

Caracterización de minerales
refractarios de oro

Characterization of gold
refractory minerals

Vanesa Bazan¹
Rodolfo Lara²
Elena Brandalez³

¹CONICET. Instituto de Investigaciones Mineras. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de San Juan. Av. Libertador 1109 (O), San Juan, Argentina.

²Instituto de Investigaciones Mineras. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de San Juan. Av. Libertador 1109 (O), San Juan, Argentina

³Universidad Tecnológica Nacional-FRSN-Colón 332-San Nicolás, Buenos Aires, Argentina.

Contacto: bazan@unsj.edu.ar



RESUMEN

Los minerales refractarios de oro son aquellos en los cuales el metal no es recuperable por concentración gravimétrica básica o por lixiviación simple. Son considerados materiales refractarios los que, por medio de procesos de cianuración, brindan una recuperación inferior al 75% del metal. Los minerales que acompañan al elemento metálico y le confieren esa característica de refractario son por lo general: arsenopirita, pirita y material carbonáceo, en los cuales se detectan partículas muy finas de oro encerradas en los mismos.

El tratamiento de este tipo de minerales conlleva a operaciones de sobre-molienda con incremento en el consumo energético y a operaciones de lixiviación con mayor consumo de cianuro y mercurio, con lo cual se exceden grandemente los límites de contaminación de aguas y suelos.

El principal objetivo de este trabajo es examinar cómo las fases minerales presentes en los sulfuros polimetálicos modifican los mecanismos de oxidación de los principales minerales acompañantes de la minería del oro, algunos de ellos fuente de otros metales base (Cu, Pb, Ag, Ni, Co).

Este objetivo se alcanzará estudiando las fases minerales presentes, mediante técnicas analíticas mineralógicas, químicas y térmicas, que permitan evaluar el comportamiento de las fases presentes.

Observándose la clara presencia de minerales que afectan la recuperación de los metales nobles, como es el caso de As, S, Fe, Cu en diferentes fases y por diferentes metodologías así también la forma que se encuentra el oro encapsulado en los mismos minerales.

Palabras Clave: caracterizaciones minerales, minerales refractarios, oro.

ABSTRACT

Gold refractory minerals are those in which the metal is not recoverable by basic gravimetric concentration or by simple leaching. Refractory materials are those that, by means of cyanidation processes, provide a recovery of less than 75% of the metal. The minerals that accompany the metallic element and give it that characteristic of refractory are usually: arsenopyrite, pyrite and carbonaceous material, in which very fine particles of gold enclosed in them are detected.

The treatment of this type of minerals leads to over-grinding operations with increased energy consumption and leaching operations with increased cyanide and mercury consumption, which greatly exceed the limits of water and soil contamination.

The main objective of this work is to examine how the mineral phases present in the polymetallic sulphides modify the oxidation mechanisms of the main minerals accompanying gold mining, some of them source of other base metals (Cu, Pb, Ag, Ni, Co).

This objective will be achieved by studying the present mineral phases, through mineralogical, chemical and thermal analytical techniques, which allow to evaluate the behavior of the present phases.

Observing the clear presence of minerals that affect the recovery of noble metals, as is the case of As, S, Fe, Cu in different phases and by different methodologies so also the shape found gold encapsulated in the same minerals.

Keywords: mineral characterization, refractory minerals, gold.

INTRODUCCIÓN

El proceso de extracción de oro mediante cianuración tiene su arraigo en: a) su bajo costo operativo y b) la selectividad que presenta el cianuro por el elemento. Sin embargo, existen minerales que no permiten la extracción de los metales nobles, lo que ha dado origen en

a investigación durante los últimos años, donde se ha generado un creciente interés por desarrollar nuevos procesos para la recuperación de este metal, tanto en menas de baja ley como aquellos que tienen una naturaleza refractaria (1).

Muchos de los minerales de oro y plata son refractarios a los procesos convencionales de extracción, esto se puede deber a:

- encapsulamiento físico, el oro está rodeado de un mineral llamado ganga o de minerales sulfurados lo cual impide la liberación del mismo;

- superficie química, el oro puede estar con minerales que exigen alto dosaje de oxígeno, cianuro o cal, por ejemplo, pirrotita, marcasita, enargita y arsenopirita;

- preg-robbing, el oro puede estar vinculados con carbón orgánico o materia carbonácea, la cual absorbe el complejo cianuro-oro;

- cinética de lixiviación: el oro está asociado a minerales que tiene una lixiviación lenta.

En las últimas décadas del siglo pasado se realizaron grandes esfuerzos al tratamiento de minerales que no era posible someter a cianuración sin alguna forma de tratamiento previo. El pre tratamiento de las llamadas menas refractarias está más generalmente orientado a la liberación del oro encapsulado en partículas de sulfuro (siendo la pirita la matriz más corriente en el oro refractario), ya sea, físicamente, por molido, o bien, químicamente, por oxidación de los minerales sulfurados(1, 2).

La caracterización estructural y química de los constituyentes presentes en las menas refractarias es una herramienta fundamental a la hora de determinar cuál es el fenómeno de retención del oro en el mineral, ya que, al estar atrapado en la matriz, no puede ser liberado. Una vez determinada su caracterización se puede proponer un mecanismo apto para aumentar el grado de liberación de los metales deseados.

METODOLOGIA EXPERIMENTAL.

Se analizó una muestra con problemas de recuperación de oro y plata denominada M2, que en un proceso de lixiviación con cianuro, mostró una recuperación alrededor del 40% y a efectos de determinar los posibles tratamientos a aplicar se realizó un exhaustivo análisis microestructural del mineral.

Se llevó a cabo la caracterización química y mineralógica de la muestra con el fin de identificar la problemática de extracción y para ello se aplicaron las siguientes técnicas

1- Caracterización mineralógica

Consta de una microscopia óptica a través de una lupa espectro-pica, microscópico óptico, microscopio electrónico y análisis EDAX y difracción por rayos X, además como complemento se realizó un análisis de la muestra por QEMSCAN.

El QEMSCAN puede proporcionar: mapas de partículas; análisis de textura cerrado y liberado; ensayo químico por tamaños y por minerales; capacidades de rastreo y búsqueda de trazas de mineral; el tamaño de granos y partículas; el factor de forma; el tipo de partícula; y la proporción de las especies minerales presentes.

2-Análisis del comportamiento térmico.

Para estudiar el comportamiento térmico de la muestra se utilizaron de técnicas tradicionales estándar, como TGA, DTA.

3-Análisis químicos.

Para la evaluación del contenido de oro se empleó la técnica de “fire assay” con posterior digestión ácida del doré. La determinación de plata se llevó a cabo por absorción atómica con llama, sobre otra porción de la muestra, que fue disuelta con ácidos. La concentración de los demás elementos que acompaña a los metales nobles, se realizó por Plasma Óptico Acoplado Inductivamente (ICP-OES). Para la

determinación de la posible presencia de materia carbonosa se aplicó el método de Walkley & Black.

DISCUSIONES Y RESULTADOS

Análisis de la caracterización mineralógica.

El estudio estructural de la muestra M2, se inicia mediante microscopía óptica. Se identifican las diferentes partículas correspondientes a la muestra que se hallan dispersas en una matriz de resina. Las partículas presentan morfología irregular y se verifica la presencia de diferentes fases en el interior de las mismas. En la Figura 1, se pueden observar las partículas más abundantes presentes en la muestra.

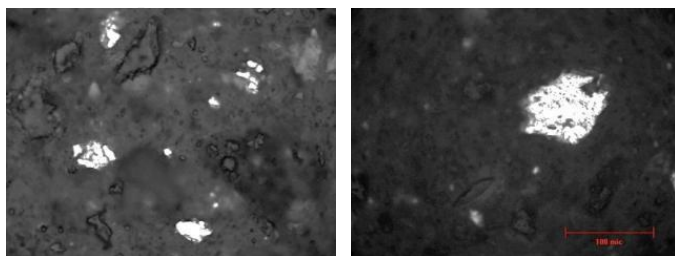


Figura 1. Partículas de sulfuros complejos identificadas en la muestra M2.

Para poder completar el estudio y determinar la composición química semicuantitativa de las fases presentes en las partículas de la muestra se recurre a la microscopía electrónica de barrido (SEM).

En la Figura 2, se presenta a modo de ejemplo una imagen donde se puede corroborar la presencia de partículas de arsenopirita presentes en la muestra. Esto se corrobora a partir de la distribución de los elementos S, Cu y As obtenida mediante mapeos. Finalmente se presenta una imagen que contempla la composición de todos los elementos observados en este caso.

Como complemento de las observaciones se realiza una observación de la composición mineralógica de cada partícula utilizando la herramienta de QEMSCAN llamada PMA, que permite obtener el

análisis mineralógico partícula a partícula que se muestra en Figura 3.

Se puede distinguir la presencia de minerales sulfurados asociados al hierro con compuestos mayoritarios de asociación de sulfuros de cobre y la presencia destacada de la arsenopirita, una matriz compuesta de ganga de cuarzo en otros minerales lo cual impide la recuperación de los metales deseados, en la distribución de partículas se ha observa partículas en el rango de medición de 325 μm en donde se pueden distinguir la asociación de minerales de arsenopirita por lo que se asume la inclusión de oro dentro de las mismas. (Figura 4)

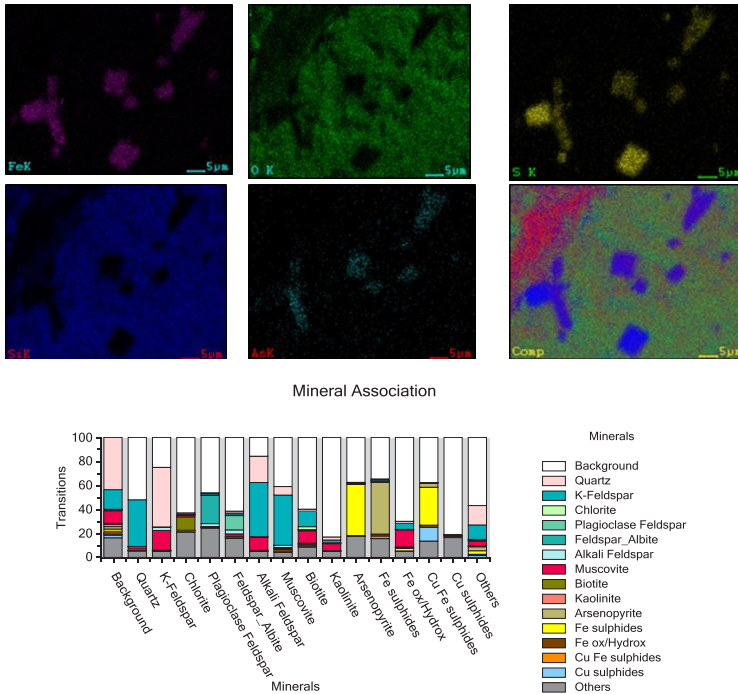


Figura 3. Composición Mineralógica M2 mediante QEMSCAN

Análisis del comportamiento térmico

La curva de análisis térmico diferencial (DTA) y termogravimétrico (TG), Figura 5, correspondiente a la curva de análisis térmico diferencial, pone en evidencia la presencia de un pico exotérmico a $T= 511\text{ }^{\circ}\text{C}$. Este hecho resulta consistente con posible oxidación exotérmica de la pirita y arsenopirita.

Además, se verifica en la curva termogravimétrica (Figura 6) que se evidencia una pérdida de masa de 3,5%, registrada a la misma temperatura en la curva termogravimétrica. Este comportamiento puede interpretarse como correspondiente a la eliminación de As y S de la pirita y arsenopirita (3, 4).

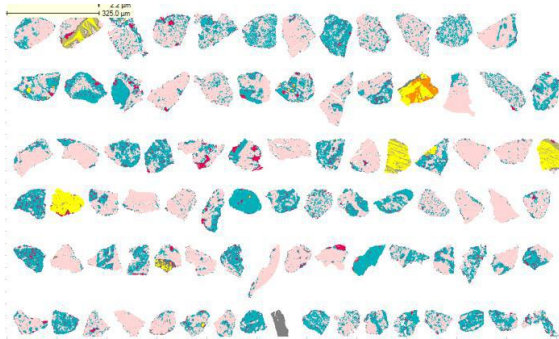


Figura 4. Distribución de partículas minerales según tamaño

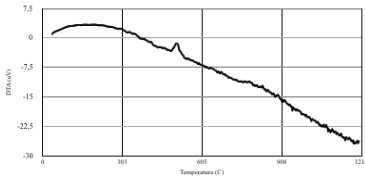


Figura 5. Curva de Análisis Térmico Diferencial (DTA) muestra M2.

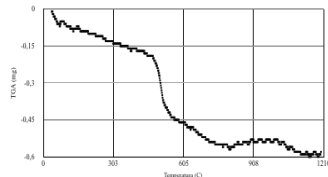


Figura 6. Curva TGA muestra M2

Análisis de la caracterización química.

La cuantificación del contenido de oro y plata y demás elementos

presentes en la muestra, se presentan en la Tabla 1, por las metodologías explicitadas “*ut supra*”

Tabla 1. Composición Química de la Muestra M2.

MUESTRA M2					
Ag g/t	140,59	Cr µg/g	121	Mn µg/g	15
Al µg/g	6092	Cu µg/g	475	Na µg/g	710
As µg/g	13370	Fe µg/g	21860	Ni µg/g	8,3
Au g/t	9,00	Ga µg/g	29,3	Pb µg/g	36,7
Ba µg/g	52,4	K µg/g	4073	S µg/g	17920
Ca µg/g	1197	Li µg/g	42,2	Sr µg/g	16
Cd µg/g	203	Mg µg/g	337,4	Zn µg/g	59,8

CONCLUSION.

La valiosa información que presenta la caracterización es clave, no sólo para el desarrollo de procesos alternativos sino también para la toma de decisiones de cara al momento de accionar, respecto al diseño del proceso metalúrgico a escala piloto o industrial.

Según las observaciones realizadas se ha detectado que este mineral refractario es principalmente sufurado, y se detectan especies como arsenopirita y pirita por lo que para obtener un mayor grado de liberación, se deberá realizar una oxidación de la partícula permitiendo a su vez una fracturación de las partículas de menor tamaño.

De acuerdo con la información obtenida y en base a la bibliografía, se propone el uso de tratamiento con radiación con microondas, ya que se ha encontrado que éste pretratamiento de minerales auríferos, ha permitido recuperar el 81% del oro, comparado con un 37% recuperado tradicionalmente (5, 6).

Estudios en los cuales, se ha encontrado que los carbones y los sulfuros metálicos, son bastante susceptibles ante las microondas, y estos pueden tener un calentamiento rápido y selectivo. Además, también se encuentra que para el caso particular de la pirita, la máxima temperatura alcanzada al cabo de 7 minutos de exposición a las microondas fue de 1019 °C. Con lo anterior se concluye, que no hay necesidad de emplear susceptores de microondas en minerales ricos en pirita, ya

que este alcanzará la temperatura de tostación por sí solo. Las aplicaciones de las microondas también atrae el interés de los investigadores en China, en donde han observado, que en el campo de la metalúrgica, las microondas juegan un rol importante en muchos aspectos, tales como la tostación, extracción de metales no ferrosos, tratamiento de minerales de hierro y reciclar la utilización de tierras y escorias. La no sinterización de carbón de concentraciones de magnetita con microondas es un tema de interés considerando reducir las emisiones de CO₂ y protección del medio ambiente (7).

REFERENCIAS.

- 1- J. J. Yáñez Traslaviña, I. H. García Páez, J. E. Pedraza Rosas, D. Laverde Cataño, “Caracterización de los minerales auríferos de la zona minera de San Pedro Frío (Bolívar-Colombia), para la selección de los procesos de extracción”, DYNA: revista de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, ISSN 0012-7353, Vol. 72, N°. 145, págs. 23-35.2005
- 2- Gallego, A. N. ; Zapata, D. M. ; Márquez, M. A. “Mineralogía aplicada a la definición del tipo de refractariedad en la mina de oro el zancudo, titiribí, antioquia”, Boletín de Geología Vol. 27, No. 2, pp 87- 97 julio-diciembre de 2005
- 3- Swash, P.M. & Ellis, P., The roasting of arsenical gold ores: A mineralogical perspective, Gold 100. Proceedings of the International Conference of Gold Volume 2: Extractive Metallurgy of Gold, Johannesburg, p. 235, S. Afr. Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg .1986
- 4- Hinojosa C, O.” Oxidación de sulfuros: importante proceso de pretratamiento”. Rev. Met. UTO [online]. n.23,2002
- 5- J. H. Coronado, M. A. Encinas, J. C. Leyva, J. L. Valenzuela, A. Valenzuela y G.T. Munive. “Tostación de un concentrado re-

- fractario de oro y plata”. Revista de metalurgia, 48 (3), mayo-Junio, 165-174, ISSN: 0034-8570, eISSN: 1988-4222. 2012,
- 6- Gaviria C. A., J. Gonzalez, M., Hermes , “Tostación, empleando microondas, en menas refractarias auríferas y su efecto en la extracción del oro” DYNA, Volumen 73, Número 150, p. 29-37, ISSN electrónico 2346-2183. ISSN impreso 0012-7353. 2006.
- 7- V.Arias Arce et al. “Refractariedad de concentrados auríferos”. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, [S.l.], v. 8, n. 16, p. 5-14, ISSN 1682-3087. ene. 2012.