V.E.S está constituida por dos niveles:

- **Nivel 2517 (Ex -120)**, Se divide en cinco rajos (Rajo 1, 2, 3, 4 y 5) con longitudes de 60 m. cada uno, y ancho promedio entre 6 y 9mts.

Los rajos 4 y 5 son los que contienen leyes altas entre 5 – 5.5 g/t Au y 150 g/t de Ag. Los rajos 1, 2 y 3 son de baja ley entre 2.8 – 3 g/t de Au y 120g/t Ag. La extracción de mineral se realiza por los buzones 5, 6 y 7 con camiones Scania de 20 – 25 t. El relleno ingresa por la chimenea N°15 desde superficie.

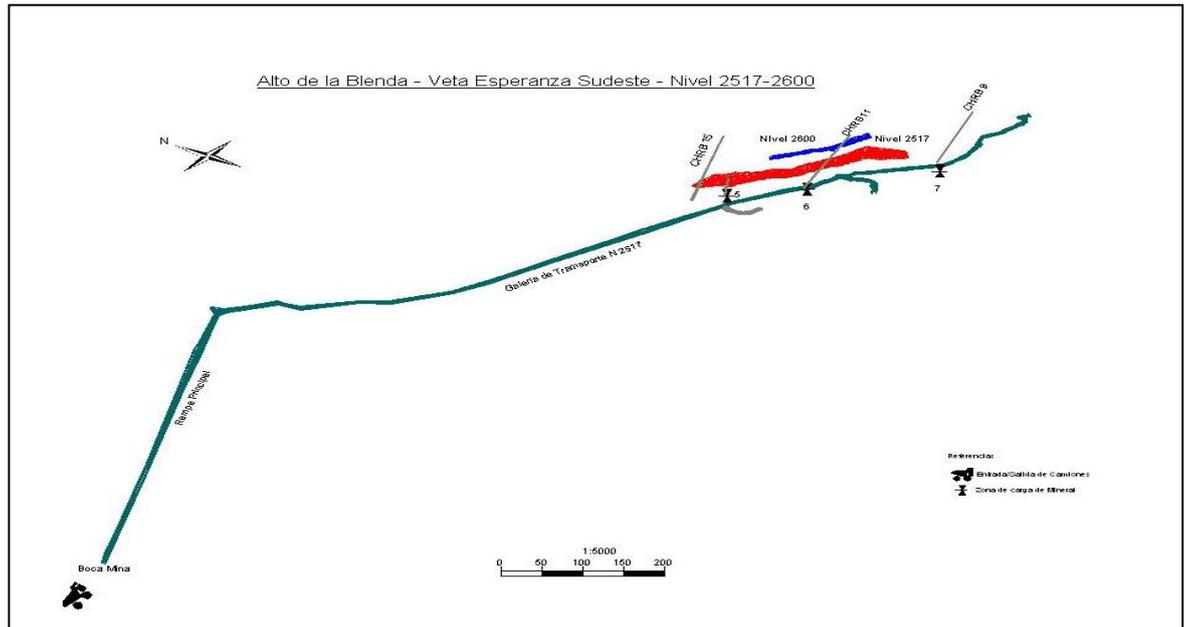


Figura N°7: Veta esperanza Sudeste

3.7.1.2. Veta Esperanza

El único Nivel que se encuentra en explotación es:

- **Nivel 2529 (Ex -108)**, hacia el SE se encuentran los Rajos 4 y 5 que no están en explotación y hacia el NO los Rajos 1, 2, y 3 con leyes promedio de 2.3 a 2.4 g/t de Au y 70 – 80 g/t Ag. El ancho de la veta es de aproximadamente 3.5 a 4 m. con una longitud de 180m. El mineral se extrae por buzón 4 con camiones Scania de 20 – 25 t y el relleno ingresa por chimenea 4 desde superficie.

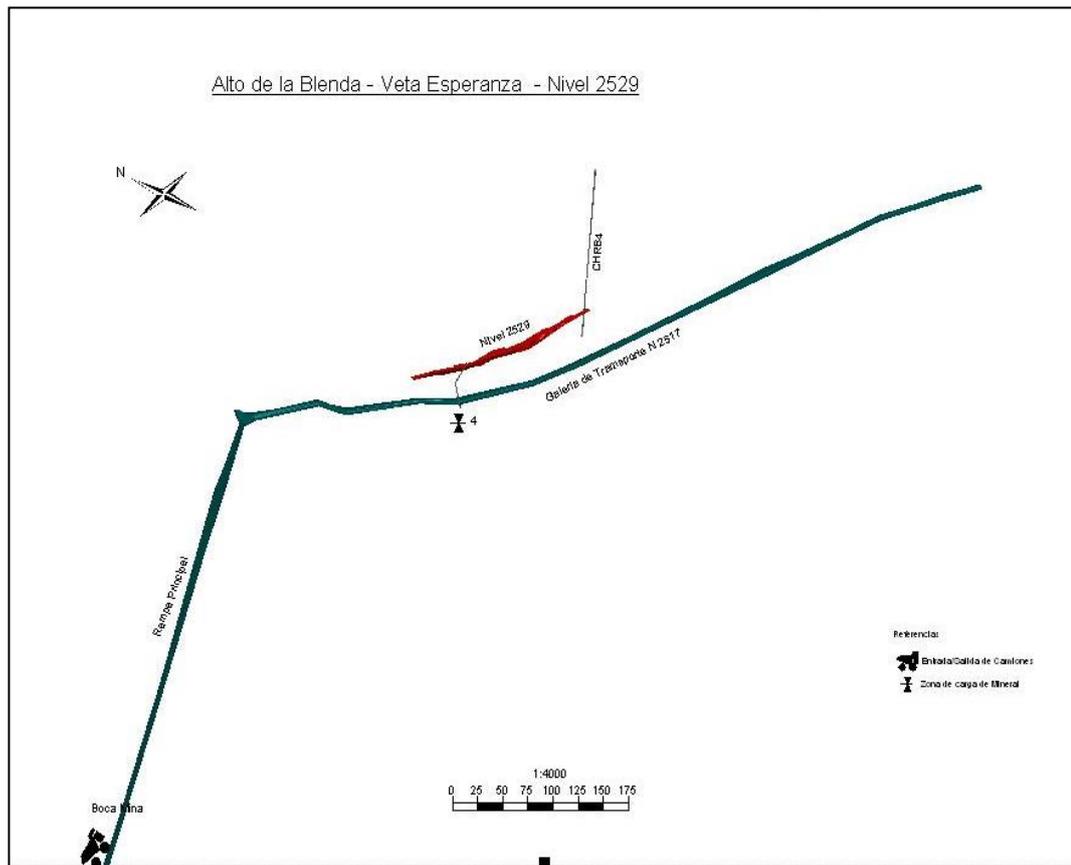


Figura N°8: Veta Esperanza

3.7.1.3. Veta Laboreo

Esta veta presenta leyes bajas de 2 g/t Au y en algunos sectores puede contener de 1.7 a 1.8 g/t Au. Se divide en dos niveles:

(Uniformar las magnitudes: gramos (g) toneladas (t ó tn)

- **Nivel 2479:** conformado por un nivel único sin subdivisión de Rajos. Su longitud es de 250 m., y el ancho de la veta es de 3.5 a 4m. El mineral se extrae por buzón 8 por medio de camiones Scania de 6 – 10 t y el relleno por ingresa por chimenea 17 desde superficie.
- **Nivel 2419:** Su longitud es aproximadamente 250mts, con ancho de veta de 3.5m. Posee leyes bajas de 2g/t Au. El mineral es extraído por medio de camiones y palas. El relleno ingresa por chimenea 17 de desde superficie.

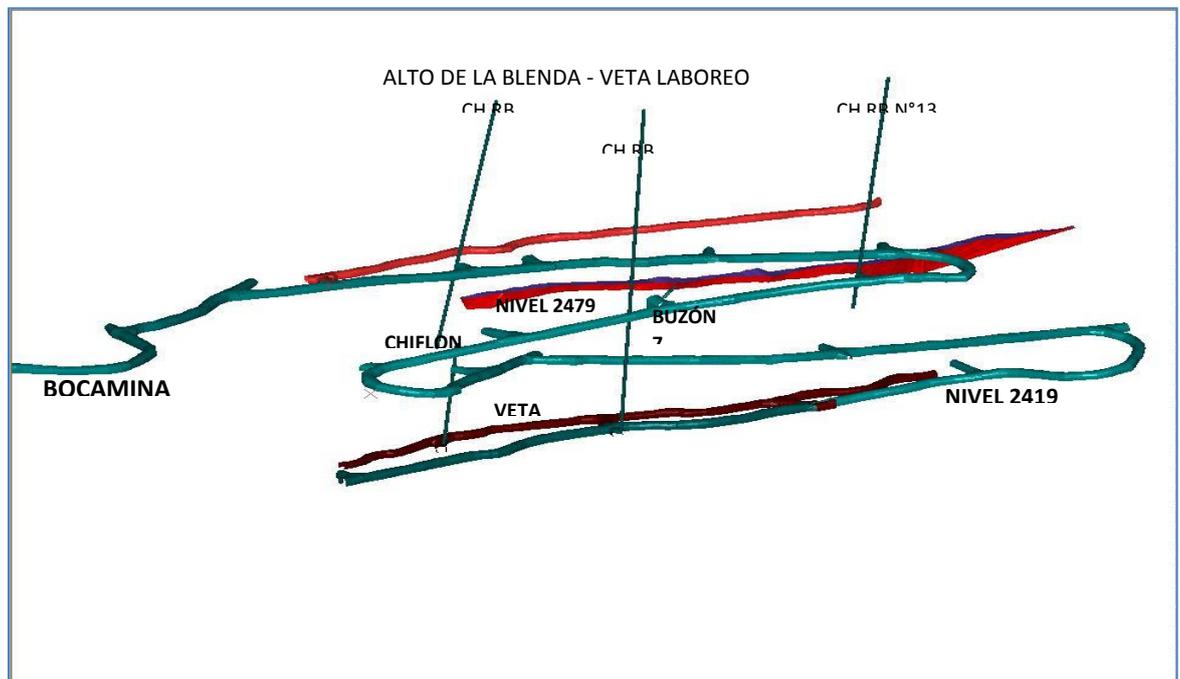


Figura N°9: Veta Laboreo

3.7.1.4. Veta Encuentro

En esta veta existen diferentes niveles comenzando desde el nivel inferior al superior tenemos: Nivel 2446, N 2487, N 2507, N 2527, N 2544, N 2566 y N 2629. De los cuales solo el N 2446 y N 2566 se encuentran en producción, los demás están siendo desarrollados por la empresa contratista Panedile.

- **Nivel 2446** que se subdivide en SE y NO, con una longitud total de aproximadamente de 750 m. El 2446 SE su longitud es de 400m. El mineral es extraído por medio de pala y camiones, ya que el buzón 9 existente no se encuentra en funcionamiento. El ingreso de relleno es a través de la ch 24 desde superficie.

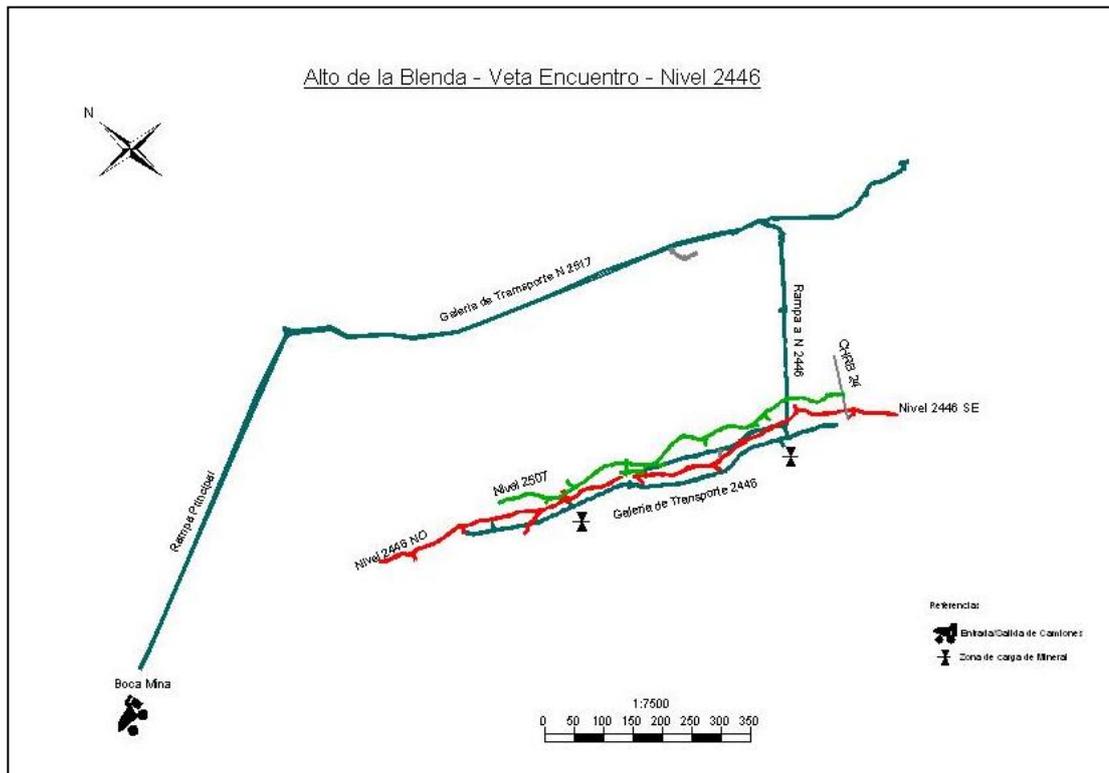


Figura N°10: Veta Encuentro

3.8 TRATAMIENTO DEL MINERAL

El mineral de alta ley se trata para su concentración, en la planta de beneficio, donde se lixivia por agitación.

La planta de beneficio de Farallón Negro tiene una capacidad de tratamiento de aproximadamente 300 t/d, ingresando el mineral de alta ley obteniendo una recuperación de 88 a 90% de Oro y de 45% para plata.

Lixiviación por agitación: Cuenta con las siguientes etapas: Trituración, Molienda, Cianuración, Precipitación y Fusión.



➤ **Trituración:** En este sector se tritura mineral de la mina hasta alcanzar un tamaño menor a $\frac{1}{2}$ ”, para ello es necesario realizar una trituración primaria, que se realiza con una trituradora de mandíbulas, y luego una trituración secundaria, con una trituradora de conos, el producto final es almacenado en un silo.

➤ **Molienda:** La molienda se hace con molino de bolas. El cual trabaja en circuito cerrado con hidrociclones. Aproximadamente 250 t/d, con un p80 44 micrones. En el molino se consigue entre el 50 y 65% de la recuperación de oro, el resto se hace en el circuito de cianuración. El rebalse del hidrociclón se envía al espesador 1, que es de donde se obtiene la solución rica para precipitación. En el molino se agrega cianuro.

➤ **Cianuración:** En esta etapa se cuenta con cuatro espesadores que trabajan en lavado en contracorriente, disolviendo el mineral que no se recuperó en el molino.

➤ **Precipitación:** En este sector se hace precipitar los metales nobles agregando cinc, pasando de fase líquida a sólida. El método que se utiliza es el llamado Merrill Crowe o de precipitado con polvo de cinc. Aquí se reciben las soluciones ricas de la planta de cianuración por agitación y de las piletas de las pilas de lixiviación.

➤ **Fusión:** En este sector se funde el material proveniente del sector de precipitación (precipitado de oro, plata y cinc); se coloca en moldes formándose de esta manera el bullón o lingotes de oro plata.

El bullón contiene de 7 a 8% en contenido de oro, 90% en contenido de plata y el resto fundentes. Este producto es refinado en la ciudad de Catamarca. Se registra una producción mensual promedio de 30 kg de oro y de 300 a 400 kg. de plata.

Lixiviación en pilas: En este proceso se trata mineral con leyes menores a 2,3 g/t de oro, es un proceso más económico, ya que entre otras cosas no requiere molienda. El mineral se apila en las playas para la lixiviación, sobre una superficie impermeabilizada. Las playas de lixiviación tienen una pendiente del 3% para la recolección de la solución rica, que se envía a la planta de beneficio.



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

El producto utilizado en Farallón Negro tiene una granulometría – 7/16, para esta granulometría es necesario aglomerar los finos para restituir la permeabilidad y el buen mojado del mineral a lixiviar.

Al aglomerado se agrega agua, cal y cianuro. La función del aglomerado es adherir las partículas finas a las gruesas, para formar los glómeros que permiten una mejor percolación de solución.

Una vez formada la pila a lixiviar la misma debe conservar las propiedades de alta permeabilidad líquida y gaseosa..

A partir de aquí es que comienza la lixiviación mediante riego por aspersión (en otros proyectos se utilizan riegos por goteos).

La tasa de riego, que se utiliza, varía entre 10 a 15 l/m²xh.. En general se trata de optimizar la tasa de riego, para tener una razón de lixiviación de 4 en el tiempo de riego programado para la pila, el cual es de 34 a 38 días. Con este ciclo de lixiviación, se consigue la recuperación esperada.

Las pilas pueden ser dinámicas que es el caso de Farallón Negro, con unas dimensiones aproximadamente de 1,8-2,0 m de alto, 22 a 24 m de ancho y 24 a 50 m de largo dependiendo el sector donde se armen, con tonelajes que van desde 1000 a 3000 t; con una humedad del 10 a 12 %; el tiempo de lixiviado es aproximadamente unos 34 días. El mineral, una vez terminada la lixiviación, se remueve y es enviado a botaderos, de esta manera las playas de lixiviación son reutilizables.

Aun cuando un estudio mineralógico pudiera indicar que un determinado mineral de oro y plata, es adecuado para ser lixiviado con cianuro en pilas, es necesario estudiar su comportamiento metalúrgico. a través de un programa de pruebas a escala laboratorio y piloto. Dichas pruebas se realizan en frascos y en columnas, para este último caso se considera que el mineral tiene el mismo comportamiento que en una pila de lixiviación, en la cual se determinan parámetros (percolación, humedad de retención, recuperación, consumo de cianuro, etc.), que son útiles para tener en cuenta a la hora de extrapolar los datos de laboratorio a una escala industrial.

La lixiviación es una operación simple que no requiere molienda fina del mineral, menor consumo energético y agua, tiene ventajas económicas comparativas con el método por agitación, por este motivo es posible procesar minerales de baja ley.

El factor más importante que define la aplicabilidad del método, es la permeabilidad tanto del fragmento de la roca como de la pila, en general las rocas adecuadas para lixiviar en pilas pueden agruparse en:

- 1) Rocas porosas producto de una alteración hidrotermal, que contenga el metal útil en forma diseminada.
- 2) Roca no porosa, que contiene la mineralización a lo largo de la fractura o diaclasa.

La ventaja importante de la lixiviación en pilas es su flexibilidad; puede ser aplicado a minerales Run of mine, triturado e incluso en relaves o materiales relativamente finos. La planta puede ser bastante simple con bajas inversiones del capital o puede incluir reducción de tamaño, aglomeración, uso cíclico de playas de lixiviación con capacidades variables desde cientos hasta un millón de toneladas. En la figura I se presenta un esquema típico de una operación de lixiviación en pilas.

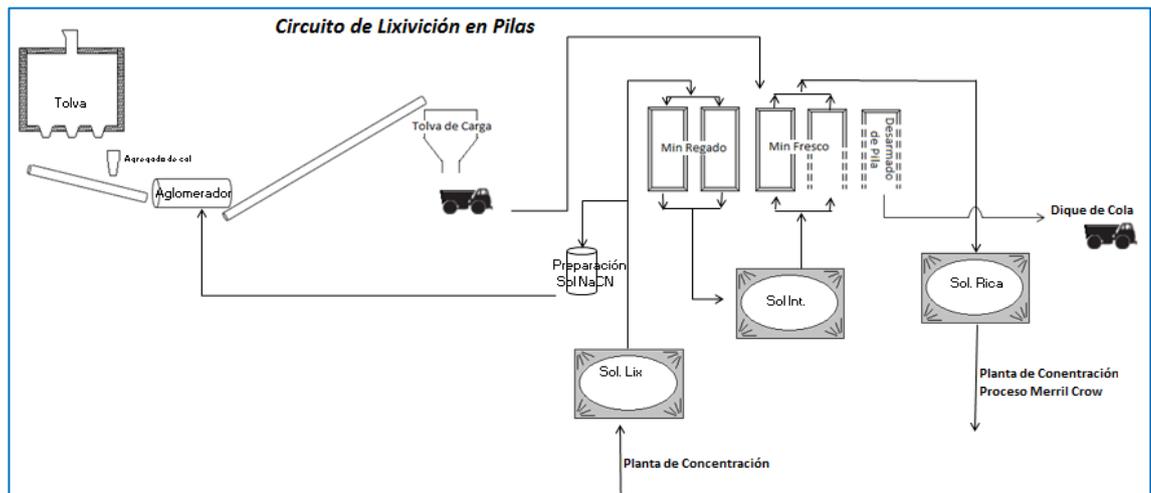


Figura N°11: Ciclo de lixiviación en pilas

En Farallón Negro se utiliza riego por aspersion donde, uno de los problemas que presenta este tipo de riego, es que el mismo se produce en forma de lluvia sin tener control en la distribución de las gotas. Esto genera una mayor probabilidad de formar canales preferenciales y pequeñas lagunas de solución produciendo una inestabilidad en las pilas de lixiviación.



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”



Figura N°12: Playa de Lixiviación de Farallón Negro donde se muestra el riego.



Capítulo N° 4 **Fundamentos Teóricos**

4.1. Compuestos de oro en solución

El oro forma compuestos con dos estados de oxidación (+1) y (+3), respectivamente. El ion Au^{3+} es generalmente, pero no siempre, más estable que el ion Au^{1+} . Ya sea en estado sólido, en solución, o en estado gaseoso, los compuestos de oro se caracterizan por enlaces covalentes y la mayoría son complejos. Ninguno de los iones simples del oro (+1) y (+3) aparecen libres en un grado significativo.

El ion de Au^{1+} es inestable en soluciones acuosas, y puede existir solo en concentraciones extremadamente pequeñas. Tiende a ser reducido a metal, o en presencia de aniones apropiados a sufrir auto oxidación con la formación de oro metálico y un complejo áurico.



Entre los compuestos estables, en solución se destaca el $\text{Au}(\text{CN})_2^-$. El ion aurocianuro es extremadamente estable.

Es consideradamente más estable que cualquiera de los compuestos como cianuro cuproso o cianuro de plata, que son constituyentes comunes en el proceso de cianuración y por lo tanto se formaran preferencialmente. En la tabla 1 se muestran algunos compuestos de oro y su constante de estabilidad.

Complejo	K (Au^{1+})	Complejo	K (Au^{3+})
$\text{Au}(\text{CN})_2^-$	2×10^{38}	$\text{Au}(\text{CN})_4^-$	10^{36} a 10^{80}
$\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)^{-3}$	5×10^{28}		
AuI_2^-	4×10^{19}	AuI_4^-	5×10^{47}
$\text{Au}(\text{SCN})_2^-$	$1,3 \times 10^{17}$	$\text{Au}(\text{SCN})_4^-$	1032
AuCl_2^-	1×10^9	AuCl_4^-	1026

Tabla 1. Compuesto de oro y su constate de estabilidad.

El ion Au^{3+} tiene una marcada tendencia hacia la formación de compuestos de coordinación 4. Como se combina con muchos ligandos



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

orgánicos, el ion puede existir libre en solución acuosa, solo cuando la solución es pura, fuertemente ácida (para prevenir la formación de complejos de hidróxidos) y fuertemente oxidante (para prevenir la reducción del metal).

Todos los complejos áuricos son fuertemente oxidantes. En soluciones fuertemente alcalinas se forma la especie $\text{Au}(\text{OH})_4^-$. El sulfuro áurico, Au_2S_3 el cual, cuando está seco, es estable a una temperatura más allá de 200°C , se descompone en agua con la formación de oro metálico y ácido sulfúrico.

Se ha prestado atención al hecho de que tanto el Au^{1+} , como el Au^{3+} , aparecen casi exclusivamente como complejos. Se puede hacer generalizaciones que muestran que las propiedades de estos complejos varían sistemáticamente. Esto permite que muchos de los hechos observados sean racionalizados y entreguen alguna base para la predicción del comportamiento.

La estabilidad de los complejos Au^{1+} y Au^{3+} tiende a disminuir con la electronegatividad del átomo enlazado directamente al oro en el complejo particular.

En complejos como $\text{Au}(\text{SCN})_2^-$ y $\text{Au}(\text{SCN})_4^-$, es el átomo de Azufre de cada ligando SCN^- el que está enlazado directamente al átomo de oro, tal que debe considerarse su electronegatividad. Así encontramos que en ambas series de complejos, el orden de estabilidad de los complejos con los haluros es $\text{I} > \text{Br} > \text{Cl} > \text{F}$, mientras que el orden de electronegatividad es el inverso.

Para elementos que pueden formar complejos con oro, tenemos:

Electronegatividad Mayor →			
C	N	O	F
	P	S	Cl
	As	Se	Br
	Sb	Te	Y
← Mayor Estabilidad			

Este esquema da cuenta del orden de estabilidad notado para iones complejos de halógenos como también para ordenes de estabilidad tales como $\text{SeCN} > \text{OCN}$ (donde el átomo subrayado es el átomo enlazado al oro) o $\text{CN} > \text{NH}_3 > \text{H}_2\text{O}$ y sugiere que los telurios y los antimonios de oro son bastante estables al ser encontrados en la naturaleza.



El número de coordinación del Au^{1+} es siempre 2, y el de Au^{3+} es siempre 4. Por ejemplo los complejos cianuro Au^{1+} y Au^{3+} son respectivamente, $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ y $\text{Au}(\text{CN})_4^-$.

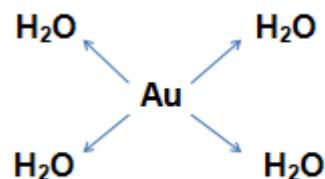
Encontramos que tanto el Au^{1+} y el Au^{3+} tiende a formar ligandos extras en un esfuerzo para alcanzar su número de coordinación requerido. Así, AuCN en contacto con una solución que contiene iones cianuro tendera a tomar un segundo CN^- para poder formar el $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ soluble.

En el estado sólido el Au con el CN alcanzan el número de coordinación requerido formando un polímero



Sin embargo, la formación de $\text{Au}(\text{CN})_2$ se favorece cuando hay disponible cianuro adicional, porque el enlace Au-C es más fuerte que Au-N en el polímero.

A pesar de que se habla de iones de Au^{1+} y Au^{3+} ellos no están así, no aparecen despojados en solución sino como complejos hidratados conteniendo una cantidad de moléculas de agua apropiada a los requerimientos de la coordinación del estado de oxidación particular.



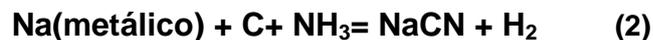
Ya que el átomo enlazado al oro es el oxígeno estos complejos tienen baja estabilidad. Los iones simples tenderán a desplazar las moléculas de agua por ligandos fuertes.



4.2. Química del cianuro

Los cianuros son compuestos inorgánicos que contienen una molécula diatómica CN. El cianuro de sodio y el de potasio, son los reactivos más comunes que se utilizan en una cianuración y se producen en base a los siguientes procesos.

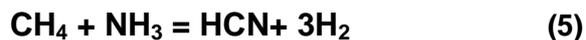
a) Proceso Castner



b) Proceso Cyanamid



c) Proceso Degussa



Las propiedades químicas se pueden resumir como siguen:

1. Hidrolisis del cianuro:

El cianuro se hidroliza en una mezcla de aire y solución acuosa.



La constante disociación del HCN es 4.36×10^{-10} , el equilibrio depende fuertemente del pH. A pH de 9,4, hay una 50% de HCN y una 50% de NaCN.

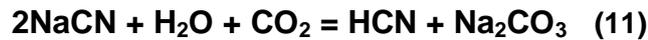
Cuando por hidrolisis, se rompe la unión C:N, el HCN lentamente pasa a amonio.



Esta última reacción depende de la temperatura.



2. Reacción con CO₂:

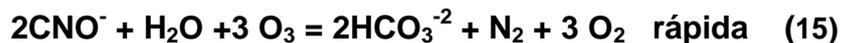


La aireación en los procesos de cianuración y CIP (carbón en pulpa), puede descomponer el NaCN en HCN. Por lo tanto debe haber alcalinidad libre para que reaccione con el gas carbónico y evitar la disociación del HCN.

3. Oxidación:

El cianuro se puede oxidar con hipoclorito, peróxidos, ozono, o por electrolisis.

El oxígeno de la atmosfera reacciona en forma extremadamente con el cianuro, a menos que se catalice. Las reacciones generales son las siguientes:



4. Reacción con S⁰, polisulfuros, HS⁻, S₂O₃²⁻:

El cianuro reacciona con el azufre y compuesto de azufre, para formar tiocianuro, CNS⁻. La formación CNS⁻ es la principal fuente de formación de cianuro en los procesos de cianuración.



Reacciones de sulfuros sulfosales o azufre elemental reaccionan con oxígeno durante el almacenamiento, molienda o aeración, formando nuevos compuestos con estado de oxidación superior del azufre. Sales de plomo y mercurio (PbNO₃, HgNO₃) generalmente se agregan para acelerar la oxidación a sulfato.



5. Reacción con metales pesados:

Esto sucede en reacciones entre cianuro y menas polimetálicas de concentrados de flotación. La reacción procede en realidad en varias etapas.



La solubilidad de los productos es muy variada. La reacción general se puede describir como sigue:



Dónde: Me es un metal pesado y $n=1$ o 2

Los productos en realidad son pocos solubles en agua, pero muy solubles cuando hay exceso de CN^- en la solución.



Donde $m= 1, 2, 3, 4, 6$

Estos son compuestos muy estables con baja toxicidad. Ejemplo de estos pueden ser complejos con Zn, Fe y Cu.

4.3. Termodinámica de la hidrometalurgia del oro

El estudio termodinámico de la hidrometalurgia del oro se puede utilizar para predecir el comportamiento de este bajo diferentes condiciones, y la manera en la que se puede usar para seleccionar reactivos y condiciones que favorecerán la disolución o su precipitación de una solución.

A continuación se presenta la estimación de las fuerzas electro químicas para diferentes reacciones posibles para un sistema. Esto permite decidir que reacción particular tomara lugar bajo ciertas condiciones, y como sucederá antes de alcanzar el equilibrio.

La fuerza que conduce a la precipitación de un metal de su solución, se puede expresar cuantitativamente como potencial de reducción. Para un metal M, en contacto con una solución de sus iones, M^{n+} , la reacción es:



Y el potencial de reducción E, está dado por la ecuación de Nernst.

$$E = E_0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{M}{M^{n-}} \quad (22)$$

Dónde:

E_0 : es el potencial de reducción estándar preferido al hidrogeno.

R: constante de los gases, 8,314 Joules / $^{\circ}\text{K}$ mol.

T: temperatura absoluta en K° .

F: $9,64870 \times 10^4$ coul / mol, numero de coulombs de electricidad.



{M} y {Mⁿ⁺}: las actividades del metal y sus iones.

Considerando la actividad de la fase sólida, {M}, igual a la unidad, y asumiendo que la concentración del ion metálico [M], está en equilibrio con su actividad, {Mⁿ⁺}, tenemos:

$$E = E_0 - \frac{RT}{nF} \ln[M^{n-}] \quad (23)$$

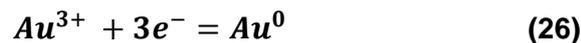
La ecuación indica:

- Cuanto mayor es el valor de E, mayor es la tendencia a reducir el ion Mⁿ⁺ y precipitarlo como un metal.
- Cuanto menor es el valor de E, mayor es la tendencia del metal a mantenerse en solución.

Aplicando esta relación al oro, se puede escribir la reducción de los iones aurosos y áuricos a la forma metálica como sigue:



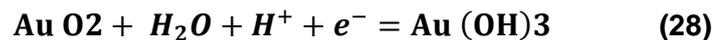
$$E = 1,730 + 0,0591 \times \log[Au^{+}] \quad (25)$$



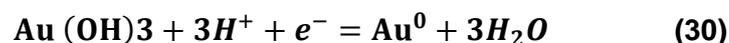
$$E = 1,498 + 0,0197 \times \log[Au^{3+}] \quad (27)$$

Los potenciales estándares, 1,73 y 1,498, indican que estos dos iones, son potente a agentes oxidantes bajo condiciones estándares. La expresión de E, muestra que ambos iones tienen tendencias a ser inestables en solución y a ser precipitados por agentes reductores.

Sobre la oxidación del oro, también se puede formar especies insolubles, tales como Au O₂, Au₂ O₃ y el Au (OH)₃. El peróxido de oro, Au O₂, será reducido a hidróxido áurico, Au (OH)₃ y luego a oro metálico.



$$E = 2.630 - 0,0591 \text{ pH} \quad (29)$$



$$E = 1,457 - 0,0591 \text{ pH} \quad (31)$$

Ambos, el Au O₂ y Au (OH)₃ tienen grandes potenciales de reducción y por lo tanto son poderosos oxidantes. El poder de oxidación de los óxidos depende de la acidez y declina con el pH.



$$\text{pH} = -1/3 \times \log [\text{Au}^{3+}] - 0,693 \quad (33)$$

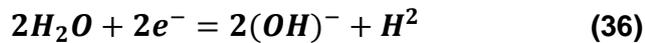
Que son las condiciones bajo las cuales el hidróxido áurico esta en equilibrio con iones áuricos 10^{-4} molar.



$$E = 1,228 - 0,0591\text{pH} + 0,0147 \log PO_2 \quad (35)$$

Que son las condiciones bajos las cuales, el agua es inestable con respecto relación oxígeno.

La siguiente indica las condiciones bajo las cuales el agua es inestable con respecto a la reducción a hidrogeno.



$$E = -0,0591\text{pH} - 0,0295 \log PO_2 \quad (37)$$

Las fuerzas de las reacciones (35) y (37) son más bajas que las fuerzas de las reacciones (27), (29) y (31) para todos los valores de pH. Por lo que:

- El oro no se puede oxidar por acción del oxígeno disuelto y ácidos fuertes, utilizándolos en forma aislado, tales como el HCl, HNO₃ y H₂SO₄.
- Si el óxido áurico el peróxido de oro está en contacto con el agua, el agua se oxidara a oxígeno y se precipitara el oro metálico.
- El oro puede ser atacando por agentes oxidantes extremadamente fuerte, tales como ozono ($E_0 = 2,076$) pero el producto de la reacción será estable mientras el potencial de sistema se mantenga en forma continuada por la actividad de los reactivos.

4.4. Condiciones de lixiviación del oro

- ✓ El metal debe oxidarse a una especie soluble y esta especie no será reducida en una solución que contenga oxígeno disuelto.
- ✓ La solución lixiviante debe ser suficientemente oxidante para oxidar el metal, pero el potencial de reducción del producto debe ser menor que el correspondiente al oxígeno disuelto.
- ✓ La concentración de los iones relevantes simples, deben ser bajas.



4.5. Formación del complejo aurocianuro

El oro se disuelve en solución cianurada en la que se forma el ion $Au(CN)_2^-$



Constante de estabilidad. $\beta_2 = 2 \times 10^{38}$.

Se asume $(CN^-) = 10^{-3}$ molar.

$$[Au(CN)_2^-]/[Au] = 10^{-6}$$

$$\beta_2 = 2 \times 10^{32}$$

La adición de cianuro conduce a una disminución, de varias órdenes de magnitud, en la concentración del ion auroso, y también disminuye el potencial de reducción E, debido a: $0,0591 \times \log 2 \times 10^{32} = 1,91$.

La disminución en la concentración del ion simple y en el potencial de reducción, está directamente relacionada con la magnitud de la constante de estabilidad.



$$E = 0,50 + 0,059 \times \log[Au(CN)_2^-] - 0,118 \times \log([CN^-]_{total} - 2[Au(CN)_2^-]) + 0,118 \times \log(4,93 \times 10^{-10} + [H^+])$$

El potencial de reducción para la reacción $Au(CN)_2^- / Au$, varía con el pH.

- A bajo pH, baja la concentración del ion CN^- , alto potencial de reducción, la reacción sucede hacia la derecha, no hay lixiviación.
- A alto pH incrementa la concentración de CN^- , bajo potencial de reducción, la reacción se desplaza hacia la izquierda, y la lixiviación se vuelve más favorable.
- $pH > pK_a$ (9,4), la constante de disociación, todo el cianuro está presente en forma de ion libre, el potencial E se vuelve insensible al pH



4.6. Disolución del oro

La reacción entre el cianuro y los metales preciosos, ha sido propuesta por muchos investigadores. La más importante se presenta a continuación:

- Ecuación de Elsner:



Fue el primero en reconocer que el oxígeno era esencial para la disolución de oro en una solución cianurada.

- Ecuación de Janin



- Ecuación de G .Bodlander



La ecuación total es la misma que la de Elsner.

Debido a que no hay evidencia de que se produzca hidrogeno en la reacción, la ecuación de Janin, no es muy aceptada. Las sumas de las ecuaciones Bodlander, es la ecuación de Elsner. Hay muchas evidencias que la ecuación de Elsner esta universalmente acepta como la reacción estándar de la cianuración de oro.

De estas ecuaciones se pueden sacar varias conclusiones:

La relación de cianuro consumido a oro disuelto es 2 moles de cianuro por 1 de oro.

$$\text{CN/Au} = 2:1 \quad (44)$$

De este modo la variación de oro disuelto es la mitad del consumo de cianuro.

$$d [\text{Au}] / dt = \frac{1}{2} d [\text{CN}] / dt \quad (45)$$

- Se consume un mol de oxigeno por cada 2 moles de oro y plata disuelta

$$\text{Au/ O} = 2:1$$



Por lo tanto, la variación de la concentración de oro en solución es el doble del consumo de oxígeno.

$$d [\text{Au}] / dt = 2 d [\text{O}_2] / dt \quad (46)$$

- Dos equivalentes de metal (Au) se disuelven por cada mol de H_2O_2 liberado.

4.7. Cinética de cianuración

Debido a que generalmente no es posible predecir la velocidad de una reacción desde consideraciones teóricas, la ecuación cinética normalmente se determina de medidas experimentales. El procedimiento normalmente usado es medir la recuperación como función de la concentración y de la temperatura. Los experimentos pueden ser realizados en un reactor continuo o discontinuo. En el caso de usar un reactor discontinuo todos los componentes se agregan en un tiempo cero y se mide la concentración de un componente particular en función del tiempo. El reactor discontinuo generalmente se opera en forma isotérmica y a volumen constante para facilitar la interpretación de los datos cinéticos. Para un sistema a volumen constante, la expresión cinética para la desaparición del reactivo A es:

$$r_A = -\frac{1}{V} \frac{dn_A}{dt} = -\frac{dC_A}{dt} = f(k, C) \quad (47)$$

Siendo K, la constante cinética y V el volumen para una reacción del tipo:

$$v_A A + v_B B = \text{producto} \quad (48)$$

Siendo v_A y v_B los coeficientes estequiométricos.

La ecuación cinética se puede escribir como:

$$\frac{dC_A}{dt} = -K [C_A]^{n_A} [C_B]^{n_B} \quad (49)$$

Siendo k, la constante cinética de la reacción y n el orden de la reacción

El procedimiento experimental más simple es determinar el efecto de la concentración de A y B independientemente. Esto se puede efectuar por el método de aislamiento que consiste en utilizar un gran exceso de uno de los componentes, por ejemplo del componente B (CN para el caso en cuestión). En este caso, la concentración de B permanecerá esencialmente constante



durante el transcurso de la reacción. La ecuación cinética puede entonces ser escrita como:

$$\frac{dC_A}{dt} = -KC_A^{n_A} \quad (50)$$

El término $[C_B]^{n_B}$ se incluyó en la constante cinética K.

El método integral consiste en suponer una ecuación de velocidad particular y probar los datos experimentales graficando la forma integrada de la ecuación. Si resulta una línea recta, entonces se acepta el orden de la reacción supuesto y se puede calcular la constante cinética en base a la pendiente de la recta.

Para una reacción de orden cero, la ecuación cinética es $(\cdot\cdot)$;

$$\frac{dc}{dt} = -K \quad (51)$$

Y la expresión integrada es:

$$C_A = C_{A_0} - Kt \quad (52)$$

Donde C_{A_0} es la concentración de A en el tiempo cero. Si al graficar los valores de C_A vs tiempo se tiene una línea recta, entonces la reacción es de orden cero.

Las mismas consideraciones se debe hacer para reacciones de orden uno y dos, cuyas ecuaciones integradas son:

$$-\ln (C_A/C_{A_0}) = Kt \quad (53)$$

$$1/C_A = (1/C_{A_0}) + kt \quad (54)$$

4.8. Cinética heterogénea

La mayoría de las reacciones que ocurren en procesos hidrometalúrgicos son heterogéneas, es decir, reacciones en interfases. Generalmente estas reacciones involucran un conjunto bastante complejo de etapas y pueden requerir de un tratamiento cinético individual. Sin embargo, hay ciertos aspectos elementales de la reacción global que son comunes a un amplio rango de reacciones y que pueden tratarse en forma sistemática. A continuación son presentados los pasos elementales y su aplicación a algunos sistemas individuales de reacción.



Al considerar reacción sólido – líquido del siguiente tipo:



El proceso global de reacción puede involucrar las siguientes etapas individuales:

- Transferencia de masa (difusión) de reactivos y productos entre el seno de la solución y la superficie externa de la partícula sólida.
- Difusión de reactivos y producto dentro de los poros del sólido.
- Reacción química entre los reactivos en la solución y el sólido.

En el caso de estudio la etapa dos no se presentaría, ya que no se forma un sólido poroso, como en el caso de la lixiviación de calcopirita, donde el azufre que se forma es poroso, por tanto las etapas que controlan la cinética son:

- Difusión del reactivo en la capa límite.
- Reacción química o electroquímica.

Utilizando el concepto de núcleo recesivo, lo cual supone que:

- No se forma un sólido después de la reacción.
- La partícula es isotrópica.
- La partícula es muy poco porosa (la reacción es en la superficie externa).
- La partícula es esférica.

Se obtiene la ecuación integrada para la difusión en capa límite:

$$\mathbf{1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{3}} = Kt} \quad (56)$$

$$\mathbf{K = \frac{(K_i C_B)}{r_0}} \quad (57)$$

$$\mathbf{K_i = \frac{V_A D}{S \delta}} \quad (58)$$

Dónde:

C_B = concentración de B en el seno de la solución.

S = coeficiente estequiométrico.

δ = espesor de la capa límite.

D = coeficiente de difusividad del reactivo.

V_A = volumen molar de A

α = fracción transformada (masa lixiviada / masa inicial en el sólido).

r_0 = radio inicial de la partícula



La ecuación integrada cuando la etapa que controla la velocidad corresponde a la reacción química, es la siguiente (bajo el concepto de núcleo recesivo)

$$1 - (1 - \alpha)^{\frac{1}{3}} = Kt \quad (59)$$

$$K = (V_A K_0 C_B) / r_0 \quad (60)$$

K_0 es la constante cinética de la reacción.

Por lo tanto, para saber qué etapa es la que controla la cinética, se debe aplicar Arrhenius para determinar la energía de activación, y se deben hacer ensayos variando la temperatura. Si la etapa que controla es debido a la reacción química, esta variara mucho cuando se varíe la temperatura, mientras que la difusión en capa limite no es muy sensible a los cambios de temperatura.

4.8.1. Cinética de la disolución de oro y plata

❖ Velocidades relativas de disolución de oro y plata:

Bajo las mismas condiciones, la velocidad de disolución de la plata es cerca de la mitad de la velocidad de disolución del oro (en gramos por unidad de tiempo). Si la velocidad de disolución se expresa en gramos de átomos por unidad de tiempo, entonces el oro se disuelve a la misma velocidad que la plata. Ya que el peso atómico del oro es cerca del doble de la plata ($Au = 197$, $Ag = 107$).

❖ Efecto del área superficial y tamaño de la partícula:

La velocidad de disolución del metal es directamente proporcional al área superficial del metal expuesta a la solución lixivante. Si la velocidad máxima de disolución de oro es $3,25 \text{ mg/cm}^2/\text{hr}$ en una hora se disuelve un área de 1.68 micrones sobre cada uno de los lados de la superficie. Para los dos lados, será 3.36 micrones. De este modo, una partícula de oro de 100 # (149 micrones), necesita 44 horas para disolverse. Para una partícula de 200 # (74 micrones), se necesitan 22 horas. Esto explica porque el tiempo de cianuración convencional normalmente es entre 24 a 48 horas.

❖ Efecto de la concentración de cianuro:

La velocidad de disolución del metal aumenta linealmente con la concentración de cianuro, hasta que se alcanza un máximo a partir del cual se produce un suave efecto de retardo. Esto se debe a que aumentado la



concentración de cianuro, se incrementa el pH, y a valores muy altos de pH, la velocidad de disolución disminuye.

❖ **Efecto de la presión de oxígeno:**

La máxima cantidad de oxígeno disuelto en una solución diluida de cianuro es 8.2 mg/L. si el oxígeno disuelto cae por debajo de 4 ppm O₂, la velocidad de disolución tendrá una marcada disminución. Por otro lado, la velocidad de disolución se incrementa en forma notable si el oxígeno disuelto es mayor a 10 ppm. Según la ecuación de Elsner, la velocidad de disolución es directamente proporcional a la presión de oxígeno para altas concentración de cianuro (>10 g/L NaCN). Para bajas concentraciones, la velocidad de disolución es directamente proporcional a la concentración de cianuro (<10 g/L NaCN). Normalmente la relación cianuro y oxígeno es:

$$\frac{[C N]}{[O_2]} = 4.62 - 7.65 \quad (61)$$

La relación disolución de oro en función del oxígeno contenido se muestra en la siguiente tabla.

Oxígeno [%]	Velocidad de disolución [mg/cm²/hr]
0	0,04
9,6	1,03
20,9	2,36
60,1	7,62
99,5	12,62

❖ **Efecto de la temperatura:**

Incrementando la temperatura, se incrementa la velocidad de disolución. El rango de temperatura óptimo es 80 C° - 85 C°. Aumentando la de 20 C° a 85 C°, la extracción aumenta entre un 20 a 25%.

❖ **Efecto de la agitación:**

Con bajas velocidades de agitación, la velocidad de disolución es controlada difusión. Para velocidades de agitación mayores, el control se desplaza hacia la reacción química.



❖ **Efecto de la alcalinidad:**

La razón para mantener el pH mayor a 9 son:

- Prevenir la hidrólisis del ion cianuro:



- Prevenir la descomposición del cianuro por el CO₂



Sin embargo el exceso de alcalinidad disminuye la velocidad de disolución.

❖ **Efectos de iones foráneos:**

- **Aceleradores:** sales de plomo, mercurio, bismuto y el ion tallium; aceleran la velocidad de disolución, pero un exceso de sales de plomo pueden causar un retardo en la disolución de oro. El mineral de plomo crocoita (PbCrO₄), en presencia de cal, puede oxidar el cianuro a cianato⁽¹³⁾.



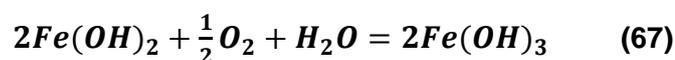
- **Retardadores:**

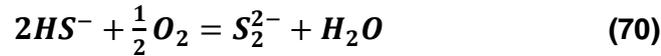
Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Ba^{2+} y exceso de Pb^{2+} retardan la disolución de oro.

❖ **Efecto de otras impurezas:**

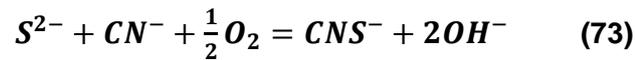
Iones sulfurados, pirrotina, agentes de flotación; etc.

- Producen consumo de oxígeno de la solución

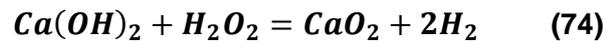




- Consumo de cianuro libre de la solución y formación de cianuros y tiocianuros complejos:



- Formación de una película en la superficie de la plata y el oro:
 - ◆ Sulfuros: a 0,05 ppm de sulfuros pueden cubrir la superficie del oro, por adsorción de iones S_2^- y $S_2O_3^-$, envenenando la superficie de inhibiendo la disolución⁽¹³⁾.
 - ◆ Peróxidos: el peróxido de calcio se forma sobre la superficie del metal evitando la reacción con el cianuro.



- ◆ Óxidos: el ozono disminuye la velocidad de disolución debido a la formación de CON^-



- ◆ Formación de cianuro insoluble:



- ◆ Coacción de reactivos de flotación y otras sustancias orgánicas:

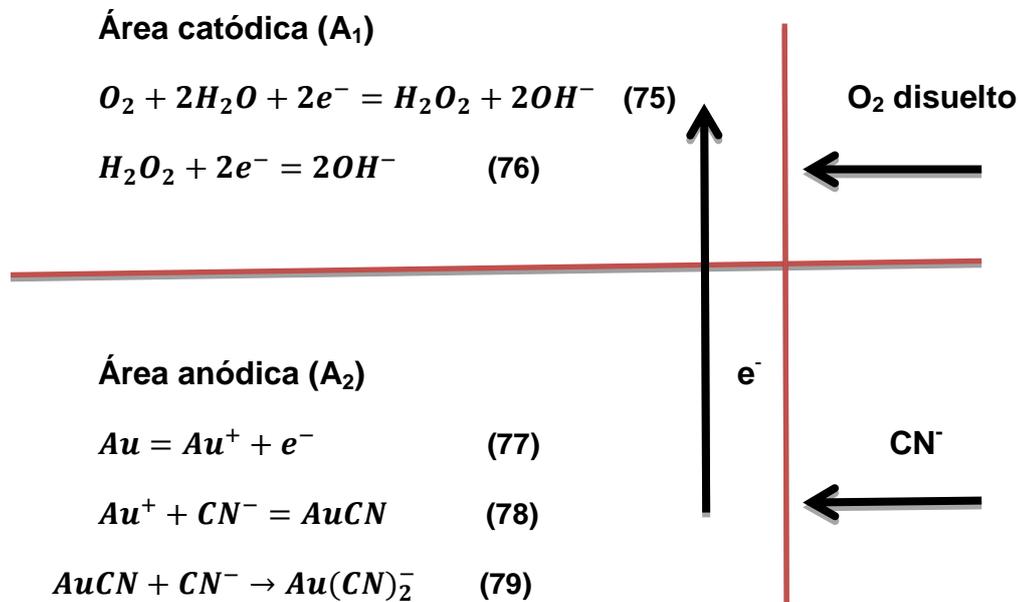
A 0,4 ppm de etil xantato de potasio sobre la superficie del oro, lo hidrofobiza y previene el contacto con la solución de cianuro.



4.9. Mecanismos de la cianuración

La disolución de oro y plata es una reacción heterogénea, la cual está controlada por la difusión de las especies reaccionantes (O_2 y CN^-) a través de la capa límite de Nernst.

La reacción de disolución es un proceso de corrosión. En este proceso podemos distinguir dos zonas; una catódica, que es el área del metal donde el oxígeno toma un electrón, y otra anódica, que es donde el metal entrega un electrón.



La reacción global es:



De acuerdo a la ley de Fick:

$$\frac{d[O_2]}{dt} = \left(\frac{D_{O_2}}{\delta}\right) A_1 \{ [O_2] - [O_2]_i \} \quad (81)$$

$$\frac{d[CN^-]}{dt} = \left(\frac{D_{CN}}{\delta}\right) A_2 \{ [CN^-] - [CN^-]_i \} \quad (82)$$



Dónde: $\frac{d[O_2]}{dt}$ y $\frac{d[CN^-]}{dt}$ son las velocidades de difusión en moles/ seg.

D_{O_2} , D_{CN} son los coeficientes de difusión en $cm^2 \text{ seg}^{-1}$

$[O_2]$, $[CN^-]$ concentración en moles por litros en la solución.

A_1 , A_2 área superficial donde tienen lugar las reacciones anódicas y catódicas, en cm .

δ espesor de la capa límite de Nernst, en cm . $2 - 9 \times 10^{-3}$ cm , dependiendo de la velocidad y métodos de agitación.

Se asume que las reacciones químicas en la interfase del metal es muy rápida comparada con la velocidad de difusión de los iones de cianuro y oxígenos en la capa límite, entonces:

$$[O_2]_i = 0 \quad (83)$$

$$[CN^-]_i = 0 \quad (84)$$

De este modo

$$\frac{d[O_2]}{dt} = \left(\frac{D_{O_2}}{\delta}\right) A_1 [O_2] \quad (85)$$

$$\frac{d[CN^-]}{dt} = \left(\frac{D_{CN}}{\delta}\right) A_2 [CN^-] \quad (86)$$

Debido a que la velocidad de disolución del metal es el doble de la velocidad de consumo de oxígeno, y la mitad de la velocidad de consumo de cianuro (de acuerdo a la ecuación de Elsner), tenemos:

Velocidad de disolución: $2\frac{d[O_2]}{dt} = 2\left(\frac{D_{O_2}}{\delta}\right) A_1 [O_2] \quad (87)$

Velocidad de disolución: $\frac{1}{2}\frac{d[CN^-]}{dt} = \frac{1}{2}\left(\frac{D_{CN}}{\delta}\right) A_2 [CN^-] \quad (88)$

Ordenando: $A_1 = (\text{velocidad})\delta/2D_{O_2}[O_2] \quad (89)$

$$A_2 = 2(\text{velocidad})\delta/2D_{CN}[CN^-] \quad (90)$$

$$A = A_1 + A_2 = (\text{velocidad})\delta/2D_{O_2}[O_2] + 2(\text{velocidad})\delta/2D_{CN}[CN^-] \quad (91)$$



Operando y despejando, tenemos:

$$\mathbf{Velocidad} = \frac{2AD_{CN}D_{O_2}[CN^-][O_2]}{\delta\{D_{CN}[CN^-]+4D_{O_2}[O_2]\}} \quad (92)$$

Para bajas concentraciones de cianuro,

$$D_{CN}[CN^-] \cong 0 \quad (93)$$

$$\mathbf{velocidad} = \left(\frac{AD_{CN}}{2\delta}\right)[CN^-] = K_1[CN^-] \quad (94)$$

La velocidad de disolución depende solamente de la concentración de cianuro.

Para altas concentración de cianuro,

$$D_{O_2}[O_2] \cong 0 \quad (95)$$

$$\mathbf{velocidad} = \left(\frac{2AD_{O_2}}{\delta}\right)[O_2] = K_2[O_2] \quad (96)$$

La velocidad de disolución depende solamente de la concentración de oxígeno.

Si $A_1 = A_2$ entonces,

$$[CN^-]/[O_2] = 6 \quad (97)$$



CAPÍTULO Nº 5

METODOLOGÍA DE TRABAJO

5.1. Materiales y Métodos

Actualmente en las pilas de lixiviación, en Farallón Negro se está tratando mineral con una Ley de Cabeza de 2,3 g/t de Au. El ciclo de lixiviado adoptado es el siguiente:

- Armado de la pila: 4 días
- Lixiviación: 34 días
- Desarmado y drenaje de la pila: 2 días

Las variables operativas del proceso de lixiviación en pilas con cianuro son:

- Tasa de riego: 13 l/m² / h
- Sistema de riego: por aspersion
- Granulometría: -7/16”
- Altura de la pila: 1,8 m
- Armado de las pilas: Pala cargadora

5.2. Lixiviación en Columnas

5.2.1. Preparación de la columna y de la solución

El material de la columna que se utilizó fue PVC, que es un material inerte y resistente a los reactivos y a la abrasión. La columna tiene un diámetro de 20 cm, con una altura de 2m.

El sistema de riego utilizado en las columnas fue por gravedad. Cada columna contaba con dos recipientes de material inerte y resistente, uno contenía la solución lixivante y el otro recolectaba de la solución rica.

La solución percolada se puede recircular para aumentar la ley o no. En este caso, como se trata de simular la situación de Farallón Negro no se recircula la solución.



5.2.2. Toma de muestra

Cada ensayo realizado consistía de tres columnas. Para cada uno de ellos se tomó una muestra de aproximadamente 300 kg de mineral, el cual provenía de la planta de trituración que alimenta a las playas de lixiviación.

5.2.3. Preparación de la muestra

Es primordial que la muestra sea representativa de la mena a tratar, tanto desde el punto de vista del mineral mismo como de sus asociaciones con la ganga. La preparación debe ser lo más similar posible a los procesos que se llevan a cabo en la práctica industrial.

En esta etapa se realizó la homogeneización y cuarteo de la muestra, para obtener una porción representativa del material que fue enviada al laboratorio para determinar su ley de cabeza y su porcentaje de humedad natural.

5.2.4. Trituración

La muestra se tritura a una granulometría condicionada por factores metalúrgicos. Esta debe ser la menor posible para favorecer la velocidad de lixiviación, pero a su vez debe ser la mayor posible para abaratar los costos de trituración, producir menos fino, y no causar problemas de aplastamiento e impermeabilidad en la parte inferior de la pila. Debe llegarse así a una relación de compromiso. En el caso de los ensayos, se utilizó mineral que fue triturada en la planta industrial, con una granulometría de $-7/16$ ” que es el mismo que se utiliza para formar las pilas

5.2.5. Aglomeración

La aglomeración consistió en agregar cal, agua y cianuro al mineral triturado en un tambor giratorio (hormigonera) de modo que las partículas finas de mineral se peguen o aglomeren a las más gruesas. El objetivo de la aglomeración fue controlar el comportamiento de los finos, pues estos causan problemas de percolación y segregación en las pilas, y acumulación de la solución. La humedad del mineral aglomerado fue del 10% a un pH de 10,5.

5.3. Determinación volumétrica de cianuro libre

El método consiste en la utilización de una solución de nitrato de plata formándose en el proceso cianuro de plata. El punto final, se determina mediante una solución de yoduro de potasio utilizada como indicador. El pH de la solución debe ser elevado para evitar la volatilización del cianuro de hidrogeno.



La reacción química es la siguiente:



La solución muestra (25ml) se coloca en un erlenmeyer y se titula con la solución de nitrato de plata (8,67 gr/l) y unas gotas de indicador hasta la aparición de una opalescencia de color amarillo de yoduro de plata, que indica el punto final. Se usa la siguiente equivalencia: 1 ml de nitrato de plata es igual a 200 ppm de cianuro en la solución.

5.3.1. Determinación de la alcalinidad protectora

La alcalinidad protectora se refiere al pH necesario para evitar la formación del ácido cianhídrico. La determinación de esta se hace con un pH-metro, manteniéndose el valor el pH superior a 10.

El equipo utilizado para medir el pH es de marca Altronix. La alcalinidad protectora se puede determinar agregando dos gotas de nitrato de plata, cuatro gotas de fenolftaleína al 1% y titulando con solución de ácido sulfúrico de 8,75 mg/l; hasta decoloración. 1 cm³ de ácido sulfúrico es igual a 200 ppm de óxido de calcio.

5.4. Controles químicos

Las muestras líquidas de cada ensayo tomadas del recipiente, se llevaron a laboratorio para su respectivo análisis de oro, con un espectrofotómetro de absorción atómica utilizando las técnicas normalizadas ASTM, mientras que las muestras sólidas (cabeza y colas de cianuración), se analizaron utilizando la técnica de la vía seca o docimasia.

4.4.1 Análisis de muestra sólida

Uno de los métodos más usados para analizar muestras sólidas, es el de vía seca o docimasia. Este consiste en tratar el mineral junto con sustancias denominadas fundente, para que las impurezas sean arrastradas a una escoria vítrea, mientras que los metales nobles se colectan en una matriz de plomo.

Posteriormente se separa el plomo del oro y la plata por copelación, obteniéndose el dore (oro más plata). La plata del dore se disuelve con ácido nítrico, quedando por último el oro que se lava, se seca y se lleva a una mufla a 600°.

La mezcla fundente, varía según las características del mineral. Si la muestra tiene matriz ácida se utilizarán fundentes básicos, y viceversa. Otro



aspecto importante de la muestra es si esta tiene poder reductor u oxidante. Los fundentes que se usan generalmente son:

➤ Carbonato de Sodio

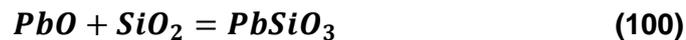
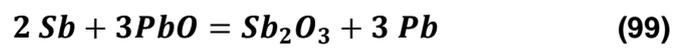
Fundente básico que produce silicatos y aluminatos fusibles, al combinarse con la alúmina.

➤ Sílice

Fundente ácido que tiene como principal función escorificar el hierro, también reacciona con el óxido de plomo y el carbonato de sodio.

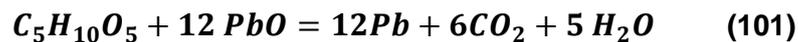
➤ Litargirio

Es el fundente más importante, una parte de reduce a plomo metálico, que es el que colecta el oro y la plata presente en el mineral. La reducción se lleva a cabo por el poder reductor del mineral y por el agregado de los reductores. El resto del litargirio oxida impurezas metálicas, o reacciona con la sílice formando silicatos.



➤ Harina

Es el reductor que más se utiliza por su bajo precio. La harina contiene 85% de almidón; y el resto está formado por humedad, proteínas, azúcar, etc. La fórmula de la misma es la siguiente $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ y reduce al plomo según la siguiente reacción:





CAPÍTULO N°6

DESARROLLO

Los ensayos fueron realizados en el Yacimiento Farallón Negro (YMAD) en la localidad de Hualfín Departamento Belén, los mismos se hicieron en columnas con mineral de oro y plata.

Variables medidas en los ensayos:

- ❖ **% humedad del mineral**
- ❖ **% de humedad de Saturación**
- ❖ **Tasa de Riego**
- ❖ **Razón de Lixiviación**
- ❖ **Concentración de la solución lixivante**
- ❖ **Concentración de la solución Aglomerante**
- ❖ **Humedad del aglomerado**
- ❖ **Humedad retenida**

Las columnas tiene una altura de 2 m y un diámetro de 20 cm.

La muestra a ensayar se extrajo de la planta de trituración que alimenta a las playas de lixiviación, con una granulometría de $-7/16''$. La muestra que se tomó era aproximadamente unos 300 kg de mineral, que se utilizó en la primera tanda de ensayos, esta tanda consistió de 3 columnas que se regaron simultáneamente.

Los 300 kg de muestra se prepararon según el procedimiento de homogenización y cuarteo. De allí se obtenía muestra de cabeza y para los ensayo. La muestra de cabeza era una para las 3 columnas, se analizaba oro y se determinaba humedad natural.

Las columnas se identificaron con números.



La primera columna tuvo las condiciones operacionales de las playas de lixiviación, se la llamo columna de referencia o blanco.

Columna N° 1

- ❖ **Peso seco de mineral:** 58,8 kg
- ❖ **Humedad del aglomerado 10 % incluida la humedad natural**
- ❖ **Concentración de cianuro en la solución aglomerante 12.500 ppm**
- ❖ **Humedad natural : 2%**
- ❖ **Concentración de Cianuro de Sodio en la solución lixivante 500 ppm**
- ❖ **Tasa de Riego : 13L/m² x h**
- ❖ **Ley de cabeza: 1,3 g/t**

Condiciones de ensayo de la segunda columna:

Columna N° 2

- ❖ **Peso seco de mineral:** 58,8 kg
- ❖ **Humedad del aglomerado al 10 % incluida la humedad natural**
- ❖ **Concentración de cianuro en la solución aglomerante 8.000 ppm**
- ❖ **Humedad natural : 2%**
- ❖ **Concentración de Cianuro de Sodio en la solución lixivante 500 ppm**
- ❖ **Tasa de Riego : 13L/m² x h**
- ❖ **Ley de cabeza: 1,3 g/t**

En la tercera columna las condiciones dadas fueron las siguientes:

Columna N°3

- ❖ **Peso seco de mineral:** 58,8 kg
- ❖ **Humedad natural : 2 %**
- ❖ **Concentración de Cianuro de Sodio en la solución lixivante 500 ppm**
- ❖ **Tasa de Riego : 5 ; 7; 10 ; 13 ; 15 L/m² x h**
- ❖ **Ley de cabeza: 1,3 g/t**



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

La tasa de riego, inicial, de la columna N° 3 fue baja; 5 l/hxm², debido a que era un mineral sin aglomerar y podía presentar inundación, pero al observar en los primeros cinco días no presentaba ningún problema de percolación, se subió la tasa a 7, luego a 10, a 13 y por último a 15 L/m² x h, hasta finalizar el ,ensayo. En la tabla N° 1, se muestra el tiempo y duración de los cambios de tasa.

Muestra de las columnas



Figura N°13: Columnas en las que se realizaron los ensayos



Se regó (lixivió) durante 25 días, en el cual se sacaba una muestra diaria para determinar su volumen y ley de concentrado. Con estos valores se calculaban:

- ❖ **Recuperación diaria**
- ❖ **Recuperación acumulada**
- ❖ **Fino**
- ❖ **Reajuste de la tasa**
- ❖ **Razón de lixiviación parcial y acumulada**

Estos datos se pueden observar en el anexo tabla N°1

La lixiviación se detuvo a los 25 días debido a que se tuvo una ley de concentrado menor a 0,1 ppm, con una razón de lixiviación mayor a 3. Con esta ley se estaba en los límites de precisión del equipo de lectura. Después de cortar la lixiviación se procedió al lavado con agua y cal para mantener el pH alrededor de 10,5 luego se dejó escurrir para determinar la humedad de retención.

Se descargó la columna sacando una muestra para la determinación de la ley de cola y la humedad retenida.

Una vez cerrados los ensayos se obtuvieron los siguientes resultados:

Columna N° 1

- ❖ **Ley de la cola : 0,25 g/t**
- ❖ **Tasa real: 10 L/m² x h**
- ❖ **Razón de lixiviación: 3,04**
- ❖ **Humedad de retención: 16%**
- ❖ **Cabeza recalculada: 1,53 g/t**
- ❖ **Recuperación con cabeza recalculada: 83 %**

Columna N° 2

- ❖ **Ley de la cola : 0,30 g/t**
- ❖ **Tasa real: 11,02 L/m² x h**
- ❖ **Razón de lixiviación: 3,11**
- ❖ **Humedad de retención: 19%**
- ❖ **Cabeza recalculada: 1,67 g/t**
- ❖ **Recuperación con cabeza recalculada: 81 %**



Columna N° 3

- ❖ Ley de la cola : 0,35 g/t
- ❖ Tasa real: 2,8 ; 5 ; 6,8 ; 11,3 ; 15,3 L/m² x h
- ❖ Razón de lixiviación: 3,31
- ❖ Humedad de retención: 17,9 %
- ❖ Cabeza recalculada: 1,6 g/t
- ❖ Recuperación con cabeza recalculada: 79,8 %

En los siguientes gráficos se pueden observar los resultados de los ensayos:

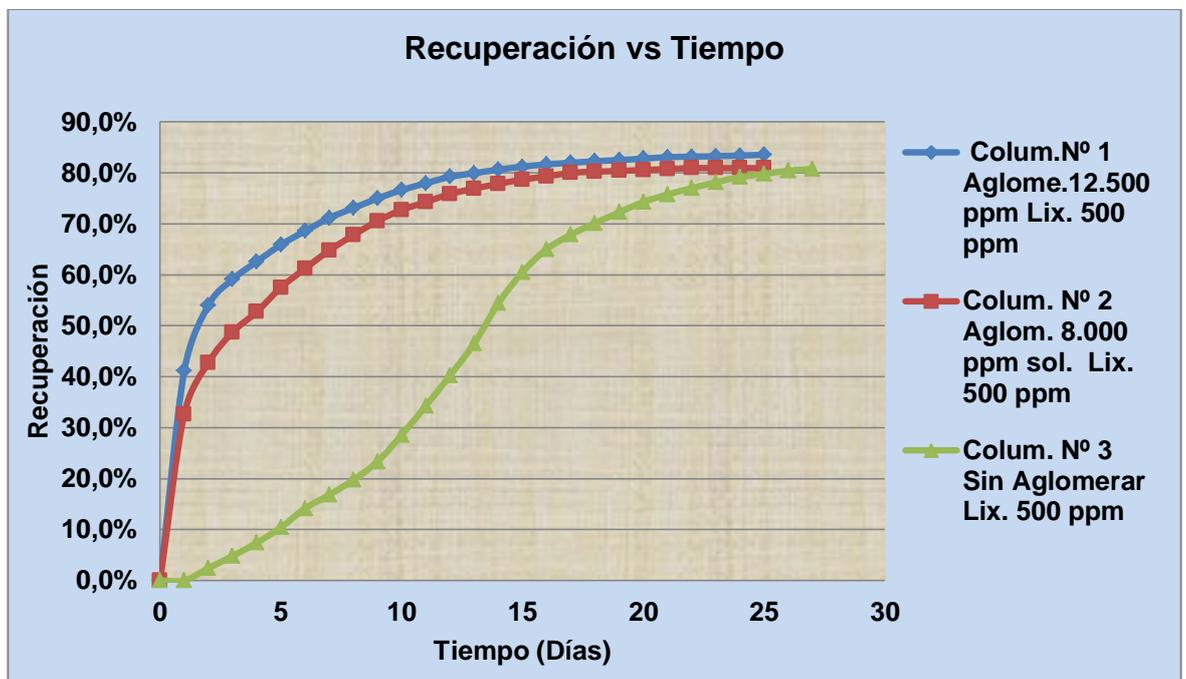


Gráfico N° 1: Recuperación vs. Tiempo

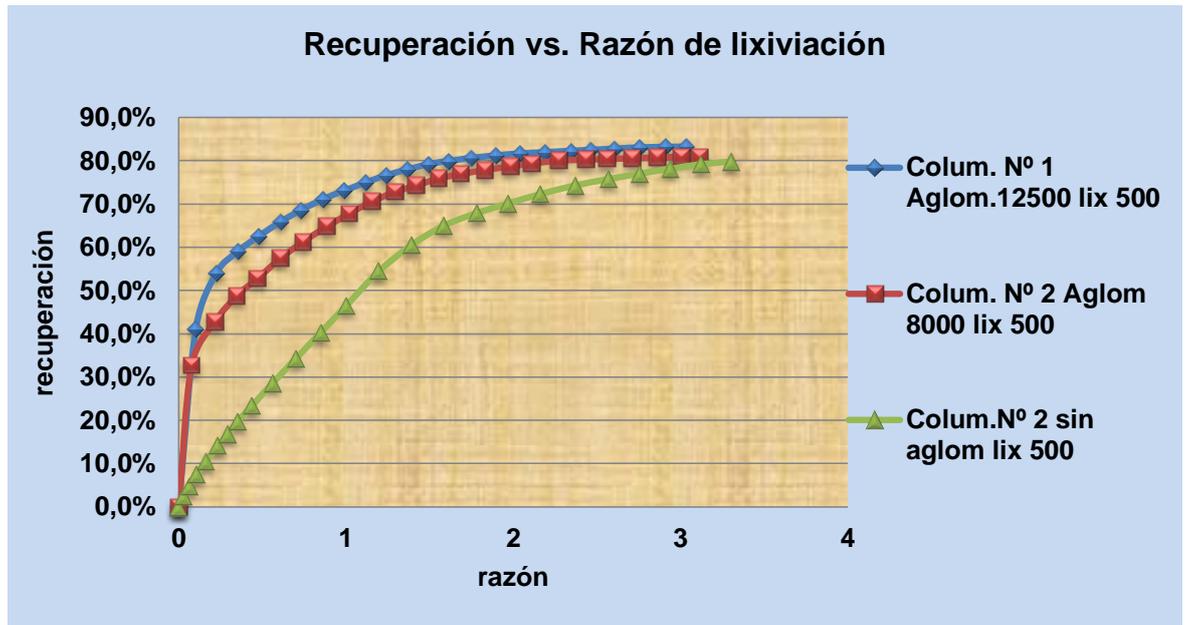


Gráfico N° 2: Recuperación vs. Razón de lixiviación

En los **Gráfico N° 1** y **Gráfico N° 2** se puede ver, que las recuperaciones obtenidas de la **columna N° 1**, **columna N° 2** y la **columna N° 3**, **son muy similares; para una razón de lixiviación de 3 y 25 días de riego.** La gran diferencia se puede observar en los primeros días del ensayo, donde se nota una cinética muy distinta. En el gráfico 1, se ve que a igual cantidad de días de riego, tenemos diferentes recuperaciones, siendo la menor, la columna sin aglomerar, con menor cantidad de cianuro y menor tasa de riego.

Del **Gráfico N° 2** al tomar una misma razón de lixiviación se observó que la recuperación no llegaba a ser la misma, sobre todo en la columna 3, a pesar de tener las 3 columnas igual razón de lixiviación. Esto nos estaría mostrando la importancia del cianuro en la lixiviación.

Con estos primeros ensayos, podemos explicar los posibles motivos de las diferentes cinéticas:

- ❖ **Concentración de cianuro.**
- ❖ **El aglomerado mejora la percolación**

Tasa de riego, que nos da mayor razón de lixiviación para un mismo tiempo.



En la tabla 1, 2 y 3 del anexo se pueden ver con más detalles estos valores. Donde por ejemplo, la columna 1 y 2 que para alcanzar una razón de 1, necesita 8 días, mientras que la columna 3 necesita 13 días debido a su menor tasa

En base a las conclusiones sacadas de estos primeros 3 ensayos se diseñaron los nuevos ensayos:

Se realizaron nuevamente de 3 columnas

En la **Columna N° 1**, la condición fue tener como base la columna N° 2 del primer ensayo; este se consideró el blanco.

- ❖ **Peso seco de mineral:** 69,3 kg
- ❖ **Humedad del aglomerado al 10 % incluida la humedad natural**
- ❖ **Concentración de cianuro en la solución aglomerante** 8.000 ppm
- ❖ **Humedad natural :** 4,8 %
- ❖ **concentración de Cianuro de Sodio en la solución lixiviante** 500 ppm
- ❖ **Tasa de Riego :** 13L/m² x h
- ❖ **Ley de cabeza:** 2,2 g/t

En La **Columna N° 2** las condiciones fueron las misma que la columna N° 3 del ensayo anterior solo que se modificó la tasa de riego llevándola a 13 L/m²/H

- ❖ **Peso seco de mineral:** 76,78 kg
- ❖ **Humedad natural :** 4,2 %
- ❖ **Concentración de Cianuro de Sodio en la solución lixiviante** 500 ppm
- ❖ **Tasa de Riego :** 13 L/m² x h
- ❖ **Ley de cabeza:** 1,3 g/t

En La **columna N° 3** las condiciones fueron las siguientes:

- ❖ **Peso seco de mineral:** 76,78 kg
- ❖ **Humedad natural :** 4,2 %
- ❖ **concentración de Cianuro de Sodio en la solución lixiviante** 800 ppm
- ❖ **Tasa de Riego :** 13 L/m² x h
- ❖ **Ley de cabeza:** 1,3 g/t



Nuevamente el ensayo se lixivio durante de 25 días, luego se lavó con agua y cal para mantener el pH 10,5 durante 3 días, se cortó el lavado, y se dejó escurrir para luego hacer el mismo procedimiento que en los ensayos anteriores .

A continuación se ve los resultados obtenidos.

Columna N° 1

- ❖ **Ley de la cola : 0,50 g/t**
- ❖ **Tasa real: 12,6 L/m² x h**
- ❖ **Razón de lixiviación: 3,08**
- ❖ **Humedad de retención: 17,7%**
- ❖ **Cabeza recalculada: 2,16 g/t**
- ❖ **Recuperación con cabeza recalculada: 76,3 %**

Columna N° 2

- ❖ **Ley de la cola : 0,60 g/t**
- ❖ **Tasa real: 12,75 L/m² x h**
- ❖ **Razón de lixiviación: 2,73**
- ❖ **Humedad de retención: 16,5%**
- ❖ **Cabeza recalculada: 2,26 g/t**
- ❖ **Recuperación con cabeza recalculada: 73,5 %**

Columna N° 3

- ❖ **Ley de la cola : 0,55 g/t**
- ❖ **Tasa real: 13,7 L/m² x h**
- ❖ **Razón de lixiviación: 2,93**
- ❖ **Humedad de retención: 16,3 %**
- ❖ **Cabeza recalculada: 2,76 g/t**
- ❖ **Recuperación con cabeza recalculada: 80 %**

Estos resultados se pueden apreciar en las tablas N° 4, 5 y 6 del anexo.

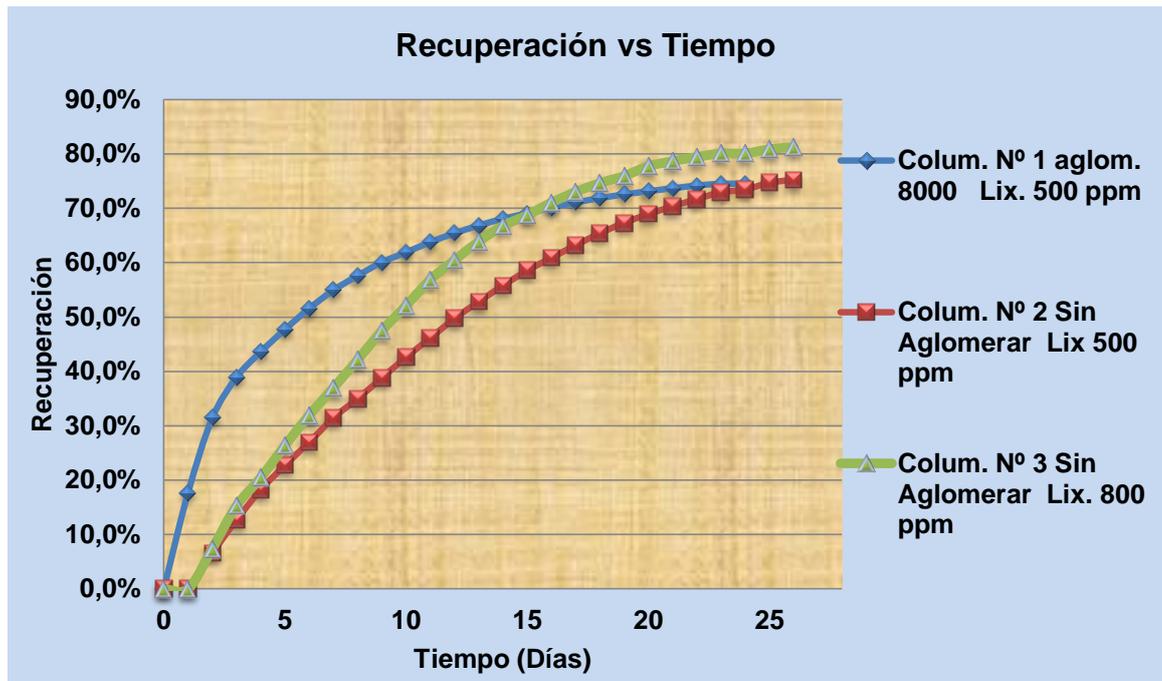


Gráfico N° 3: Recuperación vs. Tiempo (Días)

Al observar en el **Gráfico N° 3**, en el que se representa recuperación vs días, se puede visualizar un desfase de las curvas de las **columnas N° 2 y 3**; que tienen mineral sin aglomerar, con respecto a la columna que contiene mineral aglomerado, esto se debe a que el aglomerado permite una mejor percolación de la solución obteniendo un producto (solución rica) más rápido, a diferencia de las otras que demoran más en percolar.

Este desplazamiento de las curvas, se debe a que el aglomerado, más la humedad natural, le da al mineral, una humedad más cercana a la de saturación, y necesita menos solución lixivante para llegar a esta humedad. Además por la función de la aglomeración, la percolación es mejor a través de la columna, estas dos situaciones, hacen que dicha columna percole antes, que las columnas sin aglomerar. En las tablas N° 4, 5 y 6 del anexo se pueden ver los valores para las diferentes humedades, que explican esta percolación más temprana.

En el **Gráfico N° 4**, donde se muestra recuperación vs razón de lixiviación ese desfase no se nota, ya que acá relaciona el volumen de solución que pasa por las columnas.

Al estudiar el **Gráfico N° 3** y comparar las curvas que contienen mineral sin aglomerar con respecto a la curva con mineral aglomerado, se puede observar que la recuperación final alcanzada, es muy similar en las 3



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

columnas. Entre las columnas sin aglomerar, la que tiene mayor cinética, es la que tiene mayor concentración de cianuro en la solución lixivante. De nuevo se observa la importancia del cianuro en la lixiviación. En la columna N° 1, además del beneficio explicado, que produce la aglomeración, también aporta más cianuro que las columnas sin aglomerar, lo cual también favorece una mayor cinética.

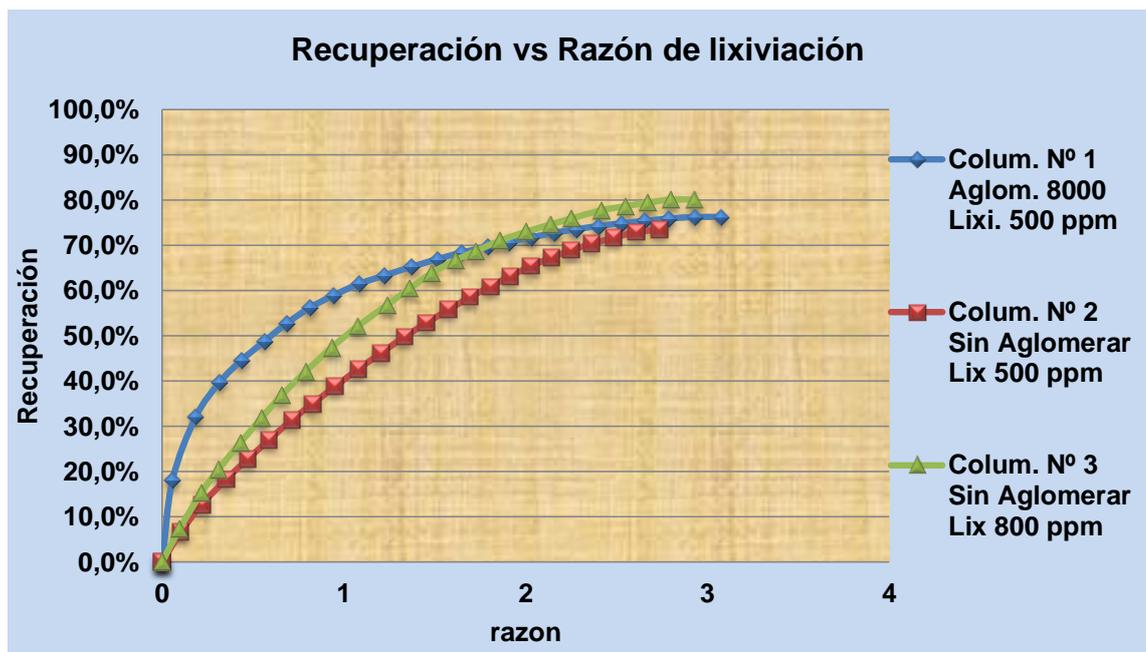


Gráfico N° 4: Recuperación vs. Razón de lixiviación

Al analizar el **Gráfico N° 4** se observa que las curvas correspondientes a las columnas N° 2 y 3 no presentan la misma cinética de lixiviación que la columna 1.

A una razón de 1 las recuperaciones son diferentes, esto se debe a la falta de cianuro que se puede notar las columnas 2 y 3. Lo mismo se puede ver, haciendo el análisis de las curvas de las columnas 2 y 3 donde la que tiene mayor concentración de cianuro, tiene mayor cinética, reforzando el concepto de la importancia del cianuro en la cinética.

Las 3 columnas tienen igual tasa de riego, por lo tanto ésta no está influyendo en cuanto al volumen que pasa por el mineral, la presencia del cianuro es quien está acelerando la lixiviación en las dos columnas sin aglomerado.



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

En los siguientes ensayos, se va a aglomerar sin cianuro, para ver la importancia de éste, respecto a la percolación y humedad de saturación, que proporciona la aglomeración.

En las curvas se ve que la cinética de la columna aglomerada es mayor que las otras, y la columna que se riega con una solución de 800 ppm de cianuro tiene una cinética mayor a columna que se lixivia con 500ppm de cianuro. De acuerdo a lo anterior, se puede considerar al aglomerado como una de las variables que influye en la cinética, pero como el aglomerado contiene una solución de cianuro, no se pudo determinar cuál tenía mayor influencia en la cinética.

Para ver la influencia que tiene el aglomerado y el cianuro en la cinética, se diseñaron los ensayos siguientes.

Nuevos ensayos en 3 columnas con las siguientes condiciones:

Columna Nº 1

- ❖ **Peso seco de mineral:** 70 kg
- ❖ **Humedad del aglomerado al 10 % incluida la humedad natural**
- ❖ **Aglomerado sin Cianuro**
- ❖ **Humedad natural : 3 %**
- ❖ **Concentración de Cianuro de Sodio en la solución lixivante 500 ppm**
- ❖ **Tasa de Riego : $13\text{L}/\text{m}^2 \times \text{h}$**
- ❖ **Ley de cabeza: 2,02 g/t**

La segunda columna partió de las siguientes condiciones:

Columna Nº 2

- ❖ **Peso seco de mineral:** 75 kg
- ❖ **Humedad del aglomerado al 10 % incluida la humedad natural**
- ❖ **Humedad natural : 3 %**
- ❖ **Concentración de Cianuro de Sodio en la solución lixivante 2000 ppm**
- ❖ **Tasa de Riego : $13\text{L}/\text{m}^2 \times \text{h}$**
- ❖ **Ley de cabeza: 2,02 g/t**

En la tercera columna las condiciones dadas fueron las siguientes:



Columna N°3

- ❖ **Peso seco de mineral: 70 kg**
- ❖ **Humedad natural : 3 %**
- ❖ **Aglomerado sin Cianuro**
- ❖ **Concentración de Cianuro de Sodio en la solución lixiviante**

2000 ppm

- ❖ **Tasa de Riego : 13 L/m² x h**
- ❖ **Ley de cabeza: 2,02 g/t**

Columna N° 1 se tomó como blanco del ensayo, ya que las **Columna N° 2** y **Columna N°3** se iban a comparar entre ellas.

Los ensayos se realizaron durante 25 días, en lo que se tomaban muestras diarias, luego se lavó con agua y cal para mantener el pH 10,5 durante 3 días, se cortó el lavado y se dejó escurrir para luego hacer el mismo procedimiento a los ensayos anteriores.

A continuación se ve los resultados obtenidos.

Columna N° 1

- ❖ **Ley de la cola : 0,60 g/t**
- ❖ **Tasa real: 13,2 L/m² x h**
- ❖ **Razón de lixiviación: 3,24**
- ❖ **Humedad de retención: 17,5%**
- ❖ **Cabeza recalculada: 2,36 g/t**
- ❖ **Recuperación con cabeza recalculada: 74,3 %**

Columna N° 2

- ❖ **Ley de la cola : 0,57 g/t**
- ❖ **Tasa real: 12,9 L/m² x h**
- ❖ **Razón de lixiviación: 2,8**
- ❖ **Humedad de retención: 18,5 %**
- ❖ **Cabeza recalculada: 2,74 g/t**
- ❖ **Recuperación con cabeza recalculada: 79,2 %**



Columna N° 3

- ❖ Ley de la cola : 0,47 g/t
- ❖ Tasa real: 12,4 L/m² x h
- ❖ Razón de lixiviación: 2,64
- ❖ Humedad de retención: 17,9 %
- ❖ Cabeza recalculada: 2,26 g/t
- ❖ Recuperación con cabeza recalculada: 79,3 %

Los resultados obtenidos se puede observar con más detalles en las tablas 7, 8 y 9 del anexo

A partir de estos resultados se obtuvieron los siguientes gráficos.

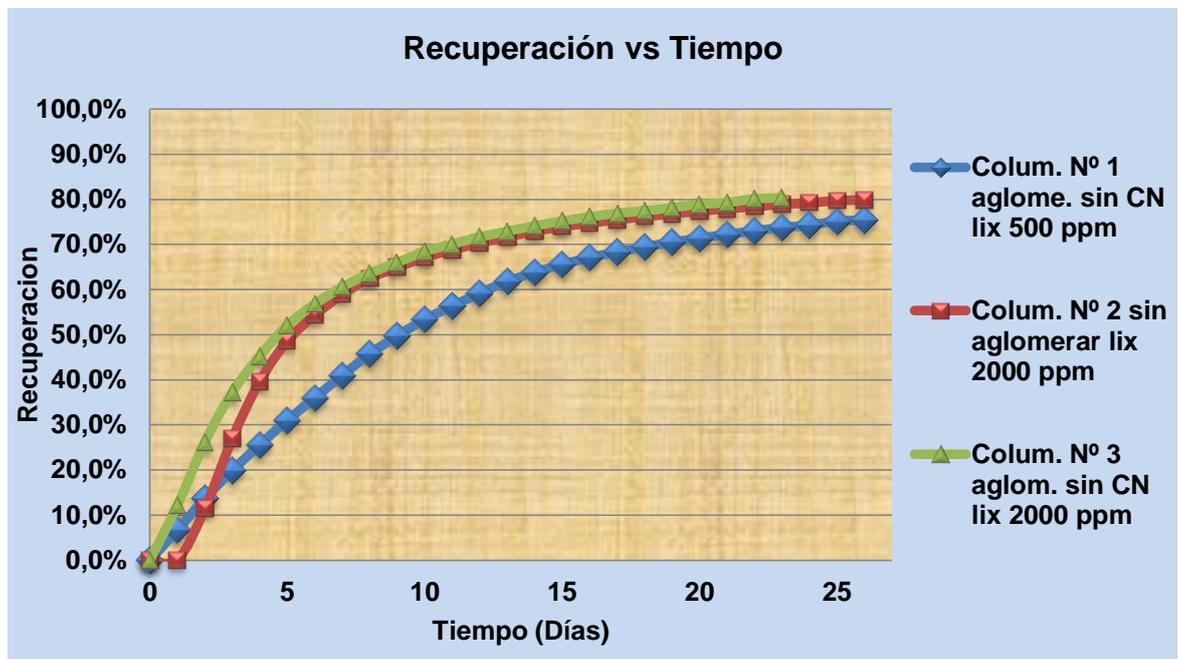


Gráfico N° 5: Recuperación vs. Tiempo (Días)

En el **Gráfico N° 5** se observa un desplazamiento en el eje del tiempo de la curva correspondiente a la **Columna N° 2** en la que el mineral está sin aglomerar, confirma lo visto en el ensayo anterior.

En todos los ensayos en donde el mineral se encuentra sin aglomerar se observa el mismo desplazamiento, lo que quiere decir que un mineral al no estar aglomerado genera un retraso en la obtención del producto, por esta razón se concluye que el aglomerado ayuda a una mejor percolación y una menor retención de solución.

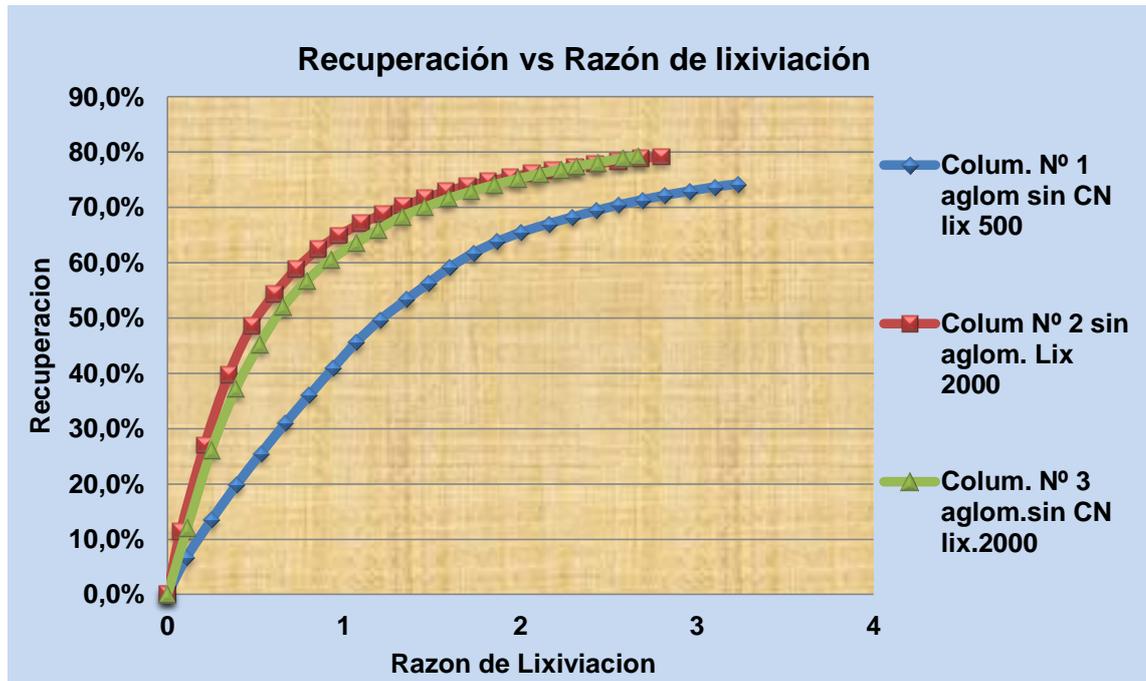


Gráfico N° 6: Recuperación vs. Razón de lixiviación

Al analizar el **Gráfico N° 6** se observa que la cinética de la **Columna N° 3** y **Columna N° 2**, son similares, mientras que la curva correspondiente a la **Columna N° 1** la cinética es más lenta. Esto se debe a la menor concentración de cianuro en la solución lixivante.



CAPÍTULO N° 7

GRAFICA DE RESULTADOS FINALES DE LOS ENSAYOS

En el siguiente grafico se muestra los ensayos que se hicieron sin aglomerar, notándose que las recuperaciones máximas alcanzadas son muy similares, difiriendo en su cinética.

Lo mismo se muestra en el grafico 8 con los ensayos aglomerados.

7.1. GRAFICA N°7

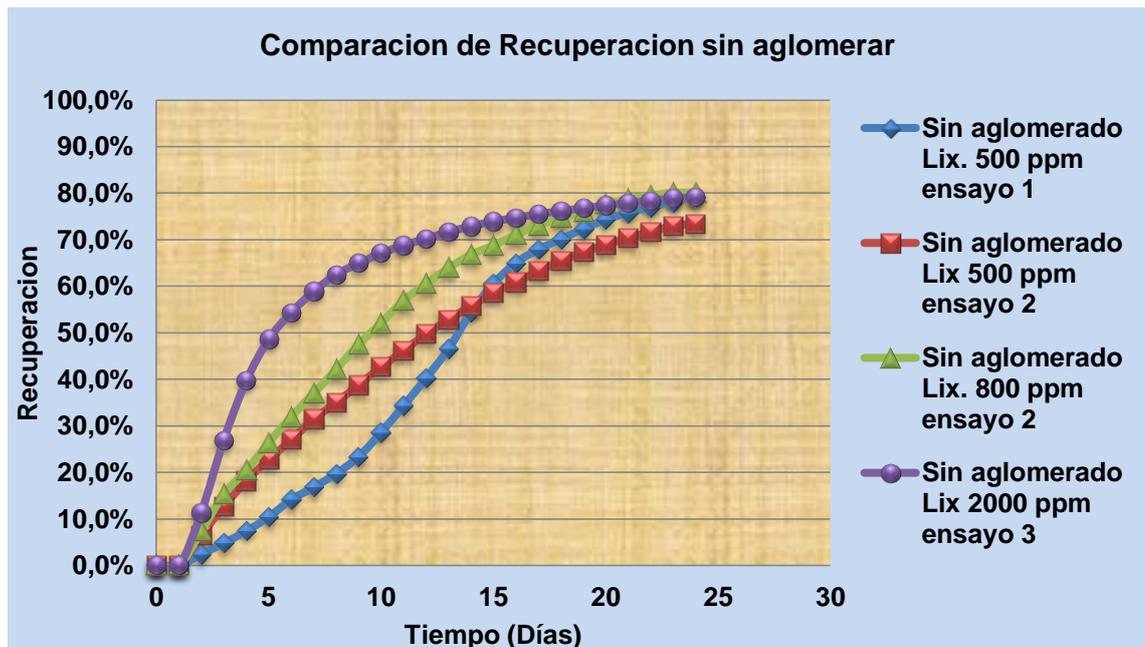


Gráfico N°7: Comparación de Recuperación sin aglomerar



7.2. GRAFICA N°8

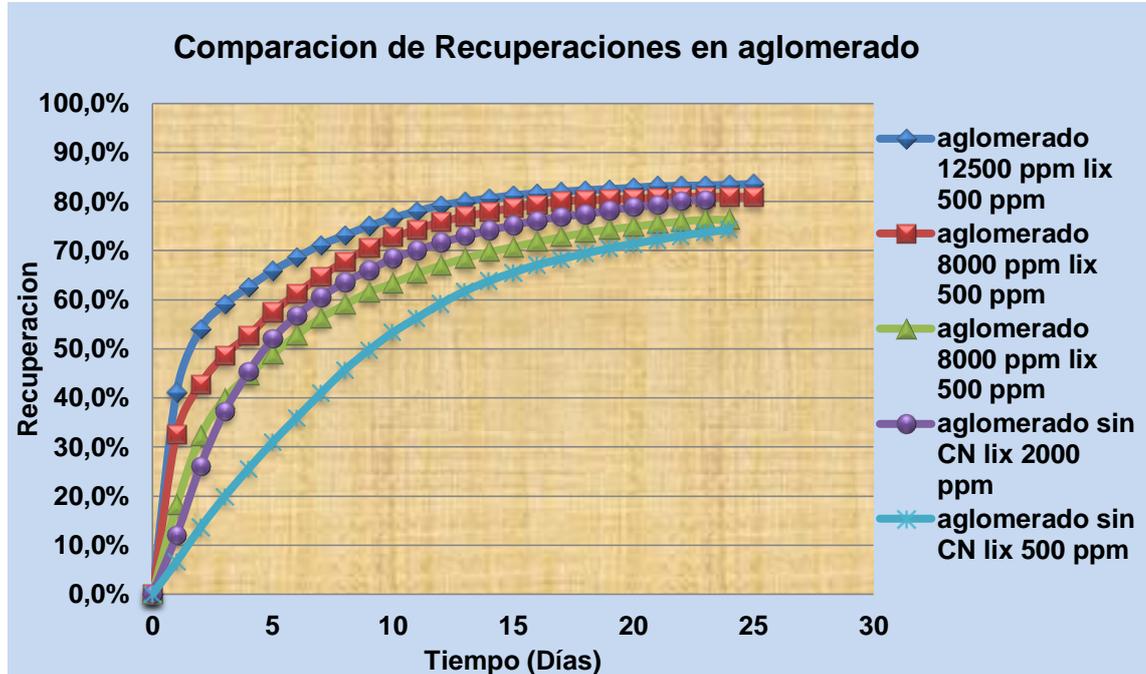


Gráfico N°8: Comparación de Recuperación en aglomerado



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

En el siguiente grafico se muestra todos los ensayos realizados, aglomerados y sin aglomerar.

7.3. GRAFICA N°9

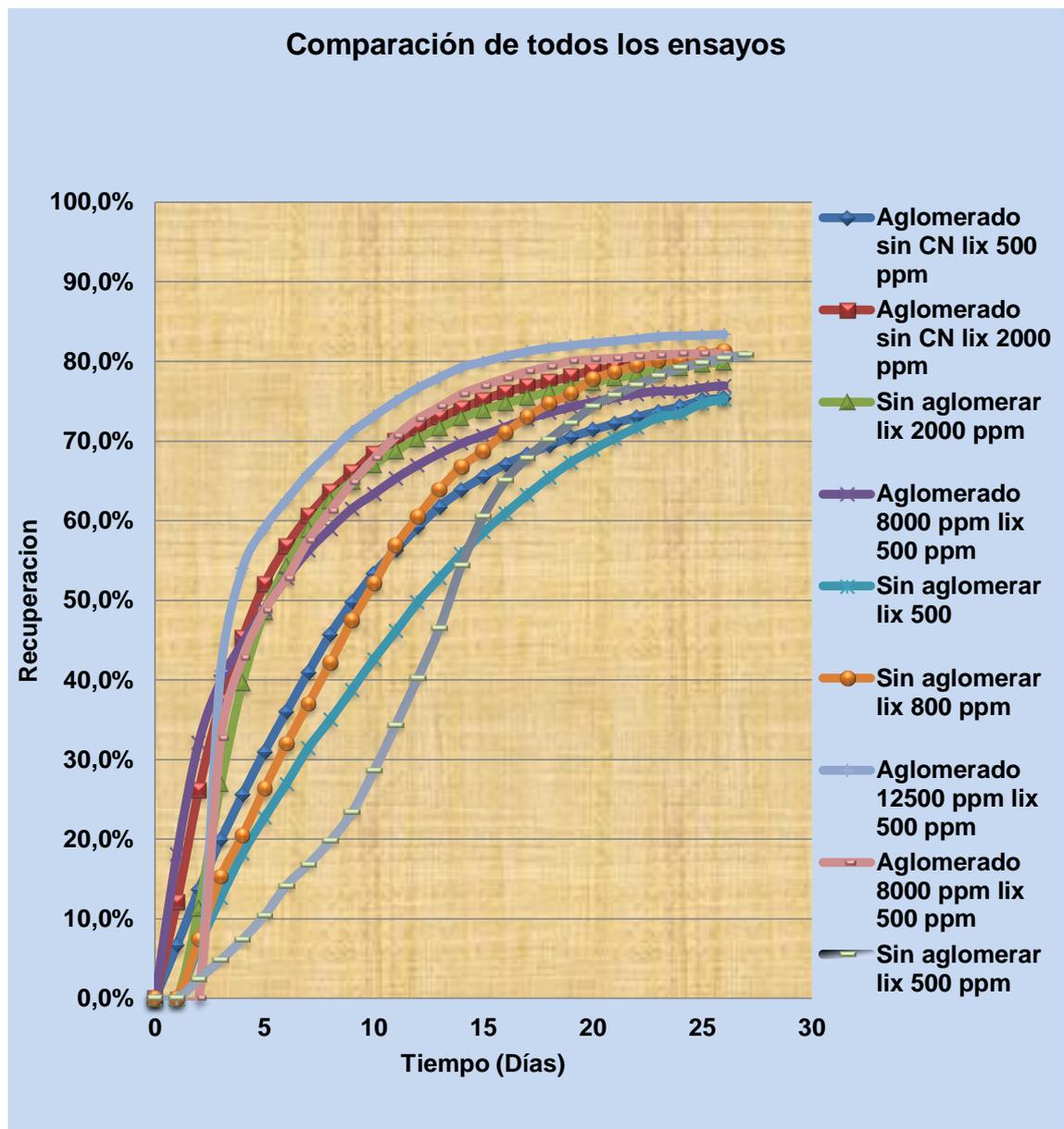


Gráfico N°9: Comparación de todos los ensayos



CAPÍTULO N° 8

CONCLUSIONES

En todos los ensayos realizados la recuperación obtenida fue muy similar, se vieron diferencias en la cinética y en el consumo de cianuro

Para una concentración de oxígeno y una granulometría dada, el que más influye en la cinética es la concentración de cianuro; **Gráfico N° 1**.

La aglomeración proporciona una solución rica más temprano, que cuando no se aglomera. Si bien esto no sería expresamente mayor cinética, proporciona un adelanto en la producción que se busca. **Gráfico N° 3 y 5**

Aglomeración sin cianuro y riego con 2000 ppm de cianuro, tenemos unos resultados similar a la mejor condición que fue expresada en la primera conclusión. **Gráfico N° 5 y 6**

Aglomerar sin cianuro y riego con 2000 ppm nos da un mayor consumo de cianuro con respecto a la mejor condición. **Tabla N° 9**.

Aglomeración sin cianuro y riego con 500 ppm de cianuro, nos da el menor consumo de cianuro. **Tabla N° 7**, y tenemos menor cinética.

Sin aglomerar y regando con diferentes concentración de cianuro se ve que la de mayor concentración de cianuro nos da la mayor cinética; confirmando que el cianuro es muy importante en la cinética **Gráfico N° 7**.

La tasa también tiene importancia en la cinética, se hizo un solo ensayo con tasa de 5 y dio la cinética más baja **Gráfico N° 1**.



8.1. ALTERNATIVAS

De los ensayos realizados y resultados obtenidos, se pueden evaluar otras alternativas de operación a escala industrial, las que en definitiva será factible o no en función de los costos.

De acuerdo a la recuperación operativa si se tiene en cuenta 74% que es la recuperación factible del proyecto las alternativas son:

1. Trabajar con 12500 ppm en la solución aglomerante y poder alcanzar la recuperación operativa conllevaría unos 8 días, en cambio al bajar la concentración de cianuro en la solución aglomerante a unos 8000 ppm tardaría unos 12 días.

2. Al trabajar con mineral si aglomerar la recuperación operativa se alcanza a los 16 días lixiviando con una concentración de cianuro de 2000 ppm, pero si se aglomera sin cianuro la recuperación operativa se obtiene a los 14 días.

3. Al disminuir la cantidad de cianuro y trabajar con mineral sin aglomerar nos estaríamos ahorrando un paso en el circuito en lo que es la preparación del mineral para su posterior lixiviado (preparación de la solución aglomerante y aglomeración).

4. En el caso de no contar con mucho mineral el agotamiento de las leyes de las pilas en un mineral sin aglomerar es más lento que un mineral aglomerado con solución aglomerante de cianuro.



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

CAPÍTULO N° 9

Anexos



9.1. Tablas N° 1 del Ensayo N°1

Columna N°1 con solución aglomerante 12.500 ppm

Peso Alim. (Kg)	Ley Alim.Recalc. (mg/Kg)	Fino Alim. (mg)
58,8	1,50	87,9
Humedad de Aglomeración		10%
Humedad de Saturación		16,0%
Densidad del Aglomerado		1,8
Ley de alimentación		1,3

Días	Horas	Fecha	Volumen muestra (L)	ley muestra (mg/L)	Fino (mg)	Fino Ac	Recuperación	Rec. Ac.	Tasa	Razón de lixiviación	Volumen utilizado
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	24	26/08/14	5,88	6,15	36,16	36,16	41,1%	41,1%	10,7	0,10	6
2	48	27/08/14	7,04	1,61	11,33	47,50	12,9%	54,0%	10,7	0,22	13
3	72	28/08/14	7,58	0,59	4,47	51,97	5,1%	59,1%	10,7	0,36	20,5
4	96	29/08/14	7,16	0,43	3,08	55,05	3,5%	62,6%	10,7	0,48	27,7
5	120	30/08/14	7,42	0,39	2,89	57,94	3,3%	65,9%	10,7	0,61	35,1
6	144	31/08/14	7	0,34	2,38	60,32	2,7%	68,6%	10,7	0,73	42,1
7	168	01/09/14	7,78	0,29	2,26	62,58	2,6%	71,2%	10,7	0,87	50
8	192	02/09/14	7,12	0,24	1,71	64,29	1,9%	73,1%	10,7	1	57,0
9	216	03/09/14	7,52	0,22	1,65	65,94	1,9%	75,0%	10,7	1,12	64,5
10	240	04/09/14	6,96	0,21	1,46	67,40	1,7%	76,6%	10,7	1,24	71,5
11	264	05/09/14	7,3	0,16	1,17	68,57	1,3%	78,0%	10,7	1,37	78,8



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

Días	Horas	Fecha	Volumen muestra (L)	ley muestra (mg/L)	Fino (mg)	Fino Ac	Recuperación	Rec. Ac.	Tasa	Razón de lixiviación	Volumen utilizado
12	288	06/09/14	7,44	0,15	1,12	69,69	1,3%	79,2%	10,7	1,50	86,2
13	312	07/09/14	6,92	0,09	0,62	70,31	0,7%	80,0%	10,7	1,62	93,1
14	336	08/09/14	7,66	0,08	0,61	70,92	0,7%	80,6%	10,7	1,75	100,8
15	360	09/09/14	8,46	0,06	0,51	71,43	0,6%	81,2%	10,7	1,90	109,2
16	384	10/09/14	8,14	0,05	0,41	71,84	0,5%	81,7%	10,7	2,04	117,4
17	408	11/09/14	8,64	0,03	0,26	72,10	0,3%	82,0%	10,7	2,19	126,0
18	432	12/09/14	9,22	0,03	0,28	72,37	0,3%	82,3%	10,7	2,35	135,2
19	456	13/09/14	6,7	0,03	0,20	72,57	0,2%	82,5%	10,7	2,46	141,9
20	480	14/09/14	8,26	0,03	0,25	72,82	0,3%	82,8%	10,7	2,61	150,2
21	504	15/09/14	8,64	0,03	0,26	73,08	0,3%	83,1%	10,7	2,76	158,8
22	528	16/09/14	8,72	0,01	0,09	73,17	0,1%	83,2%	10,7	2,91	167,6
23	552	17/09/14	7,3	0,01	0,07	73,24	0,1%	83,3%	10,7	3,04	174,9
24	576	18/09/14	11,44	0,01	0,11	73,35	0,1%	83,4%	10,7	3,23	186,3
25	600	19/09/14	12,56	0,01	0,13	73,48	0,1%	83,6%	10,7	3,45	198,9



Día en que se paró la lixiviación



Días en que se lavó la columna

Peso cola (Kg)	Ley cola (mg/Kg)	Fino cola (mg)
58,8	0,25	14,7



9.2. Tablas N° 2 del Ensayo N° 2

Columna N°2 con solución aglomerante 8.000 ppm

Peso Alim. (Kg)	Ley Alim.Recalc. (mg/Kg)	Fino Alim. (mg)
58,8	1,57	92,5792
Humedad de Aglomeración	10%	
Humedad de Saturación	19,0%	
Densidad del Aglomerado	1,8	
Ley de alimentación	1,3	

Días	Horas	Fecha	Volumen muestra (L)	ley muestra (mg/L)	Fino (mg)	Fino Ac	Recuperación	Rec. Ac.	Tasa	Razón de lixiviación	Volumen utilizado
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
1	24	26/08/14	4,44	6,81	30,24	30,24	32,7%	32,7%	11,02	0,08	4,4
2	48	27/08/14	8,06	1,16	9,35	39,59	10,1%	42,8%	11,02	0,22	12,5
3	72	28/08/14	7,48	0,74	5,54	45,12	6,0%	48,7%	11,02	0,35	20,0
4	96	29/08/14	7,12	0,52	3,70	48,82	4,0%	52,7%	11,02	0,47	27,1
5	120	30/08/14	8,02	0,55	4,41	53,23	4,8%	57,5%	11,02	0,61	35,1
6	144	31/08/14	7,68	0,45	3,46	56,69	3,7%	61,2%	11,02	0,74	42,8
7	168	01/09/14	8,18	0,4	3,27	59,96	3,5%	64,8%	11,02	0,89	51,0
8	192	02/09/14	7,8	0,36	2,81	62,77	3,0%	67,8%	11,02	1,02	58,8
9	216	03/09/14	7,76	0,33	2,56	65,33	2,8%	70,6%	11,02	1,16	66,5
10	240	04/09/14	7,8	0,26	2,03	67,36	2,2%	72,8%	11,02	1,29	74,3



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

Días	Horas	Fecha	Volumen muestra (L)	ley muestra (mg/L)	Fino (mg)	Fino Ac	Recuperación	Rec. Ac.	Tasa	Razón de lixiviación	Volumen utilizado
11	264	05/09/14	7,4	0,19	1,41	68,77	1,5%	74,3%	11,02	1,42	81,7
12	288	06/09/14	7,8	0,19	1,48	70,25	1,6%	75,9%	11,02	1,55	89,5
13	312	07/09/14	7,5	0,13	0,98	71,22	1,1%	76,9%	11,02	1,68	97,0
14	336	08/09/14	8,48	0,1	0,85	72,07	0,9%	77,8%	11,02	1,83	105,5
15	360	09/09/14	8,84	0,09	0,80	72,87	0,9%	78,7%	11,02	1,99	114,4
16	384	10/09/14	7,14	0,08	0,57	73,44	0,6%	79,3%	11,02	2,11	121,5
17	408	11/09/14	9,36	0,07	0,66	74,09	0,7%	80,0%	11,02	2,27	130,9
18	432	12/09/14	9,42	0,02	0,19	74,28	0,2%	80,2%	11,02	2,44	140,3
19	456	13/09/14	7,28	0,02	0,15	74,43	0,2%	80,4%	11,02	2,56	147,6
20	480	14/09/14	8,68	0,02	0,17	74,60	0,2%	80,6%	11,02	2,71	156,2
21	504	15/09/14	8,6	0,02	0,17	74,77	0,2%	80,8%	11,02	2,86	164,8
22	528	16/09/14	8,36	0,02	0,17	74,94	0,2%	80,9%	11,02	3,01	173,2
23	552	17/09/14	6,08	0	0,00	74,94	0,0%	80,9%	11,02	3,11	179,3
24	576	18/09/14	13,78	0	0,00	74,94	0,0%	80,9%	11,02	3,35	193,1
25	600	19/09/14	13,58	0	0,00	74,94	0,0%	80,9%	11,02	3,59	206,6



Día en que se paró la lixiviación



Días en que se lavó la columna

Peso cola. (Kg)	Ley cola (mg/Kg)	Fino cola (mg)
58,8	0,3	17,64



9.3. Tablas N° 3 del Ensayo N° 3

Columna N°3 sin aglomeración

Peso Alim. (Kg)	Ley Alim.Recalc. (mg/Kg)	Fino Alim. (mg)
58,8	1,73	101,9407

Humedad de Saturación	17,9%
Ley de alimentación	1,3

Días	Horas	Fecha	Volumen muestra (L)	ley muestra (mg/L)	Fino (mg)	Fino Ac	Recuperación	Rec. Ac.	Tasa	Razón de lixiviación	Volumen utilizado
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	24	27/08/14	0	0	0	0	0	0	2,8	0	0
2	48	28/08/14	1,5	1,66	2,49	2,49	2,4%	2,4%	2,8	0,03	1,5
3	72	29/08/14	2,2	1,1	2,42	4,91	2,4%	4,8%	2,8	0,06	3,7
4	96	30/08/14	2,32	1,14	2,64	7,55	2,6%	7,4%	2,8	0,10	6,02
5	120	31/08/14	3,38	0,91	3,08	10,63	3,0%	10,4%	5	0,16	9,4
6	144	01/09/14	4,14	0,92	3,81	14,44	3,7%	14,2%	5	0,24	13,54
7	168	02/09/14	3,34	0,81	2,71	17,14	2,7%	16,8%	5	0,29	16,88
8	192	03/09/14	3,44	0,87	2,99	20,14	2,9%	19,8%	5	0,35	20,32
9	216	04/09/14	4,9	0,75	3,68	23,81	3,6%	23,4%	6,8	0,44	25,22
10	240	05/09/14	7,1	0,75	5,33	29,14	5,2%	28,6%	11,3	0,56	32,32
11	264	06/09/14	8,12	0,72	5,85	34,98	5,7%	34,3%	11,3	0,70	40,44
12	288	07/09/14	8,4	0,72	6,05	41,03	5,9%	40,3%	11,3	0,85	48,84
13	312	08/09/14	8,88	0,72	6,39	47,43	6,3%	46,5%	11,3	1,00	57,72



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

Días	Horas	Fecha	Volumen muestra (L)	ley muestra (mg/L)	Fino (mg)	Fino Ac	Recuperación	Rec. Ac.	Tasa	Razón de lixiviación n	Volumen utilizado
14	336	09/09/14	11,16	0,72	8,04	55,46	7,9%	54,4%	15,3	1,20	68,88
15	360	10/09/14	11,37	0,55	6,25	61,71	6,1%	60,5%	15,3	1,39	80,25
16	384	11/09/14	11,14	0,41	4,57	66,28	4,5%	65,0%	15,3	1,59	91,39
17	408	12/09/14	11,24	0,26	2,92	69,20	2,9%	67,9%	15,3	1,78	102,63
18	432	13/09/14	10,9	0,21	2,29	71,49	2,2%	70,1%	15,3	1,97	113,53
19	456	14/09/14	10,96	0,2	2,19	73,69	2,2%	72,3%	15,3	2,16	124,49
20	480	15/09/14	12,08	0,17	2,05	75,74	2,0%	74,3%	15,3	2,37	136,57
21	504	16/09/14	11,48	0,13	1,49	77,23	1,5%	75,8%	15,3	2,57	148,05
22	528	17/09/14	10,66	0,12	1,28	78,51	1,3%	77,0%	15,3	2,76	158,71
23	552	18/09/14	10,6	0,11	1,17	79,68	1,1%	78,2%	15,3	2,94	169,31
24	576	19/09/14	10,46	0,1	1,05	80,72	1,0%	79,2%	15,3	3,12	179,77
25	600	20/09/14	10,64	0,06	0,64	81,36	0,6%	79,8%	15,3	3,31	190,41
26	624	21/09/14	12,92	0,05	0,65	82,01	0,6%	80,4%	17,1	3,53	203,33
27	648	22/09/14	11,7	0,03	0,35	82,36	0,3%	80,8%	17,1	3,73	215,03



Día en que se paró la lixiviación



Días en que se lavó la columna

Peso cola (Kg)	Ley cola (mg/Kg)	Fino cola (mg)
58,8	0,35	20,58



9.4. Tablas N° 4 del Ensayo N° 4

Columna N°1 solución aglomerante 8.000 ppm

Peso Alim. (Kg)	Ley Alim. Recalc. (mg/Kg)	Fino Alim. (mg)
69,33	2,11	146,0

Humedad de Saturación	17,7%
Volumen de Saturación	12,30
Ley de alimentación	2,2

Datos Columna	
Sección (m ²)	0,03
Altura (m)	2

Solución lixiviante	
Conc. Cianuro ppm	500

Aglomerado	
Humedad	10%
Densidad	1,2
Volumen Agua	3,61
Conc. NaCN	8000
gr de NaCN ocupado	55,47

Mineral	
Peso Húmedo	72,66
Peso Seco	69,33
Humedad	4,8%
Vol. agua	3,33



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

Días	Horas	Fecha	Volumen muestra (L)	ley muestra (mg/L)	Fino (mg)	Fino Ac	Recuperación	Rec. Ac.	Tasa	Razón de lixiviación	Volumen Regado/día	Volumen Regado Ac.	Volumen recogido	pH	Cianuro (ppm)	Consumo Cianuro (gr)	Consumo Cianuro Ac.
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0
1	24	26/09/14	3,92	6,75	26,46	26,46	18%	18,1%	12,6	0,06	9,07	9,07	3,92	8,5	16	4,47	4,47
2	48	27/09/14	8,96	2,29	20,52	46,98	14%	32,2%	12,6	0,19	9,07	18,14	12,88	8,67	32	4,25	8,72
3	72	28/09/14	9,18	1,22	11,20	58,18	8%	39,8%	12,6	0,32	9,07	27,22	22,06	8,66	38	4,19	12,91
4	96	29/09/14	8,26	0,85	7,02	65,20	5%	44,6%	12,6	0,44	9,07	36,29	30,32	8,51	48	4,14	17,05
5	120	30/09/14	8,8	0,7	6,16	71,36	4,2%	48,9%	12,6	0,56	9,07	45,36	39,12	8,37	60	4,01	21,06
6	144	01/10/14	8,46	0,68	5,75	77,11	3,9%	52,8%	12,6	0,69	9,07	54,43	47,58	8,2	64	3,99	25,05
7	168	02/10/14	8,82	0,57	5,03	82,14	3,4%	56,2%	12,6	0,81	9,07	63,50	56,40	8,82	72	3,90	28,95
8	192	03/10/14	9,06	0,44	3,99	86,13	2,7%	59,0%	12,6	0,94	9,07	72,58	65,46	9,34	126	3,39	32,35
9	216	04/10/14	9,74	0,38	3,70	89,83	2,5%	61,5%	12,6	1,08	9,07	81,65	75,20	9,68	144	3,13	35,48
10	240	05/10/14	9,68	0,28	2,71	92,54	1,9%	63,4%	12,6	1,22	9,07	90,72	84,88	9,86	160	2,99	38,47
11	264	06/10/14	10,5	0,27	2,84	95,37	1,9%	65,3%	12,6	1,38	9,07	99,79	95,38	9,88	180	2,65	41,11
12	288	07/10/14	9,7	0,25	2,43	97,80	1,7%	67,0%	12,6	1,52	9,07	108,86	105,08	10	200	2,60	43,71
13	312	08/10/14	9,3	0,23	2,14	99,94	1,5%	68,4%	12,6	1,65	9,07	117,94	114,38	10,03	224	2,45	46,16
14	336	09/10/14	9,76	0,19	1,85	101,79	1,3%	69,7%	12,6	1,79	9,07	127,01	124,14	10,02	220	2,39	48,55
15	360	10/10/14	8,18	0,18	1,47	103,26	1,01%	70,7%	12,6	1,91	9,07	136,08	132,32	10,15	226	2,69	51,24
16	384	11/10/14	8,52	0,18	1,53	104,80	1,05%	71,8%	12,6	2,03	9,07	145,15	140,84	10,24	236	2,53	53,76
17	408	12/10/14	8,56	0,17	1,46	106,25	1,00%	72,8%	12,6	2,15	9,07	154,22	149,40	10,32	270	2,22	55,99
18	432	13/10/14	8,5	0,14	1,19	107,44	0,81%	73,6%	12,6	2,28	9,07	163,30	157,90	10,4	282	2,14	58,13
19	456	14/10/14	8,61	0,12	1,03	108,48	0,71%	74,3%	12,6	2,40	9,07	172,37	166,51	10,4	306	1,90	60,03
20	480	15/10/14	8,68	0,1	0,87	109,34	0,59%	74,9%	12,6	2,53	9,07	181,44	175,19	10,38	208	2,73	62,76



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

Días	Horas	Fecha	Volumen muestra (L)	ley muestra (mg/L)	Fino (mg)	Fino Ac	Recuperación	Rec. Ac.	Tasa	Razón de lixiviación	Volumen Regado/día	Volumen Regado Ac.	Volumen recogido	pH	Cianuro (ppm)	Consumo Cianuro (gr)	Consumo Cianuro Ac.
21	504	16/10/14	9,14	0,09	0,82	110,17	0,56%	75,4%	12,6	2,66	9,07	190,51	184,33	10,48	302	1,78	64,54
22	528	17/10/14	9,2	0,08	0,74	110,90	0,50%	75,9%	12,6	2,79	9,07	199,58	193,53	10,4	334	1,46	66,00
23	552	18/10/14	9,8	0,05	0,49	111,39	0,34%	76,3%	12,6	2,93	9,07	208,66	203,33	10,53	356	1,05	67,05
24	576	19/10/14	9,9	0	0,00	111,39	0,00%	76,3%	12,6	3,08	9,07	217,73	213,23	10,66	450	0,08	67,13
25	600	20/10/14	10,2	0,06	0,61	112,00	0,42%	76,7%	12,6	3,22	9,07	226,80	223,43	10,5	160	-1,63	65,49
26	601	21/10/14	9,72	0,04	0,39	112,39	0,27%	77,0%	13,6	3,36	0,41	227,21	233,15	10,46	52	-0,51	64,99
																	120,46

Día en que se paró la lixiviación

Días en que se lavó la columna

Peso cola (Kg)	Ley cola (mg/Kg)	Fino cola (mg)
69,3	0,5	34,7

Consumo total (gr/tn)	1737,3646
-----------------------	-----------



9.5. Tablas N° 5 del Ensayo N° 5

Columna N°2 sin aglomerar lixiviado con 500 ppm

Peso Alim. (Kg)	Ley Alim. Recalc. (mg/Kg)	Fino Alim. (mg)
76,78	2,26	173,6

Humedad de Saturación	16,5%
Volumen de Saturación	12,68
Ley de alimentación	2,2

Datos Columna	
Sección (m ²)	0,03
Altura (m)	2

Solución lixiviante	
Conc. Cianuro ppm	500

Mineral	
Peso Húmedo	80
Peso Seco	76,78
Humedad	4,2%
Vol. agua	3,22



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

Días	horas	Fecha	Volumen muestra (L)	ley muestra (mg/L)	Fino (mg)	Fino Ac	Recuperación	Rec. Ac.	Tasa	Razón de lixiviación	Volumen Regado/día	Volumen Regado Ac.	Volumen recogido	pH	Cianuro (ppm)	Consumo Cianuro (gr)	Consumo Cianuro Ac.
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0
1	24	26/09/14	0	0	0	0	0	0	12,75	0	9,18	0,00	0	0	0	0	0
2	48	27/09/14	7,76	1,47	11,41	11,41	6,6%	6,6%	12,75	0,10	9,18	9,18	7,76	8,52	16	2,00	2,00
3	72	28/09/14	8,9	1,19	10,59	22,00	6,1%	12,7%	12,75	0,22	9,18	18,36	16,66	8,37	16	4,45	6,45
4	96	29/09/14	10,28	0,94	9,66	31,66	5,6%	18,2%	12,75	0,35	9,18	27,54	26,94	8,34	14	4,45	10,89
5	120	30/09/14	9,18	0,85	7,80	39,46	4,5%	22,7%	12,75	0,47	9,18	36,72	36,12	7,99	14	4,46	15,36
6	144	01/10/14	8,98	0,82	7,36	46,83	4,2%	27,0%	12,75	0,59	9,18	45,90	45,1	7,88	14	4,46	19,82
7	168	02/10/14	9,72	0,8	7,78	54,60	4,5%	31,5%	12,75	0,71	9,18	55,08	54,82	7,83	18	4,42	24,23
8	192	03/10/14	8,78	0,7	6,15	60,75	3,5%	35,0%	12,75	0,83	9,18	64,26	63,6	8,14	40	4,24	28,47
9	216	04/10/14	9,4	0,7	6,58	67,33	3,8%	38,8%	12,75	0,95	9,18	73,44	73	8,6	46	4,16	32,63
10	240	05/10/14	9,78	0,68	6,65	73,98	3,8%	42,6%	12,75	1,08	9,18	82,62	82,78	8,65	76	3,85	36,48
11	264	06/10/14	9,5	0,64	6,08	80,06	3,5%	46,1%	12,75	1,20	9,18	91,80	92,28	8,25	86	3,77	40,25
12	288	07/10/14	9,96	0,63	6,27	86,34	3,6%	49,7%	12,75	1,33	9,18	100,98	102,24	8,33	76	3,83	44,08
13	312	08/10/14	9,4	0,57	5,36	91,69	3,1%	52,8%	12,75	1,45	9,18	110,16	111,64	8,4	70	3,93	48,02
14	336	09/10/14	9,3	0,55	5,12	96,81	2,9%	55,8%	12,75	1,58	9,18	119,34	120,94	8,45	88	3,77	51,79
15	360	10/10/14	9,1	0,53	4,82	101,63	2,8%	58,6%	12,75	1,69	9,18	128,52	130,04	10,11	66	3,99	55,78
16	384	11/10/14	8,46	0,48	4,06	105,69	2,3%	60,9%	12,75	1,80	9,18	137,70	138,5	9,06	68	4,01	59,79
17	408	12/10/14	8,58	0,47	4,03	109,72	2,3%	63,2%	12,75	1,92	9,18	146,88	147,08	9,31	72	3,97	63,76
18	432	13/10/14	8,78	0,43	3,78	113,50	2,2%	65,4%	12,75	2,03	9,18	156,06	155,86	9,75	96	3,75	67,51
19	456	14/10/14	8,66	0,39	3,38	116,88	1,9%	67,3%	12,75	2,14	9,18	165,24	164,52	9,84	116	3,59	71,10
20	480	15/10/14	8,26	0,33	2,73	119,60	1,6%	68,9%	12,75	2,25	9,18	174,42	172,78	9,86	128	3,53	74,63
21	504	16/10/14	8,72	0,29	2,53	122,13	1,5%	70,4%	12,75	2,36	9,18	183,60	181,5	9,95	136	3,40	78,03



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

Días	horas	Fecha	Volumen muestra (L)	ley muestra (mg/L)	Fino (mg)	Fino Ac	Recuperación	Rec. Ac.	Tasa	Razón de lixiviación	Volumen Regado/día	Volumen Regado Ac.	Volumen recogido	pH	Cianuro (ppm)	Consumo Cianuro (gr)	Consumo Cianuro Ac.
22	528	17/10/14	9,2	0,25	2,30	124,43	1,3%	71,7%	12,75	2,48	9,18	192,78	190,7	10,15	280	2,01	80,05
23	552	18/10/14	9,6	0,23	2,21	126,64	1,3%	73,0%	12,75	2,61	9,18	201,96	200,3	10,23	290	1,81	81,85
24	576	19/10/14	9,6	0,09	0,86	127,50	0,5%	73,5%	12,75	2,73	9,18	211,14	209,9	10,4	264	2,06	83,91
25	600	20/10/14	9,8	0,22	2,16	129,66	1,2%	74,7%	12,75	2,86	9,18	220,32	219,7	10,4	200	-1,96	81,95
26	624	21/10/14	10,8	0,09	0,97	130,63	0,6%	75,3%	13,75	3,00	9,90	230,22	230,5	10,38	56	-0,60	81,34



Día en que se paró la lixiviación



Días en que se lavó la columna

Peso cola (Kg)	Ley cola (mg/Kg)	Fino cola (mg)
76,78	0,6	46,1

Consumo total (gr/tn)	1059,50247
-----------------------	------------



9.6. Tablas N° 6 del Ensayo N° 6

Columna N°3 sin aglomerar lixiviado con 800 ppm

Peso Alim. (Kg)	Ley Alim. Recalc. (mg/Kg)	Fino Alim. (mg)
76,78	2,76	212,2

Humedad de Saturación	16,3%
Volumen de Saturación	12,50
Ley de alimentación	2,2

Datos Columna	
Sección (m2)	0,03
Altura (m)	2

Solución lixivante	
Conc. Cianuro ppm	800

Mineral	
Peso Húmedo	80
Peso Seco	76,78
Humedad	4,2%
Vol. agua	3,22



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

Días	Horas	Fecha	Volumen muestra	ley muestra	Fino	Fino Ac	Recuperación	Rec. Ac.	Tasa	Razón de lixiviación	Volumen Regado/día	Volumen Regado Ac.	Volumen Recogido	pH	Cianuro (ppm)	Consumo Cianuro (gr)	Consumo Cianuro Ac.
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0
1	24	26/09/14	0	0	0	0	0	0	13,7	0	9,86	0,00	0	0	0	0	0
2	48	27/09/14	7,42	2,12	15,73	15,73	7,4%	7,4%	13,7	0,10	9,86	9,86	7,42	8,39	18	7,76	7,76
3	72	28/09/14	9,06	1,84	16,67	32,40	7,9%	15,3%	13,7	0,21	9,86	19,73	16,48	8,3	14	7,76	15,52
4	96	29/09/14	7,24	1,52	11,00	43,41	5,2%	20,5%	13,7	0,31	9,86	29,59	23,72	8,12	14	7,79	23,31
5	120	30/09/14	9,28	1,35	12,53	55,93	5,9%	26,4%	13,7	0,43	9,86	39,46	33	7,93	14	7,76	31,07
6	144	01/10/14	9,12	1,3	11,86	67,79	5,6%	31,9%	13,7	0,55	9,86	49,32	42,12	7,7	14	7,76	38,84
7	168	02/10/14	8,54	1,25	10,68	78,46	5,0%	37,0%	13,7	0,66	9,86	59,18	50,66	7,73	12	7,79	46,63
8	192	03/10/14	10,04	1,09	10,94	89,41	5,2%	42,1%	13,7	0,79	9,86	69,05	60,7	8	44	7,45	54,07
9	216	04/10/14	11	1,03	11,33	100,74	5,3%	47,5%	13,7	0,93	9,86	78,91	71,7	8,24	58	7,25	61,33
10	240	05/10/14	10,86	0,9	9,77	110,51	4,6%	52,1%	13,7	1,08	9,86	88,78	82,56	8,62	80	7,02	68,35
11	264	06/10/14	12,58	0,81	10,19	120,70	4,8%	56,9%	13,7	1,24	9,86	98,64	95,14	9,2	136	6,18	74,53
12	288	07/10/14	9,5	0,8	7,60	128,30	3,6%	60,5%	13,7	1,36	9,86	108,50	104,64	9,5	220	5,80	80,33
13	312	08/10/14	9,2	0,79	7,27	135,57	3,4%	63,9%	13,7	1,48	9,86	118,37	113,84	9,86	214	5,92	86,25
14	336	09/10/14	10,2	0,6	6,12	141,69	2,9%	66,8%	13,7	1,62	9,86	128,23	124,04	9,85	240	5,44	91,70
15	360	10/10/14	8,56	0,49	4,19	145,88	2,0%	68,8%	13,7	1,73	9,86	138,10	132,6	8,62	306	5,27	96,97
16	384	11/10/14	10,16	0,48	4,88	150,76	2,3%	71,0%	13,7	1,86	9,86	147,96	142,76	10,17	328	4,56	101,53
17	408	12/10/14	11,04	0,38	4,20	154,96	2,0%	73,0%	13,7	2,00	9,86	157,82	153,8	10,3	420	3,25	104,78
18	432	13/10/14	10,44	0,33	3,45	158,40	1,6%	74,7%	13,7	2,14	9,86	167,69	164,24	10,45	520	2,46	107,24
19	456	14/10/14	8,6	0,32	2,75	161,15	1,3%	75,9%	13,7	2,25	9,86	177,55	172,84	10,53	568	3,01	110,25
20	480	15/10/14	12,7	0,3	3,81	164,96	1,8%	77,7%	13,7	2,42	9,86	187,42	185,54	10,43	530	1,16	111,41
21	504	16/10/14	10,28	0,19	1,95	166,92	0,9%	78,7%	13,7	2,55	9,86	197,28	195,82	10,54	514	2,61	114,02



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

Días	Horas	Fecha	Volumen muestra	ley muestra	Fino	Fino Ac	Recuperación	Rec. Ac.	Tasa	Razón de lixiviación	Volumen Regado/día	Volumen Regado Ac.	Volumen Recogido	pH	Cianuro (ppm)	Consumo Cianuro (gr)	Consumo Cianuro Ac.
22	528	17/10/14	9,3	0,18	1,67	168,59	0,8%	79,5%	13,7	2,67	9,86	207,14	205,12	10,5	520	3,06	117,07
23	552	18/10/14	9,8	0,14	1,37	169,96	0,6%	80,1%	13,7	2,80	9,86	217,01	214,92	10,53	525	2,75	119,82
24	576	19/10/14	9,9	0	0,00	169,96	0,0%	80,1%	13,7	2,93	9,86	226,87	224,82	10,8	634	1,61	121,43
25	600	20/10/14	10,3	0,16	1,65	171,61	0,8%	80,9%	13,7	3,06	9,86	236,74	235,12	10,7	416	-4,28	117,15
26	624	21/10/14	9,28	0,09	0,84	172,45	0,4%	81,3%	14,7	3,18	10,58	247,32	244,4	10,5	174	-1,61	115,54



Día en que se paró la lixiviación



Días en que se lavó la columna

Peso cola. (Kg)	Ley cola (mg/Kg)	Fino cola (mg)
76,78	0,55	42,2

Consumo Total(gr/tn)	1504,8465
-----------------------	-----------



9.7. Tablas Nº 7 del Ensayo Nº 7

Columna Nº1 Aglomerar sin CN lixiviado con 500 ppm

Peso Alim. (Kg)	Ley Alim. Recalc. (mg/Kg)	Fino Alim. (mg)
70,00	2,33	163,4

Humedad de Saturación	17,5%
Volumen de Saturación	12,26
Ley de alimentación	2,02

Datos Columna	
Sección (m ²)	0,03
Altura (m)	2

Solución lixivante	
Conc. Cianuro ppm	500

Aglomerado	
Humedad	10%
Densidad	1,4
Volumen Agua	5,10
Conc. NaCN	0
gr de NaCN ocupado	0,00

Mineral	
Peso Húmedo	73
Peso Seco	70,00
Humedad	3,0%
Vol. agua	2,10



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

Días	Horas	Fecha	Volumen muestra (L)	ley muestra (mg/L)	Fino (mg)	Fino Ac	Recuperación	Rec. Ac.	Tasa	Razón de lixiviación	Volumen Regado/día	Volumen Regado Ac.	Volumen recogido	pH	Cianuro (ppm)	Consumo Cianuro (gr)	Consumo Cianuro Ac.
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	24	17/11/14	7,5	1,45	10,88	10,88	7%	6,7%	13,2	0,11	9,50	9,50	7,50	9,04	20	-1,53	-1,53
2	48	18/11/14	10,2	1,12	11,42	22,30	7%	13,6%	13,2	0,25	9,50	19,01	17,70	8,97	20	4,55	3,02
3	72	19/11/14	9,8	1,04	10,19	32,49	6%	19,9%	13,2	0,39	9,50	28,51	27,50	8,3	20	4,56	7,58
4	96	20/11/14	9,7	0,96	9,31	41,80	6%	25,6%	13,2	0,53	9,50	38,02	37,20	8,38	20	4,56	12,13
5	120	21/11/14	9,6	0,92	8,83	50,64	5,4%	31,0%	13,2	0,67	9,50	47,52	46,80	8,53	28	4,48	16,62
6	144	22/11/14	9,4	0,87	8,18	58,81	5,0%	36,0%	13,2	0,80	9,50	57,02	56,20	8,3	40	4,38	20,99
7	168	23/11/14	9,5	0,85	8,08	66,89	4,9%	40,9%	13,2	0,94	9,50	66,53	65,70	8,7	100	3,80	24,79
8	192	24/11/14	9,36	0,83	7,77	74,66	4,8%	45,7%	13,2	1,07	9,50	76,03	75,06	9,03	84	3,97	28,76
9	216	25/11/14	9,4	0,7	6,58	81,24	4,0%	49,7%	13,2	1,21	9,50	85,54	84,46	9,2	98	3,83	32,59
10	240	26/11/14	10,4	0,57	5,93	87,16	3,6%	53,4%	13,2	1,36	9,50	95,04	94,86	9,65	140	3,30	35,89
11	264	27/11/14	8,6	0,56	4,82	91,98	2,9%	56,3%	13,2	1,48	9,50	104,54	103,46	9,87	190	3,12	39,00
12	288	28/11/14	8,6	0,55	4,73	96,71	2,9%	59,2%	13,2	1,60	9,50	114,05	112,06	10,2	186	3,15	42,16
13	312	29/11/14	9,3	0,45	4,19	100,90	2,6%	61,8%	13,2	1,73	9,50	123,55	121,36	10	198	2,91	45,07
14	336	30/11/14	9,36	0,36	3,37	104,27	2,1%	63,8%	13,2	1,87	9,50	133,06	130,72	10,06	200	2,88	47,95
15	360	01/12/14	9,6	0,29	2,78	107,05	1,70%	65,5%	13,2	2,00	9,50	142,56	140,32	10,53	200	2,83	50,78
16	384	02/12/14	11,1	0,23	2,55	109,60	1,56%	67,1%	13,2	2,16	9,50	152,06	151,42	10,48	240	2,09	52,87
17	408	03/12/14	9,3	0,21	1,95	111,56	1,20%	68,3%	13,2	2,30	9,50	161,57	160,72	10,54	276	2,19	55,05
18	432	04/12/14	9,3	0,2	1,86	113,42	1,14%	69,4%	13,2	2,43	9,50	171,07	170,02	10,32	340	1,59	56,64
19	456	05/12/14	9,06	0,19	1,72	115,14	1,05%	70,5%	13,2	2,56	9,50	180,58	179,08	10,34	334	1,73	58,37
20	480	06/12/14	9,3	0,16	1,49	116,62	0,91%	71,4%	13,2	2,69	9,50	190,08	188,38	10,36	340	1,59	59,96
21	504	07/12/14	8,79	0,15	1,32	117,94	0,81%	72,2%	13,2	2,82	9,50	199,58	197,17	10,38	300	2,12	62,07



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

Días	Horas	Fecha	Volumen muestra (L)	ley muestra (mg/L)	Fino (mg)	Fino Ac	Recuperación	Rec. Ac.	Tasa	Razón de lixiviación	Volumen Regado/día	Volumen Regado Ac.	Volumen recogido	pH	Cianuro (ppm)	Consumo Cianuro (gr)	Consumo Cianuro Ac.
22	528	08/12/14	10,2	0,13	1,33	119,27	0,81%	73,0%	13,2	2,96	9,50	209,09	207,37	10,41	300	1,69	63,77
23	552	09/12/14	9,72	0,12	1,17	120,44	0,71%	73,7%	13,2	3,10	9,50	218,59	217,09	10,47	316	1,68	65,45
24	576	10/12/14	9,4	0,1	0,94	121,38	0,58%	74,3%	13,2	3,24	9,50	228,10	226,49	10,55	288	2,04	67,49
25	600	11/12/14	10,56	0,13	1,37	122,75	0,84%	75,1%	15	0,15	10,80	238,90	237,05	10,59	210	-2,22	65,27
26	624	12/12/14	11	0,04	0,44	123,19	0,27%	75,4%	15	0,31	10,80	249,70	248,05	10,3	24	-0,26	65,01



Día en que se paró la lixiviación



Días en que se lavó la columna

Peso cola (Kg)	Ley cola (mg/Kg)	Fino cola (mg)
70	0,6	42,0

Consumo total (gr/tn)	928,708571
-----------------------	------------



9.8. Tablas N° 8 del Ensayo N° 8

Columna N°2 sin aglomerar lixiviado con 2.000 ppm

Peso Alim. (Kg)	Ley Alim. Recalc. (mg/Kg)	Fino Alim. (mg)
75,00	2,74	205,5

Humedad de Saturación	18,5%
Volumen de Saturación	13,85
Ley de alimentación	2,02

Datos Columna	
Sección (m2)	0,03
Altura (m)	2

Solución lixivante	
Conc. Cianuro ppm	2.000

Mineral	
Peso Húmedo	77,5
Peso Seco	75,00
Humedad	3,0%
Vol. agua	2,25



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

Días	Horas	Fecha	Volumen muestra (L)	ley muestra (mg/L)	Fino (mg)	Fino Ac	Recuperación	Rec. Ac.	Tasa	Razón de lixiviación	Volumen Regado/día	Volumen Regado Ac.	Volumen recogido	pH	Cianuro (ppm)	Consumo Cianuro (gr)	Consumo Cianuro Ac.
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	24	17/11/14	0	0	0	0	0	0	12,9	0	9,29	0,00	0	0	0	0	0
2	48	18/11/14	5,56	4,2	23,35	23,35	11,4%	11,4%	12,9	0,07	9,29	9,29	5,56	8,4	18	2,00	2,00
3	72	19/11/14	10,2	3,14	32,03	55,38	15,6%	26,9%	12,9	0,21	9,29	18,58	15,76	8,2	28	18,29	20,29
4	96	20/11/14	10,2	2,56	26,11	81,49	12,7%	39,7%	12,9	0,35	9,29	27,86	25,96	9,15	116	17,39	37,68
5	120	21/11/14	9,8	1,87	18,33	99,82	8,9%	48,6%	12,9	0,48	9,29	37,15	35,76	10,15	380	14,85	52,54
6	144	22/11/14	9,6	1,23	11,81	111,63	5,7%	54,3%	12,9	0,60	9,29	46,44	45,36	10,47	630	12,53	65,06
7	168	23/11/14	9,4	1	9,40	121,03	4,6%	58,9%	12,9	0,73	9,29	55,73	54,76	10,63	800	11,06	76,12
8	192	24/11/14	9,36	0,79	7,39	128,42	3,6%	62,5%	12,9	0,85	9,29	65,02	64,12	10,63	848	10,64	86,76
9	216	25/11/14	8,6	0,58	4,99	133,41	2,4%	64,9%	12,9	0,97	9,29	74,30	72,72	10,7	720	12,38	99,14
10	240	26/11/14	9,5	0,47	4,47	137,87	2,2%	67,1%	12,9	1,10	9,29	83,59	82,22	10,69	800	10,98	110,12
11	264	27/11/14	9,3	0,37	3,44	141,31	1,7%	68,8%	12,9	1,22	9,29	92,88	91,52	10,8	820	10,95	121,07
12	288	28/11/14	8,6	0,36	3,10	144,41	1,5%	70,3%	12,9	1,33	9,29	102,17	100,12	10,89	880	11,01	132,08
13	312	29/11/14	9,3	0,3	2,79	147,20	1,4%	71,6%	12,9	1,46	9,29	111,46	109,42	10,9	980	9,46	141,54
14	336	30/11/14	8,9	0,29	2,58	149,78	1,3%	72,9%	12,9	1,58	9,29	120,74	118,32	10,9	1120	8,61	150,15
15	360	01/12/14	9,04	0,23	2,08	151,86	1,0%	73,9%	12,9	1,70	9,29	130,03	127,36	11,27	1050	9,08	159,23
16	384	02/12/14	8,8	0,19	1,67	153,53	0,8%	74,7%	12,9	1,82	9,29	139,32	136,16	11,23	1224	7,80	167,03
17	408	03/12/14	9,3	0,17	1,58	155,11	0,8%	75,5%	12,9	1,94	9,29	148,61	145,46	11,16	1296	6,52	173,56
18	432	04/12/14	9,2	0,15	1,38	156,49	0,7%	76,2%	12,9	2,06	9,29	157,90	154,66	11,04	1440	5,33	178,89
19	456	05/12/14	9,06	0,14	1,27	157,76	0,6%	76,8%	12,9	2,18	9,29	167,18	163,72	10,84	1686	3,30	182,19
20	480	06/12/14	9,3	0,13	1,21	158,97	0,6%	77,4%	12,9	2,31	9,29	176,47	173,02	11	1640	3,32	185,51
21	504	07/12/14	8,8	0,12	1,06	160,03	0,5%	77,9%	12,9	2,42	9,29	185,76	181,82	10,99	1660	3,97	189,48



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

Días	Horas	Fecha	Volumen muestra (L)	Ley muestra (mg/L)	Fino (mg)	Fino Ac	Recuperación	Rec. Ac.	Tasa	Razón de lixiviación	Volumen Regado/día	Volumen Regado Ac.	Volumen recogido	pH	Cianuro (ppm)	Consumo Cianuro (gr)	Consumo Cianuro Ac.
22	528	08/12/14	9,5	0,11	1,05	161,07	0,5%	78,4%	12,9	2,55	9,29	195,05	191,32	11,14	1528	4,06	193,54
23	552	09/12/14	9,8	0,1	0,98	162,05	0,5%	78,9%	12,9	2,68	9,29	204,34	201,12	11,07	1542	3,46	197,00
24	576	10/12/14	8,74	0,08	0,70	162,75	0,3%	79,2%	12,9	2,80	9,29	213,62	209,86	10,99	1480	5,64	202,64
25	600	11/12/14	9,5	0,11	1,05	163,80	0,5%	79,7%	15,0	0,13	10,80	224,42	219,36	11,13	1360	-12,92	189,72
26	624	12/12/14	10	0,03	0,30	164,10	0,1%	79,9%	15,0	0,26	10,80	235,22	229,36	10,95	114	-1,14	188,58



Día en que se paró la lixiviación



Días en que se lavó la columna

Peso cola (Kg)	Ley cola (mg/Kg)	Fino cola (mg)
75,00	0,57	42,8

Consumo total (gr/tn)	2514,4528
-----------------------	-----------



9.9. Tablas N° 9 del Ensayo N° 9

Columna N°3 aglomerada sin cianuro lixiviado con 2.000 ppm

Peso Alim. (Kg)	Ley Alim. Recalc. (mg/Kg)	Fino Alim. (mg)
70,00	2,27	158,7

Humedad de Saturación	17,9%
Volumen de Saturación	12,53
Ley de alimentación	2,02

Datos Columna	
Sección (m2)	0,03
Altura (m)	2

Solución lixivante	
Conc. Cianuro ppm	2.000

Mineral	
Peso Húmedo	73
Peso Seco	70,87
Humedad	3,0%
Vol. agua	2,13

Aglomerado	
Humedad	10%
Densidad	1,4
Volumen Agua	5,10
Conc. NaCN	0
gr de NaCN ocupado	0,00



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

Días	Horas	Fecha	Volumen muestra	ley muestra	Fino	Fino Ac	Recuperación	Rec. Ac.	Tasa	Razón de lixiviación	Volumen Regado/día	Volumen Regado Ac.	Volumen Recogido	pH	Cianuro (ppm)	Consumo Cianuro (gr)	Consumo Cianuro Ac.
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	24	20/11/14	7,92	2,42	19,2	19,2	12%	12%	12,4	0,11	8,93	8,93	7,92	7,95	24	1,72	1,72
2	48	21/11/14	9,5	2,35	22,33	41,49	14,1%	26,1%	12,4	0,25	8,93	17,86	17,42	9,15	116	8,64	10,35
3	72	22/11/14	9,76	1,8	17,57	59,06	11,1%	37,2%	12,4	0,39	8,93	26,78	27,18	10,11	440	13,56	23,92
4	96	23/11/14	9,4	1,36	12,78	71,84	8,1%	45,3%	12,4	0,52	8,93	35,71	36,58	10,46	740	10,90	34,82
5	120	24/11/14	9,4	1,14	10,72	82,56	6,8%	52,0%	12,4	0,66	8,93	44,64	45,98	10,5	880	9,58	44,40
6	144	25/11/14	9,3	0,81	7,53	90,09	4,7%	56,8%	12,4	0,79	8,93	53,57	55,28	10,56	890	9,58	53,98
7	168	26/11/14	9,5	0,63	5,99	96,08	3,8%	60,5%	12,4	0,93	8,93	62,50	64,78	10,62	1000	8,36	62,33
8	192	27/11/14	10,2	0,47	4,79	100,87	3,0%	63,6%	12,4	1,07	8,93	71,42	74,98	10,7	1060	7,04	69,38
9	216	28/11/14	8,8	0,44	3,87	104,74	2,4%	66,0%	12,4	1,20	8,93	80,35	83,78	10,84	1052	8,60	77,98
10	240	29/11/14	9,3	0,41	3,81	108,56	2,4%	68,4%	12,4	1,33	8,93	89,28	93,08	10,8	1040	8,18	86,16
11	264	30/11/14	8,9	0,29	2,58	111,14	1,6%	70,0%	12,4	1,46	8,93	98,21	101,98	10,9	1120	7,89	94,05
12	288	01/12/14	9,4	0,27	2,54	113,68	1,6%	71,6%	12,4	1,59	8,93	107,14	111,38	11,23	1148	7,06	101,11
13	312	02/12/14	9,2	0,22	2,02	115,70	1,3%	72,9%	12,4	1,72	8,93	116,06	120,58	11,19	1260	6,26	107,38
14	336	03/12/14	9,1	0,21	1,91	117,61	1,2%	74,1%	12,4	1,85	8,93	124,99	129,68	11,12	1280	6,21	113,59
15	360	04/12/14	9,3	0,18	1,67	119,28	1,1%	75,2%	12,4	1,99	8,93	133,92	138,98	10,9	1640	2,60	116,19
16	384	05/12/14	8,9	0,17	1,51	120,80	1,0%	76,1%	12,4	2,11	8,93	142,85	147,88	10,96	1474	4,74	120,93
17	408	06/12/14	8,16	0,15	1,22	122,02	0,8%	76,9%	12,4	2,23	8,93	151,78	156,04	10,99	1402	6,42	127,34
18	432	07/12/14	6,16	0,14	0,86	122,88	0,5%	77,4%	12,4	2,32	8,93	160,70	162,2	10,87	1450	8,92	136,27
19	456	08/12/14	8,62	0,13	1,12	124,00	0,7%	78,1%	12,4	2,44	8,93	169,63	170,82	11,04	1396	5,82	142,09
20	480	09/12/14	9,8	0,12	1,18	125,18	0,7%	78,9%	12,4	2,58	8,93	178,56	180,62	11,01	1448	3,67	145,76



“Ensayos en columnas para evaluar la importancia del cianuro en la cinética y recuperación de Oro”

Días	Horas	Fecha	Volumen muestra	ley muestra	Fino	Fino Ac	Recuperación	Rec. Ac.	Tasa	Razón de lixiviación	Volumen Regado/día	Volumen Regado Ac.	Volumen Recogido	pH	Cianuro (ppm)	Consumo Cianuro (gr)	Consumo Cianuro Ac.
21	504	10/12/14	6	0,1	0,60	125,78	0,4%	79,3%	12,4	2,67	8,93	187,49	186,62	10,9	1020	11,74	157,49
22	528	11/12/14	10,92	0,12	1,31	127,09	0,8%	80,1%	15	0,16	10,80	198,29	197,54	11,02	836	-9,13	148,36
23	552	12/12/14	10	0,04	0,40	127,49	0,3%	80,3%	15	0,30	10,80	209,09	207,54	10,85	118	-1,18	147,18



Día en que se paró la lixiviación



Días en que se lavó la columna

Peso cola. (Kg)	Ley cola (mg/Kg)	Fino cola (mg)	Consumo total (gr/tn)	2102,60091
70,00	0,47	32,9		



Bibliografía

- Esteban M. Domic M. (2.001) – Hidrometalurgia. Fundamentos, procesos y aplicaciones.
- Magister Ingeniero Gabriel A. Barrionuevo (2.002) – Tesis de Maestría. “Aplicación del Peróxido de Hidrogeno en Pilas de Lixiviación de Oro”.
- German Cáceres Arenas (2.003) – Universidad de Atacama. Hidrometalurgia y Electrometalurgia.
- Dr. Fernando Torres (2.013) – Apuntes de clases. Cátedra Hidrometalurgia y Electrometalurgia.
- Manrique Martínez, José Antonio (2.005) – Tesis. Manejo de Pilas de Lixiviación de Oro en Minera Yamacocha. Lima-Perú.
- Guerrero Escate, Roberto Alexis (2.011) - Tesis. “Aplicación de la cianuración dinámica en la recuperación del oro para disminuir el tiempo y la cantidad de reactivos empleados en el proceso”. Nazca- Perú.
- Universidad Católica del Norte - Hidrometalurgia I.
- Ing. Carmen Mamani (2.009) – Tesis. “Lixiviación de tamaño – 3/4”+7/16” para proporcionar continuidad operativa en la extracción de metales útiles”.