

# ELIMINACIÓN DE SULFATOS EN AGUAS DE MINA MEDIANTE PROCESO DE PRECIPITACIÓN EN SERIE Y NANOFILTRACIÓN

Joan Sanz. Veolia Water Technologies. Avda. Vía Augusta 3, Sant Cugat del Vallès.  
Email: joan.sanz@veolia.com

## RESUMEN

Las nuevas regulaciones que limitan los sulfatos en los vertidos de aguas superficiales y un mayor interés en la reutilización de agua de la mina como beneficio en la gestión de recursos, están llevando a la industria minera a buscar las mejores tecnologías disponibles para la reducción de los sulfatos. Veolia Water Technologies ha desarrollado a nivel global un proceso patentado que elimina los sulfatos del agua de la mina y genera un efluente de agua limpia para su reutilización o vertido. Esta solución utiliza una precipitación en dos etapas empleando los procesos y tecnologías Veolia como son el proceso MULTIFLO™ y el reactor de mezcla Turbomix™ para reducir la concentración de sulfato en agua de la mina a valores inferiores a 50 mg/L.

## INTRODUCCIÓN

Una nueva solución tecnológica para la eliminación de los sulfatos de efluentes mineros, que combina la precipitación química y la nanofiltración, está captando la atención en los cinco continentes. Un proyecto de demostración recientemente finalizado en América ha suscitado el interés de compañías mineras en búsqueda de soluciones avanzadas más rentables económicamente.

Por ejemplo, en Europa, el empleo de la nanofiltración en minas de hierro lleva empleándose durante años y ha permitido aumentar el rendimiento, mejorar el mantenimiento y reducir costes respecto al diseño original. Y en África la capacidad de la tecnología para la reutilización de agua ha supuesto toda una revolución en países áridos o semiáridos.

Las principales tecnologías de tratamiento de aguas de mina con sulfatos consideradas hasta ahora son la precipitación química, el tratamiento biológico, el intercambio iónico, los procesos de separación por membranas (nanofiltración u ósmosis inversa) y la evaporación-cristalización. De ellas la que presenta mayor interés con objeto de reciclar aguas es la nanofiltración, pero la gestión de la corriente de rechazo es una dificultad a resolver de forma fiable y económica.

El proceso para la eliminación de sulfatos, desarrollado por Veolia Water Technologies, permite dar respuesta a una normativa cada vez más restrictiva, que regula el contenido de sulfatos en el vertido de aguas superficiales, así como permite a las industrias la reutilización de agua para otros usos en la propia mina. El proceso ha conseguido reducir el contenido de sulfatos por debajo de 50 mg/L, obteniendo un efluente adecuado para su reutilización o vertido.

## DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Entre las soluciones de tratamiento de aguas de mina con sulfatos el uso de membranas de nanofiltración (NF) genera un permeado de calidad y una solución con una corriente de rechazo de alta concentración de iones de sulfato.

La adición subsiguiente de iones de calcio hace que la solución alcance la sobresaturación con respecto al sulfato de calcio, dando como resultado la precipitación de sulfato de calcio (yeso) y una reducción de la concentración a valores inferiores a 1500 mg/L-1800 mg/L.

Con el objetivo de mejorar esta alternativa se ha desarrollado el proceso combinado con la finalidad de emplear la reacción de precipitación de sulfato de calcio en un primer paso y seguidamente generar en un segundo paso el precipitado de una sal combinada de calcio y aluminio con el sulfato (etringita, un sulfoaluminato de calcio hidratado), y obtener un sobrenadante con una concentración en sulfato inferior a 50 mg/L, susceptible de ser reutilizado.

La formación del precipitado de etringita se hace reversible en un tercer proceso que permite recuperar tanto la sal de aluminio como la solución saturada de sulfato de calcio que así puede reciclar en el primer paso.

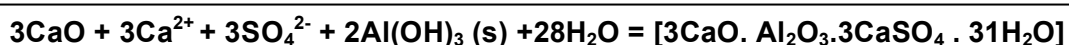


Figura 1. Formación de la etringita

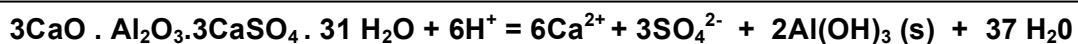


Figura 2. Regeneración del hidróxido de aluminio y de la solución saturada de sulfato de calcio

Desde el punto de vista de la tecnología, la primera etapa de este proceso se realiza mediante el sistema MULTIFLO™ (Figura 3) que puede ser alimentado con el rechazo de la nanofiltración previa o bien directamente con las aguas a tratar. Este sistema va equipado con el reactor TURBOMIX™ para conseguir reducir los sulfatos por debajo de 1.800-1.500 mg/L. A continuación el agua es tratada con una sal de calcio si es necesario y sal de aluminio en un segundo sistema MULTIFLO™. Esta segunda etapa permite precipitar los sulfatos como un mineral sulfoaluminato de calcio muy insoluble conocido como etringita, consiguiendo reducir los sulfatos disueltos por debajo de 50 mg/L.

El fango en exceso de la segunda etapa es bombeado a un tercer sistema MULTIFLO™ más compacto que sirve como tanque de regeneración de la sal de aluminio y del sulfato de calcio. Esta tercera etapa permite recuperar más del 95% de la sal de aluminio del fango para su reutilización en el proceso, siendo este punto clave para conseguir la reducción de costes de operación, ya que la reutilización del aluminio en el proceso en lugar de usar aluminio fresco reduce el coste de los reactivos químicos en seis veces respecto al esquema de tratamiento sin regeneración. La Figura 4 muestra el diagrama de flujo de todo el proceso combinado de eliminación de sulfatos con las tres etapas de tratamiento por precipitación y separación sólido-líquido.

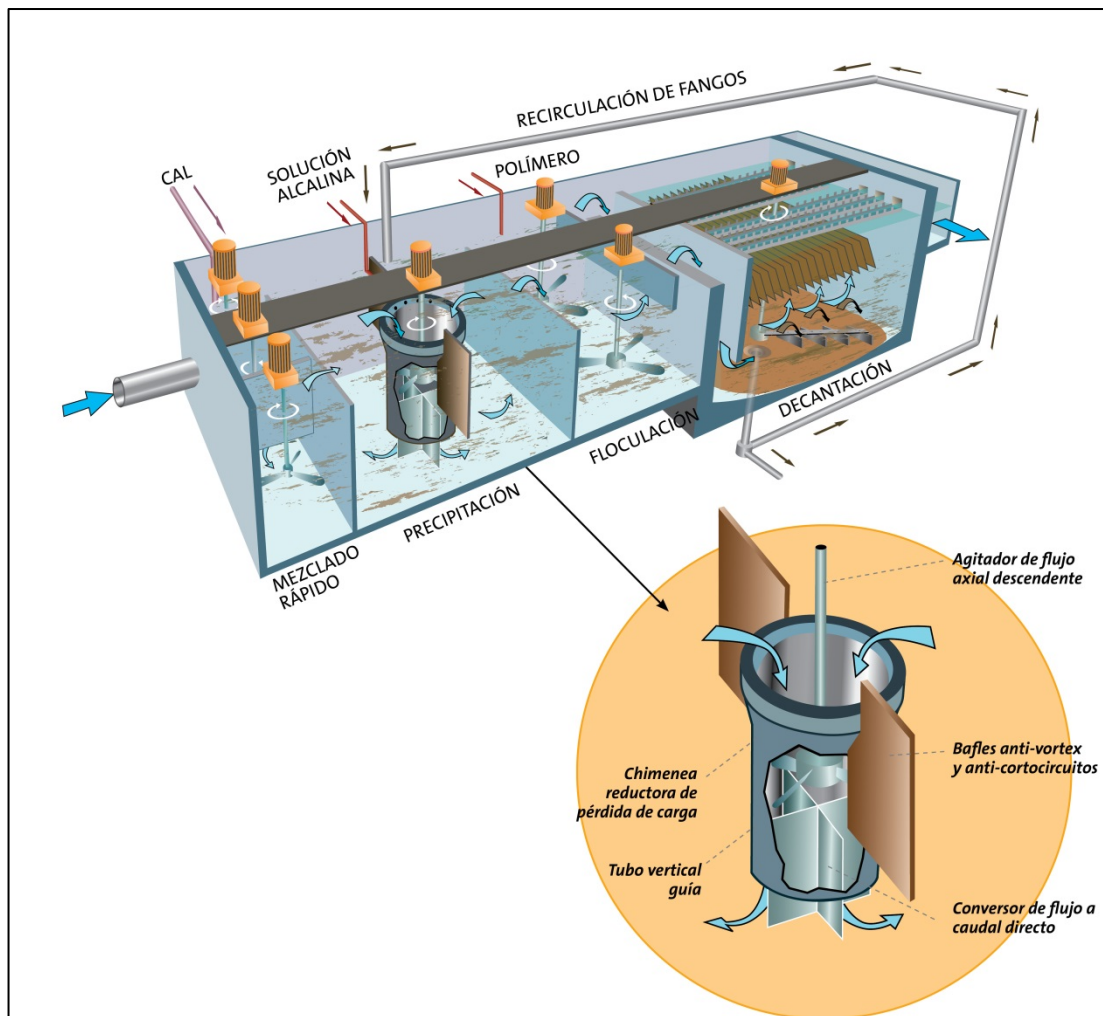


Figura 3. Proceso MULTIFLO™ para la precipitación de sulfatos

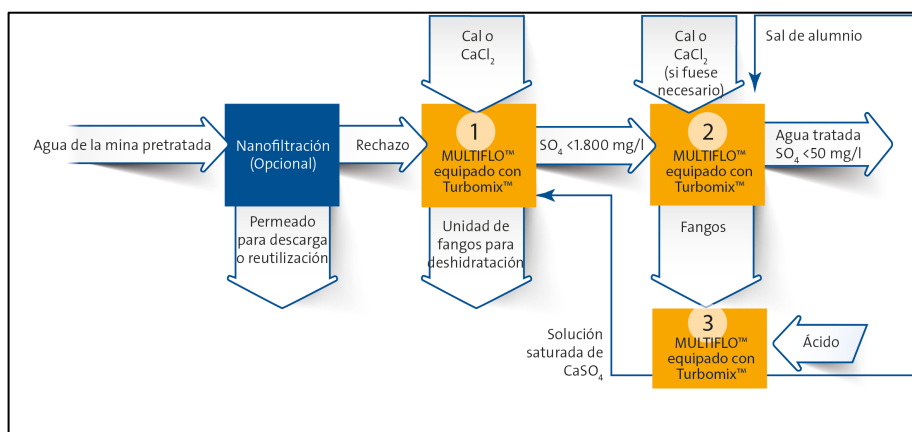


Figura 4. Diagrama de flujo del proceso combinado de eliminación de sulfatos

## CONCLUSIONES

La aplicación del nuevo proceso combinado de precipitación desarrollado permite obtener como mejora en la eliminación de sulfatos los siguientes aspectos:

- Reutilización de hasta un 98% del agua al tratar la corriente de rechazo de la nanofiltración
- Obtención de un agua tratada de alta calidad para vertido o reutilización con concentración de sulfato inferior a 50 mg/l partiendo de la corriente de rechazo de la nanofiltración
- Reutilización de un 90-95% de la sal de aluminio empleada en la precipitación de la etringita con objeto de reducir el coste de reactivos
- Reducción de costes económicos para tratar el rechazo de la nanofiltración
- Producción de un sulfato cálcico no peligroso que facilita su gestión
- Diseño de proceso compacto y de eficiencia probada empleando la tecnología MULTIFLO™ y reactor de mezcla TURBOMIX™

## REFERENCIAS

K. Banerjee (2013). A process for sulfate treatment of membrane concentrate from mining operations. Disponible en: <http://www.veoliawaterst.cl/vwst-chile/ressources/files/1/32466,Kashi-Banerjee-Sulfate-Treatment-R.pdf>

E. Wittmann, J. Biel, T. Leleyter, B. Mack, B. Forissier (2012). 16 years of experience in mine water sulphate removal by nanofiltration. En Waterinmining 2012, 3<sup>rd</sup> International Congress on Water Management in the Mining Industry. 6-8 Junio 2012, Santiago, Chile.

Veolia Water Technologies (2014). Sulfate reduction, Technology for Mine Water Treatment. Disponible en: <http://veoliawatertechnologies.com/vwst/ressources/files/1/35272,Veolia-Sulfate-Brochure-FinalUSA-L.pdf>

Veolia Water Technologies (2014). Industria Minera: Soluciones Sostenibles en Tratamientos de agua. Disponible en: [http://www.veoliawatertechnologies.es/vwst-iberica/ressources/files/1/30837,Industria-Minera\\_LR\\_SP.pdf](http://www.veoliawatertechnologies.es/vwst-iberica/ressources/files/1/30837,Industria-Minera_LR_SP.pdf)