

ESTUDIO DE LA RECUPERACIÓN MAGNÉTICA DE PLATA CON MATERIALES MESOPOROSOS MODIFICADOS CON MAGNETITA: MS-triamin-Fe₃O₄

Yessica Besares Sánchez (1), Enrique Elorza Rodriguez (1), Ma. Mercedes Salazar Hernández (1)

1 [Departamento de Ingeniería en Minas, Metalurgia y Geología, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [merce@ugto.mx]

Resumen

El siguiente trabajo, muestra el estudio de la recuperación de oro y plata en disoluciones ricas de cianuración con materiales mesoporosos de sílica poliamino funcionalizados y modificados con magnetita (MS-triamin-Fe₃O₄). La caracterización del material por FTIR, muestra un corrimiento de la banda de δN-H con el material modificado con la magnetita que sugiere el anclaje de esta a través de dichos grupos funcionales; mientras que la SEM-EDS sugiere una distribución homogénea de la magnetita en la superficie del material; las propiedades texturales del material modificado con la magnetita mostraron una disminución del 53% del área superficial y un aumento del tamaño de poro promedio de 3.9 a 5.4 nm. En cuanto a la capacidad de adsorción de oro y plata del material en disoluciones ricas de cianuración, se observó una remoción del 80% del oro presente en la disolución y una recuperación del 25% de la plata y cobre presente en la disolución de cianuración.

Abstract

This paper shows the study of the recovery of silver and gold in rich solutions of cyanidation with mesoporous materials of silica polyamine functionalized and modified with magnetite (MS-triamin-Fe₃O₄). The FTIR, shows a shift of the band of δN-H with the material modified with the magnetite that suggests the anchoring of this through these functional groups; while the SEM-EDS suggests a homogeneous distribution of magnetite on the surface of the material and the textural properties of the material modified with magnetite showed a 53% decrease in surface area and an average pore size increase from 3.9 to 5.4 nm. The capacity of gold and silver adsorption of the material in rich solutions of cyanidation, a removal of 80% of the gold present in the solution was observed and a recovery of 25% of the silver and copper present in the cyanidation solution.

Palabras Clave

MS-triamin-Fe₃O₄, adsorción Ag, disolución rica de cianuración

INTRODUCCIÓN

Industrialmente en México y en el mundo una de las metodologías más usada para la recuperación del oro y la plata de sus lixiviados es a adsorción en carbón activado, proceso mejor conocido por sus siglas en inglés como CIL (carbon in leach); entre las ventajas que este proceso ofrece es el costo moderado del adsorbente así como la simplicidad del proceso. En general este proceso consiste en dejar en contacto el adsorbente (carbón activado) con el efluente de lixiviación, comúnmente, efluentes de cianuración; dicho contacto puede realizarse en columnas de lixiviación o en tanque agitado, de los cuales el carbón es recuperado en tamices por decantación. La simplicidad de este proceso, como ya se mencionó, es lo que lo hace tan atractivo para la industria, sin embargo la principal desventaja que este ofrece, es el desgaste del carbón en dichos tamices que producen partículas finas de carbón con valores metálicos adsorbidos, dichas partículas finas se pierden en la mayoría de los casos ocasionando una pérdida considerable de los valores de oro y plata en el proceso, por ejemplo la IAMGOLG's Essakane en Burkina Faso, reporta una formación de finos al mes de 23.5 ton que corresponden a una pérdida de 1938 g/ton de plata mensualmente [1]. La recuperación de estos finos en algunas plantas en el mundo es realiza mediante una serie de circuitos de decantación y filtros-prensa, que frecuentemente son difíciles de operar por el tamaño fino del carbón activado. En México, la formación de finos en el proceso de carbón en pulpa, también representa una pérdida considerable de los valores metálicos, muy específicamente en la Unidad Minero-Metalúrgica de Palmarejo, se tiene una formación de 5-6 ton diarias de finos que al mes corresponden a 180 ton de carbón al mes, estos datos, muestran que esta problemática es común en la industria minero-metalúrgica de todo el mundo. Se han evaluado algunos otros adsorbentes como zeolitas, arcillas naturales, resinas modificadas, nanotubos y nanoesferas de carbono, bio-adsorbentes y **sílice modificada** para la recuperación de la plata de sus lixiviados (de la recuperación de electrónicos) [2-3]; entre las ventajas que suele ofrecer la sílice como adsorbente es una rápida sorción, estabilidad física y química, así como una nula hinchazón con el contacto con los disolventes y una alta selectividad dependiendo del grupo modificante utilizado [4,5]. Recientemente en los últimos años se han estudiado los nano-materiales híbridos magnéticos como adsorbentes en la recuperación de iones metálicos, estos se han propuesto como una alternativa en la hidrometalurgia para la recuperación de metales preciosos principalmente (Pd, Pt, Rh, Ag y Au) y tierras raras de *procesos de recuperación de desechos electrónicos* [6,7]. El principio de estos materiales, es la adsorción del ion metálico con el grupo funcionalizante que puede realizarse mediante una adsorción física o una inmovilización covalente. El presente trabajo, muestra el estudio de la recuperación de plata de soluciones ricas de cianuración con materiales magnéticos de sílice (MS-triamin-Fe₃O₄).

MATERIALES Y MÉTODOS

Síntesis de la sílice mesoporosa (MS) a partir de Si(OH)₄

La sílice mesoporosa fue sintetizada mediante proceso sol gel utilizando como precursor de la red Si(OH)₄, obtenido a partir de silicato de sodio con ayuda de una columna de intercambio catiónico. La MS es obtenida mediante procesos hidrotérmicos utilizando como director de estructura al Pluronic P-123.

Síntesis de Magnetita (Fe₃O₄)

La síntesis de la magnetita, fue realizada mediante técnicas de precipitación. En un matraz de fondo redondo de 250 mL son colocados 5.27 g de FeSO₄ (0.02 mol) y 2.7 g de FeCl₃ (0.01 moles) y son disueltos en 50 mL de HCl 0.2 M, una vez disueltas las sales el sistema es llevado a un pH de 10-11 con NH₄OH y es colocado a reflujo por 24 h. Al término de este tiempo el sólido es recuperado y lavado con 2 porciones de 10 mL de agua destilada y etanol y colocado en la estufa a 75°C por 12 h para su secado.

Obtención de la MS-triamin-Fe₃O₄

La modificación de la sílice con grupos diamino fue realizada por métodos de post-síntesis utilizando como precursor del grupo orgánico al N¹-(3-trimetoxisililpropil) dietilentriamina (MeO)₃SiCH₂[(CH₂)₂-NH]₃-H. La modificación fue realizada con un 20% mol y el anclaje de la magnetita en el material, se realizó colocando bajo reflujo por 12 h 20 g de la sílice amino funcionalizada (MS-triamin) con 2.5 g de magnetita, al término de dicho tiempo la sílice es recuperada por filtración lavada con 10 mL de etanol y acetona y secada a 75°C.

Obtención de la Disolución Rica de Cianuración

Se trabajaron muestras de los distritos mineros de Pinos Altos y “El Gallo”. La cianuración de dichas muestras se realizó mediante condiciones típicas por 48 h con un 0.2% de cianuro y un 44.4% de sólidos a un pH de 11 ajustado con cal (CaO).

Estudios de Adsorción de plata (I)

Se determinó la adsorción de plata, oro y cobre en las soluciones ricas de cianuración, colocando 10 mL de la solución con 0.1 g del material por periodos de 10 minutos durante 1 hora y se determinó la concentración del metal en la disolución residual mediante espectrometría de absorción atómica.

La capacidad de adsorción de cada metal en estudio fue determinada mediante la ecuación 1, en donde q_t es la carga al tiempo t en mgg⁻¹, C₀ y C_t, son las concentraciones del metal en la disolución iniciales y al tiempo t en mgL⁻¹, V el volumen de muestra utilizada (L) y m la masa de material utilizado en g.

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{m}$$

Ecuación 1

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización por FTIR de la MS-triamin y la MS-triamin-Fe₃O₄, se muestra en la Figura 1a, en donde se observan las vibraciones de la red a 1079.7, 785.7 y 456.5 cm⁻¹ correspondientes a las vibraciones νSi-O-Si, δSi-OH y δSi-O; las vibraciones correspondientes a la materia orgánica νC-H, νN-H, δC-H y δN-H se observaron a 2980-2886.3, 3450-3480, 1480-1367, 1650 cm⁻¹ respectivamente. La banda de δN-H en el material modificado con la magnetita, se observa a 1644.7 cm⁻¹, dicho corrimiento de la banda sugiere la interacción de los nitrógenos del material con la magnetita. La Figura 1b, muestra el difractograma comparativo de la MS-triamin-Fe₃O₄ y la Fe₃O₄, observándose en la sílice modificada la presencia de dicho oxido confirmando la presencia de este en el material.

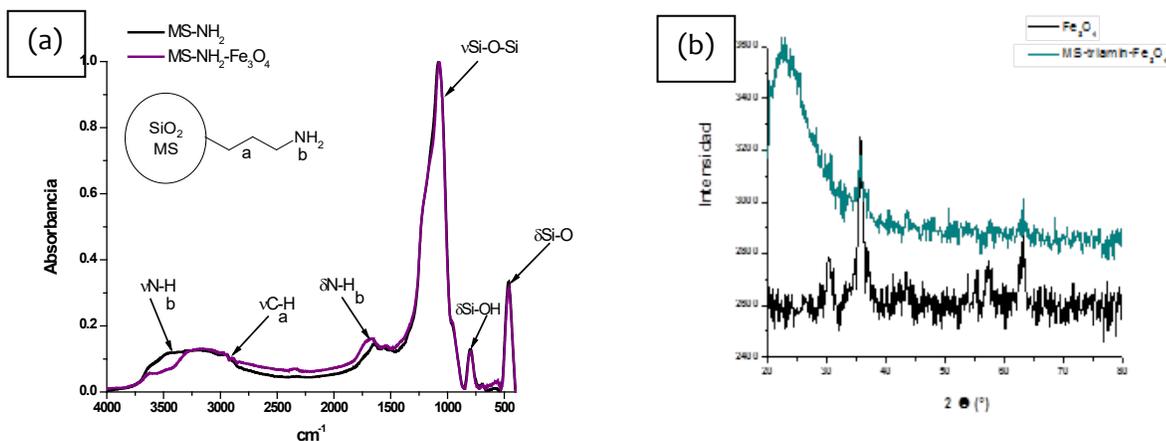


Figura 1: Caracterización por FTIR de la MS-NH₂ y la MS-NH₂Fe₃O₄ (a) y Caracterización por DRX (b)

Las propiedades texturales de la MS-triamin y laMS-triamin-Fe₃O₄, se resume en la Tabla 1, en donde se puede observar una caída drástica del área superficial en el material modificado con los grupos triamino y el aumento de esta con el anclaje de la magnética, lo que sugiere un posible efecto compuerta en estos materiales. El análisis de la composición del material por SEM-EDS, se muestra en la Figura 2, en donde puede observarse el que el anclaje de la magnetita (Fe) en el material es uniforme.

	A _{superficial} [m ² g ⁻¹]	Diámetro [nm]	Vporo [cm ³ g ⁻¹]
MS	491.0	3.92	0.336
MS-triamin	32.9	6.00	0.059
MS-triamin-Fe ₃ O ₄	230.9	5.40	0.311

La composición mineralógica de los minerales utilizados para la obtención de soluciones ricas de cianuración, se resume en la Tabla 2 y en la Tabla 3, se resume la composición química de las soluciones ricas de cianuración utilizadas, cabe mencionar que el mineral de “El Gallo” presenta una concentración muy baja de plata por lo que la solución rica de cianuración fue enriquecida con plata (nitrato de plata).

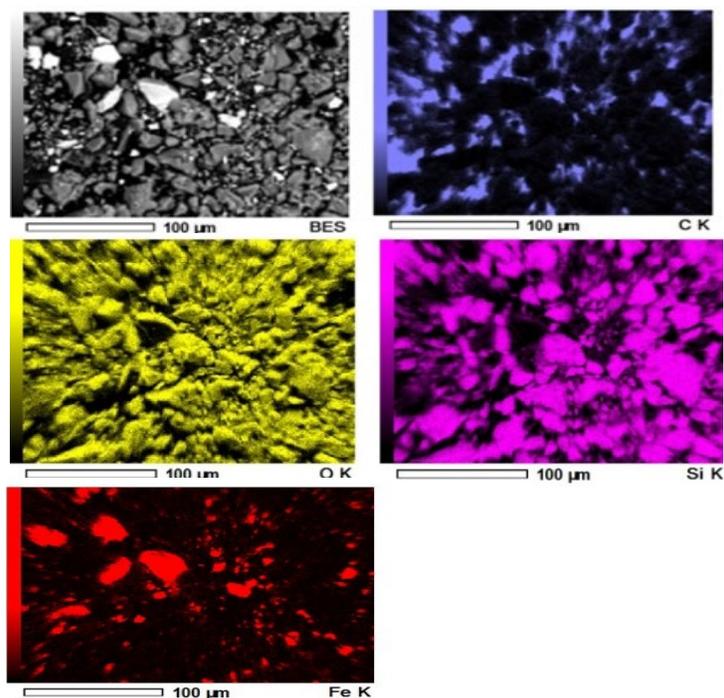


Figura 2: Estudio de la composición química de la MS-triamin-Fe₃O₄ por SEM-EDS

	“El Gallo”	“Pinos Altos”
Oro	Oro nativo (Au)	Oro nativo (Au)
Plata	Argentita (Ag ₂ S) Amalgama (HgAg)	Querargirita (AgCl) Argentita (Ag ₂ S)
Ganga	Cuarzo, feldespatos	Cuarzo, silicatos

	"El Gallo"	"Pinos Altos"
Oro (mgL ⁻¹)	0.99	2.56
Plata (mgL ⁻¹)	607.75*	117.3
Cobre (mgL ⁻¹)	1567.2	-

*Dopado con Nitrato de Plata

La Figura 3, muestra los estudios de adsorción de oro, plata y cobre con la MS-triamin-Fe₃O₄, en donde se observa una remoción cuantitativa del oro presente en la disolución y una remoción moderada de la plata y del cobre de alrededor de un 25%. Se observó una remoción del 80% del oro presente en la disolución.

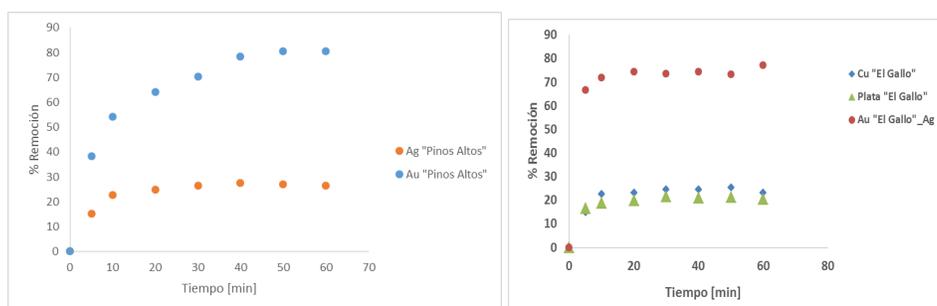


Figura 3: Estudios de Adsorción de Au, Ag y Cu con la MS-triamin-Fe₃O₄

CONCLUSIONES

La presencia de la magnetita en el material desfavorece la remoción de la plata en las disoluciones ricas de cianuración observándose únicamente una remoción del 25% de la plata y del cobre en la solución de cianuración. Se estudiaron dos minerales uno con presencia de cobre y otro sin dicho elemento, observándose la remoción del oro por encima del 80% en ambos casos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo, desean agradecer a la Universidad de Guanajuato por el apoyo económico otorgado al proyecto titulado "Recuperación de plata de efluentes de cianuración con materiales mesoporosos modificados con Fe₃O₄ de bajo costo" y a Q. Daniela Moncada por su apoyo en la caracterización de los materiales utilizados en este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Aubé V., Bellec S., Barakate M., Eddahabi M. R., Chaik Y., Deshaies M., Girard J. "What to do with CIL carbon fines? IAMGOLD innovative solution" *Proceeding The conference of metallurgists hosting World Gold & Nickel Cobalt* (2017).
- [2] Syed S. "Silver recovery aqueous techniques from diverse source: hydrometallurgy in recycling" *Waste Management* (2016) 50: 234-256.
- [3] Walaikom Nitayaphat, Thanut Jintakosol "Removal of silver(I) from aqueous solution by chitosan/bamboo charcoal composite beads" *Journal of Cleaner Production* (2015), 87: 850-855.
- [4] Salazar-Hernández M. M.; Salazar-Hernández C.; Elorza-Rodríguez E.; Juárez Ríos H., "The Use of Mesoporous Silica in the Removal of Cu(I) from the Cyanidation Process" *Journal of Materials Science* (2015) 50:439-446.
- [5] Jal P K, Patel S, Mishra B K "Chemical modification of silica surface by immobilization of functional groups for extractive concentration of metals ions" *Talanta*, (2004) 62: 1005-1028.
- [6] Henrique E. Toma "Magnetic nanohydrometallurgy: a nanotechnological approach to elemental sustainability" *J. Name* (2013), 17: 2027-2042.
- [7] Ulisses Condomitti, Andre Zuin, Alceu T. Silveira, Koiti Araki, Henrique E. Toma "Magnetic nanohydrometallurgy: A promising nanotechnological approach for metal production and recovery using functionalized supermagnetic nanoparticles" *Hydrometallurgy* (2012)125-126: 148-151.