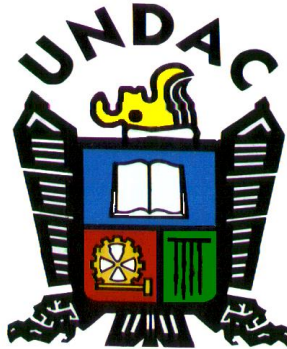


Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA
METALÚRGICA



**CIANURACIÓN INTENSIVA DE CONCENTRADOS Y LA
RECUPERACIÓN DE ORO Y PLATA
EN MINERA PORACOTA S.A. - AREQUIPA - 2018**

T E S I S

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA**

PRESENTADO POR:

**BACH. Medyesda Naysha CHUQUIYAURI
POMACINO**

CERRO DE PASCO – PERÚ - 2018

*A Dios fundamentalmente y a mí
adorado padre por haberme dado el
regalo más preciado al igual que la
vida, mi profesión, por la cual viviré
eternamente agradecido.*

RESUMEN

La extracción de metales preciosos de concentrados de oro y plata está siendo tratada por el método de cianuración con mayor frecuencia actualmente. No obstante, las reacciones que tienen lugar durante este proceso no han sido comprendidas en su totalidad. En el presente trabajo, se realizó un esfuerzo por organizar todas las reacciones que involucran éste proceso y que los iones pasan a formar parte de la solución.

En la parte experimental, se realizaron lixivaciones del concentrado para determinar la cinética de extracción del electrum. Se varió la concentración de cianuro de sodio y oxígeno para definir los fenómenos difusionales y de la reacción que se presentan durante la lixiviación a temperatura y presión constante. Se desarrolló el modelo matemático para la extracción del electrum por cianuración, el cual considera la reacción local redox y los complejos en equilibrio en la solución. Se determinó que la extracción de oro y plata de los concentrados es un proceso cinéticamente controlado e influenciado por el fenómeno de solubilidad. Se demostró que los resultados experimentales son similares a los predichos por el modelo desarrollado.

Palabras claves: Lixiviación, electrum, Grado de recuperación

CONTENIDO

DEDICATORIA	I
RESUMEN	II
CONTENIDO	III
INTRODUCCIÓN	IV

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1	Determinación del problema	2
1.2	Planteamiento del problema	3
1.3	Formulación del problema	4
1.3.1	Problema general	4
1.3.2	Problemas específicos	4
1.4	Objetivos	4
1.4.1	Objetivo general	4
1.4.2	Objetivos específicos	4
1.5	Justificación del estudio	5
1.6	Importancia y Alcances de la investigación	5
1.7	Limitaciones	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes	7
2.2	Bases Teórico - Científicas	12
2.2.1	Clasificación de minerales de oro	12
2.2.2	Fundamentos físico químico de lixiviación	13
2.3	Definición de términos	27
2.4	Hipótesis	28
2.4.1	Hipótesis general	28
2.4.2	Hipótesis específicos	28
2.5	Identificación de variables	29
2.5.1	Variables Dependiente	29
2.5.2	Variables Independientes	29
2.5.3	Variables Interviniente	29

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1	Tipo de investigación	30
3.2	Nivel de investigación	30
3.3	Población y muestra	30
3.4	Método de investigación	31
3.5	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	31

3.6	Técnicas de procesamiento de dato	32
-----	-----------------------------------	----

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Presentación de resultados	39
4.1.1	Análisis químico	39
4.1.2	Análisis minerográfico	40
4.1.3	Pruebas de lixiviación	42
4.2	Interpretación de resultados	44
4.3	Prueba de hipótesis	46
4.4	Análisis y Discusión	46
	CONCLUSIONES	48
	RECOMENDACIONES	49
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	50
	ANEXOS	53

INTRODUCCIÓN

En esta investigación se realizó pruebas de lixiviación por cianuración de los concentrados, con el propósito de conocer ¿Cuál es el grado de disolución del electrum existente? Una vez alcanzado este objetivo y basado en una aproximación teórico-experimental se propone como alternativa cianurar los concentrados para ofertarlo al mercado como producto acabado (barras de dore).

El presente trabajo se encuentra dividido en cuatro capítulos ordenados siguiendo la secuencia de la metodología de la investigación científica otorgada por la Universidad; en el primer capítulo, se formula el problema que se tiene con el concentrado de oro y plata, es muy interesante porque se tiene una apreciable cantidad de electrum, en el segundo capítulo se expone el fundamento teórico, desarrollado por algunos científicos en otras latitudes, que le darán sostenibilidad al problema planteado, en el tercer capítulo, tenemos la organización de la parte experimental, y en el cuarto capítulo resumir los resultados obtenidos, analizándolos y contrastándolos con la revisada.

Son avances de la experimentación, por este motivo no se llega a optimizar las pruebas de laboratorio.

La culminación del presente trabajo, no hubiera sido posible sin la ayuda de los ingenieros Arcadio Quispe Valerio y Otros y el laboratorio químico de la empresa, por permitirme correr las pruebas en su laboratorio. A todos ellos mi profundo agradecimiento.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Determinación del problema

En la región Arequipa, se tienen yacimientos filoneanos auríferos con asociaciones de plata.

Actualmente en el yacimiento de la Compañía de Minas Buenaventura – Unidad Poracota S.A., está siendo explotado por la empresa, con una producción anual de minado de 200 000 TC/Año y la concentración de sus minerales es por flotación.

Los reportes de los minerales indican contenidos de óxidos y sulfuros con valores de Plata es de 2,70 oz/t (83,97 Ag g/t), 16,30 g/t en Oro, 0.06 % de Cobre y 12.14% de Fierro en promedio.

La clasificación de los minerales de oro suele hacerse por la abundancia en la naturaleza, por su composición mineralógica o por su

proceso de tratamiento; una clasificación específica puede ser: oro libre (placeres), oro combinado (teluros), oro asociado con sulfuros de hierro (pirita, marcasita, pirrotina), sulfuros de arsénico y antimonio (arsenopirita), sulfuros de cobre (calcopirita), minerales carbonáceos, silicatos, minerales micáceos, etc.

El oro en este yacimiento se encuentra asociado a los granos sulfuros de forma finísima, imposible de detectar por los métodos normales de microscopia. Normalmente la calcopirita se encuentra asociado con mayor o menor contenido de pirita y el oro fino puede estar bordeando o incluido en ambas especies. Por otra parte, la magnetita y otros óxidos de hierro secundarios, pueden llevar asociaciones de oro secundario. Es normal que el oro se encuentre finamente diseminado y recubierto de finas partículas de arcillas.

Durante mucho tiempo y hasta la actualidad los mineros informales lo extraen con mercurio, que llega hasta la zona para su adquisición, con recuperaciones muy variables.

En la empresa actualmente se viene recuperando el oro y la plata por flotación, con valores de recuperación muy variables dada la alta diseminación y finura del oro.

Con estos antecedentes se pretende realizar pruebas de cianuración intensiva y lixiviación convencional a nivel experimental con el propósito de

procesarlo a mayor escala, para el cual se realizará pruebas experimentales.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Será posible recuperar oro y plata por cianuración intensiva de concentrados en minera Poracota S.A. – Arequipa - 2018?

1.2.2 Problemas específicos

- ◆ ¿Cómo la mineralogía incide en la recuperación de oro y plata por cianuración intensiva en concentrados de minera Poracota – Arequipa - 2018?
- ◆ ¿Cuál es el grado de recuperación de oro y plata por cianuración intensiva en concentrados de minera Poracota – Arequipa - 2018?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar el porcentaje de recuperación de oro y plata por cianuración intensiva en concentrados de minera Poracota – Arequipa – 2018.

1.3.2 Objetivos específicos

- ◆ Determinar como la mineralogía incide en la recuperación de oro y plata por cianuración intensiva, en concentrados de minera Poracota – Arequipa – 2018.

- ♦ Determinar el grado de recuperación de oro y plata por cianuración intensiva, en concentrados de minera Poracota – Arequipa – 2018.

1.4 Justificación del problema

El sector minero ha vivido en la última década un contexto de alto dinamismo; un proceso de cambio basado en el incremento de las exportaciones, atrayendo inversiones y apertura de yacimientos por explorar y explotar.

El cambio más trascendente que se produce en estos años desde el punto de vista de la oferta es el paso de un proceso de explotación tradicional a un proceso de explotación tecnificada e incremento de mayores inversiones.

La cotización del oro se mantiene a niveles de rentabilidad estable y la plata se mantiene a precios bajos y ofertar en concentrados se reduce a menos del 50% de la cotización internacional, de manera que la mejor forma de ofertar al mercado, es en barras como plata metálica y para ello se justifica realizar procesos combinados de recuperación de plata.

1.5 Importancia del problema

Es importante porque obteniendo el doré; se tendrá mejores cotizaciones al producto y para el efecto se hace necesario realizar pruebas experimentales, de ser positivas implementarlo a nivel industrial.

El alcance de la investigación tiene alcance a los minerales existentes en todo el yacimiento de Rinconada por tener similar ocurrencia geológica y podría ser un referente para otras empresas similares; pero el inconveniente son las características mineralógicas de cada yacimiento.

1.6 Limitaciones

La limitación más importante es no contar en el país con microscopios electrónicos de transmisión, para ver su estructura cristalina que permitiría ver por cuantos minerales está compuesto los concentrados de plata.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes internacionales

Guerrero, Juan (2006); en la tesis *“Caracterización y ensayos de cianuración intensiva de muestras minerales con contenido de oro del distrito minero Ponce Enriquez – Ecuador”* Escuela Superior Politécnica del Ecuador, concluye: las recuperaciones para las muestras CH-01, JG-01, JG-03 y JG-04 alcanzan un porcentaje de: 30,3%, 47,2%, 71,9% y 28,4% respectivamente en la etapa I; mientras que para la etapa II, éstas son: 22,3%, 52,5%, 54,6% y 18,9% respectivamente.

De acuerdo a las gráficas 4.8 y 4.10 se concluye que, los tiempos óptimos para obtener las mejores recuperaciones en los ensayos de cianuración intensiva son seis horas. Al prolongar éste tiempo, resulta un incremento del consumo de cianuro y una disminución de la concentración de oro en la solución.

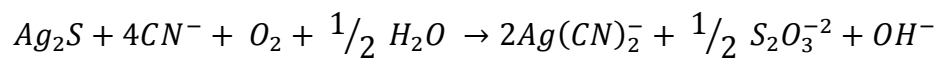
Al comparar los resultados obtenidos en las dos etapas de cianuración intensiva se ha podido determinar que al bajar la concentración de cianuro también se disminuye la disolución de oro, lo que queda demostrado del análisis de los resultados de los ensayos de las muestras CH-01, JG-04.

El efecto de prelavado para la eliminación de sólidos en suspensión resulto negativo, al obtener en la muestra JG-03 ensayada, una menor recuperación de oro.

Se ha determinado que la disminución del tamaño de grano, libera en una mayor cantidad minerales sulfurosos de cuarzo, pero, se incrementa el consumo de cianuro.

Luna, Rosa (1999), en su tesis "*Cinética y modelado de la cianuración de sulfuro de plata a partir de concentrados minerales*" Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa – México, concluye: El análisis químico y termodinámico de las reacciones que se llevan a cabo entre el sulfuro de plata sintético y el agente oxidante por cianuración, permitió determinar las especies químicas presentes en la solución lixiviada. De las especies que contienen azufre se definió que el ión tiosulfato es el único presente en la solución, a las condiciones empleadas. Con respecto a los complejos de cianuro, el más representativo es $\text{Ag}(\text{CN})_2$. Se determinó que no existe formación de peróxido de hidrógeno, sino la producción directa de iones hidróxido.

Las determinaciones experimentales permitieron que se establecieran las relaciones estequiométricas de la reacción (1) quedando la siguiente reacción:



Se definió que el control cinético propuesto en el modelo ajusta satisfactoriamente los datos experimentales que involucran el concentrado mineral. Se determinó que la cantidad de plata extraída es mayor a medida que aumenta la concentración de cianuro. Para la lixiviación donde se utilizaron 100 g de mineral, se observó el fenómeno de saturación en la solución tanto en la parte experimental. Dicho fenómeno sucede cuando las concentraciones del cianuro son bajas o la cantidad de plata lixiviada es elevada. Debido a esto, no se favorecería el uso de este sistema cuando se tiene un alto porcentaje de sólidos en el sistema y por ello no es recomendable su aplicación a extracción en pila.

Reyes, Víctor (1998), en su tesis para obtener el Grado de Magister *“Estudio preliminar para establecer las condiciones de operación de un reactor tridimensional, para recuperar oro y plata de disoluciones provenientes de la lixiviación de minerales con cianuro”* Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa; Concluye: El estudio termodinámico permitió construir el diagrama de zonas de predominio del oro y los diagramas de Pourbaix de la plata y el cobre, los cuales predicen las especies electro activas de oro, plata y cobre presentes en los sistemas de

estudio. De acuerdo a este estudio, se deposita termodinámicamente primero el Au después Ag y por último el Cu.

La especie cianurada de oro ($\text{Au}(\text{CN})_2^-$) presenta procesos adsorptivos en el depósito electroquímico de Au sobre los sustratos utilizados (Au y Ti).

La presencia de la especie cianurada de Cu no interviene en el depósito electroquímico del Au o Ag. El proceso de reducción de la especie electroactiva de Cu se lleva a cabo en potenciales más catódicos, como se pudo comprobar al realizar el depósito de plata en el reactor batch con recirculación.

Es bien conocido en el ámbito metalúrgico que la plata puede existir en diferentes fases mineralógicas y que este hecho influye sobre su extracción (Habashi, 1967; Gasparrini, 1983). A pesar de lo anterior, ha habido pocos estudios científicos que investiguen aspectos cinéticos de la lixiviación y la dependencia de éstos con la composición del mineral. Generalmente, se ha estudiado la cinética de la plata desde dos puntos de vista: analizando los datos de lixiviación en sistemas controlados y utilizando métodos electroquímicos, principalmente los diagramas de Evans.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Guerrero, Roberto (2011) en su tesis "*Aplicación de la cianuración dinámica en la recuperación del oro para disminuir tiempos y la cantidad de reactivos empleados en el proceso*" Universidad Nacional San Luis Gonzaga – Ica, concluye; La lixiviación dinámica, llevada a cabo con agitación constante material pulverizado, es un proceso diseñado para recuperar oro en tiempos cortos y con una gran eficiencia; en nuestro caso el tiempo de recuperación del metal se redujo a 120 minutos y la recuperación fue de una eficiencia superior al 99%.

Los parámetros adecuados para llevar a cabo este tipo de proceso son los siguientes:

Relación solución: mineral:	5:1
% de cianuro:	0,075 %
Malla empleada:	- 200 serie Tyler
Velocidad de agitación:	500 rpm
Tiempo:	120 minutos

La cantidad de muestra empleada en los ensayos fue:

Cantidad de mineral ensayado:	500 g
Volumen de solución ácida:	2500 ml
Contenido en oro:	1,25 g

2.2 Bases teórico – científicos

Lixiviación; etapa fundamental en un proceso hidrometalúrgico, que involucra la disolución del metal a recuperar de los minerales, en una solución acuosa mediante la acción de agentes químicos. Esta transferencia del metal hacia la fase acuosa, permite la separación iónica de la fase sólida de sus acompañantes no solubles.

La selección del agente químico extractante depende de su disponibilidad, costo, estabilidad química, selectividad, facilidad de producir y regenerar y que permita la recuperación del elemento deseado de la solución acuosa con rentabilidad.

2.2.1 Clasificación de los minerales de oro

Los minerales dentro del grupo de un metal, suelen clasificarse por su abundancia en la naturaleza, por su composición mineralógica o por su proceso de tratamiento.

Para el caso de los minerales de oro y plata, la clasificación más común se basa en la estrecha relación existente entre mineralogía y proceso de tratamiento. La Tabla siguiente presente una clasificación adecuada.

Tabla 1. Clasificación de minerales de oro

1. Oro libre.
2. Oro combinado.
3. Oro Asociado.
 - ◆ Sulfuros de hierro (pirita, marcasita y pirrotita).
 - ◆ Sulfuros de arsénico y antimonio.
 - ◆ Sulfuros de cobre (calcopirita).
 - ◆ Otros sulfuros (galena y blenda) y sulfosales.
 - ◆ Óxidos de hierro.
 - ◆ Minerales de uranio.
 - ◆ Minerales carbonáceos y grafiticos.
 - ◆ Silicatos y carbonatos.
 - ◆ Minerales micáceos.
 - ◆ Minerales de manganeso.

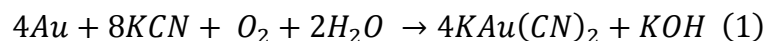
Fuente: Instituto Tecnológico Geominero de España, minería química, 1991, pg.: 154.

2.2.2 Fundamentos físico químicos de lixiviación de oro y plata

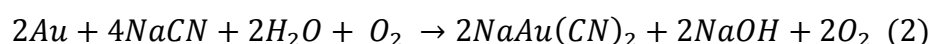
a) Química de la cianuración

El proceso de cianuración para extraer oro y plata a partir de sus menas, fue desarrollado por J. S. MacArthur, R.V. Forrest y W. Forrest en 1887.

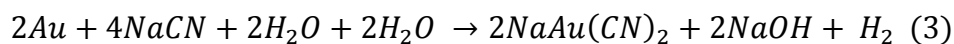
Elsner fue el primero que propuso la reacción química de disolución oro por cianuros alcalinos.



Viendo la importancia del oxígeno para la disolución del oro Bodlaender propuso la siguiente reacción:



Otra de las reacciones sugeridas es la de Janin



Termodinámicamente no es posible esta reacción, durante la cianuración no hay producción de H₂ lo que confirma la validez de la ecuación propuesta por Elsner, donde el O₂ juega un rol fundamental.

b) Cinética de la cianuración del oro

En el tiempo que se desarrolla la reacción, en la etapa de menor velocidad (llamada también etapa controlante) es importante identificar a esta para incrementar su velocidad.

Una reacción físico química en el cual se hallan involucradas una fase sólida y una fase líquida, se realiza en cinco etapas:

- ♦ Difusión de los reactantes desde la solución hasta la interfase sólido – líquido.

- ◆ Adsorción de los reactantes en la superficie del sólido.
- ◆ Reacción en la superficie.
- ◆ Desorción de los productos de la reacción de la superficie del sólido.
- ◆ Difusión de estos productos de la interfase sólido – líquido a la solución.

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

La cianuración está gobernada por las Leyes de Fick, expresadas matemáticamente de la siguiente manera:

$$\frac{D(O_2)}{dt} = D_{O_2} \frac{A_1}{\delta} ([O_2] - [O_2]_s) \quad (4)$$

$$\frac{D(CN^-)}{dt} = D_{CN^-} \frac{A_2}{\delta} ([CN^-] - [CN^-]_s) \quad (5)$$

Donde:

$\frac{D(O_2)}{dt}$ y $\frac{D(CN^-)}{dt}$ Son las velocidades de difusión de O_2 y CN^- , mol/s

D_{O_2} y D_{CN^-} Coeficientes de difusión en cm^2/s

A_1 y A_2 Son superficie anódica y catódica en cm^2

δ	Ancho de la capa límite de Nerst, en cm.
$[O_2]$ y $[CN^-]$	Concentración de oxígeno y cianuro en solución.
$[O_2]_s$ y $[CN^-]_s$	Concentración sobre la superficie de la reacción.

Si en las dos ecuaciones anteriores se considera que la reacción química es muy rápida, se tiene $[O_2]_s = [CN^-]_s = 0$. Si se acepta, asimismo, que la velocidad de disolución del metal es dos veces la del oxígeno y solo la mitad la del cianuro, se obtiene la siguiente igualdad:

$$2D_{O_2} \frac{A_1}{\delta} [O_2] = \frac{1}{2} D_{CN^-} \frac{A_2}{\delta} [CN^-] \quad (6)$$

Se debe tener en cuenta además que área total es $A = A_1 + A_2$. Resolviendo este sistema de ecuaciones. Se deduce que la velocidad de cianuración es:

$$V = \frac{2 A D_{CN^-} D_{O_2} [CN^-] [O_2]}{\delta (D_{CN^-} [CN^-] + 4D_{O_2} [O_2])} \quad (7)$$

Obtenida esta ecuación, se deben considerar dos posibilidades. Cuando las concentraciones de cianuro son bajas, el primer término del denominador es despreciable respecto del segundo; con lo cual, de la expresión anterior, se tiene:

$$V = \frac{1}{2} D_{CN^-} \frac{A}{\delta} [CN^-] \quad (8)$$

$$V = K_1 [CN^-] \quad (9)$$

Por lo tanto, en estas condiciones, la velocidad de lixiviación es función de la concentración de cianuro, hecho que ha sido comprobado experimentalmente.

La segunda posibilidad es que las concentraciones de este compuesto sean altas. En este caso, el segundo término del denominador es despreciable respecto del primero, por lo que la ecuación se convierte en:

$$V = 2 D_{O_2} \frac{A}{\delta} [O_2] \quad (10)$$

$$V = K_2 [O_2] \quad (11)$$

Esto significa que, a alta concentración de cianuro, la velocidad de disolución depende solamente de la concentración de oxígeno. Los experimentos han corroborado también esta previsión teórica.

Para hallar el límite en el cual el predominio de una de las concentraciones cede el paso a la otra en el control de la velocidad de lixiviación, se debe volver a la ecuación general.

Cuando dicha ecuación se cumple:

$$D_{CN^-} [CN^-] = 4 D_{O_2} [O_2] \quad (12)$$

Expresado de otro modo:

$$\frac{[CN^-]}{[O_2]} = \frac{4 D_{O_2}}{D_{CN^-}} \quad (13)$$

Y se asume que $D_{O_2} / D_{CN^-} = 1.5$ (promedio establecido a partir de diferentes pruebas experimentales), se determina que el límite referido se alcanza cuando:

$$\frac{[CN^-]}{[O_2]} = 6$$

Los valores encontrados en las experiencias de laboratorio varían de 4.6 a 7.4 por lo que la obtención teórica se considera representativo.

Es evidente que, en toda la demostración anterior, es importante conocer la cantidad de oxígeno disuelto durante la cianuración. Como esta cantidad varía con la altitud y la temperatura a las que se realiza el experimento.

La tabla siguiente resume la solubilidad de los minerales que acompañan al oro y plata, por la formación de cianicidas.

TABLA N° 1
SOLUBILIDAD DE ESPECIES MINERALES EN CIANURO

Minerales	% EXTRACCIÓN	
	25°C	45°C
Minerales de Zinc		
Esfalerita, ZnS	18,4	
Willemita, Zn ₂ SiO ₃	13,1	
Hidrozincita, 3ZnCO ₃ .2H ₂ O	35,1	
Zincita, ZnO	35,2	

Smithsonita, $ZnCO_3$	40,2	
Minerales de cobre		
Azurita, $2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$	94,5	100,0
Malaquita, $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$	90,2	100,0
Cuprita, Cu_2O	85,5	100,0
Calcosita, Cu_2S	90,2	100,0
Calcopirita, $CuFeS_2$	5,6	8,2
Bornita, $FeS_2Cu_2S \cdot CuS$	70,0	100,0
Enargita, $3CuSAs_2S_3$	5,8	75,1
Tetraedrita, $4Cu_2S \cdot Sb_2S_3$	21,9	43,7
Cu	90,0	100,0
Minerales de Hierro		
Óxidos de Hierro	No son afectados	
Ankerita, Carbonato complejo de Fe	Ligeramente soluble a pH < 10	
Pirita, FeS_2	5	10
Marcasita, FeS_2	10	15
Pirrotita, FeS_x	100,0	
Melanterita, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$	100,0	
Minerales de Arsénico y Antimonio	pH: 12,2	pH: 10,1
Oropimente, As_2S_3	73,0	14,0
Rejalgar, As_2S_2	9,4	2,0
Arsenopirita, $FeAsS$	0,9	0,3
Estibina, Sb_2S_3	21,1	1,5

Fuente: F. Habashi, Hidrometalurgia, 2012

c) *Variables que definen la cinética de la cianuración*

- ◆ **Tamaño de partículas:** El tamaño de partícula juega un papel importante, debido a que los estudios definieron que esta era una de las causas para la acumulación de inventario de oro, al no ingresar la solución con cianuro al interior del mineral, por lo

que los experimentos sugieren a que granulometría se debe moler para liberar al oro.

- ♣ **Concentración de cianuro:** Lo más importante es la cantidad de cianuro por tonelada de mineral que ingresa y su concentración en la solución lixivante; ya que el cianuro disuelve al oro selectivamente a menores concentraciones. A mayor concentración de cianuro tendremos más metales disueltos.
- ♣ **Taza de riego:** Esta variable influye directamente en la cinética de lixiviación del mineral, al incrementarse la taza de riego, la velocidad de disolución del oro es mayor, debido al ingreso de mayor cantidad de cianuro al mineral, sin embargo, el contenido de oro en la solución es menor debido al efecto de dilución. Ocurre lo contrario a reducir la tasa de riego, la velocidad de disolución es menor debido al menor ingreso de cianuro al mineral. Sin embargo, la recuperación final en ambos casos es la misma.
- ♣ **Temperatura:** El efecto de la temperatura en la lixiviación juega un papel muy importante si se trabaja en ambientes con climas que superan los 25°C, de lo contrario no influye notablemente.
- ♣ **PH:** Es otra de las variables importantes, sobre todo para no perder cianuro como gas cianhídrico y retardar la cinética de lixiviación. El pH oscila entre 10,0 a 11,5
- ♣ **Oxígeno disuelto:** El efecto del oxígeno ha sido estudiado, con efectos en la cinética de lixiviación y recuperación del oro. Sin embargo, se ha llegado a la conclusión que el cianuro es el que

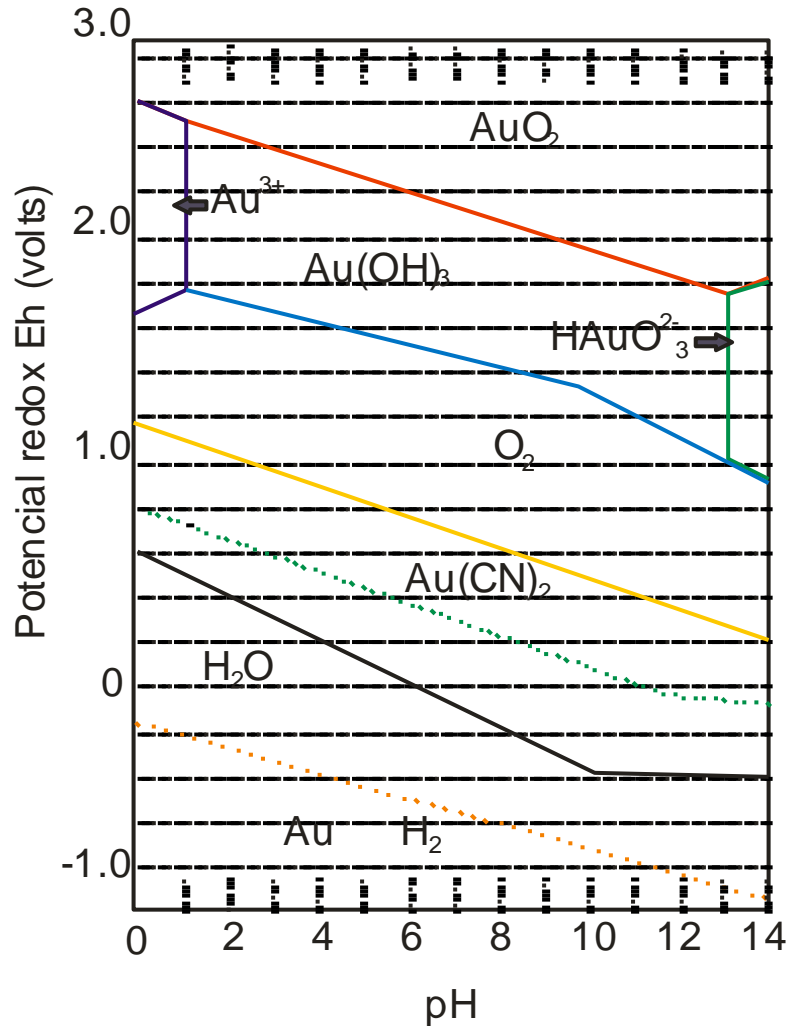
maneja la velocidad y recuperación. Es muy difícil, atribuir que el oxígeno tenga una gran influencia en la cinética de lixiviación y recuperación en minerales de oro de preferencia con baja ley.

- ♦ **Metales en el mineral:** Los principales metales que son disueltos por el cianuro son cobre, plata y otros. De los cuales el cobre no proporciona ningún beneficio económico. Por el contrario, reducen la velocidad de disolución del oro debido a que son consumidores del cianuro.

d) *Termodinámica de la cianuración*

Para comprobar los mecanismos fisicoquímicos de la lixiviación del oro, es necesario recurrir a una revisión de sus principales propiedades termodinámicas y en particular de sus estados estables y metaestables, representados clásicamente en los diagramas de Pourbaix (Gráfico 1 y 2) que relacionan el potencial de óxido – reducción (Eh) del metal con el pH del medio. Estos diagramas muestran que compuestos como $\text{Au}(\text{OH})_3$, AuO_2 , HAuO_3^{2-} y también el ión Au^{3+} requieren elevados potenciales redox (superiores al de la descomposición del oxígeno) para formarse. La lixiviación del oro metálico es, por lo tanto, muy difícil a causa de la gran estabilidad de este último.

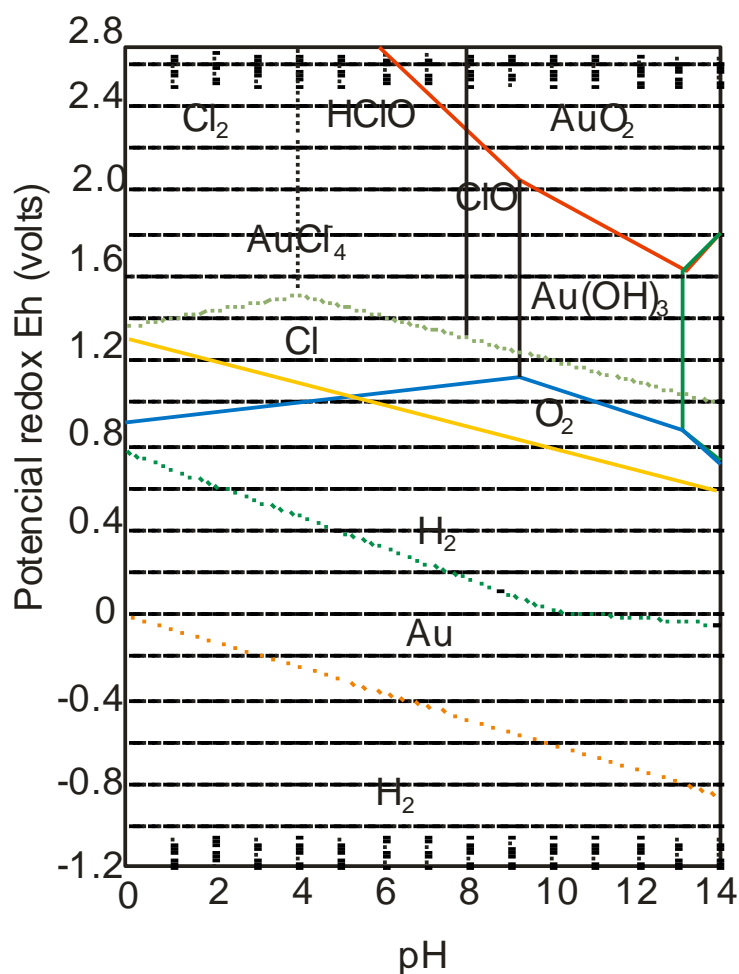
Gráfico N° 1
 DIAGRAMA DE ESTABILIDAD POTENCIAL
 pH PARA EL SISTEMA Au – H₂O – CN⁻



En el diagrama Au – H₂O – CN⁻, no obstante la reacción $\text{Au(CN)}_2^- + e^- = \text{Au} + 2\text{CN}^-$, se lleva a cabo dentro de los límites de estabilidad del agua. El campo de estabilidad del complejo aurocianuro está limitado por una recta que inicialmente muestra una pendiente pronunciada (efecto de la hidrólisis del cianuro a pH menor a 9), tornándose luego casi horizontal debido a la acción oxidante del oxígeno en medio básico; hecho que a su vez permite que se haga efectiva la reacción de lixiviación por

formación de aurocianuros. En el mismo gráfico se puede observar que los compuestos $\text{Au}(\text{OH})_3$, Au^{3+} y HAuO_3^{2-} son reducidos por la introducción del cianuro.

Gráfico N° 2
 DIAGRAMA DE ESTABILIDAD POTENCIAL – pH
 PARA EL SISTEMA Au – H₂O – Cl⁻

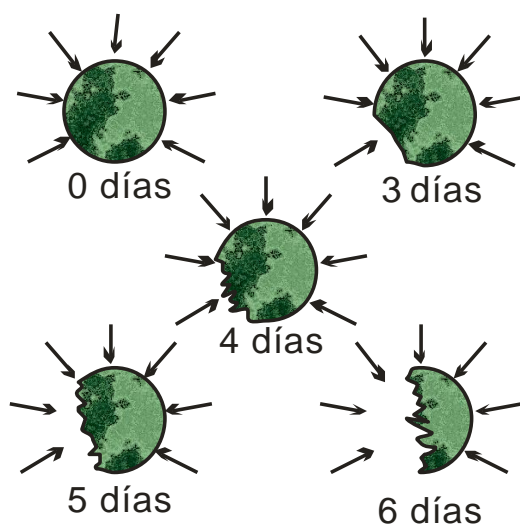


A título indicativo, se incluye el diagrama Au-H₂O-Cl que muestra el ambiente fuertemente oxidante y ácido necesario para que el oro sea disuelto por iones cloro con la formación de AuCl_4^- .

e) *Mecanismo electroquímico*

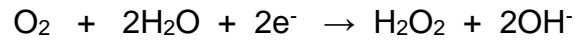
La lixiviación puede llevarse a cabo mediante mecanismos diversos, tanto físicos, químicos y electroquímicos, en cianuración se ha podido establecer que la disolución está regida por los principios electroquímicos de la corrosión. Fue Thompson (1947) quien demostró este hecho utilizando para ello pequeñas esferas de oro y una solución solidificada como soportes de estas. Haciendo circular una corriente de KCN libre de aire constató, al cabo de tres días, una ligera corrosión en el lado opuesto al de la incidencia del flujo (gráfico 3); después de otros tres días, la partícula de oro había sido reducida a la mitad.

Gráfico N° 3
DISOLUCION DE PARTICULAS DE ORO (120 μ diám.) EN KCN
EN PRESENCIA DE OXIGENO



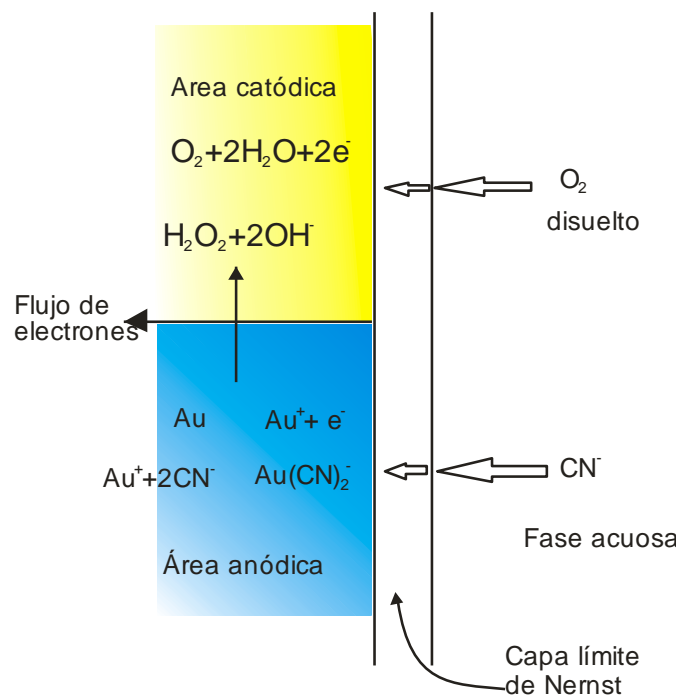
La explicación esquemática de este fenómeno se facilita mediante el gráfico del gráfico 4; la reducción del oxígeno sobre la superficie metálica en la zona catódica va acompañada por la

oxidación del oro en la zona anódica de acuerdo a las siguientes reacciones:



El experimento demuestra que existe un flujo de electrones entre la fase líquida donde se encuentra el oxígeno disuelto y el cianuro y la fase sólida constituida por el oro. La capa límite de Nernst, situada entre ambas fases, tiene un espesor variable según el método de lixiviación y la velocidad de agitación.

Gráfico N° 4
ESQUEMA DE LA DISOLUCION DE ORO
POR CORROSION ELECTROQUIMICA



f) *Adsorción*

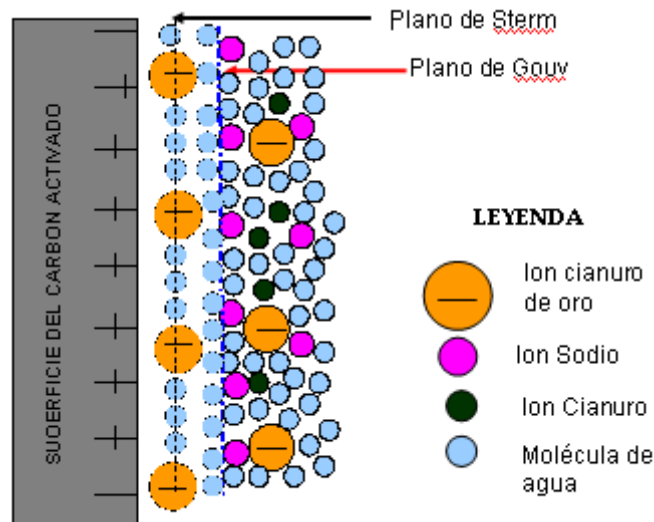
La adsorción del oro en un medio clorado, AuCl_4 es fácilmente reducido a oro metálico, pudiéndose detectar el oro en la superficie de las partículas de carbón cosa que no sucede en un medio ciánico.

La teoría de adsorción desde soluciones ciánicas se puede dividir en 2 tipos: Una de ellas proponen que el ión $(\text{Au}(\text{CN})_2^-)$ presente en la solución son adsorbidas como tal por un mecanismo de intercambio iónico y la segunda proponen que son alterados químicamente, por ejemplo, reducción a oro metálico o precipitado como aurocianuro (AuCN) .

Resumiendo, diferentes posiciones con respecto a la carga de oro y plata desde soluciones sobre el carbón activado se puede considerar 3 categorías:

- a. Aquellos que proponen que el oro está fijo como aurocianuro, ayudado por una fuerza electrostática o del tipo de Van der Wall.
- b. Aquellos en los cuales indican que están presentes como un compuesto de oro diferente al aurocianuro.
- c. Aquellos que proponen la ocurrencia de una reducción a oro metálico.

Gráfico N° 5
MECANISMO DE ADSORCIÓN



2.3 Definición de términos

- **Lixiviación:** Proceso metalúrgico que consiste en disolver el mineral a recuperar por reactivos químicos
- **Concentración:** Proceso mediante el cual las especies mineralógicas con valor económico que se encuentran contenidas en un mineral, son separadas del material no valioso o de desecho, utilizando para tal efecto operaciones unitarias tales como chancado, molienda, flotación, etc.
- **Concentrado:** Producto rico en metales obtenido mediante la aplicación de procesos de separación y concentración tales como la flotación. Los metales son "concentrados" a partir del mineral que los contiene y el resto es desechado como relave neutralizado.

- **Cianuración:** Método para extraer oro y plata contenidos en minerales o concentrados, disolviéndolos en una solución débil de cianuro de sodio o potasio.
- **Solubilidad:** Es la **calidad de soluble** (que se puede disolver). Se trata de una **medida de la capacidad de una cierta sustancia para disolverse en otra.**

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis general

Realizando pruebas experimentales de cianuración intensiva a los concentrados, se puede predecir que obtendremos buenas recuperaciones de oro y plata en Minera Poracota S.A. – Arequipa - 2018.

2.4.2 Hipótesis específicas

- ◆ La estructura mineralógica donde se encuentra el oro y la plata, tendrá influencia directa en el grado de recuperación por cianuración intensiva en concentrados de Minera Poracota S.A. – Arequipa - 2018.
- ◆ Las pruebas de cianuración intensiva permitirán determinar el grado de disolución de oro y plata existente en los concentrados de Minera Poracota S.A. – Arequipa - 2018.

2.5 Identificación de variables

2.5.1 Variable Dependiente

CIANURACIÓN INTENSIVA DE CONCENTRADO

- ◆ Extracción de oro y plata por cianuración (%)

2.5.2 Variables independientes

- ◆ pH (NaOH)
- ◆ NaCN (%)
- ◆ Tiempo (Hr)
- ◆ Na₂S
- ◆ Carbón activado

2.5.3 Variables intervinientes

- ◆ Granulometría
- ◆ RPM

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Tipo de investigación

- Según su finalidad, es del tipo aplicada.
- Por la fuente de datos es de campo.
- Según su naturaleza de la investigación es cuantitativa.

3.2 Diseño de investigación

El nivel a desarrollar es experimental.

3.3 Población y muestra

La población está constituida por el concentrado de oro y plata obtenido del proceso de flotación convencional.

La muestra a investigar fue el concentrado obtenido de diferentes días en una semana y homogenizado bajo el sistema de cono y cuarteado sucesivo.

3.4 Método de investigación

El diseño de investigación a emplearse es el Factorial: 2^n , donde:

2: son los estados de la variable (mínima y máxima)

n: Cantidad de variable que intervienen en el experimento

Tendremos:

$2^3 = 8$ experimentos

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

◆ Técnicas

Las técnicas desarrolladas fueron:

- Para determinar las leyes de plata en el concentrado y solución se utilizó el análisis químico instrumental.
- Para el análisis microscópico de muestras se utilizó la microscopia de opacos.

◆ Instrumentos

- Para los ensayos químicos: Balanza analítica, materiales de laboratorio, insumos y equipo de absorción atómica de la empresa.
- Para las pruebas de microscopia: Microscopio petrográfico JENOPTIK de 150 X de la Universidad.

3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.6.1 Equipos y Reactivos

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de concentración de minerales de la empresa, los equipos utilizados fueron los siguientes:

- ◆ Agitador de aspas para vasos de precipitados de 100 RPM.
- ◆ Balanza de precisión; marca Mettler AE 160.
- ◆ Vasos de precipitados: 100, 250, 400, 600 ml
- ◆ Matraz erlemeyer: 250, 500 ml.
- ◆ Secadora de muestras hasta 300°C.
- ◆ Pulverizadora de disco; Denver Colo USA Mine & Smelter 6 ½ F.
- ◆ pHmetro.- Hanna instruments – modelo pH 301 (rango: -2 a 20)

Los principales reactivos fueron los siguientes:

- ◆ Cianuro de sodio.
- ◆ Oxido de calcio.
- ◆ Nitrato de plata.
- ◆ Yoduro de potasio.
- ◆ Acetato de plomo.

3.6.2 Procedimiento de las pruebas de lixiviación

- ◆ La muestra homogenizada se cuartea y se separó en bolsas de 1 kilogramo.
- ◆ Se determina la gravedad específica.
- ◆ Se procede a moler por 10 minutos, para obtener una muestra a malla 270 (53 μ).

- ♣ Se prepara la muestra en bolsas de 100 gramos para cada experiencia.
- ♣ Se preparó las muestras en los vasos de precipitados, realizando las mediciones de pH, % NaCN, oxígeno.
- ♣ Para el control de las variables y disolución de la plata, en los tiempos programados se filtró la pulpa para los respectivos análisis.
- ♣ Finalmente, el relave fue sometido al respectivo análisis para determinar el remanente de plata.

Gráfico N° 6
Diagrama general de experimentación

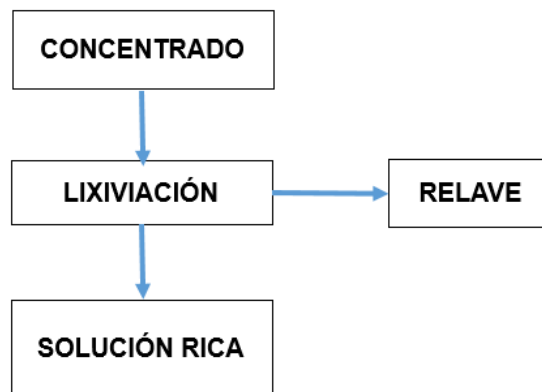


Tabla N° 2
Condiciones de molienda

Peso de muestra	1 Kg.
Agua	1 litro
Granulometría ideal	75 % - 270 mallas
% sólidos	50
pH	12
CaO	0,6 a 1,0 kg/Tm

Tabla N° 3
Condiciones de lixiviación

Peso de muestra	100 gramos
Densidad de pulpa	1 240 g/l
pH	12
% de sólidos	31
Dosis de CaO	0,6 a 1,0 Kg/TM
Tiempo de agitación	72 horas
Velocidad de agitación	25 RPM
Concentración de NaCN	0,20 %

3.6.3 Pruebas de Lixiviación con Diseño Factorial

La lixiviación es un proceso químico o electroquímico que puede ser desarrollado adecuadamente a través de un modelo matemático empírico definido por:

$$Y = f(x, u, z) \quad (29)$$

En el diseño factorial 2^k se evalúan los efectos de los niveles de los factores o tratamientos que van siendo considerados en el estudio.

Para la lixiviación se ha considerado el diseño factorial a 2 niveles con 3 variables más significativas, considerando:

$$N = 2^k = 2^3 = 8$$

Dónde:

2 = Son los estados de la variable (menor y mayor)

N = Número de variables que intervienen en los experimentos del siguiente modo:

El total de pruebas experimentales son 8 que corresponde a los vértices de un cubo.

Gráfico N° 7
Estructura del diseño factorial 2^3

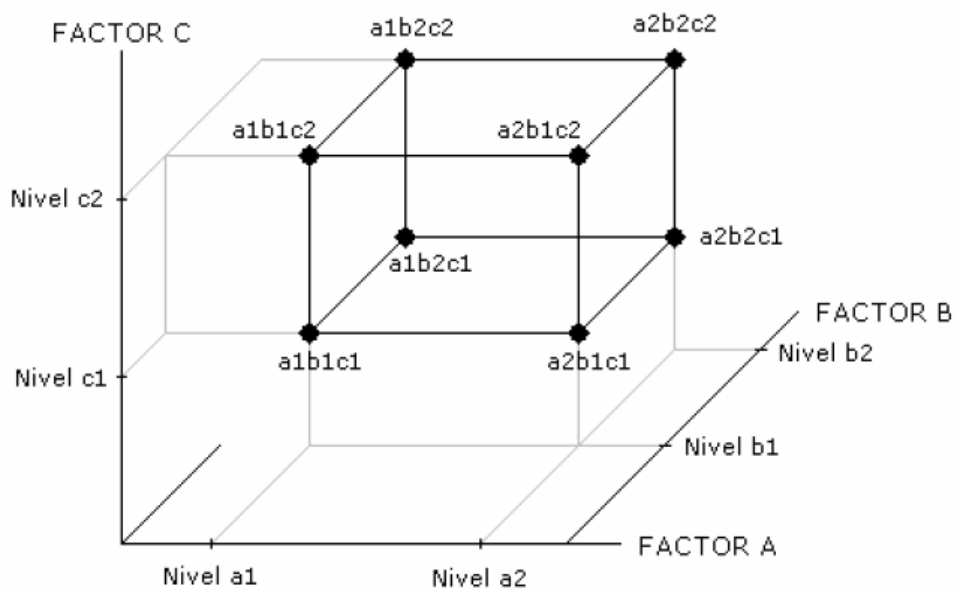


Tabla N° 4
Variables intervinientes

VARIABLES	ESTADOS	
	MAXIMO	MINIMO
% NaCN	0.20	0.10
Aire	1	0
pH	12,5	11,5

El diseño factorial desarrollado es el siguiente:

Prueba No	Efecto	A % NaCN	B Aire	C pH
1	1	0.10	0	11,5
2	a	0.20	0	11,5
3	b	0.10	1	11,5
4	ab	0.20	1	11,5
5	c	0.10	0	12,5
6	ac	0.20	0	12,5
7	bc	0.10	1	12,5
8	abc	0.20	1	12,5

La variable oxigenación se encuentra en el nivel máximo (1) cuando se inyecta aire y mínimo cuando no ingresa aire.

3.7 Tratamiento estadísticos de datos

Para el tratamiento estadístico se desarrolló las siguientes etapas:

♦ **Modelo Matemático Propuesto**

El diseño factorial (2^n) y el análisis de yates utilizados aquí se define para el siguiente modelo lineal:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + \text{error}$$

B_0 = promedio

B_1 = efecto "A"/2

B_2 = efecto "B"/2

B_3 = efecto "C"/2

♦ **Cálculo de los coeficientes**

Para estimar los coeficientes del modelo lineal, se utilizó el diseño factorial 2^3 .

Tabla N° 5
Combinaciones experimentales

Combinaciones experimentales	Matriz de diseño			Respuesta Y_i
	A	B	C	
1	-	-	-	Y_1
a	+	-	-	Y_2
b	-	+	-	Y_3
ab	+	+	-	Y_4
c	-	-	+	Y_5

ac	+	-	+	Y ₆
bc	-	+	+	Y ₇
abc	+	+	+	Y ₈

♣ **Cálculo de Efectos**

Con los datos obtenidos en laboratorio se desarrolló los siguientes efectos:

Tabla N° 6
Efecto de las variables en las pruebas de cianuración

Efecto	% Recup.	II	III	IV	Efecto
1	Y ₁				
a	Y ₂				
b	Y ₃				
ab	Y ₄				
c	Y ₅				
ac	Y ₆				
bc	Y ₇				
abc	Y ₈				

♣ **Desvío medio cuadrático:**

$$DMC = \frac{A^2}{2^3}$$

♣ **Error medio cuadrático:**

$$ECM = \frac{DMC}{2}$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Presentación de resultados

4.1.1 Análisis Químico

El concentrado de oro y plata obtenido de una serie de etapas de homogenización, tiene el siguiente análisis, desarrollado en los laboratorios de la empresa.

Tabla N° 7
Ley de concentrado a experimentar

Elemento	Au (Oz/TM)	Ag (Oz/TM)	Fe (%)	Pb (%)	S (%)
%	3,71	18,90	37.50	0.35	0.45

4.1.2 Análisis Minerográfico

En los estudios realizados al microscopio petrográfico JENOPTIK de 150 X de la Universidad y con el apoyo de los ingenieros Eder Robles y David Luna, se observó al concentrado de oro y plata del siguiente modo:

Foto N° 1

Muestra del oro - electrum



Fuente: Elaboración propia

a. Grado de liberación porcentual

Tabla N° 8

Mineral	%
Cuarzo	94,34
Limonita	99,85
Covelita	91,74
Hematita	88,74
Magnetita	93,56
Electrum	82,44
Azurita	89,18

Oro	98,47
Pirita	85,23
Plata	90,76
Calcita	96,38

Fuente: Elaboración propia

b. Intercrecimiento porcentual

Tabla N° 9

Mineral entrelazados	Tipo de crecimiento	Distribución %
qu – Au	Diseminado	17,87
qu – Ln	Simple	18,39
qu – Hn	Inclusión	15,03
qu – Mg	Inclusión	12,47
qu – Ag	Simple	9,22
qu – Cu	Ameboide	9,22
Au Ag	Ameboide	12,54
Py - Au	Sol. sólida	5,26

Fuente: Elaboración propia.

c. Identificación mineralógica

Tabla N° 10

Mineral	Fórmula	Color	Densidad (gr/cm³)
Cuarzo	SiO ₂	Incoloro	2,65
Hematita	Fe ₂ O ₃	Pardo rojizo	4,9 – 5,3
Limonita	FeO _x OH	Amarillo	
Magnetita	Fe ₃ O ₄	Negro	5,2
Oro	Au	Amarillo	19,3

Electrum	Au-Ag	Blanco plata	
Covelita	CuS	Azul	4,6
Pirita	FeS ₂	Amarillo latón	4,9
Plata	Ag	Gris a blanco	10,6
Azurita	2CuCO ₃ .Cu(OH) ₂	Azul oscuro	3,8
Calcita	CaCO ₃	Blanco	2,7
Dolomita	Ca,Mg(CO ₃) ₂	Rosado	2,8
Rodocrosita	MnCO ₃	Rojo rosa	3,5
Epidota	Ca(AlOH)Al ₂ (SiO ₄) ₃	Negro	3,40

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Pruebas de lixiviación

Las pruebas de lixiviación se desarrollaron en vasos precipitados, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla N° 11
Variables intervinientes

VARIABLES	ESTADOS	
	MAXIMO	MINIMO
% NaCN	0.20	0.10
Aire	1	0
pH	12,0	11,0

Se trabajó con una sola ley de cabeza que es: 18,90 Oz/TM de plata y 3,71 Oz/TM de oro (concentrado).

Tabla N° 12
Diseño factorial con 3 variables

Prueba No	Efecto	A % NaCN	B Aire	C pH	Ley Rel. Ag oz/TM	% Recup.
1	1	0.1	0	11	2.47	86,89
2	a	0.2	0	11	2.35	87,56
3	b	0.1	1	11	2.3	87,83
4	ab	0.2	1	11	2.26	88,01
5	c	0.1	0	12	2.46	86,97
6	ac	0.2	0	12	2.29	87,84
7	bc	0.1	1	12	2.25	88,05
8	abc	0.2	1	12	2.14	88,63

Tabla N° 13

Efecto de las variables en las pruebas de cianuración

Efecto	Ext.	II	III	IV	Efecto
1	86.89	174.45	350.29	701.78	
a	87.56	175.84	351.49	2.3	0.575
b	87.83	174.81	0.85	3.26	0.815
ab	88.01	176.68	1.45	-0.78	-0.195
c	86.97	0.67	1.39	1.2	0.3
ac	87.84	0.18	1.87	0.6	0.15
bc	88.05	0.87	-0.49	0.48	0.12
abc	88.63	0.58	-0.29	0.2	0.05
	701.78				

Para el caso del oro se alcanzó el siguiente resultado:

Tabla N° 14

Diseño factorial con tres variables

Prueba No	Efecto	A % NaCN	B Aire	C pH	Ley Rel. Au Oz/TM	% Recup.
1	1	0.1	0	11	10.14	92.04
2	a	0.2	0	11	16.94	94.04
3	b	0.1	1	11	8.48	91.52
4	ab	0.2	1	11	8.25	92.85
5	c	0.1	0	12	10.71	88.76
6	ac	0.2	0	12	10.9	87.67
7	bc	0.1	1	12	9.72	84.42
8	abc	0.2	1	12	8.2	93.14

Fuente: Elaboración propia

Por su fácil capacidad de disolución del oro, el tratamiento estadístico de la investigación está dado por el grado de liberación de la plata

4.2 Interpretación de resultados

♦ *Modelo Matemático Propuesto*

El diseño factorial (2^n) y el análisis de Yates utilizados aquí se presta para el siguiente modelo lineal:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + \text{error}$$

$$B_0 = \text{promedio} = 701.78/8 = 87,72$$

$$B_1 = \text{efecto "A"}/2 = 0.575/2 = 0,28$$

$$B_2 = \text{efecto "B"}/2 = 0.815/2 = 0,40$$

$$B_3 = \text{efecto "C"}/2 = 0.3/2 = 0,15$$

Luego la fórmula será:

$$Y = 87,72 + 0,28X_1 + 0,40X_2 + 0,15X_3$$

Sustituyendo en la codificación:

$$\% \text{Recup.} = 87,72 + 0,28(\% \text{NaCN} - 0,15) + 0,40(\text{Oxi.} - 0,5) + 0,15(\text{pH} - 12)$$

Con esta fórmula se determinó el % de recuperación calculado y de ahí los incrementos y desviación estándar en la siguiente forma.

Tabla No 15
RESULTADOS DEL MODELO MATEMÁTICO PROPUESTO

Efecto	A	B	C	Recuperación		A	A ²	
	% NaCN	Aire	pH	% Actual	% Calc.			
1	0.10	0	11	86.89	87.14	0.25	0.06	
a	0.20	0	11	87.56	87.20	-0.36	0.13	
b	0.10	1	11	87.83	87.94	0.11	0.01	
ab	0.20	1	11	88.01	88.00	-0.01	0.00	
c	0.10	0	12	86.97	87.44	0.47	0.22	
ac	0.20	0	12	87.84	87.50	-0.34	0.12	
bc	0.10	1	12	88.05	88.24	0.19	0.04	
abc	0.20	1	12	88.63	88.30	-0.33	0.11	
0.69								

El Desvío medio cuadrático es:

$$\frac{A^2}{2^n} = \frac{0,69}{8} = 0,08 \%$$

El error cuadrático de las medias de los resultados es:

$$ECM = \frac{0,08}{2} = 0,04 \%$$

El error cuadrático medio de 0,04 respecto al valor calculado nos muestra como aceptable el modelo matemático propuesto.

4.3 Prueba de hipótesis

- ♦ Desarrollando pruebas de lixiviación por cianuración a los concentrados de oro y plata se demuestra que es posible la disolución y recuperar por otro proceso secuencial como es Merrill Crowe en minera Poracota – Arequipa.
- ♦ Observando al microscopio la muestra más representativa de concentrado de oro y plata, se evidencia que la plata se encuentra en la forma de electrum (Au - Ag) y también como sulfuro simple, que permite una buena disolución en un periodo de 72 horas.
- ♦ El control del pH a 12 en promedio y el % NaCN, son variables que controlan el proceso de lixiviación y disolución constante de los concentrados de electrum en minera Poracota – Arequipa.

4.4 Discusión de resultados

- ♦ La mayor recuperación de plata, se obtuvo cuando se lixivió con mayor concentración de NaCN, inyección de oxígeno y pH 12 (88,63%), debido a que primero se disolvió en oro por encontrarse entre los niveles de basicidad adecuados (10 – 11), luego se disolvió la plata.

- ◆ El mineral de plata está compuesto por acantita (Ag_2S) y electrum ($\text{Au} - \text{Ag}$), hematita, magnetita, cuarzo, covelita que, por ser silicatos, son minerales oxidados estables y no ionizan.
- ◆ El cobre fue controlado y no paso a formar cianicidas; se logró controlar manteniendo el pH a 12.

CONCLUSIONES

1. Las pruebas de lixiviación desarrolladas permiten determinar que es posible seguir otro método de recuperación de plata y ofertar al mercado en forma de barras, obteniendo mejores beneficios económicos.
2. Las mejores recuperaciones se dieron con la alimentación de 0,20% NaCN, inyección de oxígeno y pH de 12,0 a un tiempo de 72 horas y 25 RPM.
3. Las altas recuperaciones de oro y plata se deben a que la mineralogía está compuesta mayormente de electrum, seguido de argentita y complementa covelita, pirita, cuarzo y feldespatos, que quedan como relave final.

RECOMENDACIONES

1. Desarrollar más pruebas de lixiviación para confirmar las primeras experiencias de disolución del electrum.
2. Realizar pruebas de microscopía electrónica de barrido para reconocer toda la mineralogía del concentrado de oro y plata, que en este caso es la materia prima a lixiviar.
3. Desarrollar la segunda etapa recuperación de oro y plata; puede ser por cementación con polvo de zinc y/o desarrollar pruebas de electrodeposición de plata de la solución obtenida.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Addison, R. (1986). *Gold and Silver Extraction from Sulfides Ores*. Mining Congress Journal. Utha.
- Argall, G. (1984). *Preciuos Metals Extraction*. Intenational Mining, 32 - 44.
- Bard, A., & Faukner, L. (1980). *Electrochemical Methods Fundamentals and Aplications*. Mexico: John Willey and Sons, Inc.
- Deschenes, G. (1987). *Investigation on the Potential Techniques to Recover Gold from Thiourea Solutions*. Proceedings of the International Symposium on Gold Metallurgy (págs. 359 - 377). New York: Salter, R. E., Wyslouzill, D. M., Pergamon Press.
- Dorr, J. (1986). *Cyanidation and Concentration of Gold and Silver Ores*. New York and London: McGraw-Hill.
- Filmer, A. (1992). *The Dissolution of Gold from Roasted Pyrite Concentrates*. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, 90-94.
- Finkelstein, N. P. (1972). *The Chemistry of the Extraction of Gold from its Ores*. Johannesburg, Africa: Adamson, R.
- Fleischmann, M. S. (1986). *An SERS Study of Silver Electrodeposition from Thiourea an Cyanide Containing Solutiones*. *Electrochemica Acta* (págs. 907 - 916). Utha: M&ME.

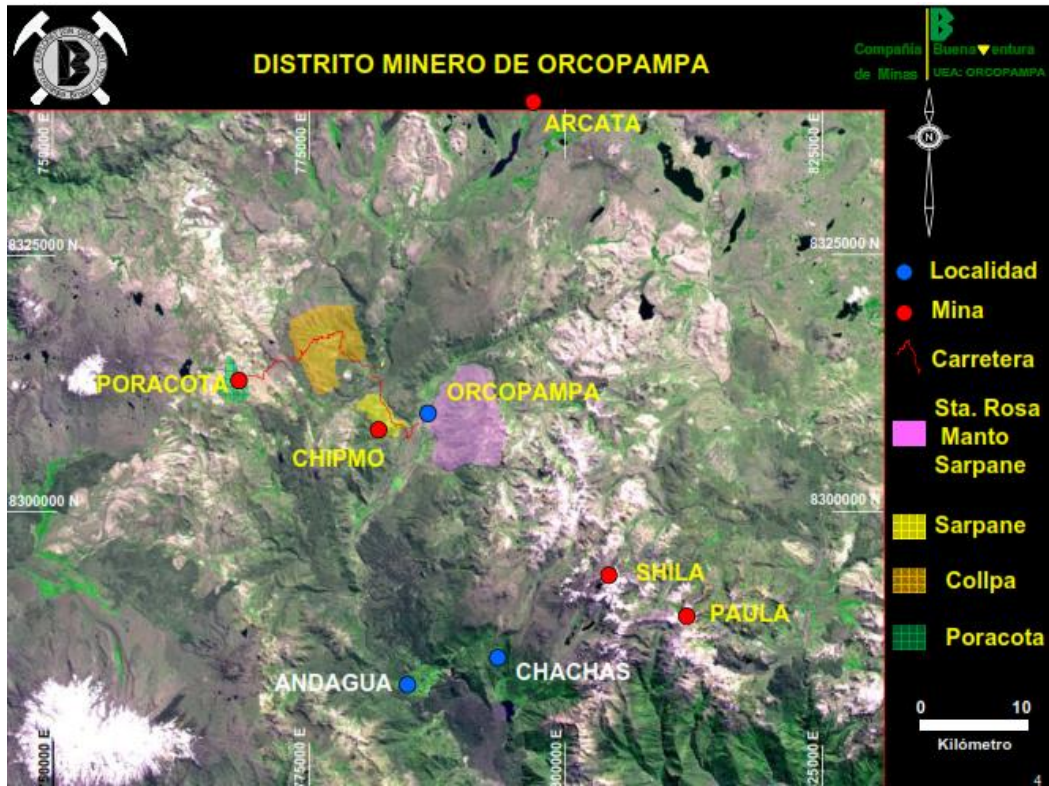
- García, J. O. (1988). *Recuperación de Metales Preciosos a partir de una Solución Tioúrica, vía Cementación con Aluminio*. Memorias del 1er Congreso, Asociación Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, (págs. 327 - 343). Rio de Janeiro - Brasil.
- Gileadi, E. (1975). *Interfacial Electrochemistry An Experimental Approach*. México: Addison - Wesley.
- Guay, W. (1991). *The Treatment of Refractory Gold Ores Containing Carbonaceous Material and Sulfides*. Gold and Silver Leaching, Recovery and Economics . Montana: Universidad Montana.
- Hiskey, J. B. (1981). *Thiourea as Lixiviant for Gold and Silver*. Littleton: Society of Mining Engineers.
- Jha, M. (1984). *Recovery of Gold and Silver from Cyanide Solutions: a comparative study of various processes*. The First International Symposium of Precious Metals Recovery. New York.
- Jha, M. C. (1985). *Recovery of Gold and Silver from Cyanide Solutions*. International Symposium of Precious Metals Recovery. Nevada - U.S.A.
- Lawson, F. (1985). *Cementation Kinetics*. Thermodynamics and Kinetics of Metallurgical Processes (págs. 207 - 225). Nevada: Mohan, M., Rao,
- Misari, F. (1987). *Experiencias en una operación de lixiviación en pilas para minerales de oro a 4600 msnm*. IV Simposio de Ingeniería Metalúrgica. Arequipa.

- Misari, F. (1990). *Técnicas de Tratamiento de Minerales Refractarios de Oro*. Metalurgia: Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Nacional. Cerro de Pasco.
- Nical, M. J., Schalch, E., & Balestra, P. (1989). *A Modern Study of The Kinetics and Mechanism of the Cementation of Gold*. Journal of the South African (págs. 191 - 198). South African: Institute of Mining and Metallurgy.
- Potter, G. (1981). *Design Factors for Heap Leaching Operations*. Mining Engineering, 277 - 281.
- Simpson, W. P. (1994). *Gold and Silver Recovery from Thiourea Leach Solutions*. Pacific Northwest Metals and Minerals Conference, (págs. 1 - 10). Oregon.
- Strickland, P. H. (1970). *Cementation of Copper with Zinc from Dilute Aqueous Solution*. Process Australasian Mineral Metallurgy, (págs. 25 - 34). Sidney.
- Strickland, P. H. (1973). *The Measurement and Interpretation of Cementation Rate Data*. International Symposium on Hydrometallurgy (págs. 293 - 330). New York: Evans, D. and Shoemaker, R.
- Vetter, K. J. (1977). *Electrochemical Kinetics*. New York: Academic Press.
- Zadra, J.; Engel, A.; Heinen, H. (1972). *Process for Recovery Gold and Silver Activated Carbon by Leaching and Electrolysis*. Report of Investigations 4845 - Bureau of Mines, 13 - 17.

ANEXOS

ANEXO 1

Foto 2: Ubicación de Minera Poracota



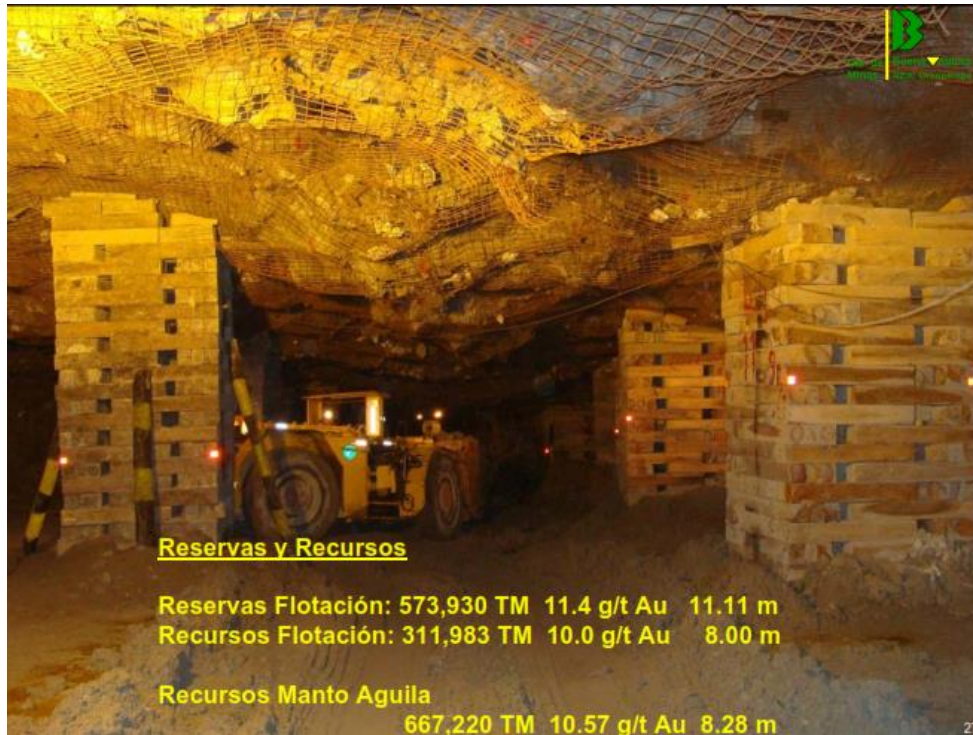
Fuente: Cía. de minas Buenaventura

Foto 3: Venilla y mantos auríferos en cuerpo María Fe (Poracota – nivel 4720)



Fuente: Dpto de geología.

Foto 4: Reservas y recursos para flotación



Fuente: Dpto. de geología