

BQE Water Sulfato en Aguas Residuales Mineras – Una Cuestión de Masa

El sulfato es un subproducto común que puede encontrarse en el agua impactada de mina el cual está cada vez más en el radar de los agentes reguladores como un contaminante de preocupación. A diferencia de contaminantes metálicos como el cobre, que a menudo se encuentran en las aguas residuales mineras a niveles bajos de 0,1 a 10 mg/L, las concentraciones de sulfato tienden a ser mucho más altas y pueden superar concentraciones de 1.000 a 2.000 mg/L. Estos valores son comunes incluso después del ajuste de pH con cal, el cual es el método más común que se usa actualmente para controlar sulfato. Como resultado, mientras que el porcentaje de eliminación requerido para alcanzar los límites de descarga ambiental puede ser similar tanto para el sulfato como para los metales, la carga de masa de sulfato que requiere remoción es de una magnitud superior a la de los metales.

Para ilustrar este orden de diferencia de magnitud, la tabla a continuación muestra la remoción de masa de una corriente residual de mina después de una planta HDS a un flujo de 5.000 m³/d (~210 m³/h), siendo tratada de acuerdo a las pautas de calidad del agua entregadas por el MINAM en el ECA categoría 3 para riego de vegetales y bebidas animales:

En este ejemplo, alcanzar los objetivos de tratamiento requiere eliminar casi 1.900 veces más sulfato que cobre. Esta diferencia tiene implicaciones importantes para el manejo de residuos, consumo de reactivos y selección de la tecnología



gía de tratamiento. Cada uno de estos factores hace del sulfato un contaminante excepcionalmente difícil de manejar en el agua impactada de mina.

Gestión de Residuos

El tipo de residuo de sulfato generado depende del tipo de tratamiento utilizado. Se puede obtener yeso sólido, ettringita o salmuera líquida. Los 7.500 kg/d de sulfato eliminado en este ejemplo equivalen a:

- 13,5 t/d de yeso,
- 32,5 t/d de ettringita o
- 1.100 t/d de salmuera líquida.

Cada forma de residuo tiene características muy diferentes en términos de estabilidad, facilidad de manejo, toxicidad y potencial de extracción, los cuales se deben considerar para apreciar y minimizar el costo del tratamiento durante el ciclo de vida.

Contaminante	Agua de Minas, mg/L	ECA 3, mg/L	Remoción, %	Masa Removida, kg/d
Sulfato	1.800	300	83%	7.500
Cobre	1	0,2	80%	4

Consumo de Reactivos

La eliminación de grandes cantidades de sulfato del agua requiere de grandes cantidades de reactivos. Para hacer yeso y ettringita, el consumo de cal sería aproximadamente 3-6 t/d, y el consumo de aluminio para ettringita sería 1,5 t/d. Incluso cuando la mina está en pleno funcionamiento y bien conectada a servicios portuarios o ferroviarios, este es un gasto significativo. Sin embargo, al principio del desarrollo de un proyecto, cuando la infraestructura es limitada y la dependencia del transporte aéreo es más común, el costo de manejo de toneladas por día de reactivo puede ser prohibitivo. Lo mismo ocurre durante el cierre, cuando la mina contaría con menos personal.

Selección de Tecnología

Fundamentalmente, hay dos enfoques diferentes para la eliminación de sulfato:

1. Enfoque **no selectivo** donde el



sulfato se elimina junto con todos los componentes del agua en el mismo alto grado cerca del 100 % o

2. Enfoque de **eliminación selectiva** en el que sólo se elimina realmente el sulfato, y el grado de eliminación es variable para permitir que la planta cumpla con los requisitos reglamentarios sin tener que eliminar más de lo que realmente se requiere.

En el fondo de todo esto, el tratamiento del agua se trata de un equilibrio de masas, por lo que independientemente del proceso seleccionado, ya sea osmosis inversa, ettringita, intercambio iónico, humedales u otro, siempre que se requiera eliminar un contaminante desde aguas residuales, hay que convertirlo en un subproducto que debe ser gestionado. Esto no es exclusivo para el sulfato, lo que sí es exclusivo para el sulfato es la escala del problema y por ello se deben considerar varios aspectos en la selección del tratamiento, incluyendo:

- Tiempo que se requiere realizar

el tratamiento. Si el horizonte temporal es superior a 10 años, el concepto del ciclo de vida de los costos es uno de los factores clave para seleccionar el tratamiento del agua.

- Alternativas para la gestión de residuos generados por el proceso seleccionado.
- Capacidad para lidiar con las fluctuaciones de flujo, temperatura y composición.
- Facilidad y confiabilidad en la operación.
- Experiencia comercial y capacidad técnica.

En BQE Water somos expertos en el tratamiento y gestión de aguas mineras, contamos con tecnologías propias para la remoción de sulfatos de manera simple y de bajo costo. Tenemos capacidad para evaluar los problemas difíciles involucrados el manejo y gestión de aguas mineras, de manera holística y vemos fuera de los límites del proyecto lo que nos permite ayudar al cliente a seleccionar las mejores alternativas de tratamiento, las cuales son específicas para cada sitio y proyecto.

TECNOLOGÍA EN PROCESAMIENTO DE MINERALES S.A.

Empresa líder en el desarrollo de tecnologías en el procesamiento de minerales, con más de 34 años de experiencia en el mercado Latinoamericano a través de sus oficinas en Perú, Chile, México y Argentina.

Diseño de Procesos - Ingeniería Básica y Detalles Fabricación, Equipos y Puesta en Marcha.

Sistemas de Muestreo

Plantas de Preparación de Lechada de Cal

Plantas de Preparación de Reactivos

Sistemas de Agitación y Mezcla

Plantas de Recuperación Oro & Plata

Planta de Tratamiento de Efluentes

Separación Sólido & Líquidos

Equipos:

Molinos Bolas

Molinos Torre - Remolienda

Espesadores

Clarificadores

Telas o Lonas para Filtros

AGITADORES

PLANTAS ADR MODULARES

FILTROS PRENSA

ESPESADORES Y CLARIFICADORES

TELAS O LONAS PARA FILTRO

TRATAMIENTO DE AGUAS MINERAS

MOLINO BOLAS

MOLINOS VERTICALES

Lima: Genaro Castro Iglesias 272, Urb. La Aurora, Miraflores, Lima 18 | Fono: 511 628 0334 / 511 555 6609 | Mail: ventas@tecprominperu.com

www.tecpromin.com