



## I CONGRESO CHILENO DE INGENIERÍA AMBIENTAL EN SISTEMAS ACUÁTICOS, CChIASA

### CARACTERIZACIÓN OPERACIONAL DEL TRATAMIENTO DEL DRENAJE ÁCIDO DE MINAS POR NANOFILTRACIÓN

PINO L.H.<sup>A</sup>, VARGAS C.A.<sup>A</sup>, SCHWARZ A.<sup>B</sup>, BORQUEZ R.<sup>A\*1</sup>

#### RESUMEN EXTENDIDO

Las infiltraciones de relaves y la generación de drenaje ácido de minas (DAM) en faenas activas o inactivas, han ido aumentando fuertemente en el último tiempo y su tratamiento ha representado un desafío importante [1].

Los tratamientos para tratar el DAM, procesos de precipitación química y los tratamientos biológicos con lodos activados, son los más utilizados. Sin embargo, ambos tratamientos presentan baja remoción de sulfato y también una generación excesiva de lodos tóxicos con alta concentración de metales [2].

Procesos de filtración como la separación con membranas representan una alternativa al proceso tradicional de los DAM debido a la alta concentración de iones que posee. Su aplicación ha sido demostrada [3-8], sugiriendo que la opción más prometedora es la nanofiltración dada su alta capacidad de remoción de metales y sulfatos a un menor costo energético en comparación con la osmosis inversa. Pruebas de laboratorio en membranas de tipo placa plana sugieren algunas condiciones operacionales, pero estudios con membranas enrolladas de tipo espiral establece el procedimiento para su empleo en forma industrial.

El principal objetivo del estudio es proveer un análisis descriptivo sobre el tratamiento del DAM usando membranas comerciales de nanofiltración en módulos enrolladas de tipo espiral en forma continua. Los resultados del estudio proporcionaran la información necesaria para el escalamiento real de una planta de tratamiento de separación con membranas.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

El drenaje utilizado en el estudio es proporcionado por Codelco División Andina, y equipo utilizado para la separación fue Alfa Laval PilotUnit 2.5" RO/NF. La composición del DAM se muestra en la

Tabla 1. Los efectos de presión, tiempo de operación y recuperación fueron analizadas utilizando dos membranas comerciales (NF90 y NF270) a  $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

---

<sup>1a</sup> Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Concepción, P.O Box 160-C, Concepción, Chile  
Corresponding author, [rborquez@udec.cl](mailto:rborquez@udec.cl)

<sup>b</sup> Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, P.O box 160-C, Concepción, Chile



**Tabla 1.** Composición del drenaje ácido de mina desde la mina de cobre CODELCO

Andina		
Parámetro	Unidad	Valor
pH	-	3.5
Conductividad	mS/cm	6.29
Alcalinidad	mg CaCO <sub>3</sub> /L	<1.0
ORP	mV	326.5
Sulfato	mg/L	2443.5
Aluminio	mg/L	54.9
Cobre	mg/L	617.9
Hierro	mg/L	2.7
Manganeso	mg/L	196.9
Zinc	mg/L	65.8
Calcio	mg/L	117.2
Sodio	mg/L	90.2
Bario	mg/L	0.03

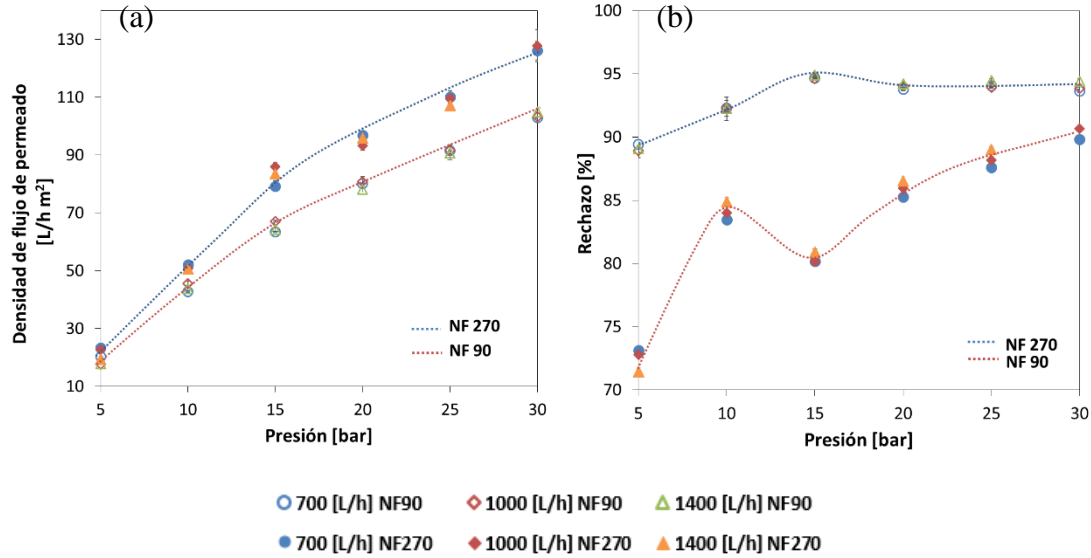
Las membranas NF90 y NF270 son membranas comerciales de Dow Chemical. Ambas poseen una capa activa (TFC) sobre una capa intermedia de polisulfona y una base de soporte de poliéster. La NF90 posee una capa activa de poliamida de tipo aromática que contiene ácidos carboxílicos y aminas primarias, mientras que NF270 es una mezcla de polímeros aromáticos de poliamida (polipiperazinamida) con una amina secundaria.

## RESULTADOS

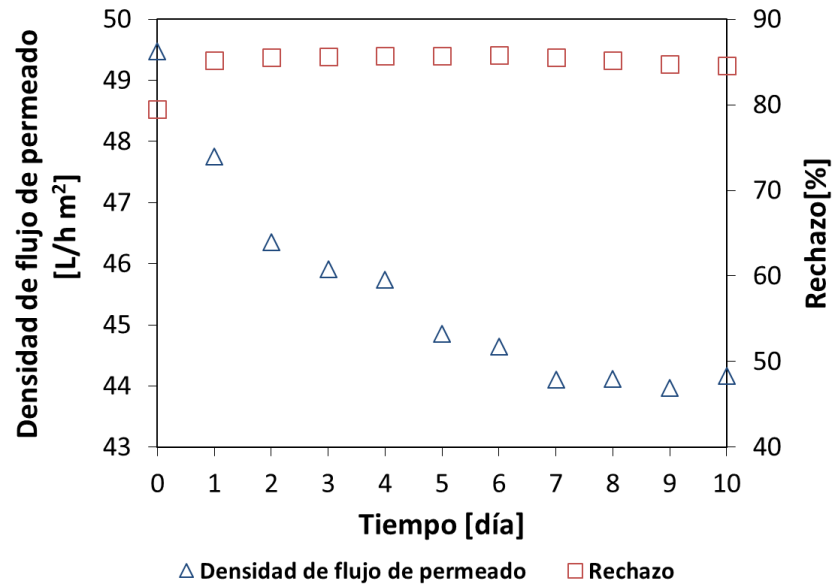
Resultados sobre la permeación de agua pura demostraron que la membrana NF270 posee un mejor desempeño ( $7.78 \pm 1.6$  L/m<sup>2</sup>h bar) que NF90 ( $5.37 \pm 0.6$  L/m<sup>2</sup>h bar). Estudios de Hilal, et al. (2005), demostraron con pruebas de microscopía de fuerza atómica (AFM), que el tamaño de poro de la NF270 es mayor que NF90 (0.71 nm y 0.55 nm, respectivamente), permitiendo un mayor flujo de permeado. Por otro lado, pruebas experimentales de Artug (2006) determinaron que el radio efectivo es similar en ambas membranas, sugiriendo que la permeabilidad es debido a la alta hidrofobicidad de la membrana NF270.

Pruebas con AMD en las membranas NF270 y NF90 se muestran en la Figura 1. Los resultados demostraron que la variación del flujo de alimentación no es estadísticamente significativo en el aumento de la permeación. El paso restrictivo de la membrana NF90 posee un mayor rechazo a menores flujos de permeado en comparación a la membrana NF270.

Resultados de las pruebas continuas del tratamiento del DAM con la membrana NF270 se muestran en la Figura 2 a una presión de 10 bar y una alimentación de 700 L/h. Los resultados obtenidos demostraron un decaimiento del flujo de un 12% en 10 días sin utilizar anti-escalantes. La alta recuperación y bajo decaimiento del permeado de la membrana NF270 sugieren el uso del tratamiento para largos periodos de tiempo.



**Figura 1:** Efectos de la presión operación y el caudal de alimentación para las membranas NF90 y NF270 en función del (a) Flujo de permeado y (b) Rechazo de iones multivalentes.



**Figura 2:** Flujo de permeado y rechazo flujo del tiempo de operación para la membrana NF270



### **Agradecimientos**

Los autores de este trabajo agradecen el financiamiento de Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y Minería (CRHIAM) y becas CONICYT 2016.

### **Referencias**

- [1] G.S. Simate, S. Ndlovu, Acid mine drainage: Challenges and opportunities, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2 (2014) 1785-1803.
- [2] E. Schoenberger, Environmentally sustainable mining: The case of tailings storage facilities, *Resources Policy*, 49 (2016) 119-128.
- [3] H. Al-Zoubi, A. Rieger, P. Steinberger, W. Pelz, R. Haseneder, G. Härtel, Nanofiltration of Acid Mine Drainage, *Desalination and Water Treatment*, 21 (2010) 148-161.
- [4] H. Al-Zoubi, A. Rieger, P. Steinberger, W. Pelz, R. Haseneder, G. Härtel, Optimization Study for Treatment of Acid Mine Drainage Using Membrane Technology, *Separation Science and Technology*, 45 (2010) 2004-2016.
- [5] M. Mullett, R. Fornarelli, D. Ralph, Nanofiltration of Mine Water: Impact of Feed pH and Membrane Charge on Resource Recovery and Water Discharge, *Membranes*, 4 (2014) 163-180.
- [6] B.C. Ricci, C.D. Ferreira, A.O. Aguiar, M.C.S. Amaral, Integration of nanofiltration and reverse osmosis for metal separation and sulfuric acid recovery from gold mining effluent, *Separation and Purification Technology*, 154 (2015) 11-21.
- [7] A. Rieger, P. Steinberger, W. Pelz, R. Haseneder, G. Härtel, Mine water treatment by membrane filtration processes - Experimental investigations on applicability, *Desalination and Water Treatment*, 6 (2012) 54-60.
- [8] C.-M. Zhong, Z.-L. Xu, X.-H. Fang, L. Cheng, Treatment of Acid Mine Drainage (AMD) by Ultra-Low-Pressure Reverse Osmosis and Nanofiltration, *Environmental Engineering Science*, 24 (2007) 1297-1306.
- [9] N. Hilal, H. Al-Zoubi, N.A. Darwish, A.W. Mohammad, Characterisation of nanofiltration membranes using atomic force microscopy, *Desalination*, 177 (2005) 187-199.
- [10] G. Artug, *Modelling and Simulation of Nanofiltration Membranes*, in, 2006.