

## Sistema continuo para remoción de níquel con nanopartículas fijadas sobre una matriz inorgánica

Lopez, Tomás <sup>a</sup>; Fossati, Ana <sup>b</sup>; Boeykens, Susana <sup>a</sup>; Jacobo, Silvia <sup>b</sup> y Piol, María Natalia <sup>a,c</sup>

<sup>a</sup> Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Instituto de Química Aplicada a la Ingeniería (IQAI), Laboratorio de Química de Sistemas Heterogéneos (LaQuíSiHe)

<sup>b</sup> Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Instituto de Química Aplicada a la Ingeniería (IQAI), Laboratorio Químico de Materiales Magnéticos de Aplicación a la Ingeniería (LaQuíMMaI).

<sup>c</sup> Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Instituto de Química Aplicada a la Ingeniería (IQAI), Grupo Interdisciplinario de Quimiodinámica (GIQuim)  
laquisihe@fi.uba.ar

### Resumen

La búsqueda del cumplimiento de normas ambientales implica explorar tecnologías simples, de sencilla y económica implementación para lograr la apropiación por parte de los actores que deberían utilizarlas. De este modo un menor costo económico favorecería a la directa disminución del costo ambiental, al menos en lo que al vertido de efluentes se refiere. Por otro lado, aprovechar las ventajas de la nanotecnología representa un gran desafío para saltar de escala al tratamiento industrial de efluentes. Este trabajo plantea utilizar un sistema continuo de lecho fijo compuesto por un material accesible como dolomita (una roca calcárea) y nanopartículas de magnetita sintetizadas sobre dolomita como relleno de un reactor. Entre las ventajas de este sistema se plantea la fijación de las nanopartículas que quedan inmóviles manteniendo su eficiencia de remoción, en este caso, de níquel. Así, respetando las proporciones, se obtuvieron las curvas de ruptura para dolomita (D), dolomita-nanopartículas mezcladas mecánicamente (DNM) y dolomita-nanopartículas fijadas sobre dolomita (DNF). En todos los casos se realizaron los ajustes de los modelos de Thomas, Adams-Bohart y Yoon-Nelson obteniéndose los parámetros característicos de cada sistema. Luego utilizando datos fluidodinámicos se estimó la adsorción de cada sistema comparando áreas y se obtuvo una remoción de níquel de 4,9%, 17,4% y 39,4% respectivamente. En el último caso, no solo se tiene la mejora en la remoción de níquel sino como ventaja extra la fijación de la nanopartícula. Por lo tanto, el sistema DNF es potencialmente utilizable para escalar como tratamiento de bajo costo para retener níquel.

**Palabras clave:** dolomita, nanopartículas, reactores continuos de lecho fijo, curvas de ruptura, níquel

### INTRODUCCIÓN

La búsqueda del cumplimiento de normas ambientales implica explorar tecnologías simples, de sencilla y económica implementación para lograr la apropiación por parte de los actores que deberían utilizarlas. De este modo un menor costo económico favorecería a la directa disminución del costo ambiental, al menos en lo que al vertido de efluentes se refiere. Si discutimos la definición de costo según Charles Horngren (2012), es un recurso que se sacrifica o al que se renuncia para alcanzar un objetivo específico, por lo tanto, disminuir los costos no solo económicos sino ambientales de un proceso, debe ser el desafío.

Por otro lado, la eficiencia de las nanopartículas para procesos adsortivos ha sido probada para diversos contaminantes (Fossati, et al. 2019), esta eficiencia se debe principalmente a su gran área superficial. Sin

embargo, su uso en grandes reactores es de difícil implementación dado justamente su pequeño tamaño. Por lo tanto, este trabajo propone aprovechar las ventajas que la nanotecnología representa para tratar de lograr el gran desafío del salto de escala y la aplicación a nivel de tratamiento industrial de efluentes. Entonces, se plantea utilizar un sistema continuo de lecho fijo compuesto por un material accesible como dolomita (una roca calcárea) y nanopartículas de magnetita sintetizadas sobre dolomita, como relleno de un reactor. Si bien, otros autores (El Mouden, et al. 2023) han propuesto esta combinación de materiales en este trabajo se estudia como ventaja la fijación de las nanopartículas sobre el material inorgánico logrando que queden inmóviles, mejorando, incluso, su eficiencia de remoción de contaminantes y ambientalmente seguro.

## OBJETIVO

Estudiar comparativamente la remoción de níquel producida por el empleo de dolomita (D), dolomita-nanopartículas mezcladas mecánicamente (DNM) y dolomita-nanopartículas fijadas sobre dolomita (DNF) como rellenos de un sistema continuo para remoción de níquel.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Todos los reactivos y productos químicos utilizados en síntesis de sistemas nanoparticulados son de grado analítico. Como material adsorbente económico se utiliza la dolomita, que es una roca calcárea sedimentaria compuesta por carbonatos de calcio y magnesio, de fórmula  $CaMg(CO_3)_2$ .

Para obtener las nanopartículas de magnetita (tamaño de partícula  $9.0 \pm 0.1$  nm) se empleó el método de coprecipitación en solución acuosa a partir de soluciones de sulfato ferroso heptahidratado y cloruro férrico heptahidratado, descrito por Fossati et al. (2019). Para sintetizar la dolomita magnética se siguió el mismo procedimiento con la excepción de que las soluciones preparadas se mezclaron en un recipiente que previamente contenía dolomita lavada y secada.

La caracterización del sistema que se realizó por Difracción de Rayos x.

Para los ensayos continuos se empleó un reactor tubular de material acrílico con un volumen de  $26,5 \text{ cm}^3$ , de 15 cm de longitud y 1,5 cm de diámetro (Figura 1.a), asegurando así que no se produjeran obstrucciones, canalizaciones ni desbordamientos de fluido (Saralegui, et al. 2022; Vallini, et al. 2023) Se utilizaron las siguientes proporciones de mezcla de adsorbentes como rellenos: a) 1,25 g DNF y 12,5 g D, b) 0,25 g DNM y 13,5 g D y c) 13,75 g D. (Figura 1.b) Estas cantidades aseguran el mismo porcentaje de material inorgánico y de nanopartículas en los reactores a) y b). El reactor c) se utiliza para considerar la cantidad de níquel removido por la D únicamente.

En todos los ensayos se utilizó un caudal  $1 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$  de solución  $30 \text{ mg Ni}^{+2} \cdot \text{L}^{-1}$ . Se tomó una muestra de solución de salida cada 5 minutos durante 12 horas.

El contenido de níquel y de hierro se midió por Espectrometría de Absorción Atómica con un equipo GBC EXPLORAA 2017.



Figura 1. Sistemas continuos utilizados. a) sistema completo con dos reactores de flujo continuo ascendente instalados. b) los tres reactores utilizados para la comparación de las diferentes proporciones de materiales como relleno.

## RESULTADOS Y DISCUSION

La Figura 2 muestra la comparación de los perfiles de difracción de la D, la nanopartícula desnuda y el sistema DNF. En el perfil de difracción de la dolomita se observa que presenta un cierto porcentaje de aragonita.

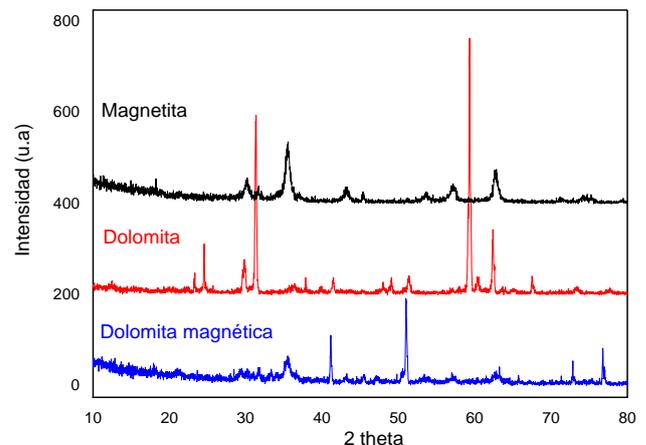


Figura 2: Difractogramas de la magnetita, dolomita y dolomita magnética.

Los picos máximos de la magnetita se corresponden a la fase espinela cúbica correspondiente a la magnetita (JCPDS no 19- 0629). La DNF presenta los picos correspondientes a la magnetita, donde la baja intensidad de los mismos está relacionada con el bajo porcentaje en la dolomita. Se aprecia una distribución algo diferente comparada con la magnetita, posiblemente por la interacción de la magnetita con el

a)

b)

material adsorbente, esto estaría indicando que podría haberse producido un material con característica diferentes. Se está trabajando en más caracterizaciones para dilucidar esta cuestión.

En la Figura 3 se muestran las curvas de ruptura obtenidas para el ensayo fluidodinámico y para los ensayos de remoción de níquel. El grado de empujamiento del salto en las curvas indica una menor remoción de níquel, así la curva negra (más empinada) corresponde al ensayo fluidodinámico en donde el relleno es material inerte y por lo tanto no habría remoción de níquel. La curva verde se corresponde con el reactor conteniendo DNF y se puede observar que el menor empujamiento y por lo tanto la mayor remoción de níquel.

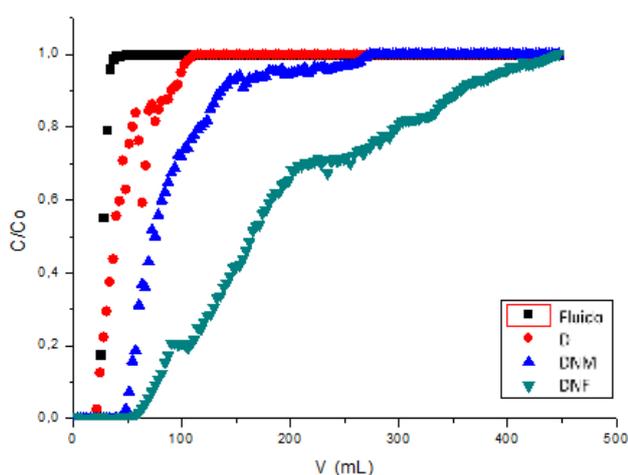


Figura 3: Curvas de ruptura obtenidas para el ensayo fluidodinámico y para los ensayos de remoción de níquel.

Luego utilizando datos fluidodinámicos se estimó la adsorción de cada sistema comparando áreas estimadas con el programa Origin 8.0® y se obtuvo una remoción de níquel de 4,59% para D de 17,4% para DNM y de 39,4% para DNF. Siendo el sistema con las nanopartículas fijadas el de mayor eficiencia. Tal como se observó en la Figura 3. Por otro lado, se muestra en la Figura 4 el reactor con el sistema conteniendo D y DNF agotado. Se puede observar que el 99% del material conteniendo nanopartícula se mantuvo en la primer mitad de la Fracción 1 del relleno del tubo mientras que en la segunda mitad de esa fracción se observó una leve coloración que indicaría un leve movimiento de material nanoparticulado. Se midió el contenido de hierro en las diferentes fracciones y se

obtuvo que el 99,5% de hierro en la Fracción 1. No detectándose en las 3 fracciones restantes. Para el reactor con DNM, se observó el desplazamiento de las nanopartículas en todo el relleno del reactor.



Figura 4 el reactor con el sistema conteniendo D y DNF agotado

## CONCLUSIONES

Se logró obtener un nuevo material compuesto, a partir de la síntesis de una nanopartícula de magnetita sobre dolomita, muy promisorio ya que resultó en un material con mayor eficiencia de remoción de níquel comparado con los otros materiales estudiados y un menor desplazamiento de las nanopartículas dentro del relleno. Por lo tanto, el sistema de DNF se convierte en un material novedoso, eficiente y ambientalmente más seguro que podría ser utilizado en sistemas de tratamiento a mayor escala, por lo que amerita continuar su estudio.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero de la Universidad de Buenos Aires (UBACyT 2018-22 20020170100668BA / 2023-25 20020220200235BA)

## BIBLIOGRAFÍA

- Horngren, CT. Contabilidad de costos. Un enfoque gerencial. 14th. Pearson ed, México, 2012. ISBN: 978-607-32-1024-9
- Fossati, Ana, Miriam Martins Alho b, Silvia E. Jacobo, Covalent functionalized magnetic nanoparticles for crude oil recovery. *Mat. Chem. and Phys.* 238 (2019) 121910.
- El Mouden, A., El Messaoudi, N., El Guerraf, A., Bouich, A., Mehmeti, V... . . Pinê Américo-Pinheiro, J. H. (2023). Removal of cadmium and lead ions from aqueous solutions by novel dolomite-quartz@Fe3O4 nanocomposite fabricated as nanoadsorbent. *Environ Research*, 225, 115606.
- Saralegui, M. N. Piol, V. Willson, N. Caracciolo, C. Vázquez, S. P. Boeykens. 2022. Lignocellulosic Waste as Adsorbent for Water Pollutants A Step towards Sustainability and Circular Economy. En: *Bioremediation of Toxic Metal(loid)s*, Chapter 9. CRC Press.
- Vallini, J., Willson, V., Fernández Luco, L., Saralegui, A. B., Boeykens, S. P., & Piol, M. N. (2023). Demolition waste for adsorption of metals: A step towards the circular economy. *J Environ. Manage.*, 342, 118200.