

Remoción de ferrocianuro con óxidos de hierro, persulfato de sodio e irradiación solar

M. R. Garza Román^{1*}, V. D. Treviño Rodríguez², F. R. Carrillo Pedroza², M. De J. Soria Aguilar², N. G. Picazo Rodríguez³, M. A. Sánchez Castillo⁴

¹Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ciencias Químicas, Ing. J. Cárdenas Valdez S/N, Col. República, C.P. 25280, Saltillo, Coahuila, México.

²Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Metalurgia, Carretera 57, km 5, C. P. 25710, Monclova, Coahuila, México.

³Instituto Tecnológico Superior de Monclova, Carretera 57, km 4.5, C.P. 25716, Monclova, Coahuila, México.

⁴Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ciencias Químicas, Av. Dr. Manuel Nava Núm. 6, Zona Universitaria, C.P. 78210, San Luis Potosí, S.L.P., México.

* marleth.garza@uadec.edu.mx

RESUMEN

La cianuración es el principal proceso que se utiliza para la extracción de oro y plata, sin embargo, el cianuro y sus complejos son tóxicos y nocivos para la salud. Derivado a lo anterior se ha intensificado la búsqueda de procesos para la eliminación de estos efluentes, sin embargo, no todos los procesos pueden eliminarlos en su mayoría. Además, es de suma importancia buscar alternativas amigables con el medio ambiente para evitar el desarrollo de nuevos residuos y utilizar recursos naturales. Debido a lo anterior el presente trabajo busca eliminar el ferrocianuro a partir de la descomposición con irradiación solar, persulfato y óxidos de hierro los cuales provienen de una industria minero-metalúrgica.

PALABRAS CLAVE: *destrucción de cianuro, persulfato de sodio; irradiación solar*

ANTECEDENTES

El cianuro es ampliamente utilizado en diversos procesos industriales, y es un reactivo altamente utilizado en la industria minera para la obtención de metales como oro, plata, cobre y zinc. Sin embargo, los compuestos que resultan de este tipo de procesos forman iones metálicos, los cuales se pueden clasificar como disociables en ácido débil (WAD: complejos de cianuro con metales como Cd, Cu, Ni y Zn) y disociables en ácido fuerte (SAD: complejos de cianuro con Co, Au, Ag y Fe) (Nyamunda, 2017; Angove y Acar, 2016). Esta información es esencial para poder elegir la tecnología apropiada para la eliminación de cianuro, ya que estas aguas residuales son sumamente peligrosas para los seres humanos, animales y medio ambiente por lo que deben seguir un protocolo de neutralización antes de su reutilización o su descarga, ya que muchas veces estas rebasan los límites legales de 0.05 mg/L (Tsybikova, 2020). Uno de los complejos que más se generan en los efluentes son el hierro-cianuro, una vez que el cianuro se coordina con el hierro se forma un compuesto llamado ferrocianuro ($(\text{Fe}(\text{CN})_6)^{4-}$), dicho compuesto es altamente estable a diferentes pH.

No obstante, existen diversos procesos para eliminar o remover este tipo de contaminantes recalcitrantes, tales como los procesos de oxidación avanzada permitiendo que estos sean degradados con mayor facilidad en las aguas residuales (Deng y Zhao, 2015). Sin embargo, la mayoría de las veces estos resultan demasiado costosos, dándole oportunidad a procesos como la adsorción, la cual es utilizada ampliamente para la remediación ambiental, ya que este proceso permite la formación de enlaces físicos o químicos entre un medio sólido poroso y una mezcla de multicomponentes ya sea líquido o gaseoso, la adsorción se lleva a cabo solo en la superficie (Mohammas y col., 2020; Rathi y Kumar, 2021). Por otro lado, este proceso se puede combinar con el componente UV de la radiación solar, ya que investigadores como Tsybikova (2020), mencionan que intensifican los procesos oxidativos. En el presente trabajo se llevó a cabo la descomposición de ferrocianuro (contenido en una solución sintética), mediante la adsorción con óxidos de hierro ya que algunos investigadores han mencionado que dichos óxidos se utilizan para la adsorción de diversos contaminantes, sin embargo, existe poca evidencia del uso de estos adsorbentes para eliminar el cianuro contenido en aguas residuales, la mayoría de los estudios los óxidos fueron sintetizados o bien impregnados en carbón activado. Derivado a lo anterior, surgió la necesidad de estudiar el efecto de adsorción de cianuro en subproductos provenientes de procesos minero-metalúrgicos, los cuales están constituidos principalmente de este hierro.

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para el desarrollo de este proyecto se empleó una solución sintética de ferrocianuro de potasio (empleando un reactivo marca FAGALAB grado analítico) con una concentración de 100 ppm, en un medio alcalino (pH 11). En cuanto los adsorbentes se seleccionaron dos tipos de óxidos de hierro, los cuales fueron

caracterizados por Fluorescencia de Rayos X (FRX) en donde podemos observar que se conforman en su mayoría por hierro y calcio (Tabla 1). La diferencia de estos óxidos de hierro (Ox2) radica en un tratamiento térmico, el cual se realizó en un horno mufla, por una hora a 500 °C.

Tabla 1.- Elementos principales que componen los óxidos de hierro

Tipos de óxido	Composición (% peso)							
	Al	Si	S	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn
Ox1	0.338	1.295	7.199	21.558	0.516	23.401	0.458	8.64
Ox2	0.376	1.319	8.97	18.426	0.501	30.926	0.586	8.502

Además, también se caracterizó por Difracción de Rayos X (Figura 1), en donde se mostró que tanto el Ox1 y Ox2 cuentan con especies como jarosita y magnetita y solo anhidrita en el caso del Ox2.

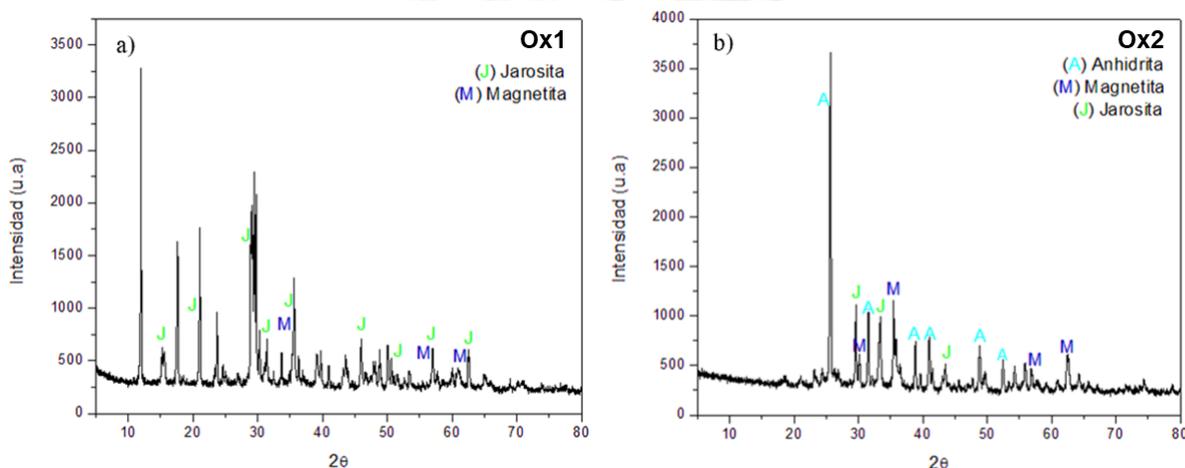


Figura 1.- Caracterización por Difracción de Rayos X (DRX) de óxidos de hierro.

Las pruebas se dividieron en tres series, con las siguientes condiciones (Tabla 2), en cuanto a las pruebas cada una fue llevada a cabo en un reactor de vidrio transparente de 115 mL de capacidad, agregando 0.5 gr de óxidos de hierro y 0.0088 M de persulfato de sodio. Cabe mencionar que para la serie 2, las pruebas fueron agitadas dentro de otro reactor cerrado para evitar la filtración de luz ambiental.

Tabla 2.- Condiciones de pruebas experimentales en cada una de las series.

Series	Etiqueta	T. Inicial (°C)	T. Final (°C)	t, Hrs.	pH	UV solar
Serie 1: Adsorción con óxidos de hierro	FeCN + Ox1 FeCN + Ox2	26	28	1	11	x
Serie 2: Adsorción con óxidos de hierro y temperatura	FeCN + Na ₂ S ₂ O ₈ FeCN + Na ₂ S ₂ O ₈ + Ox1 FeCN + Na ₂ S ₂ O ₈ + Ox2	60	32	1	11	x
Serie 3: Descomposición de ferrocianuro con óxidos de hierro e irradiación solar	FeCN FeCN + Na ₂ S ₂ O ₈ FeCN + Na ₂ S ₂ O ₈ + Ox1 FeCN + Na ₂ S ₂ O ₈ + Ox2 FeCN + Ox1 FeCN + Ox2	26	32	2	11	10

Por último, pasado el tiempo establecido de cada prueba se realizó una separación sólido y líquido, lo anterior para posteriormente analizar el líquido por medio de Espectrometría de Absorción (AA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cuanto a la serie 1: Adsorción con óxidos de hierro y serie 2: Adsorciones con óxidos de hierro con temperatura inicial de (60°C), se observan porcentajes de adsorción de ferrocianuro de (5.2 y 6.8 respectivamente) con Ox1 y (56.4 y 15.4 respectivamente) utilizando el Ox2, cabe mencionar que para la prueba con persulfato de sodio se obtuvo un 0% de adsorción de ferrocianuro. Lo anterior se vio afectado debido a que ambos óxidos de hierro se componían de magnetita y según Picazo y col. (2022) estos suelen presentar puntos de carga cero neutros (6.4 para la magnetita). Por lo que al momento de ser sometidos a la solución con pH alcalino imposibilita la adsorción del ferrocianuro ya que ocurre una desprotonización, además Petrova y col. (2011) mencionan que la adsorción superficial ocurre a través de grupos de Fe-OH, por lo que estos grupos alcanzan carga negativa o positiva por disociación y/o asociación de protones.

Por otro lado, la Serie 3: Descomposición de ferrocianuro con óxidos de hierro e irradiación solar mostro en casi todos los casos un alto porcentaje de adsorción de ferrocianuro (Figura 2c), por lo cual se demostró que al irradiar luz solar esta permitió un mayor porcentaje de remoción del contaminante.

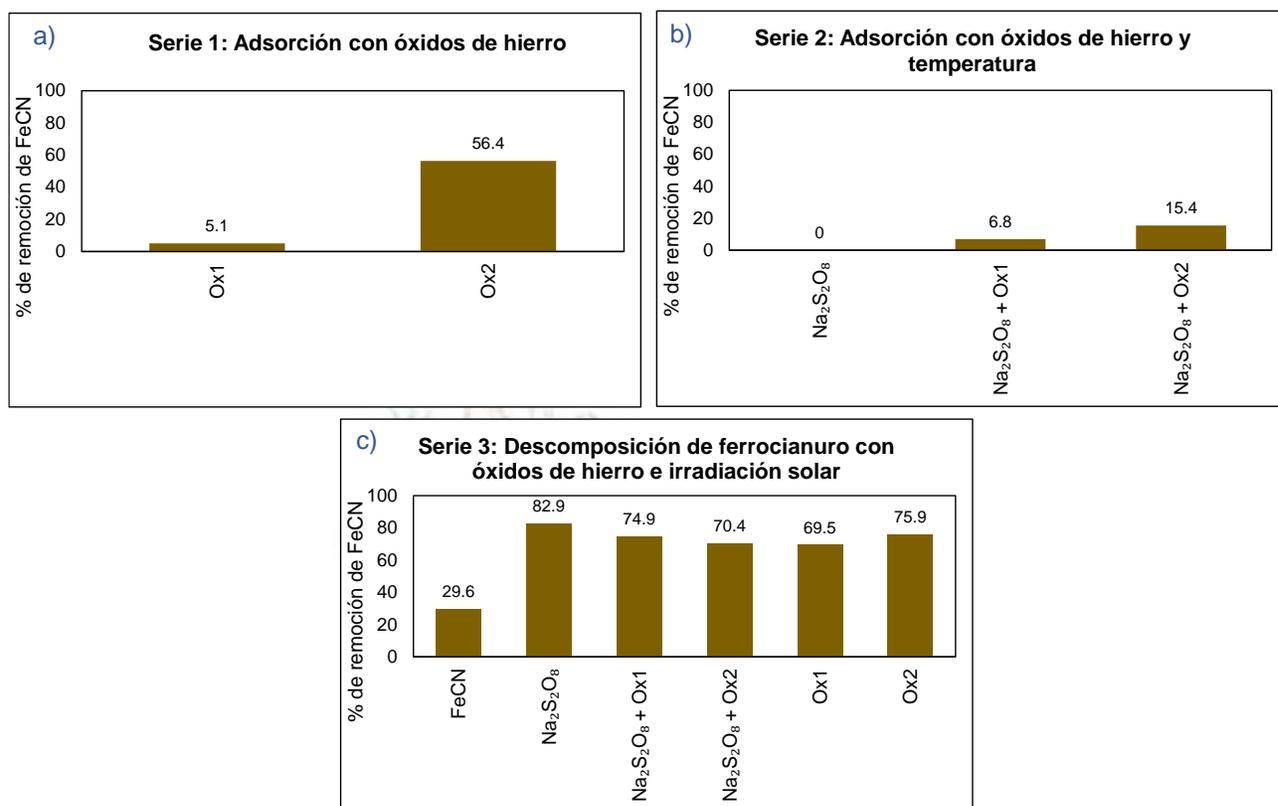


Figura 2.- Porcentajes de remoción de ferrocianuro.

No obstante, en este caso la prueba con persulfato de sodio e irradiación solar mostro el porcentaje más alto de remoción, ya que investigadores como Adewuyi y col. (2014) mencionan que el persulfato es una buena opción para el procesamiento de aguas residuales debido a que este es un reactivo químicamente estable, además de ser un excelente agente oxidante, no obstante su cinética es lenta en condiciones ambientales tal y como se muestra en la Figura 2b (Serie 2), sin embargo al ser activado por calor o luz este tiende a generar radicales libres a partir del sulfato ($SO_4^{\bullet-}$), lo anterior se puede observar en las siguientes Ecuaciones 1-4 (Tan y col., 2021; Tsybikova, 2020):



Por lo tanto, ocurre una sinergia con la irradiación solar permitiendo el aumento en la generación de radicales hidroxilos, obteniendo mejores resultados.

Cabe mencionar que al usar un recurso natural los resultados se pueden ver afectados dependiendo del clima y la irradiación solar, además de la diferencia de horas en que se realizan las pruebas.

CONCLUSIONES

Los resultados que se obtuvieron en este trabajo nos revelan que es posible una mayor eliminación de ferrocianuro a partir de la descomposición con óxidos de hierro agregando persulfato de sodio y usando irradiación solar, eliminando un 74% en promedio del contaminante en cuestión. Además de que se aprovechan residuos generados de plantas metalúrgicas y recursos naturales permitiéndonos ahorrar energía y evitando la generación de más residuos.

REFERENCIAS

- Nyamunda, B. C. (2017). Review of the Impact on Water Quality and Treatment Options of Cyanide Used in Gold Ore Processing. In (Ed.), Water Quality. IntechOpen.
- Angove, J., & Acar, S. (2016). Metallurgical Test Work: Gold Processing Options, Physical Ore Properties, and Cyanide Management. In Gold ore processing, 131-140. Elsevier
- Tsybikova, B. (2020). Solar energy efficient-AOP process for treatment of cyanide in mining effluents. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 962, No. 4, p. 042079). IOP Publishing.
- Deng, Y., & Zhao, R. (2015). Advanced oxidation processes (AOPs) in wastewater treatment. Current Pollution Reports, 1(3), 167-176.
- Mohammas, A., Al-Ghouti, A., & Da`ana, D. (2020). Guidelines for the use and interpretation of adsorption isotherm models: A review. Journal of Hazardous Materials, 122383.
- Rathi, B., & Kumar, P. (2021). Application of adsorption process for effective removal of emerging contaminants from water and wastewater. Environmental Pollution, 280, 116995.
- Adewuyi, Y. G., Khan, M. A., & Sakyi, N. Y. (2014). Kinetics and modeling of the removal of nitric oxide by aqueous sodium persulfate simultaneously activated by temperature and Fe²⁺. Industrial & Engineering Chemistry Research, 53(2), 828-839.

Picazo-Rodríguez, N. G., Carrillo-Pedroza, F. R., Soria-Aguilar, M. D. J., Baltierra, G., González, G., Martínez-Luevanos, A., & Almaguer Guzmán, I. (2022). Use of Thermally Modified Jarosite for the Removal of Hexavalent Chromium by Adsorption. *Crystals*, 12(1), 80.

Petrova, T., Fachikov, L., & Hristov, J. (2011). The magnetite as adsorbent for some hazardous species from aqueous solutions: a Review. *International Review of Chemical Engineering*, 3, 134-152.

