

Recibido: 25 / 11 / 2008, aceptado en versión final: 19 / 12 / 2008

Tratamiento hidrometalúrgico del oro diseminado en pirita y arsenopirita

FALTA TÍTULO EN INGLÉS

Responsable: Angel Azañero Ortiz,**Miembros: Pablo Antonio Núñez Jara, Vidal Aramburú Rojas, Elard León Delgado, Sosimo Fernández Salinas Y Luis Orihuela Salazar, Estudiantes: Jackeline Palomino Reyna Y Antonio Romero Manzanares**

RESUMEN

El mineral es complejo, presenta abundante contenido de sulfuros: pirita, arsenopirita y pirrotita, en menores proporciones: calcopirita, esfalerita y probablemente sulfosales que aportan: cobre, plata, arsénico y antimonio, no se aprecia oro libre: Por los resultados obtenidos, el mayor contenido de oro está en el relave de flotación Cu-Ag, constituido por sulfuros de hierro, como ganga no metálica prevalece el cuarzo, carbón e insolubles, es muy duro, naturalmente muy ácido, pH:5.3. Es posible obtener un concentrado de flotación Cu-Ag, con As y Sb como contaminantes y alrededor del 80% del oro total queda en el relave, al cual efectuamos una cianuración directa teniendo como variables pH y granulometría. No se ha logrado lixiviar más del 11% del oro contenido en el relave que ensaya 3.2 gramos Au/TM, considerando los precios actuales tiene un valor aproximado \$100 por tonelada.

Palabras clave: Hidrometalurgia del oro en pirita y arsenopirita.

ABSTRACT

The ore is complex and presents abundant content of sulphurs: pyrite, arsenopyrite and pyrrhotite, also in few proportion: chalcopyrite, sphalerite and probably sulfosals that add: copper, silver, arsenic and antimony. Free gold is not appreciated in the obtained results, the major content of gold is in tails of flotation Cu-Ag, constituted by sulphurs of iron, as a non metallic residue prevails the quartz, coal and the insolubles, it is quite strong and naturally very acid, pH:5.3. It is possible to obtain a concentrate of flotation Cu-Ag, with As and Sb like pollutants and around 80% of the total gold stays in tails, to which we effect a direct cyanidation having variant like pH and granulometry, it has not been possible to leach more than 11 % of the gold contained in tails that gives 3.2 grams Au/TM, considering the current prices it has an approximate value 100 US \$ Ton.

Keywords: Hydrometallurgy of gold, pyrite, arsenopyrite.

INTRODUCCIÓN

El oro en la naturaleza [2] se encuentra en diferentes formas: oro libre o nativo, electrum, con los sulfuros básicos plomo, cobre y raramente con el zinc; es muy usual su asociación con los sulfuros [1] de hierro principalmente pirita, arsenopirita, marcasita y pirrotita, en los cuales se puede encontrar distribuido en sus diferentes estructuras, dislocaciones, fisuras, imperfecciones. Cuando ocurre en esta forma, con una molienda relativamente

fina puede responder en forma eficiente a procesos de flotación o cianuración, tecnologías que pueden ser usadas para recuperar oro de estos minerales; si ninguno de estos métodos da resultados satisfactorios, se tienen otros procesos [4] de pre-tratamiento de oxidación a minerales sulfurados que tienen el metal precioso, con el objeto de hacerlos más dóciles al tratamiento convencional de cianuración, indudablemente más difíciles y costosos de implementar.

En estos sulfuros se puede experimentar con oxidación a baja presión y temperatura con o sin medio alcalino previo a la cianuración convencional, sin embargo, el oro también puede manifestarse en los sulfuros de hierro en solución sólida en tamaños atómicos o subatómicos, presencia de carbón o similares, ganga alcalina, cuando esto sucede se requiere de procesos [5,6] muchos más complicados y caros como, por ejemplo: oxidación a alta presión y temperatura, tostación, bacteriana, nítrica o cloración, según el mineral lo requiera, que en algunos casos es necesario hasta dos procesos de oxidación previo a la lixiviación convencional, lo que parece no ser el caso de este mineral.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

En función del contenido de valores en la muestra se ha seguido el siguiente diagrama de flujo:

- Flotación de Cu-Ag.
- Cianuración directa del relave de flotación, variables evaluadas: pH y granulometría.

OBJETIVO

1. Recuperar los valores metálicos por flotación y cianuración en función del contenido metálico del mineral.
2. Aplicar métodos de lixiviación directa a minerales o relaves de flotación auríferos sulfurados para recuperar el metal precioso.

HIPÓTESIS

El 80% del oro está en el relave de flotación principalmente constituido por sulfuros de hierro, planteamos la hipótesis que el metal precioso de este mineral, debe estar asociado a la pirita, arsenopirita y/o pirrotita; un estudio mineragráfico nos dará mayor información con cual de estos sulfuros prevalece.

MATERIA PRIMA

El mineral es muy duro, peso específico alto, debido a su contenido metálico es muy complejo, tiene abundante presencia de sulfuros principalmente pirita, y arsenopirita en menor proporción pirrotita, calcopirita y esfalerita, probablemente tenga sulfosales [1,2] del grupo de la tetrahedrita, no se aprecia oro libre, el cual debe estar asociado a la pirita y arsenopirita, la ganga no metálica lo constituye el cuarzo, carbón e insolubles.

LEYES

Leyes		
Au	Ag	Cu
gr/t	Oz/TC	%
3.40	2.40	0.80

EQUIPOS Y MATERIALES

- Trituradora
- Molino de bolas
- Celda de flotación
- Mallas y reactivos químicos
- Balanzas electrónicas
- Potenciómetro digital
- Agitadores magnéticos con variación de T° y velocidad (RPM)

PRUEBAS EXPERIMENTALES

PREPARACIÓN DEL MINERAL

- Mineral: 100% - 10 m
- Humedad: 4.20 %
- pH natural: 5.3
- Peso específico: 5.8

MOLIENDA

CUADRO N.º 1.

Tiempo minutos	- 200 m %
10	58.1
11	60.0
12	62.5

FLOTACIÓN BATCH

Molienda

- Mineral : 1000 gr, 100% - 10 m
- Agua : 500 cc
- Tiempo : 11'
- Reactivos : Kg/TM
- NaCN : 0.080
- Bisulfito : 0.060
- ZnSO₄ : 0.100
- A-31 : 0.010
- Cal : 7.000
- pH : 10.5

Acondicionamiento

- XZ-11 : 0.100
- MIBC : 0.050
- Tiempo : 5'
- Flotación : Cu - Ag
- Tiempo : 8'

1.ª limpieza
 pH : 10.0
 NaCN : 0.020
 Tiempo : 5´

2.ª. limpieza
 NaCN : 0.010
 pH : 9.1
 Tiempo : 3´

CUADRO N.º 2. Flotación Batch

PRODUCTO	PESO %	R.C.
Conc. Cu – Ag	2.72	36.76
2º Medio Ag	2.83	
1º Medio Ag	14.00	
Relave general	<u>80.45</u>	
Cabeza Calculada	100.00	

CUADRO N.º 3. Flotación continua

PRODUCTO	PESO %	Leyes: %; Au: gr/TM; Ag: OZ/TC					
		Ag	Au	Cu	Zn	As	Sb
Conc. Cu – Ag	3.86	29.28	4.30	17.41	3.69	4.20	3.87
Relave *	96.14	1.30	3.23	0.13			
Cab. Calc	100.00	2.40	3.40	0.80			
		Recuperación %			R.C.		
		Ag.	Au	Cu			
		47.50	3.92	84.00	25.90		
		52.50	96.08	16.00			
		100.00	100.00	100.00			

* Leyes calculadas

CIANURACIÓN DIRECTA DEL RELAVE DE FLOTACIÓN

Pruebas experimentales de cianuración [3].

Condiciones comunes de trabajo:

Muestra : 50 gr.
 Tiempo : 6 horas
 Dilución : 3/1
 Cianuro : 0.20 %

Variables:

pH
 Granulometría

1. VARIABLE: pH

Granulometría: 100 %-60 mallas

PRUEBA N.º 1, pH : 10.0

CUADRO N.º 4.

Producto	Vol. ó Peso	Leyes Au	Distribución % Au
Sol. Rica	150 ml	2.00 mg/l	5.40
<u>Res. Cianur.</u>	<u>49.7 gr</u>	<u>3.08 OZ/TC</u>	<u>94.60</u>
Cab. Calc.	50.0 gr	3.23 OZ/TC	100.00

PRUEBA N.º 2, pH : 11.0

CUADRO N.º 5

Producto	Vol. o Peso	Leyes Au	Distribución % Au
Sol. Rica	150 ml	2.20 mg/l	7.04
<u>Res. Cianur.</u>	<u>49.9 gr</u>	<u>3.05 OZ/TC</u>	<u>92.96</u>
Cab. Calc.	50.0 gr	3.23 OZ/TC	100.00

PRUEBA N.º 3, pH : 12

CUADRO N.º 6

Producto	Vol. o Peso	Leyes Au	Distribución % Au
Sol. Rica	150 ml	2.93 mg/l	7.94
<u>Res. Cianur.</u>	<u>49.8 gr</u>	<u>3.02 OZ/TC</u>	<u>92.06</u>
Cab. Calc.	50.0 gr	3.23 OZ/TC	100.00

2. VARIABLE: Granulometría

pH : 11

PRUEBA N.º 4, 100% - 65 m

CUADRO N.º 7

Producto	Vol. o Peso	Leyes Au	Distribución % Au
Sol. Rica	150 ml	2.20 mg/l	5.96
<u>Res. Cianuro</u>	<u>49.8 gr</u>	<u>3.05 OZ/TC</u>	<u>94.04</u>
Cab. Calc.	50.0 gr	3.23 OZ/TC	100.00

PRUEBA N.º 5, 100% - 200 m

CUADRO N.º 8

Producto	Vol. o Peso	Leyes Au	Distribución % Au
Sol. Rica	150 ml	2.93 mg/l	7.94
<u>Res. Cianuro</u>	<u>49.7 gr</u>	<u>2.99 OZ/TC</u>	<u>92.06</u>
Cab. Calc.	50.0 gr	3.23 OZ/TC	100.00

PRUEBA N.º 6 – 100% - 325 m

CUADRO N.º 9

Producto	Vol. o Peso	Leyes Au	Distribución % Au
Sol. Rica	150 ml	4.07 mg/l	11.01
Res. Cianuro	49.6 gr	2.90OZ/TC	88.99
Cab. Calc.	50.0 gr	3.23 OZ/TC	100.00

RESULTADOS

FLOTACIÓN BULK Cu – Ag

CUADRO N.º 10

PRODUCTO	Leyes: %; Au: gr/TM; Ag: OZ/TC					
	Ag	Au	Cu	Zn	As	Sb
Conc. Cu – Ag	29.28	4.30	17.41	3.69	4.20	3.87
	Recuperación %			R.C.		
	Ag.	Au	Cu			
	47.50	3.92	84.00	25.90		

FLOTACIÓN CONTINUA

CUADRO N.º 11

PRODUCTO	Leyes: %; Au: gr/TM; Ag: OZ/TC					
	Ag	Au	Cu	Zn	As	Sb
Conc. Cu – Ag	29.28	4.30	17.41	3.69	4.20	3.87
Relave	1.30	3.23	0.13			
Cab. Calc	2.40	3.40	0.80			
	Recuperación %			R.C.		
	Ag.	Au	Cu			
	47.50	3.92	84.00	25.90		
	52.50	96.08	16.00			
	100.00	100.00	100.00			

CIANURACIÓN DIRECTA DEL RELAVE DE FLOTACIÓN

CUADRO N.º 12

Prueba N°	pH	Granulometría % - 200 m	Recuperación % Au
1	10	60	5.40
2	11	60	7.04
3	12	60	7.94
4	11	65	5.96
5	11	100	7.94
6	11	-44 µ *	11.01

* 100% - 325 m

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

1. El mineral es muy complejo, tiene alto peso específico, relativamente duro, presenta fuerte contenido de sulfuros de hierro, bajo contenido de valores metálicos Ag, Cu, Au y presencia de

especies mineralógicas probablemente sulfosales que aportan Ag, As y Sb.

- Actualmente se están beneficiando minerales con 0.50% de cobre, así como minerales con menos de 0.50 gramos de oro por tonelada, en gran escala y minerales dóciles a procesos metalúrgicos convencionales.
- A pesar de tener leyes bajas de cobre, plata y oro, en estos momentos el mineral es interesante debido al alto precio que tienen los metales en el mercado internacional, haciendo atractivo el proyecto que en otras épocas sería imposible pensar procesarlo.

CONCLUSIONES

- Es necesario primero flotar el concentrado bulk Cu-Ag, en el relave queda 90% del oro total.
- El mineral es muy duro, pH natural ácido y alrededor del 40% está constituido por sulfuros, mayormente pirita, que lo hace complejo y difícil su tratamiento metalúrgico.
- El oro probablemente se encuentra asociado a la pirita, arsenopirita y/o pirrotita.
- Se ha realizado pruebas de cianuración directa al relave de flotación teniendo como variables: pH y granulometría; solo se extrae alrededor del 11% del oro.
- Evaluar otros diagramas de flujo de flotación y lixiviación del oro.
- Continuar con el estudio de investigación con el objeto de realizar un estudio minerográfico y evaluar procesos [5] de oxidación con aire con o sin medio alcalino, tostación u otros previo a la cianuración convencional del relave de flotación, si consideramos los precios actuales del oro dicho relave, tiene un valor aproximado de \$100 por tonelada.

AGRADECIMIENTO

Al Consejo Superior de Investigaciones, al Instituto de Investigaciones de la Facultad de Geología, Minas, Metalurgia y Geográfica a la dirección y coordinación de la EAP de Ingeniería Metalúrgica de la UNMSM, así como a los profesores y estudiantes que colaboraron con el desarrollo del Proyecto de Investigación N.º 071601081.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Alarcón Gonzales, J. *Los minerales, menas y gangas, descripción-reconocimiento*. Segunda parte apuntes de clases. EAP de Ing. Metalúrgica, UNMSM. pp. 27- 38.

- [2] Dana Edward S., Ford William E. (1981). *Tratado de Mineralogía.*, 8va. ed. Editorial Continental México S.A., México. pp. 496-506.
- [3] Contreras Castro, D.(1967) *Experimentación de Minerales de Oro y Plata por el Proceso de Cianuración.* 2ª ed. pp. 1-27.
- [4] Cole JA., Janhunem, WJ., Lenz, J.C. (1995) Santa Fe Pacific Golds First Pressure Oxidation Circuit, Year one at lone tree. Presentation at the SME Annual Meeting. Denver, Colorado USA. March 6-9.
- [5] Lunt, D., Kirby E., Mason P. *Refractory Gold ores – factors affecting process selection.* Randol Gold Forum Perth 95.
- [6] Marsden John O. (1993). *The chemistry of gold extraction.* 1ª ed. Ellis Norwood Limited, Great Britain, Cap. V, pp. 177-257.