

CIANURACION INTENSIVA DE UN CONCENTRADO AURÍFERO

Ing. Angel Azañero Ortiz, Ing. Pablo A. Nuñez Jara, Ing. Aquiles Figueroa Loli,
Ing. Elard Leon Delgado, Ing. Manuel Caballero Rios, Ing. Víctor Vega Guillén,
Ing. Manuel Cabrera Sandoval, Ing. Marco Morales Valencia

RESUMEN:

Se plantea la necesidad de aprovechar la mejor forma de aumentar el valor agregado de nuestros productos mineros, específicamente de concentrados que contienen metales preciosos, para obtener un máximo beneficio económico. Se formula un método que permite determinar condiciones óptimas para lixiviar concentrados.

Este método se basa fundamentalmente en cianurar concentrados auríferos que respondan eficientemente a este proceso, luego desarrollar alternativas de recuperación de Au y Ag de las soluciones pregnant, mediante los métodos conocidos de carbón en pulpa y merril crowe u otro que consiste en precipitar selectivamente la plata con sulfuro de sodio y de la solución remanente recuperar el oro con carbón activado, obteniendo eficientemente productos separados de alta calidad.

Palabras clave: Cianuración, Hidrometalurgia

ABSTRACT:

The need of taking advantage of the best way of increasing the added value of our mining products is established, specifically of those concentrates containing precious metals, in order to obtain a maximum economic benefit.

A method is formulated which allows to determine the best conditions to leach concentrates.

This method is fundamentally based in the cyanidation of auriferous concentrates that respond efficiently to this process. After this, the development of alternatives of gold and silver recovery from the pregnant solutions, through the well-known carbon in pulp and merril crowe methods, or another one consisting in the selective precipitation of silver with sodium sulfide and the recovering of gold through activated carbon from the rest of the solution, thus obtaining separated high-quality products efficiently.

Key words: Cyanidation, hydrometallurgy.

INTRODUCCION

Uno de los problemas más importantes en nuestro país es que actualmente todavía se vende concentrados con metales preciosos, los cuales sufren una serie de pagos por transporte, maquila, castigos por mermas, impurezas etc. Que al final de la venta el propietario solo recibe alrededor del 60% del valor real.

Por otro lado en algunas minas auríferas se están procesando las partes superficiales y oxidadas, una vez que el mineral de estas zonas se agote, las empresas mineras que quieran seguir operando tendrán que explotar las zonas sulfuradas y en muchos casos el oro se concentra en los sulfuros de fierro: pirita y arsenopirita y en algunas ocasiones en chalcopirita, galena, estibina etc. Como se sabe el oro que esta en estos sulfuros requiere una etapa de concentración por flotación previa a lixiviar.

La mejor manera de aprovechar nuestros concentrados es darle mayor valor agregado con el objeto de obtener un óptimo beneficio económico, este estudio desarrolla un modelo técnico económico que permite mejorar el valor d nuestros productos mineros, especialmente de concentración auríferos-argentíferos, mediante métodos de lixiviación, estudio de los parámetros de operación y recuperación de valores de las soluciones ricas de cianuración.

ANTECEDENTES

El estudio que desarrollamos consiste en aplicar cianuración intensiva a concentrados de flotación y/o gravimetría ricos en metales preciosos, así como la recuperación de valores de las soluciones pregnant, para lo cual se evaluarán varias alternativas que estarán en función del contenido de Au y Ag.

Las razones que fundamentan esta investigación son:

- 1- Alto contenido de contaminantes en los concentrados principalmente As y Sb, lo que dificulta o imposibilita su comercialización.

CUADRO N°1
ANALISIS QUIMICO DEL MINERAL

Leyes % Au y Ag en OZ/TC									
Pb	PbO	Cu	CuOx	Au	Ag	As	Sb	Fe	S
2.4	1.6	0.20	0.10	0.65	9.20	0.90	0.30	28.0	2.4

CUADRO N°2
RESULTADO DE FLOTACION

Producto	Peso	Leyes OZ/TC				Recuperación%	R.C
		Au	Ag	As	Au	Ag	-
Concentrado	14.0	4.54	54.9	1.56	91.40	80.25	7.14
Relave	86.0	0.07	2.2		8.60	19.75	
Cab. Calc.	100.0	0.70	9.60		100.00	100.00	

CUADRO N°3
RESULTADOS DE ANALISIS GRANULOMETRICO Y QUIMICO DEL
COCENTRADO

Producto	Peso	Leyes: OZ/TC		Recuperación %	
		Au	Ag	Au	Ag
+ 200m	11.54	8.10	98.40	20.10	19.38
- 200m	88.46	4.20	53.40	79.90	80.62
Cab. Calc.	100.00	4.65	58.60	100.00	100.00

2- Evitar pagos por maquila, transporte, castigos por impurezas, mermas etc. Cuando se comercializa concentrados.

3- Agotamiento de reservas minerales ricas, lo que obliga a explotar minerales de leyes marginales, que requieren una etapa de concentración previa, cianurándose solo una fracción pequeña del mineral original.

4- Muchas Cías. Mineras están explotando las zonas superficiales y oxidadas de la mina, una vez que se agote estas reservas, continuarán sus labores en las zonas profundas y sulfuradas, como el oro se asocia a estos sulfuros, hay que flotarlos y solo cianurar los concentrados, entre los objetivos que se persiguen son:

- Dar mayor valor agregado a productos primarios
- Diseñar diagramas de flujo de cianuración de concentrados y métodos de recuperación de Au y/o Ag de las soluciones ricas.

METODOLOGIA

El mineral en estudio tiene una ley de 0.65 OZ/TC de Au y 9.2 OZ/TC Ag, al procesarlo por flotación se obtiene un concentrado con 4.54 OZ/TC de Au y 54.9 OZ/TC de Ag, el Análisis Químico y Granulométrico del concentrado

nos indica que el 88% del material está a menos de 75 micrones y alrededor de 80% de Au y Ag se encuentra distribuido en estos tamaños.

El concentrado de flotación es la materia prima, al cual se aplicó cianuración intensiva, lixiviándose con fuerte concentración de cianuro y oxígeno, el O₂ se obtuvo con fuerte inyección de aire al sistema. Se reportan las condiciones de trabajo, consumo de reactivos y extracción de oro y plata, con esta información se ha procedido a evaluar la recuperación de oro y plata de la solución rica; evaluándose tres alternativas. Que mencionamos a continuación:

a) Adsorción en carbón activado (CIP).

b) Precipitación con polvo de zinc.

c) Precipitación selectiva de Ag con Na₂S y posterior recuperación de oro en carbón activado.

RESULTADOS DE CIANURACION DEL CONCENTRADO

Se reportan los resultados finales de tres pruebas de cianuración realizadas con el concentrado. La prueba N° 1 se realizó con el concentrado tal como se obtiene de flotación, la prueba N° 2 y 3, con simulación de remolienda al 100% -200 m y -400 m respectivamente, las otras condiciones se mantuvieron constantes:

A continuación se detalla las condiciones de operación y los resultados obtenidos en la segunda prueba:

PRUEBA N° 2

Condiciones de trabajo	: Prueba N° 2
Concentrado	: 553.4 gr
Agua	: 1292 cc
Dilución L/S	: 2.33/1
Sólidos	: 30%
Pulpa	: 1500 cc
NaCN	: 0.30 %
PH	: 11.1 – 10.4
Equipo	: Agitador de velocidad variable con fuerte burbujeo de aire para inyectar O ₂ al sistema.

CUADRO N° 4
RESUMEN DE PRUEBAS DE CIANURACION

Prueba N°	Granulometría Concentrado	Leyes Residuo *		Recuperación %	
		Au	Ag	Au	Ag
1	88.46 - 200m	0.39	12.7	92.60	80.03
	100.00 -				
2	200m	0.27	9.0	94.17	83.75
	100.00 -				
3	200m	0.11	8.0	97.93	86.28
	100.00 - 400m				

CUADRO N°5
CONTROL DEL POCESO: PRUEBA N°2
CONSUMO DE REACTIVOS: Kg/tms

Tiempo Horas	%	CIANURO			NaOH	
		Libre	Agregado	Parcial	Acumulado	Acumulado
0	0.30	3.88	3.88	--	--	4.50
2	0.06	0.78	3.10	5.60	5.60	4.80
4	0.10	1.29	2.59	4.52	10.12	4.90
6	0.10	1.29	2.59	4.52	14.64	5.10
12	0.18	2.33	1.55	2.80	17.44	5.20
24	0.18	2.33	1.55	2.80	20.24	5.30
Total		2.33	15.26	--	22.24	5.30

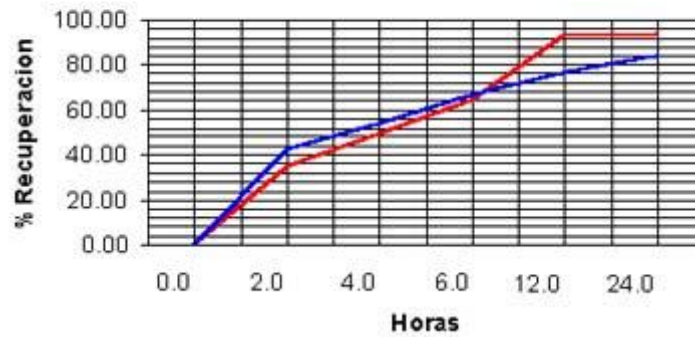
CUADRO N° 6
CONTROL DE REDUPERACION DE Au Y Ag: PRUEBA N° 2

Tiempo Hrs.	Leyes Residuo: OZ/TC		Extracción	
	Au	Ag	Au	Ag
0	4.62	55.4	00.00	00.00
2	3.00	32.1	35.00	42.00
4	2.36	25.5	49.00	54.00
6	1.63	18.3	64.79	67.00
12	0.36	13.3	93.14	76.16
24	0.27	9.0	94.17	83.75

**TIEMPO VS CONSUMO ACUMULADO
CN y NaOH (Prueba N°2)**



**% RECUPERACION Au , Ag vs
TIEMPO (Prueba N° 2)**



CUADRO N°7
BALANCE METALURGICO: PRUEBA M

Producto	Vol. O	Leyes **		Distribución	
		Peso	Au	Ag	Au
Sol. Rica	258 cc	63.9	682.5	94.17	83.75
Residuo	110.7 gr	0.27	9.0	5.83	16.25
Cab. Clc.	110.7 gr	4.62	55.4	100.00	100.00

**** mg/l en soluciones y OZ/TC en residuo y cabeza calcuda.**

Nota : La otra parte de la pulpa fue utilizada para realizar pruebas de adsorción

ABSORCION DE ORO Y PLATA EN CARBON ACTIVADO POR EL METODO DE CARBON EN PULPA

Con la finalidad de recuperar oro y plata de las soluciones ricas, se empleó carbón activado para lo cual realizamos 6 pruebas de precipitación simulando el método de carbón en pulpa (CIP), con los resultados obtenidos se ha graficado las Isotermas de Extracción, mediante las cuales calculamos el N° de etapas de extracción leyes en carbón y en soluciones barren en cada etapa (gráficos N° 1 y 2), los resultados están en los cuadros N° 8 y 9.

CONDICIONES COMUNES DE ADSORCION

Carbón : -10 + 20 mallas
 Tiempo : 24 horas
 Cianuro libre : 0.18%
 Sólidos en pulpa : 30%
 Dilución; L/S : 2.33/1

Leyes en solución rica
 Ag : 682.5 mg/l; 21.94 OZ/TM solución,
 Au : 63.9 mg/l ; 2.05 OZ/TM solución,

La carga de oro y plata en carbón se calcula mediante la fórmula:

$$Q_j = (C_{oj} - C_j) (W/M) \text{ j y}$$

$C_{oj} = C_o (r_o/r_j)$, donde

$C_j = \text{OZ/TM Au, solución}$

$Q_j = \text{OZ/TM Au, en carbón en solución de concentración } C_j.$

Co= Concentración inicial de solución
 r= Relación en peso de solución a sólidos
 W/M= Relación en peso de solución a carbón

CUADRO N° 8
RESULTADOS DE ADSORCION

Prueba	Pulpa	Solución			Carbón: OZ/TN			W/M Extracción %		
		Barren: OZ/TN			Gr	Ag	Au	--	Ag	Au
N°	cc	Cc.	Ag	Au	Gr	Ag	Au	--	Ag	Au
1	400	344	20.29	1.83	0.3	300.0	145.71	1146.7	7.52	10.73
2	300	258	19.93	1.67	0.5	295.2	124.09	516.0	9.16	18.54
3	200	172	18.87	1.47	0.8	258.0	117.10	215.0	13.99	28.29
4	100	86	13.18	0.51	2.0	243.6	58.11	43.0	39.93	75.12
5	100	86	6.43	0.22	5.0	187.1	28.21	17.2	70.69	89.27
6	100	86	2.81	0.10	10.0	109.4	14.19	8.6	87.19	95.12

Donde: W/M = Peso de solución a carbón.

CUADRO N° 9
RESULTADOS DE ISOTERMAS DE ADSORCION

Etapa	Carbón: OZ/TC		Sol. Barren: OZ/TON		Extracción %			
	Au	Ag	Au	Ag	Au		Ag	
N°	--	--	--	--	Parc.	Acum	Parc.	Acum
1	100	250	1.20	15.20	41.46	41.46	30.72	30.72
2	66	212	0.68	10.40	25.36	66.82	21.88	52.60
3	37	176	0.36	6.50	15.61	82.43	17.77	70.37
4	29	148	0.18	3.80	8.78	91.21	12.31	82.68
5	9	128	0.08	2.10	4.88	96.09	7.75	90.43
6	4	116	0.03	1.20	2.44	98.53	4.10	94.53
7	1	100	0.02	0.70	0.49	99.02	2.28	96.87

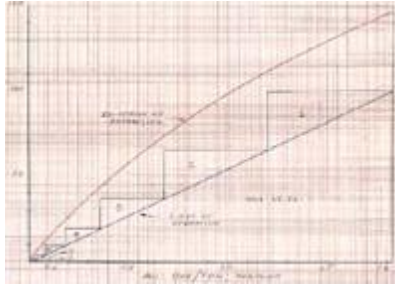


Gráfico 1. Isoterma de extracción de Oro

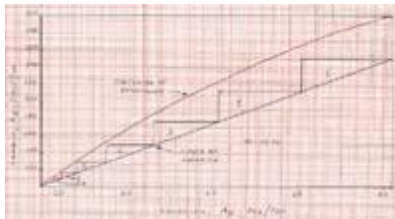


Gráfico 2. Isoterma de extracción plata

DISCUSION

- * El concentrado de flotación es dócil al proceso de cianuración con 85% y 95% de extracción para la plata y el oro respectivamente en 24 horas de tratamiento.
- * La inyección de oxígeno al proceso en forma de aire u oxígeno puro tiene algunas ventajas; así por ejemplo: disminuye la concentración de cianuro, consumo de reactivos; tiempo de tratamiento y aumenta la recuperación.
- * El consumo de reactivos es alto pero tratándose de concentrados ricos en oro y plata, donde la recuperación es buena, no influye significativamente en la parte económica del proceso.
- * El método de carbón en pulpa da buenos resultados en cuanto a recuperación, pero requiere una fuerte cantidad de carbón; la relación: solución /carbón es 12.76 y son necesarias 7 etapas de adsorción (**gráficos N° 1 y 2**), el exceso de carbón requerido es principalmente por la alta ley en plata que tiene la solución rica así como por la baja capacidad de adsorción que tiene el carbón sobre la plata.

Recuperación de Oro y Plata de Soluciones Ricas en Plata

Los métodos que mencionamos a continuación son muy eficaces la recuperación de ambos casos es alrededor de 99%.

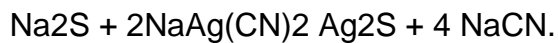
I. Precipitación con polvo de zinc.

El método conocido como merrill-crowe requiere de soluciones de oxigenadas y excenta de sólidos lo que implica que el proceso requiere un control estricto de estas variables.

II. Precipitación Selectiva de Plata con Sulfuro de sodio y posterior recuperación de oro en carbón activado:

La clave de este procedimiento radica en la formación de flóculos de Ag_2S fácilmente filtrables mediante adición de cal en dosis de 250 ppm; 0.06 lb en Na_2S por onza de plata y 1 hora de agitación:

La reacción:



Con este método se pueden tratar soluciones provenientes de cianuración o soluciones concentradas de re-extracción de oro - plata de carbón activado. La **Figura N°1** nos muestra el Diagrama de Flujo.

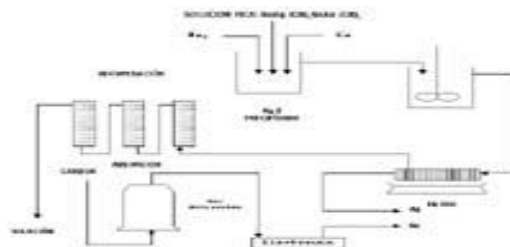


Figura 1. Diagrama de flujo para efluentes de cianuración con alto contenido de plata.

CONCLUSIONES

* Es posible alcanzar altas recuperaciones al cianurar concentrados de flotación y/o gravimetría ricos en oro y plata.

* El oro y plata de soluciones cianuradas se puede recuperar por medio de uno de los tres métodos descritos a continuación.

- 1.-Precipitación en carbón activado.
- 2.-Precipitación con polvo de zinc.
- 3.-Precipitación selectiva de Ag con Na₂S y posterior recuperación de oro con carbón activado **Fig. N°1.**

* Debido al alto contenido de plata en la solución rica obtenida los métodos de recuperación de metales preciosos más apropiados son los dos últimos, siendo más ventajoso el tercero porque produce plata con bajo contenido de oro y oro con bajo contenido de plata.

* Esta investigación puede servir como marco referencial para aplicarlo a otros minerales, para lo cual se debe determinar las variables más apropiadas e importantes para cada caso específico.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento al Consejo Superior de Investigaciones, al Decano de nuestra Facultad, al Coordinador y Director de Metalurgia y a todos los que colaboraron con el Proyecto de Investigación N°01601031.

BIBLIOGRAFIA

- ✚ **BHAPPU ROSHAN B. Y LEWIS MILTON F.**, "Practical And Economics Aspects of Processing Gold Ores", Presented at International Gold/Silver, Conference Reno – Nevada – 1985.
- ✚ **CLARKE N.C., N. ARCHIBALD AND THOMAS**, Improved Operating Efficiency at Mount Percy Through the Use of Oxigen in Cyanidation Extractive Metallurgy of Gold and Base Metals Kalgoorlie, 26 – 28 october 1992. Pags. 101 – 112.
- ✚ **CONTRERAS CASTRO, DAVID**; "Experimentación de Minerales de Oro y Plata por el Proceso de Cianuración" – Boletín N° 8 –Comisión de Fomento Minero – México D.F. 1967.
- ✚ **CORNEJO LEONARDO M. Y SPOTTIS WOOD DAVID J.** «FUNDAMENTAL ASPECTS OF THE GOLD CYANIDATION PROCESS: A REVIEW» Mineral y Energy Resurces - Colorado School Of Mines. Vol. 27 - N° 2 . Marzo 1984. Pag. 2 -14.

- ✚ **COPPERTHWAIT R.G.**, "The Mechanism of The Adsorption of Gold Cyanide On Activated Carbon", Journal of the South African Institute of Mining And Metallurgy – Pag. 344 – 356 – Setiembre 1980.
- ✚ **DE MONTREUIL DIAZ LUIS ANGEL**, "Mineralogía de Oro y su Relación con el Tratamiento Metalúrgico", Revista: CIP - Capítulo Geólogos, Vol. I, N° 1 - Enero - Marzo 1984.
- ✚ **FERRON C.J., C.A. FLEMING – D.B. DREISINGER P.T. O´KANE**, "Single –Step Pressure Leaching of Base and Precious Metals (Gold and PGM´S) Using the Platsol Process" - III Simposio Internacional de Mineralurgia–TECSUP-Agosto 2000. Pag. 1 – 18
- ✚ **HALL K.B.** "Homestake Uses Carbon in Pulp to Recover Gold From Slimes" World Min. Vol 27, N°12- 1974, Pag. 44.
- ✚ **HEINEN, G.E. McCLELLAND AND LINDSTRON R.E.** "Recovery of Gold From Arsenopirite Concentrates By Cyanidation Carbon Adsorption" Report of Investigations 8458 – Bureau of Mines United States.
- ✚ **H.J. HEINEN, D.G. PETERSON Y R.E. LINDSTRON**, "Processing Gold Ores Using Heap Leach – Carbón Adsorption Methods" Int. Bureau of Mines; P.A. 22890, U.S. Government Printing Office: 1978-703-103/63. Pag. 17-18.
- ✚ **HUSSEY.S.J. , SALISBURY H.B. AND POTTER G.M.**, "Carbon In Pulp Gold Adsorption From Cyanide Leach Slurries", Report of Investigations- 8368- Bureau of Mines United States – 1979.
- ✚ **HUSSEY S.J. SALIBURY H.B. AND POTTER G.M.**, "Carbon In Pulp Silver Adsorption From Cyanide Leach Slurries Of Silver Ore" Report of Investigations 8268 Bureau Of Mines United States – 1978.
- ✚ **JOHN MARSDEN AND IAIN HOUSE**, "The Chemistry of Gold Extraction", Great Britain – 1993, Cap. 6 – Pag. 258 – 308.
- ✚ **MCDOUGALL GLORIA, J. AND HANCOCK R.D.** "Activated Carbón And Gold A. Literature Survey" – Mineral Sci. Eng. Vol N° 12, N° 2, April 1980 – Pag- 85 –99.
- ✚ **OJEDA CH. MARIA J.** «Ciclo Geoquímico del Oro y Plata», Sociedad Geológica del Perú. LX Aniversario, Pag. 1 - 5, Julio de 1984.
- ✚ **P.L. SIBRELL AND J.D. MILLER** Significance of Graphitic Structural Features In Gold Adsorption by Carbón "Minerales and Metallurgical Processing", November 1992 – Pag. 189 – 195.
- ✚ **P.D. KONDOS, G. DESCHENES, R.M. MORRISON**, "Process Optimization Studies In Gold Cyanidation" P.D. Kondos/Hidrometallurgy – 29 (1995). Pag. 235 – 250. Mineral Sciences Laboratories. Ottawa- Cánada – Junio 1995.
- ✚ **PIZARRO R.S. Y ANTONIO F.V.**, "The Carbon In Pulp Plant of The Masbate Gold Operations Philippines" – Atlas Consolidated Mining Devolopment Corp. – 110 th. AIME Meeting, Chicago, Illinois, February 22-26, 1981, Pag. 65 – 75.
- ✚ **ZADRA J.B. ENGEL A.L. y HEINEN H.J.**, "Process For Recovering Gold And Silver From Activated Carbon By Leaching And Electrolisis" , Report of Investigations 8443 – Bureau Of Mines United States 1952.

✚ **AZAÑERO ORTIZ, ANGEL**, "Recuperación de Oro de Soluciones Cianuradas", V Simposium Nacional de Minería Aurífera - UNMSM, Mayo 1999 - Pag. 64 - 74.