



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

### DISEÑO CONCEPTUAL DE PLANTA DE NANOFILTRACIÓN PARA TRATAMIENTO DE DRENAJE ÁCIDO MINERO

**JAVIER ANDALAFT S.<sup>1</sup>**  
**ALEX SCHWARZ K.<sup>1</sup>**  
**RODRIGO BÓRQUEZ Y.<sup>2</sup>**

#### RESUMEN EXTENDIDO

El drenaje ácido es el principal problema de contaminación ambiental asociado a la industria minera. Este efluente presenta elevadas concentraciones de sulfato, metales disueltos y acidez (Akcił y Koldas, 2006). Su generación es un proceso completamente natural, sin embargo, las faenas mineras aceleran considerablemente su desarrollo. La minería propicia las fuentes generadoras que aumentan la superficie de contacto entre los minerales sulfurados de las rocas y el agua y oxígeno del ambiente (SERNAGEOMIN, 2015). Bajo el panorama actual, uno de los desafíos es incorporar nuevas formas de mitigación.

En los últimos años, se ha estudiado a escala experimental la posibilidad de incorporar la emergente tecnología de membranas para tratar el drenaje ácido minero (Al Zhoubi *et al*, 2011). Se trata de una alternativa eficiente, cuya fácil operación resulta en aguas de alta calidad y bajos volúmenes de concentrado (Carrasco, 2015). En consecuencia, la investigación tiene por objetivo realizar un diseño conceptual de una planta de nanofiltración capaz de tratar el drenaje ácido minero, que pueda operar a distintos rangos de caudal y asegurar una recuperación constante y elevada en el tiempo.

Su diseño se basa en el monitoreo entre 2010 y 2013 del drenaje ácido proveniente de depósitos de la división Codelco Andina ubicada a 80 km al noreste de Santiago (Tabla 1). Se registró un pH estable en torno a 4.3. El diseño de la planta de tratamiento fue optimizado con el *software* IMSDesign 2016 de Hydranautics. Esta herramienta incorpora numerosas restricciones de operación, tales como máximo flujo de permeado o mínimo caudal de concentrado, que aseguran el correcto funcionamiento de sistemas de membrana multi-etapas.

---

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Concepción, jandalaft@udec.cl

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Civil Química, Universidad de Concepción



**Tabla 1:** Concentraciones y Caudales registrados entre 2010 - 2013

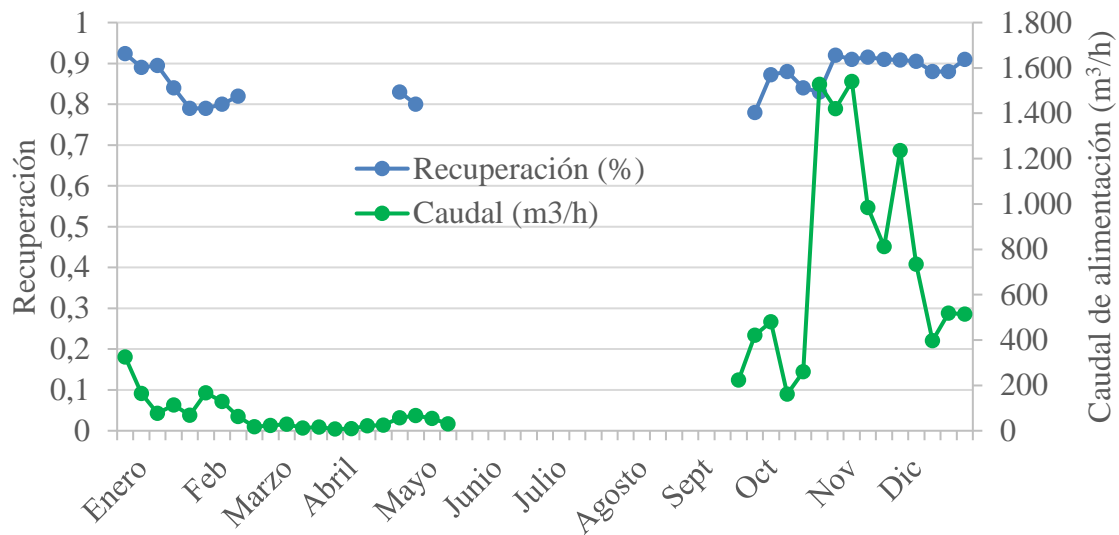
	<b>Cobre Cu<sup>2+</sup> (mg/L)</b>		<b>Sulfato SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (mg/L)</b>		<b>Caudal (L/s)</b>	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Enero	171,4	45,8	1595	599	173,0	10,0
Febrero	647,0	47,2	3918	793	66,0	6,0
Marzo	481,7	127,5	5014	1498	24,1	1,1
Abril	676,0	76,0	5102	999	19,0	2,0
Mayo	616,0	158,0	4492	1634	24,0	6,0
Octubre	296,2	66,3	2442	726	404,0	40,0
Noviembre	165,0	45,4	1480	554	483,0	162,0
Diciembre	243,0	15,7	1498	571	367,0	83,0

La planta de nanofiltración consta de 430 portamembranas de 6 módulos en espiral ESNA1-LF-LD de 1.0 m de largo y 37 m<sup>2</sup> de superficie activa, dispuestos en tres etapas (DOW, 2011), en la proporción 4:2:1 (Tabla 2). Este sistema es capaz de tratar un caudal máximo de 3.400 m<sup>3</sup>/h.

**Tabla 2:** Propuesta operacional

<b>Operación</b>	<b>Rango de Caudales (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Cantidad de portamembranas</b>		
		Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
1	2000 - 3400	242	127	67
2	1180 - 2000	142	75	39
3	700 - 1180	85	45	24
4	410 - 700	50	26	14
5	250 - 410	30	16	8
6	170 - 250	20	11	6
7	110 - 170	13	7	4
8	70 - 110	8	4	2

La metodología de diseño permitió desarrollar una planta de tratamiento que asegura el correcto funcionamiento a lo largo del tiempo, a pesar de la variabilidad hidrológica del entorno. Debido al riesgo de ensuciamiento inorgánico de las membranas, el índice de saturación del yeso CaSO<sub>4</sub> en el concentrado definitivo no puede exceder el 400%. Esta restricción controla la recuperación del sistema ( $Q_{\text{permeado}}/Q_{\text{entrada}}$ ), pues recuperaciones muy elevadas podrían conllevar a saturaciones excesivas de CaSO<sub>4</sub> y por ende ocasionar el ensuciamiento de las membranas. La recuperación se mantiene estable en torno al 80-90 % (Figura 1).



**Figura 1:** Recuperación ( $Q_{\text{permeado}}/Q_{\text{entrada}}$ ) simulada de la planta a lo largo de un año

Con un consumo aproximado de  $0,39 \text{ kWh/m}^3$  de permeado generado, se considera un diseño de bajo costo operacional en comparación a otros sistemas convencionales de tratamiento tales como el HDS (*High Density Sludge*). Permite concentrar anualmente 225 (Ton) de cobre, con concentraciones en el concentrado en torno a  $1.000 \text{ mg/L}$  y reduce las concentraciones de sulfato a valores cercanos a  $200 \text{ mg/L}$  en el permeado cumpliendo así con la norma de agua potable NCh 409. Si bien ciertos elementos como el Aluminio, Zinc y Hierro no cumplen con normas de calidad en épocas de bajo caudal, se puede reconfigurar la planta para realizar 2 ó 3 pasadas y satisfacer las exigencias establecidas.

### Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen el financiamiento de FONDAP/CRHIAM Proyecto 15130015.

### Referencias

Akcil, A., and Koldas S., 2006. Acid mine drainage (AMD): causes, treatment and case studies. *Journal of Cleaner Production*. 14 (12-13), 1139-1145.

Al-Zhoubi H., Rieger A., Steinberger P., Pelz W., Haseneder R. and Härtel G., 2011. Optimization Study for Treatment of Acid Mine Drainage using Membrane Technology. *Separation Science and Technology*. 45(14), 2004-2016.

Carrasco, C., 2015. Tratamiento de drenaje ácido utilizando nanofiltración. Memoria de Título Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Concepción. Concepción.

DOW, 2011. FILMTEC Reverse Osmosis Membranes: Technical Manual. Midland.

SERNAGEOMIN, 2015. Guía Metodológica para la Estabilidad Química de Faenas e Instalaciones Mineras. Servicio Nacional de Geología y Minería, 246 páginas. Santiago.