

RECUPERACIÓN DE ORO Y PLATA POR EL PROCESO ELECTROLITICO ZADRA

GOLD AND SILVER RECOVERY FOR THE ELECTROLYTIC PROCESS TYPE ZADRA

CHAMBI VIRACA LUIS C.

Ingeniero Metalúrgico Esp. Docente Investigador
Universidad Mayor de San Andres Ichambi@umsa.bo

RESUMEN

Una de las alternativas de extracción de oro y plata a partir de soluciones ricas, es el procedimiento electrolítico empleando la celda tipo ZADRA. Este procedimiento metalúrgico ha sido aplicado en forma directa a unas soluciones proveniente del proceso de lixiviación en presencia de cianuro de sodio. La composición química de la solución sometida a la electrolisis directa en Celda tipo Zadra es; 33.75 mg Au/l; 5.5 mg Ag/l; 375 mg Fe/l y 1727.5 mg S/l, las deposiciones logradas por este procedimiento son del 98% y 99% para el oro y plata respectivamente.

ABSTRACT

One of the alternatives for extracting gold and silver from rich solutions, is the electrolytic process using the cell type Zadra. This metallurgical process has been applied directly to a solutions from the process of leaching in the presence of sodium cyanide. The chemical composition of the solution subjected to electrolysis is directly in cell type Zadra, Au 33.75 mg/l, 5.5 mg Ag/l, 375 mg Fe/l and 1727.5 mg S/l, the deposition achieved by this procedure are 98% and 99% for gold and silver respectively.

KEY WORDS: Zadra Cell; Extraction; Gold; Silver

1. INTRODUCCIÓN

El Departamento de La Paz es catalogado como una región minera aurífera y en ella se han establecido cooperativas mineras dedicadas a la extracción de oro que recuperan de yacimientos mineros de tipo aluvional y yacimientos primarios. La Tabla 1 muestra algunas cooperativas registradas y en actual etapa de trabajo en Bolivia, en el Departamento de La Paz las cooperativas están agrupadas en tres organizaciones sindicales como son FEDECOMIN, FECOMAN y FERRECO [1].

La ley 21060 promulgado en el año 1986, entre uno de sus objetivos fue la relocalización de mineros que trabajaron en el sector de la minería tradicional de Bolivia, esta relocalización se debió a la crisis minera como consecuencia de la caída de los precios de los

minerales en el mercado internacional, por ese motivo se establecieron cooperativas mineras para trabajar en el sector aurífero del Departamento de La Paz que hasta ese entonces no mostraron interés por la explotación y recuperación de oro, aunque la explotación de oro fue promovida desde tiempos de la colonia. Fue a partir de ésta ley que la explotación y recuperación de oro se intensificó en los centros mineros del Departamento de La Paz que mostraron contenidos de oro y plata expectables.

La explotación de yacimientos de tipo primario y secundario, fue realizada con equipo de diseño rústico como canaletas y bateas, posteriormente con la subida de los precios del oro en el mercado internacional, les permitió a algunas cooperativas con una buena organización sindical, mejorar y mecanizar sus ingenios para incrementar la producción aurífera permitiendo generar empleos directos e indirectos.

Las cooperativas mecanizadas cuentan con los equipos que se muestran en la Figura 1 como un modelo general, los cuales son destinados para la recuperación de oro libre en forma exclusiva, la implementación de este tipo esquemas metalúrgicos se debió principalmente a los precios altos del oro registrado desde los años 2005 al 2009, además a que contaron con una buena organización sindical.

En el diagrama de flujo de la Figura 1, algunos procedimientos de recuperación de oro no son nada amigable con el medio ambiente y principalmente con la salud de los trabajadores y de sus familiares, debido a que en el circuito de tratamiento utilizan mercurio para poder coleccionar el oro y una posterior etapa de quema del mercurio en bateas fue practicada sin control.

Las cooperativas con mejor equipamiento muestran instalaciones de similares características al señalado en la Figura 1, por su parte las cooperativas pequeñas que poseen pocos equipos tienden a tener la misma línea de equipamiento en sus ingenios cuyo propósito es lograr recuperar la mayor cantidad de oro libre.

Tabla 1. Cooperativas Mineras en Bolivia Fuente: Cámara Nacional de Minería, FECOMAN [1]

DEPARTAMENTO	FEDERACIÓN	ACTIVA	INACTIVA	TOTAL COOPERATIVAS	SOCIOS ACTIVOS
LA PAZ	FEDECOMIN	10	39	49	4500
	Viloco	6	0	6	
	Caracoles	7	0	7	
	Yani-Lijuata	17	2	19	
	Nor y Sur Yungas	8	0	8	
	Pelechuco	8	2	10	2100
	FECOMAN				
	Incachaca	12	1	13	
	Conzata	14	17	31	
	Pallallunga	8	0	8	
	Ananea-Tacacoma	6	8	14	
	Camata	6	8	14	
	FERRECO				6700
	Tipuani-Unut	21	9	30	
	Challana	5	20	25	
	Cangalli	6	7	13	
	Huanayti	5	0	5	
	Mapiri	31	36	67	
	Guanay	4	25	29	
	Teoponte	9	22	31	
ORURO	FEDECOMIN	21	9	30	2200
	HUANUNI	4	0	4	2500
POTOSI	FEDECOMIN	40	7	47	8500
	SUR ATOCHA	8	5	13	3800
	NORTE POTOSI	9	5	14	8000
	SUD UYUNI	9	13	22	1100
COCHABAMBA	Kami	1	0	1	1200
TOTALES		275	235	510	40600

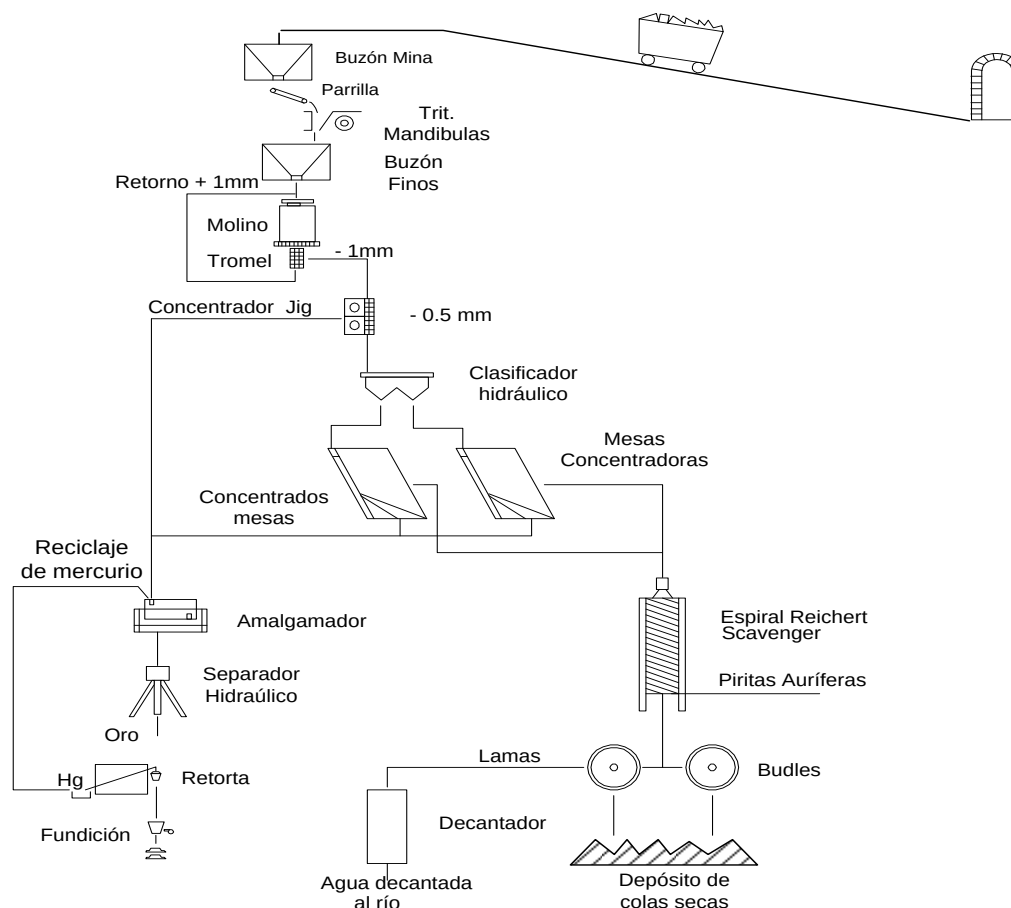


Fig. 1. Diagrama de flujo metalúrgico de Cooperativa Mecanizada

Actualmente la recuperación de oro es buena y pareciera que todo les favorece, por ejemplo precios altos del oro en el mercado internacional 900\$us/OT, el gobierno actual muestra su apoyo a este sector, por lo tanto, es el momento de mostrar algunas alternativas técnicas.

El presente trabajo de investigación de tipo aplicativa se fundamenta principalmente en aplicar el proceso de electrolisis en celda de tipo Zadra y para ello es necesario analizar nuevamente la Figura 1, en ellas se puede observar varios aspectos, como:

- El oro que se recupera es de granulometría gruesa.
- El oro de granulometría fina no es posible su recuperación.
- La recuperación de oro se hace mediante amalgamación el cual es perjudicial debido a que el mercurio se atomiza por la presencia de elementos como azufre, arsénico, etc.
- La recuperación de oro sólo alcanza el 40% aproximadamente, debido a que no todo el oro esta liberado y los minerales de veta traen gran cantidad de piritas con contenidos altos en oro del cual es difícil su recuperación con el procedimiento de la Figura 1.
- Existe una gran contaminación por efecto del mercurio y la presencia de lamas, estos productos se constituyen en contaminantes debido a que salen del circuito con dirección al río en forma no controlada.

El presente trabajo pretende mostrar una alternativa para incrementar la recuperación de oro-plata y el proceso Zadra se hace amigable para el tratamiento de minerales de oro y plata por su efectividad y cuidado que son aplicable a soluciones ricas en oro y plata principalmente, para el cual debe estar resuelto la etapa de concentración gravimétrica y la etapa de lixiviación.

2. ASPECTOS TEÓRICOS

Lixiviación de oro y plata

El proceso hidrometalúrgico de cianuración, se rige por la termodinámica el cual es resumido en los diagramas Eh-pH, la estabilidad del proceso de cianuración de oro y plata se puede determinar en los siguientes diagramas de áreas de predominancia de las Figuras 2 y 3, las que muestran la factibilidad de cianuración de oro y plata en rangos de pH mayores a 9.21 con concentración molar de $[Au] = [Ag]$ de 10^{-4} m y $[CN^-] = 10^{-1} \text{ m}$.

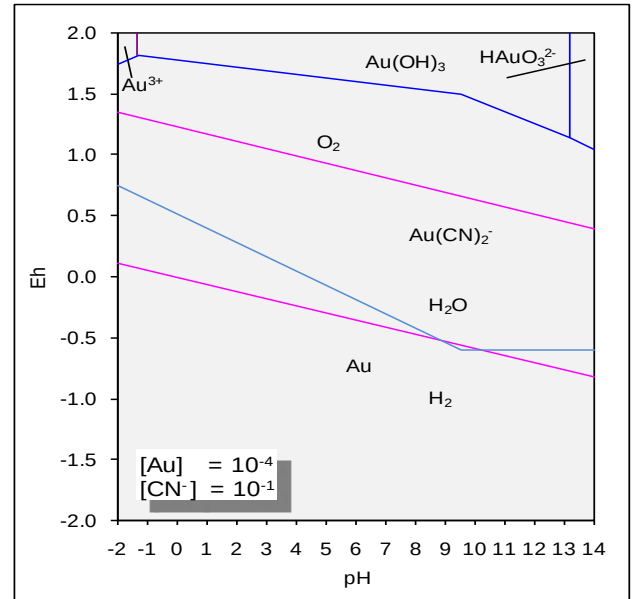


Figura 2. Diagrama Eh-pH sistema Au-CN-H₂O a 25°C [2]

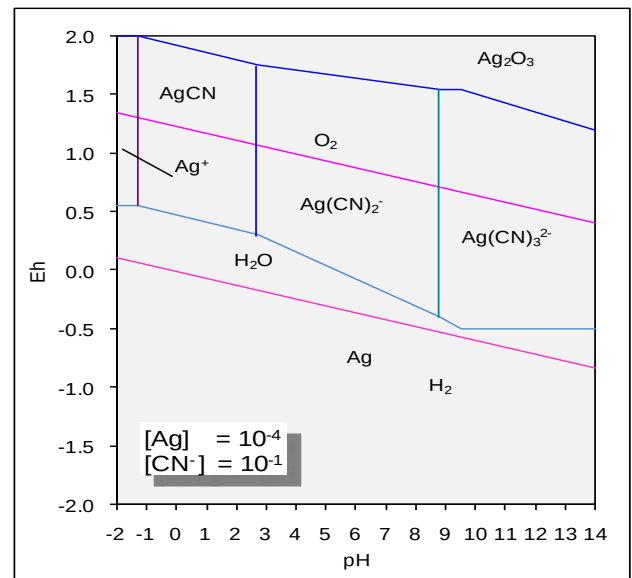
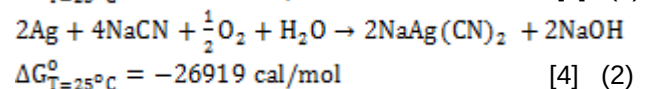
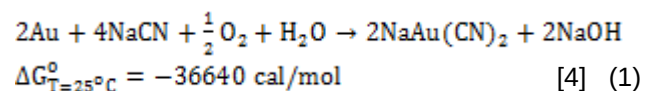


Figura 3. Diagrama Eh-pH sistema Ag-CN-H₂O a 25°C [2]

Las siguientes reacciones químicas demuestran la posibilidad de lixiviar por cianuración [3]:



Las energías libres de Gibbs fueron determinados tomando como referencias la base de datos del software HSC 6.0 [4], este programa computacional

está basado en una buena información termodinámica.

Por otra parte, la posibilidad de recuperar los metales preciosos por cianuración se complica cuando se presenta azufre como sulfuros en la composición de los minerales, ésta imposibilidad se puede observar en las Figuras 4 y 5.

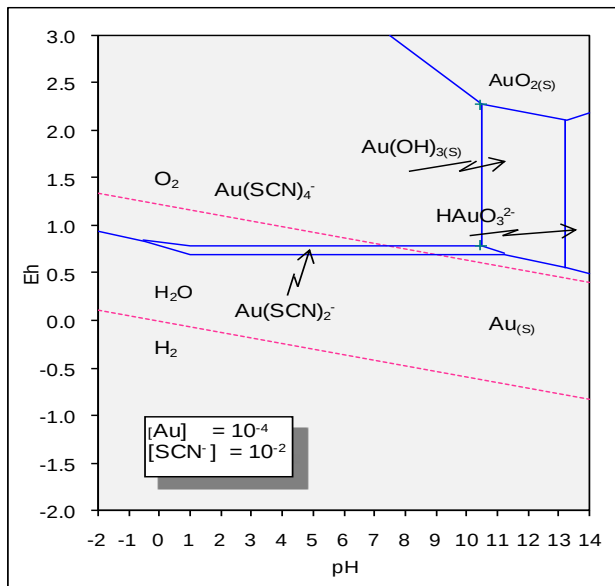


Figura 4. Diagrama Eh-pH sistema Au-SCN-H₂O a 25°C [2]

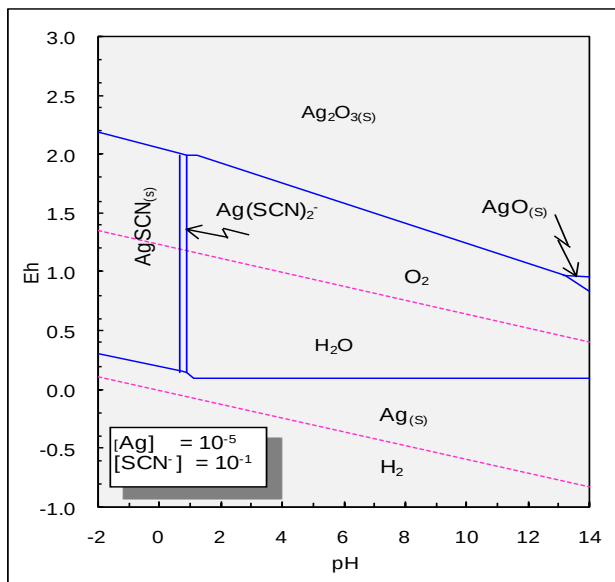


Figura 5. Diagrama Eh-pH sistema Ag-SCN-H₂O a 25°C [2]

En el diagrama de la Figura 4 se puede observar la imposibilidad de realizar el proceso de cianuración del oro en presencia de azufre a menos que se pueda bajar el pH hasta valores inferiores a 8, sin

embargo a estos valores la presencia de **HCN** se incrementa de acuerdo con la siguiente expresión:

$$[\text{HCN}] = [\text{CN}^-] \times 10^{K_a - \text{pH}} \quad (3)$$

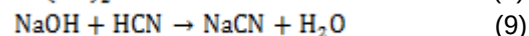
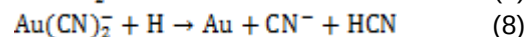
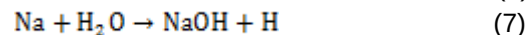
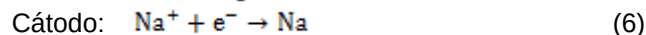
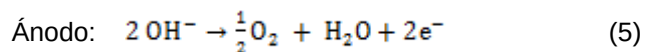
Donde $K_a = 10^{-9.21}$ es la constante de equilibrio de la siguiente reacción:



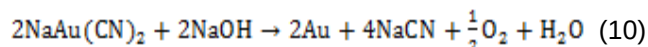
Por otra parte, en la Figura 5 se puede observar la alternativa de recuperación de plata por cianuración en presencia de azufre, esta posibilidad es mayor comparando con la recuperación de oro, lo anterior se debe principalmente a las propiedades termodinámicas de la plata que son más favorables respecto al oro.

Electrólisis

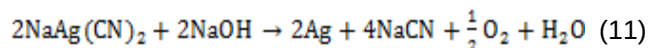
La electrolisis de oro y plata a partir de soluciones también se basa en los anteriores diagramas termodinámicos y las semireacciones que se desarrollan en el proceso electrolítico son:



Al utilizar la Ley de Hess, para las anteriores reacciones, se tiene la inversa de la reacción de Elsner, dada en la reacción (1):



De la misma forma se tendrá la inversa de la reacción (2) para la electrolisis de plata:



Las reacciones (10) y (11) son las que se consideran en el proceso de electrolisis en celda convencional y en la electrolisis realizada en la celda tipo Zadra.

Un trabajo de investigación anterior realizado es "Electroobtención de oro a partir de soluciones cianuradas" que fue efectuado por los investigadores F.Valda y J.Quisbert [5], en este estudio, las pruebas fueron efectuados a escala de laboratorio considerándose como una investigación básica. La solución de oro con el que trabajaron registró una ley de oro de 6 mg/l considerado como licor pobre, las pruebas experimentales fueron realizados en celda

electrolítica convencional cuyos resultados de recuperación máxima que lograron fue del 80.91% de oro cuando se trabajó a una temperatura de 30°C, sin embargo no explicaron los resultados de sus pruebas experimentales.

Un segundo trabajo fue realizado por J.A.García y E.A.Núñez y otros [6], el título de la investigación es “Desarrollo de un sistema de electrorecuperación de oro plata desde soluciones diluidas de cianuración de minerales”, las pruebas fueron realizadas a escala laboratorio y piloto con una muestra sintética cuya composición es de 30 mg/l de Au, 215 mg/l de Ag y 500 mg/l de Cu, las pruebas fueron efectuados en un conjunto de celdas con cátodos de lana de acero similar a la celda Zadra, al respecto no presentan los resultados de estas etapas, adicionalmente realizaron pruebas a nivel industrial con minerales procedente de la mina El Espinillo La Rioja Argentina, en sus experimentos encontraron muchas dificultades como la formación de lamas los cuales fueron floculados con cal, sin embargo el ión calcio les interfería en la electrólisis y para resolver el problema generado usaron carbonato de sodio para precipitar el calcio y su recuperación subió hasta valores del 95% pero al transcurrir el tiempos esta recuperación bajo al 50% el cual atribuyeron a la presencia de las lamas.

3. TRABAJO EXPERIMENTAL

Para desarrollar el trabajo experimental se ha seguido el esquema mostrado en la Figura 6. En ella se muestra los pasos consecutivos para lograr en lo posible tenores altos de oro y plata en solución, ésta solución rica es destinada a tratamiento por electrólisis en celda tipo Zadra, cuya disposición de los equipos de electrólisis de celda de tipo zadra se muestra en la Figura 7.

Como se puede observar en la Figura 6, fue realizada etapas de tratamiento gravimétrico con la finalidad de recuperar oro libre, concentrado de pirita y colas de descarte.

El concentrado de pirita fue sometido a tostación oxidante para eliminar azufre y liberar oro, la calcina fue sometido a lixiviación por agitación en solución de NaCN en un rango de pH entre 9.5 a 10.5, el cianuro libre fue controlado por titulación con nitrato de plata estandarizada. La solución rica fue directamente destinada para su tratamiento por el proceso electrolítico en celda tipo zadra.

La celda tipo zadra, como se puede observar en la Figura 7, fue construido en PVC (cloruro de polivinilo) de 3 plg. de diámetro y 12 cm de largo, el cual se

encuentra enchapada de acero inoxidable que sirve como ánodo, el cátodo está conformado por viruta de acero inoxidable, el cual se encuentra confinado dentro de una malla tubular de 2 plg. También de acero inoxidable.

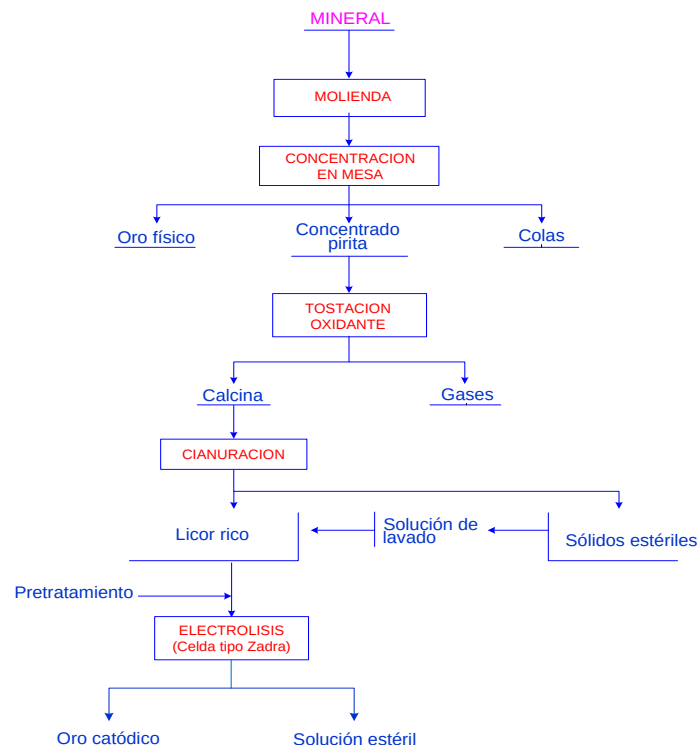


Figura 6. Diagrama de pretratamiento de piritas auríferas.

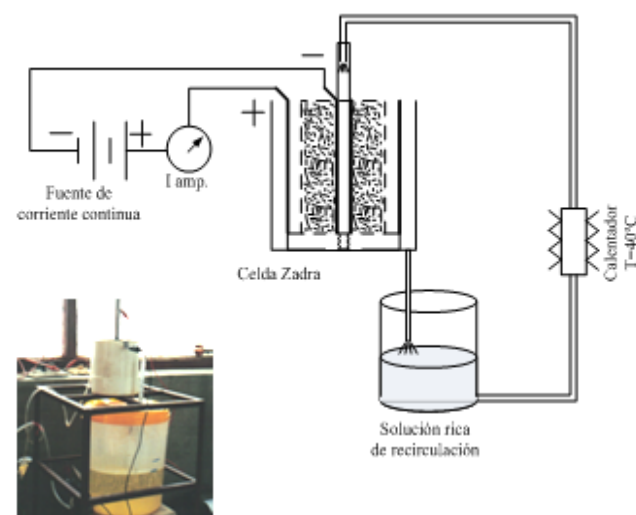


Figura 7. Celda zadra de laboratorio para oro y plata.

La solución rica es alimentada por un tubo de ¼ plg. instalado en el eje axial del cátodo. La solución fluye en contracorriente con un caudal de 428.5 ml/min hacia el rebalse acoplado a la celda tipo zadra, y es alimentado a un deposito acondicionador que tiene la finalidad de controlar la temperatura y el contenido de

oro, para luego recircular la solución a la celda electrolítica.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El mineral está constituido por piritas auríferas y es procedente de la Cooperativa Minera Aurífera Cotapata localizada a 20 km de la ciudad de La Paz, la composición aproximada de oro es de 112.04 g/t (este tenor alto fue determinado por pruebas fire assay en los laboratorios del IIMETMAT y SGS La Paz). La mineralogía de la muestra mineral se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición Mineralógica [7]

MINERAL	PORCT. APROX.
Pirita	94.24 – 97.35
Arsenopirita	2.26 – 4.24
Cuarzo	0.13 – 0.50
Rocas y silicatos	0.06 – 0.92
Hematita	0.10
Limonita	0.10 – 0.20
Calcopirita	0.10 - 0.20
Estibina	0.10 - 0.20
Esfalerita	0.10 - 0.20
Oro	Trazas

El grado de liberación de oro se puede observar en las siguientes micrografías:

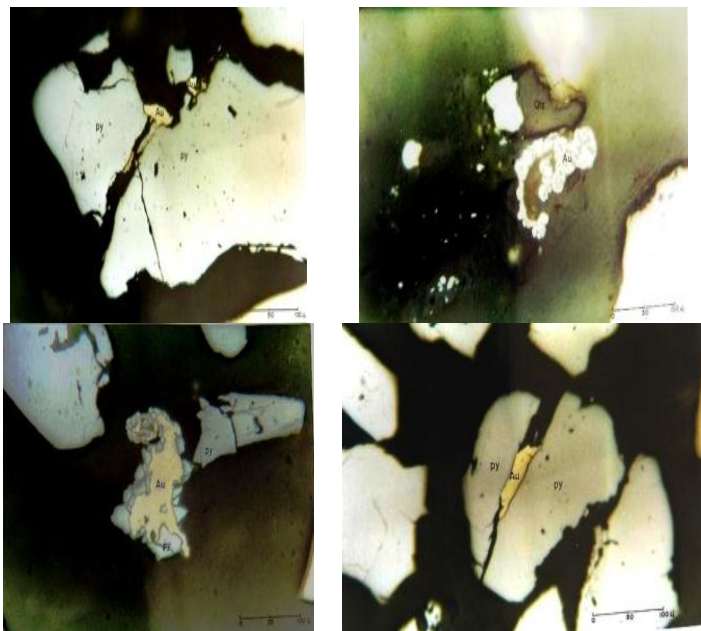


Figura 8. Micrografías, grado de liberación de oro en piritas

En la micrografías de la Figura 8, se observa pirita que se encuentra como base de oro liberado, con este criterio el mineral fue sometido a una recuperación de oro físico por procesos gravimétricos como una etapa preliminar, obteniéndose tres

productos; oro físico, concentrado y colas finales según la establecido en la Figura 6. El material que se sometió a tostación oxidante fue el concentrado y el producto de este proceso se destinó a cianuración (no siendo objetivo de éste trabajo analizar la concentración gravimétrica ni los procesos de tostación y cianuración). La composición química de los productos de la etapa preliminar, se muestra en la Tabla 3.

La solución rica obtenida del proceso de cianuración, muestra un contenido de 33.75 mg/l de oro, éste producto se destinó a la celda tipo Zadra, para el cual fueron realizadas pruebas preliminares en celda convencional cuyo objetivo fue determinar parámetros técnicos para aplicación en celda tipo Zadra. Los resultados de ésta pruebas se muestran en la siguiente tabla:

En la Tabla 4, se puede observar tres pruebas realizadas en celda convencional, el rendimiento del proceso de electrólisis llega al **33.41%** cuando la prueba fue realizado sin la adición de exceso de CN^- ni Na^+ , estos rendimientos suben hasta **89.88%** cuando fue agregada a la solución **0.40g Na^+** y **99.75%** cuando se agregó **6.50g CN^-** a 40°C. Para las pruebas en celda tipo Zadra se ha tomado en cuenta los anteriores parámetros y se usó viruta de acero como cátodo cuya composición se detalla en la Tabla 5.

Los parámetros utilizados para realizar las pruebas en celda tipo Zadra, se resumen en la Tabla 6:

Los resultados de las pruebas en celda tipo Zadra se muestran en las siguientes figuras 9 al 12:

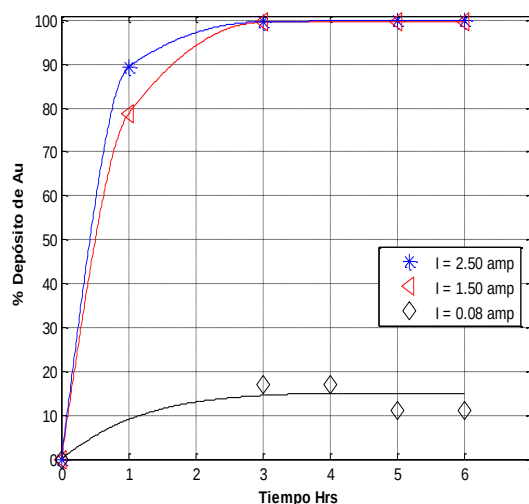


Figura 9. Depósito de Oro; $CN^- = 3.14$ g/l a 50°C

Tabla 3. Productos etapa de Tostación y lixiviación

Producto	Au	Ag	Fe (%)	S (%)
Calcina Py (g/t)	142.00	64.64	61.72	2.60
Sol. Rica (mg/l)	33.75	5.50	375.00	1727.50
Resd sólido	20.00	45.08	56.65	1.82

Tabla 4. Pruebas preliminares en calda convencional

Parámetro	Condición	$CN^- = 3.14$ g/l $Na^+ = 0$ g	$CN^- = 3.14$ g/l $Na^+ = 0.40$ g	$CN^- = 6.50$ g/l $Na^+ = 0$ g
Au/sol. Mg		18.26	10.13	10.13
Tipo Cátodo		Plancha inox.	Plancha inox.	Malla inox.
Tipo Anodo		Plancha inox.	Plancha inox.	Plancha inox.
T °C		20	40	40
σ amp/dm ²		1.774	1.172	1.563
Au catód. mg		6.10	9.1	10.1
% Rend.		33.413	89.88	99.75

Tabla 5. Viruta de acero inoxidable AISL 304

%C max.	%Mn max	%Si max	%Cr max	% Ni max
0.08	2.00	1.00	18-20	8-12

Tabla 6. Parámetros para pruebas en calda Zadra

Vol. ml	1500 – 3000	Q l/hr	25.71
Au/sol. mg	50.63- 101.25	CN^- libre	3.14
Ag/sol. mg	8.25 - 16.50	$NaCN$ Adic.	5.03
T °C	30 – 40 - 50	$NaOH$ Adic.	0.88
I (amp)	0.08- 1.5- 2.5	Cátodo	Viruta Fe inox
pH	12	Anodo	Plancha Fe inox

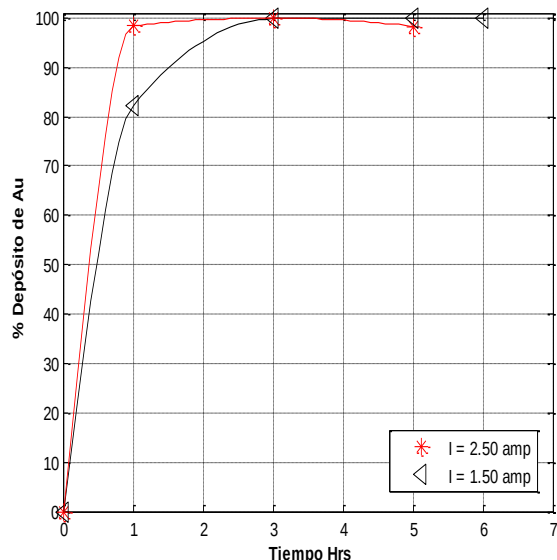


Figura 10. Depósito de Oro; $NaOH = 0.80$ g/l a 50°C

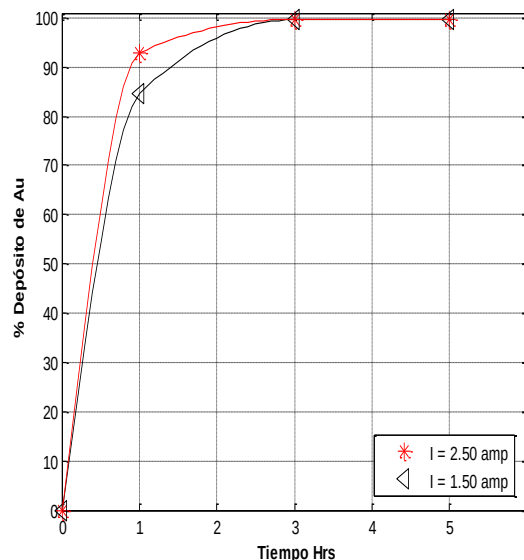


Figura 11. Depósito de Oro; $CN^- = 5.03$ g/l T = 30°C

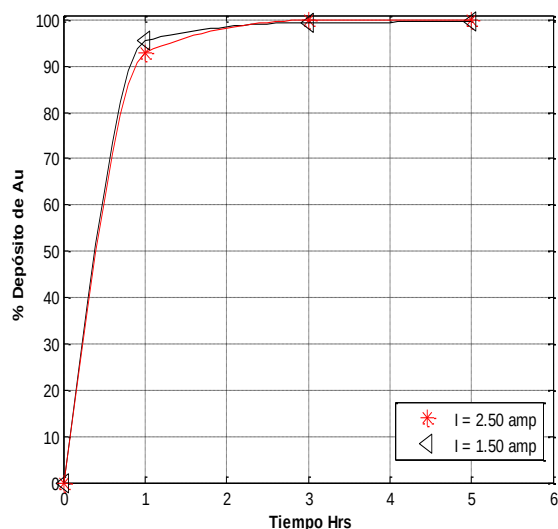


Figura 12. Depósito de Oro; $CN^- = 5.03g/l$ $T = 40^\circ C$

De los anteriores resultados, el proceso de electrolisis en celda tipo Zadra, para el caso del oro, llega a rendimientos del 98% en un tiempo óptimo de tres horas de electrolisis con un caudal de recirculación de la solución de 25.71 l/hr. La intensidad de corriente más adecuada para la electrolisis es de 1.5 a 2.5 amp. llegando a depositar hasta el 98%, y no así cuando se trabaja a una intensidad de corriente igual 0.08 amp.

Por otra parte también se ha observado la deposición de complejos cianurados de hierro como ferrocianuros y ferricianuros férricos los cuales adquirieron una coloración azul tanto en el cátodo como en el ánodo, estos compuestos han sido de difícil separación en el tratamiento de limpieza del oro depositado. Los resultados de la electrodeposición de plata se presentan en las 13 al 16.

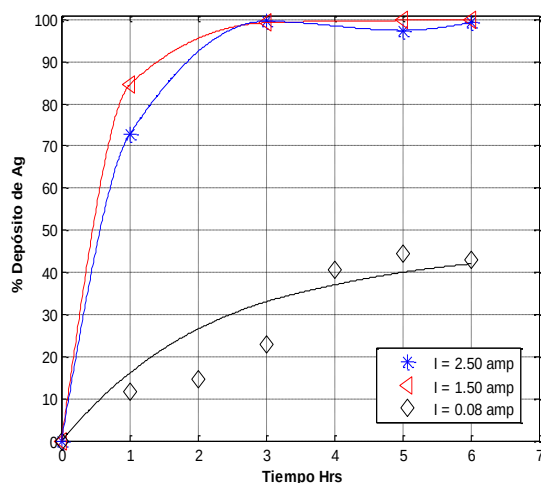


Figura 13. Depósito de Ag; $CN^- = 3.14g/l$ $T = 50^\circ C$

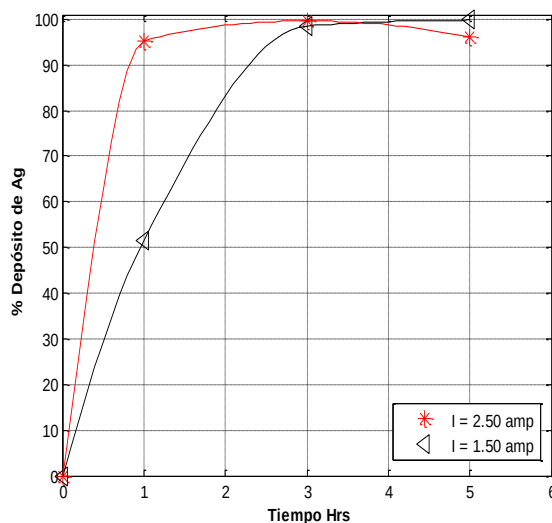


Figura 14. Depósito de Ag, $NaOH = 0.80g/l$ $T = 50^\circ C$

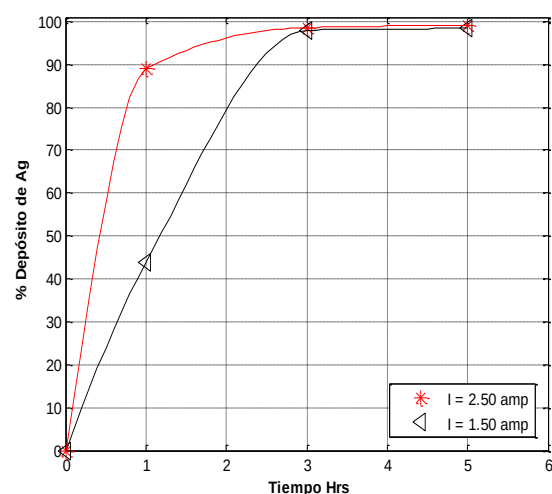


Figura 15. Depósito de Ag; $CN^- = 5.03 g/l$ $T = 30^\circ C$

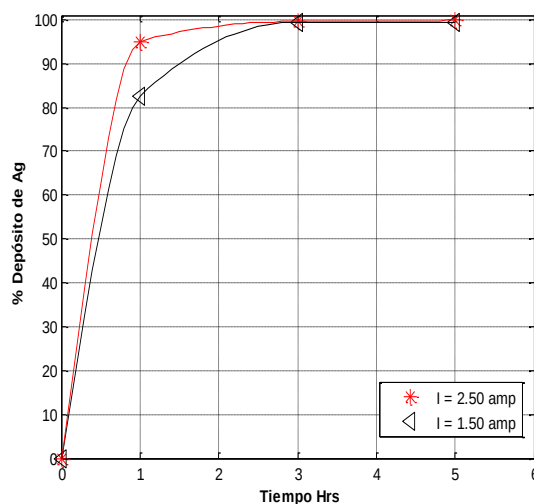


Figura 16. Depósito de Ag; $CN^- = 5.03 g/l$ $T = 40^\circ C$

De las Figuras 13, 14, 15 y 16, para el caso de la deposición de plata utilizando viruta de acero inoxidable de la celda tipo Zadra, llega a rendimientos del 99% en un tiempo óptimo de tres horas de electrolisis, en similitud con la electrólisis del oro. El porcentaje del depósito, con una intensidad de corriente de 0.08 amp., son bastante bajas como se puede observar en la Figura 13.

Comparando las Figuras 9, 10, 11 y 12 con las Figuras 13, 14, 15 y 16 que corresponden a la electrólisis de oro y plata, la temperatura es un factor determinante para la electrodeposición de oro, así, un rango aceptable de temperatura de 30 a 40°C da lugar a recuperaciones que llegan a 98 %.

5. CONCLUSIONES

En base a los objetivos y el trabajo de investigación, las conclusiones son las siguientes:

En la composición mineralógica de la muestra, el oro mayoritariamente esta encapsulado en la pirita, que representa el 90% del mineral y el 10% está asociado con cuarzo y otros constituyentes. La liberación de oro en la muestra es de 83,34 % a una granulometría de $-75\mu\text{m}$.

La solución rica, procedente de la cianuración analiza 33.75 mgAu/l, 5.5 mgAg/l, 375 mgFe/l y 1727.5 mgS/l, donde la conductividad de la solución es 17.7 milimhos/cm. En estas condiciones se realizaron las pruebas de electrolisis en celda convencional lográndose deposiciones en el rango de 33.4 a 97% de oro.

En el desarrollo de las pruebas en celda tipo Zadra, se consideraron las siguientes variables operacionales: tiempo de electrólisis, intensidad de corriente, temperatura y la adición de cianuro de sodio e hidróxido de sodio. Alcanzando recuperaciones del 98% oro y 99% plata en condiciones de $I = 1,5 \text{ Amp}$, $T = 30 \text{ a } 40^\circ\text{C}$, $t = 3\text{hr}$. Y $Q_i = 25,71 \text{ l/hr.}$, siendo las mejores condiciones de trabajo para la electrolisis en celda tipo Zadra.

El efecto en exceso de cianuro de sodio e hidróxido de sodio, mejora la recuperación de oro y plata, llegándose, en las mejores condiciones de trabajo a obtener recuperaciones de 98% oro en una hora de operación. Cuando se trabaja sin la adición de los anteriores reactivos solo se llega a obtener recuperaciones del 79% de oro. El comportamiento de la recuperación electrolítica de la plata es similar al caso del oro.

El efecto de los contaminantes, como iones de calcio, hierro y azufre, en la electrolisis en celda Zadra, no han mostrado una incidencia significativa, aunque en el proceso tanto en celda convencional como en celda tipo Zadra se ha observado una deposición de coloración azul que probablemente se deba a la presencia de complejos cianurados de hierro, aunque no se han determinado el efecto y las cantidades mínimas o máximas de estos constituyentes. Debe ser una condición necesaria controlar el contenido de hierro y azufre para trabajar en los procesos de cianuración y electrolisis, este aspecto está fundamentada en los diagramas Eh-pH.

El proceso de electrolisis en celda tipo Zadra para recuperar oro y plata, es técnicamente factible a partir de soluciones procedentes de la etapa de cianuración.

El proceso de electrolisis en celda tipo Zadra, también puede ser aplicado en pequeña escala debido a su funcionalidad, ya sea para refinar metales preciosos o para recuperar valores a partir de soluciones con altos contenidos de oro.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Cámara Nacional de Minería
- [2] O.Barbosa,A.J.Monhemius. *Thermovhemistry of Thiocyanate systems for leaching Gold and Silver ores*. Precious Metals '89. Edited by M.C.Jha and S.D.Hill. The Mineral, Metals & Materials Society 1988. pp 307-339
- [3] Fathi Habashi. *Principles of Extractive Metallurgy, Hydrometallurgy*. Volume 2, Laval University, Quebec City, Canada. Copyright 1970 by Gordon and Breach, Science Publishers, Inc. Second Printing November 1980. pp 24-42.
- [4] Anti Roine, Jarkko Mansikka-aho. *HSC 6.0 Outokumpu Technology Research Oy*, 1974-2006
- [5] F. VALDA M. *Electroobtención de oro a partir de soluciones cianuradas*. Tesis de Grado UMSA 1987.
- [6] J.A.GARCIA,E.A.NUÑEZ. *Desarrollo de un sistema de electrorecuperación de oro y plata desde soluciones diluidas de cianuración de minerales*. VII Congreso Nacional de Metalurgia. Universidad de Concepción-Chile-1992. pp 261-265.
- [7] H.ALARCON B. *Caracterización mineralógica y grado de liberación de oro*. Informe de resultados, Abril 2003 IGEMA, Facultad de Geología UMSA.
- [8] Y. Guan, K.N.Han. *An Electrochemical Study on the Dissolution of Gold and Copper from Gold/Copper Alloys*. pp.817-827. TMS-B Volume 25B.
- [7] N.P.FINKELSTEIN. *The Chemistry of the Extraction of Gold from its Ores*. Gold Metallurgy in South Africa, Chapter 10 pp 284-347.