



SEMILLERO DE METALURGIA EXTRACTIVA

Diana Gregoria Bracamonte Romero, Fabián Andrés Calderón Hurtado, Juan Felipe García Gil, Juan Esteban Otálvaro Alzate, Óscar Jaime Restrepo Baena

**Universidad Nacional de Colombia
Medellín, Colombia**

Resumen

La metalurgia extractiva desempeña una función trascendental en los procesos posteriores a la minería, de ello depende el valor agregado de un producto terminado al servicio de la industria. La investigación de procesos y de productos terminados en función de elevadas recuperaciones y alta eficiencia energética, se hace esencial para el desarrollo de metodologías alternativas, como el uso de carbón activado para obtención de oro, lixiviación con alcoholes y medios ácidos como sustituto de la piro-metalurgia para la recuperación de cobre y el planteamiento de modelos para la recuperación de tungsteno, hacen parte de la investigación del semillero de metalurgia extractiva enfocados en la necesidad de la industria minera del país.

Palabras clave: oro; cobre; tungsteno

Abstract

Extractive metallurgy plays a crucial role in the subsequent processes of mining, it depends on the aggregate value to the service of a finished industrial product. The research process, and finished products, are based on high recoveries and high energy efficiency. It becomes essential for the development of alternative methodologies, such as the use of activated carbon to obtain gold, and leaching alcohols and acids as a substitute for pyro-metallurgical industry for the recovery of copper, and also the use of modeling approach for the recovery of tungsten. These are all part of the research hotbed of extractive metallurgy that focus on the need for the mining industry

Keywords: gold; copper; tungsten

1. Introducción

En la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, se propician los espacios encauzados a los estudiantes, concertados en función de la actividad académica, con el propósito de inducir en la búsqueda del conocimiento al estudiantado. Partiendo de ello, aparece el Semillero de Metalurgia Extractiva el cual integra las áreas de ingeniería de minas y metalurgia e ingeniería química. El desarrollo de actividades se lleva a cabo bajo la coordinación del Instituto de Minerales CIMEX, orientadas por el profesor titular Oscar Jaime Restrepo Baena.

El semillero se ha concebido bajo el sentido del planteamiento investigativo de procesos metalúrgicos, con la intención de obtener y recuperar metales con metodologías existentes y propuestas, priorizando el interés de la industria minera nacional siempre basados en una amplia y exhaustiva revisión bibliográfica de los temas acordados, con el planteamiento de la verificación de los resultados obtenidos mediante ensayos prácticos, tales como caracterización minero-metalúrgica, análisis químico y métodos de extracción. Actualmente, se ha trabajado en la recuperación de tungsteno (wolframio) localizado en el suroeste de Colombia, y se está planteando diseñar y realizar el montaje de una planta de adsorción de oro en carbón activado como alternativa de las prácticas ejecutadas en la actualidad en el municipio de Segovia, Antioquia. Finalmente se ha propuesto la recuperación de cobre por métodos de baja energía (lixiviación) a partir de sulfuros metálicos del depósito sulfuro masivo vulcanogénico (VMS por sus siglas en inglés) de la mina El Roble en el municipio de Carmen de Atrato, Chocó.

El propósito de esta entrega es mostrar cómo se trabaja en el semillero, con qué información se cuenta y que se ha propuesto en los diferentes proyectos para experimentar o realizar los diferentes ensayos, pruebas y montajes con el fin de generar conocimiento e indagar acerca de varios retos de la metalurgia extractiva.

2. Proyectos propuestos

2.1. Recuperación de tungsteno de una muestra mineral tomada del departamento del Guainía

En esta propuesta se ha planteado la recuperación de tungsteno, ya sea por vía piro-metalúrgica o hidro-metalúrgica, de mineral proveniente del departamento del Guainía; el tungsteno cobra importancia por ser un mineral estratégico¹, para el uso de aleaciones usado en diversos dispositivos electrónicos y herramientas que soporten altas temperaturas (International Tungsten Industry Association (ITIA), n.d.). La producción mundial de tungsteno es aproximadamente 80 mil toneladas métricas anuales, donde más del 80% fue producido por China en el año 2013 (USGS, 2014), de allí la importancia en la investigación de recuperación de tungsteno en Colombia, donde los lugares con potencial mineral se encuentran en zonas de conflicto, con altos índices de informalidad e ilegalidad, donde las prácticas extractivas no son las adecuadas (Agencia de Noticias UN, 2015).

Avances

Se realizó una caracterización petrográfica y mineralógica de la muestra, empleando secciones pulidas, análisis de difracción de rayos X (XRD) para reconocer las fases mineralógicas presentes en las muestras. Se hizo una concentración gravimétrica por medio de batea, la presencia de tungsteno fue comprobada con análisis de fluorescencia de rayos X por energía dispersiva (EDX) y un análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM).

La muestra se caracterizó también mediante un análisis de fluorescencia de rayos X (XRF), de la que se identificó la presencia de moscovita, cuarzo, birnessita y tungsteno (variedad Hübnerita) como los principales componentes. Aquí se confirmó de la presencia de tungsteno en la muestra.

Los resultados del SEM y del EDX se muestran a continuación:

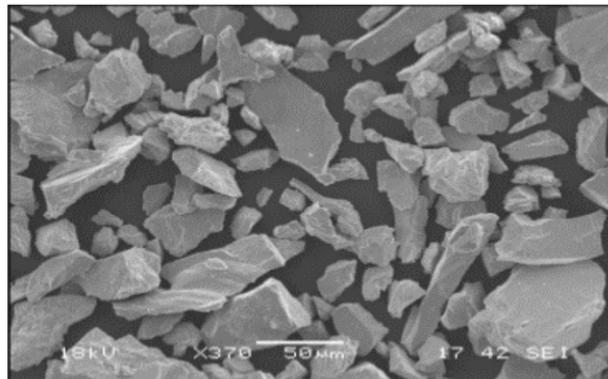


Figura 1. Imagen SEM del concentrado pasante malla 200. Tomada de (Restrepo et al., 2015).

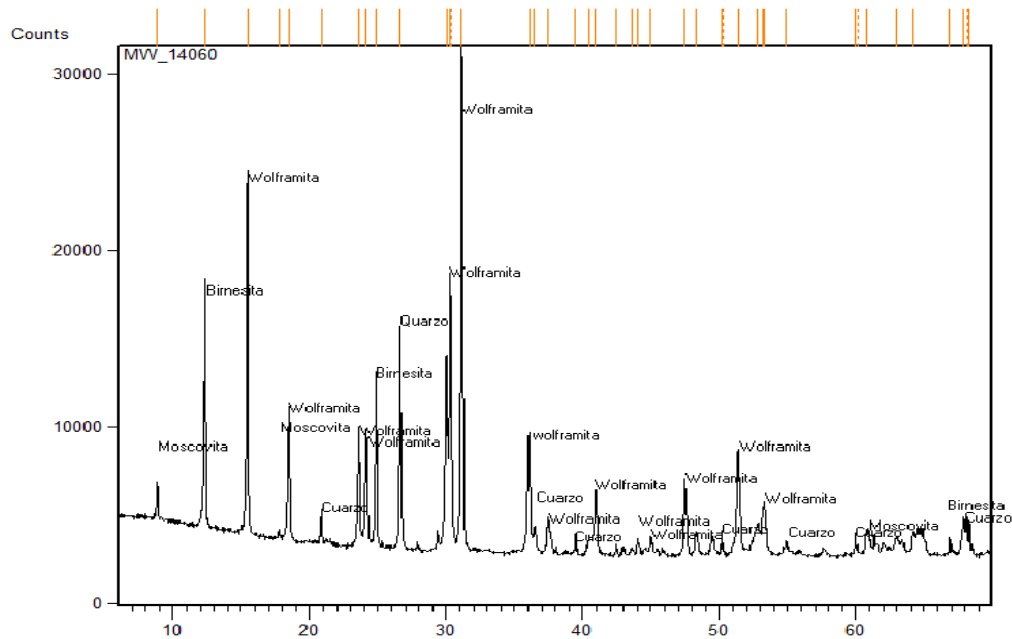


Figura 2. Resultados del análisis XRD. Tomada de (Restrepo et al., 2015)

¹Mineral estratégico: Se designan a todos aquellos minerales que son utilizados en la industria por sus particulares propiedades intrínsecas, siendo sus reservas muy codiciadas por los países industrializados. (Johnson, 2002)

Tabla 1. Descripción muestras ensayo EDX. Tomada de (Restrepo et al., 2015)

Muestra	Descripción
1) MWTC	tungsten ore concentrate
2) MWTT	tungsten Ore tails
3) MWCR140	tungsten ore concentrate retained 140 mesh
4) MWCR200	tungsten ore concentrate retained 200 mesh
5) MWCP200	tungsten ore concentrate through 200 mesh

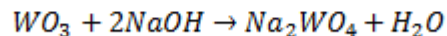
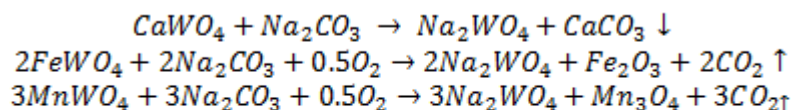
Tabla 2. Resultados EDX. Tomada de (Restrepo et al., 2015)

Sample	W %	Mn %	Fe %	Si %	O ₂ %	Al %	Cu %	Zn %
1 MWTC	58.28	22.34	8.46	0	0	0	0	0
2 MWTT	31.95	12.98	10.40	9.77	24.96	3.98	5.76	0
3 MWCR140	19.51	43.20	28.87	0	8.42	0	0	0
4 MWCR200	56.61	25.99	5.88	0	11.52	0	0	0
5 MWCP200	47.34	27.02	12.94	0	12.70	0	0	0
MEDIA	42.73	26.30	13.31	1.95	13.70	0.79	1.15	0

Actividades a realizar

Se pretende continuar con la recuperación del tungsteno del concentrado realizando el siguiente proceso (Kholmogorov & Kononova, 2005):

Ruptura de los compuestos de wolframita, hübnerita y sheelita del concentrado con carbonato de sodio a 800– 900°C.



Se utilizan 10 gramos de concentrado y de reactante utilizado en exceso del 15%, con temperatura de 450°C – 650°C, con acceso de aire durante 0.5 horas a 3 horas, se propone realizar el experimento analizando los resultados que se obtengan bajo la anterior condición, salvo que se mantengan las temperaturas preestablecidas (Kholmogorov & Kononova, 2005).

La masa obtenida, se lava con agua destilada (1 gramo de masa fundida/ 75 ml H₂O, 50°C, 200 rpm, 10 minutos) al agua se le adiciona 12 mol/L de HCl hasta llevarse a un pH de 9. Al final para precipitar se le agrega gota a gota 0.1 mol/L de MgCl₂ y 5 Mol/L de NH₄OH a 70°C y 200 rpm (Kholmogorov & Kononova, 2005).

Lo obtenido aquí es H_2WO_4 , y se procede a la extracción por solventes: se plantea Aliquat 336, a una temperatura de $25^\circ C$, la cantidad del extractante se fija en 5-10% del volumen, el pH se mantiene entre 1-5, fijándose con 12 mol/L de HCl, utilizándose para repeler el tungsteno 1-6 mol/L de $NH_3(aq)$. Finalmente la solución acuosa lentamente se evapora a $50^\circ C$, en una campana de extracción de humo, recuperándose el tungsteno como para-tungsteno de amonio y el NH_3 se recupera con agua fría (Kholmogorov & Kononova, 2005).

2.2. Recuperación de oro en carbón activado de las minas de la zona del Nordeste de Antioquia

La aplicación de los procesos hidrometalúrgicos a los minerales auríferos (cianuración), produce una solución impura y de baja ley. Por esta razón, es necesario aplicar técnicas de recuperación del oro desde las soluciones lixiviadas. La alternativa de utilizar el carbón activado para la recuperación del oro se conoce desde hace mucho tiempo, pero ha cobrado auge debido al desarrollo del método de desorción y electrodeposición de oro, con el cual el uso del carbón activado ha ido desplazando al proceso Merrill-Crowe, que provoca un elevado consumo de zinc en la precipitación, y genera reacciones muy sensibles en presencia de impurezas en la solución de cianuración, aparte de esto, la eficiencia disminuye al no utilizarse una torre de vacío, como es lo practicado en las minas de Segovia, Antioquia. El método de adsorción de oro sobre carbón activado se ha ido perfeccionando, mejorando las propiedades físicas y químicas del carbón activado, y se han desarrollado métodos altamente eficientes como: proceso de carbón en columna (CIC), carbón en pulpa (CIP) y carbón en lixiviación (CIL).

En la bibliografía consultada se referencia que el dicianuro de oro ($Au(CN)_2^-$) se adsorbe sin ningún cambio químico desde soluciones alcalinas dentro del carbón activado, involucrando el mecanismo de par iónico del tipo $(M^{+n})(Au(CN)_2^-)_n$ en la superficie del carbón, donde M^{+n} representa un tipo de catión como Na^+ , K^+ , o Ca^{+2} , los cuales provienen de la sal de cianuro utilizada para la lixiviación. Como factores que afectan el proceso, se encuentran el efecto de la fuerza iónica, y la temperatura, para la cual se ha demostrado que al aumentar, la capacidad de adsorción del carbón activado disminuye (Navarro, Vargas, & Aguayo, 2009). Por otra parte, en muy pocas investigaciones se ha tratado la importancia de la estructura y propiedades físicas del carbón activado, como factores importantes del proceso de adsorción del dicianuro de oro.

En el grupo de investigación se busca montar una planta de recuperación de oro, para el proceso de carbón en columna (CIC), con el fin de evaluar la cinética de adsorción de oro y parámetros que pueden afectar dicho proceso.

Actividades a realizar

El grupo se plantea una ardua revisión bibliográfica en cuanto a la recuperación del oro por medio del carbón activado, desarrollo de pruebas de lixiviación del mineral proveniente de Segovia y planificación de una metodología de experimentación para la evaluación de la cinética de adsorción de oro sobre carbón activado.

2.3. Recuperación de cobre metálico por método de baja energía (lixiviación) a partir de mineral de calcopirita del municipio del Carmen de Atrato, Chocó.

La necesidad de procesar a temperaturas bajas complejos minerales que contienen calcopirita que no pueden ser concentrados, juegan papeles trascendentales en los desarrollos hidro-metalúrgicos. La práctica actual en el procesamiento industrial de mineral de calcopirita con frecuencia involucra procesos de lixiviación en lugar de procesos de fundición tradicionales para evitar la liberación de SO₂ (Cai, Chen, Ding, & Zhou, 2012). Lixiviación utilizando ácidos, soluciones salinas, o una combinación de ambos se considera que es el más prometedor e importante sustituto para procesos de fundición (Cai et al., 2012)

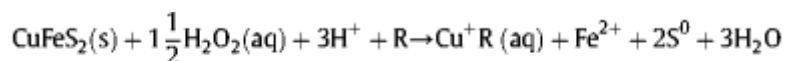
La extracción hidro-metalúrgica de cobre en la calcopirita se considera económica y más amigable ambientalmente que la extracción piro-metalúrgica, sobre todo cuando los minerales de sulfuro están presentes en bajo tenor en la mena; sin embargo esta no ha sido lo suficientemente estudiada, ya que su cinética aún es lenta y su información insuficiente para ser puesta a disposición de la industria (Watling, 2013). Por lo tanto hay necesidad de mejorar las tecnologías de la hidrometalurgia para la extracción de cobre de calcopirita en los minerales de estas bajas calificaciones que no son rentables para concentrarse, y para aumentar la oferta mediante la extracción de cobre a partir de minerales polimetálicos de mineralogía compleja y de concentrados de calcopirita (Solís-Marcial & Lapidus, 2014).

Se busca entonces con las alternativas planteadas a continuación, recuperar cobre del único depósito y mina activa de cobre perteneciente a la compañía Atico Mining Corporation (Mina El Roble) con el fin de ofrecer la vía hidro-metalúrgica como método extractivo para el concentrado producido allí:

Lixiviación de calcopirita en presencia de alcoholes

Basados en la revisión bibliográfica se pretende realizar el proceso hidro-metalúrgico de calcopirita con disolventes polares orgánicos para tener un efecto positivo en el proceso estabilizando el Cu(I) y Cu (II) en presencia de agentes oxidantes para alcanzar el potencial de solución necesaria (Solís-Marcial & Lapidus, 2014).

La lixiviación de la calcopirita se pretende realizar con 2-propanol y en medio ácido (Solución de ácido sulfúrico) usando H₂O₂, CuSO₄ y O₃ como oxidantes esperando a temperaturas inferiores a 40°C recuperar aproximadamente de 70% y 90% de cobre según pruebas piloto y ensayos reportados en la literatura variando las condiciones de concentración de los oxidantes. La fórmula que controla el modelo será de acuerdo a estos reportes la siguiente (Solís-Marcial & Lapidus, 2014):



Donde R es el disolvente orgánico

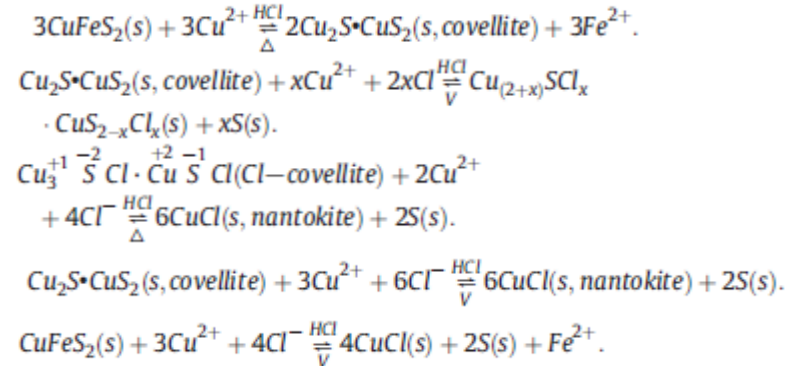
Se pretende entonces basados en las pruebas piloto, ajustar un modelo de concentración de alcohol en medio ácido y agentes oxidantes y poder escalarlo a

tamaño de planta para la producción de cobre a partir de calcopirita con un proceso hidro-metalúrgico.

Lixiviación de calcopirita con ácido clorhídrico.

La calcopirita es lixiviada con ácido clorhídrico a una temperatura de 100°C. Se utiliza en ocasiones NaCl para incrementar la fuerza iónica de la solución. Finalizada la reacción se lava con agua destilada y etanol. Los productos de la reacción son sulfuro, covelita clórica, nantokita (Cai et al., 2012).

Las reacciones en el proceso son las siguientes:



3. Referencias

- Agencia de Noticias UN. (2015). Tungsteno, alternativa minera al oro en Guainía. Retrieved June 19, 2015, from <http://www.agenciadenoticias.unal.edu.co/nc/ndetalle/article/tungsteno-alternativa-minera-al-oro-en-guainia.html>
- Cai, Y., Chen, X., Ding, J., & Zhou, D. (2012). Leaching mechanism for chalcopyrite in hydrochloric acid. *Hydrometallurgy*, 113-114, 109-118. <http://doi.org/10.1016/j.hydromet.2011.12.002>
- International Tungsten Industry Association (ITIA). (n.d.). Tungsten Applications. Retrieved June 25, 2015, from <http://itia.info/applications.html>
- Johnson, N. (2002). Strategic Minerals of the United States. Retrieved from <http://academic.emporia.edu/abersusa/go336/natalie/newindex.htm>
- Kholmogorov, a. G., & Kononova, O. N. (2005). Processing mineral raw materials in Siberia: Ores of molybdenum, tungsten, lead and gold. *Hydrometallurgy*, 76(1-2), 37-54. <http://doi.org/10.1016/j.hydromet.2004.08.002>
- Navarro, P., Vargas, C., & Aguayo, C. (2009). Efecto de las propiedades físicas del carbon activado en la absorcion de oro en medio cianuro. *Suplemento de La Revista Latinoamericana de Metalurgia Y Materiales*, 1(2), 829-838.
- Restrepo, O., García J., Calderon, F., Montoya, E. (2015). METALLURGICAL EXTRACTION OF TUNGSTEN FROM A COLOMBIAN MINERAL. *SME Annual Meeting*.
- Solís-Marcial, O. J., & Lapidus, G. T. (2014). Chalcopyrite leaching in alcoholic acid media. *Hydrometallurgy*, 147-148, 54-58. <http://doi.org/10.1016/j.hydromet.2014.04.011>
- USGS. (2014). Tungsten production. *Mineral Commodity Summaries*, (703).

- Watling, H. R. (2013). Chalcopyrite hydrometallurgy at atmospheric pressure: 1. Review of acidic sulfate, sulfate-chloride and sulfate-nitrate process options. *Hydrometallurgy*, 140, 163–180. <http://doi.org/10.1016/j.hydromet.2013.09.013>

Sobre Autores

- **Diana Gregoria Bracamonte Romero:** Estudiante de Ingeniería Química, actualmente es monitora de la materia Química General. dgbracamonte@unal.edu.co
- **Fabián Andrés Calderón Hurtado:** Estudiante Ingeniería de Minas y Metalurgia, actualmente es monitor de la materia Metalurgia Extractiva. facalderonh@unal.edu.co
- **Juan Felipe García Gil:** Estudiante Ingeniería de Minas y Metalurgia, actualmente es monitor de la materia Metalurgia Extractiva. jufgarciagi@unal.edu.co
- **Juan Esteban Otálvaro Alzate:** Estudiante Ingeniería de Minas y Metalurgia, actualmente es monitor del Museo de Geociencias de la Facultad de Minas. jeotalvaroa@unal.edu.co
- **Óscar Jaime Restrepo Baena:** Ingeniero de Minas y Metalurgia, Magíster en Evaluación Impacto Ambiental, Doctor en Metalurgia y Materiales. Profesor titular. ojrestre@unal.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2015 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)