

Eliminación biológica de Selenio a través de tecnología de lecho móvil en aguas residuales mineras

Autor

Garbiñe Manterola Agirrezabalaga

Veolia Water Technologies. Email:garbine.manterola@anoxkaldnes.com

Introducción

El aumento de evidencias del efecto nocivo del selenio en la salud y el medio ambiente ha llevado a un endurecimiento de los requerimientos de vertido y a la necesidad de desarrollar procesos eficaces para reducir el contenido de selenio en las aguas residuales. El selenio elemental es relativamente no tóxico y además se considera un elemento traza esencial. Aun así, si se superan los límites máximos recomendados puede convertirse en un compuesto potencialmente tóxico. Se han confirmado casos de deformidades físicas y fallos del sistema reproductivo en especies acuáticas expuestas a niveles de selenio de 10 µg/l, que debido a la bioacumulación causan concentraciones de entre 510 y 1.395 veces mayores en sus tejidos internos.

Aunque el límite de vertido para la concentración de selenio total en agua dentro del territorio español depende de la administración responsable y del cauce receptor, existe una tónica general de restringir el límite de selenio a límites cada vez más estrictos. En países como Estados Unidos el límite está fijado en <5 µg/l, cuando se trata de su descarga en sistemas de agua fresca, y de 12 µg/l para descarga desde plantas de energía.

El selenio, principalmente en su forma de selenato (Se^{6+}), se encuentra presente en efluentes mineros y de la industria de la energía ya que este mineral se halla en el carbón con una concentración entre 0,5 y 12 ppm de selenio, lo que supone unas 80 o 90 veces más del promedio que se encuentra en las minas de cobre.

Eliminación biológica de Selenio mediante tecnología MBBR

El interés sobre los métodos biológicos de eliminación de selenato ha aumentado durante los últimos años debido a que la eliminación de este compuesto con métodos físico-químicos resulta muy difícil. La eliminación de selenato se puede realizar de forma biológica, reduciéndolo a su forma más elemental. Esta transformación convierte el selenio en insoluble, de tal forma que puede ser eliminado de las aguas residuales usando métodos tradicionales de separación líquido-sólido.

La eliminación del selenio por vía biológica sólo puede realizarse bajo condiciones anaerobias al ser tanto el oxígeno como el nitrato aceptores de electrones más favorables que las formas oxidadas de selenio (SeO_4^{2-} y SeO_3^{2-}). La presencia de los iones de oxígeno y nitrato, por lo tanto, limita la reducción de selenitos y selenatos y debe ser tenido en cuenta a la hora de diseñar los tratamientos de eliminación de selenio.

Además, puesto que las encargadas de llevar a cabo las reacciones de reducción son bacterias heterótrofas los tratamientos de eliminación de selenio requieren del uso de una fuente de carbón (Figura 1).

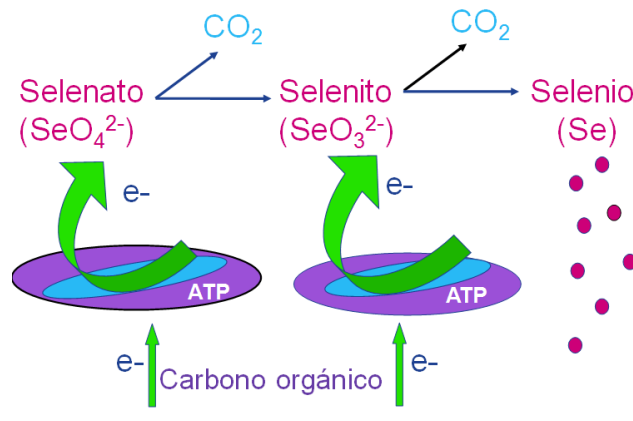


Figura 1. Proceso bioquímico de reducción de selenato a selenio elemental (insoluble)

Los tratamientos biológicos basados en procesos de biopelícula resultan muy atractivos para el tratamiento de aguas residuales mineras por poder tratar aguas con un rango amplio de concentraciones de selenio y por su habilidad de reducir el contenido de selenio hasta niveles muy bajos y así cumplir los requerimientos legales cada vez más estrictos. Las bacterias heterótrofas reductoras del selenio quedan retenidas y protegidas dentro del reactor biológico en forma de biopelícula, con densidades elevadas de biomasa, lo que ayuda a reducir el volumen de reactor requerido y permite alcanzar un proceso muy robusto.

La tecnología de lecho móvil AnoxKaldnes™ MBBR, combinado con post-tratamientos químicos tradicionales, es una solución tecnológica y económicamente viable para la eliminación de selenio de aguas residuales mineras. Las bacterias reductoras de selenio forman una biopelícula en el soporte plástico de los reactores de lecho móvil de tal forma que están más protegidos que en un reactor de fangos activos y el proceso gana en robustez. Este soporte plástico está en continuo movimiento dentro del reactor mediante agitación mecánica y, debido al efecto de cizalladura por los choques entre el soporte, el exceso de fango se desprende y, al contrario que en tratamiento de biopelícula fija, no es preciso incorporar limpiezas del sistema. Por ello, además de su alto rendimiento, la tecnología AnoxKaldnes™ MBBR reduce costes de operación y tiene gran facilidad de operación, ventaja que es muy apreciada por sus usuarios.

El agua tratada junto con los sólidos desprendidos del soporte sale de los reactores a través de unos colectores que permiten mantener el soporte plástico dentro del reactor, y en ellos la biomasa activa en forma de biopelícula. Los soportes plásticos tienen una vida útil superior a los 20 años, lo cual les confiere gran atractivo desde el punto de vista tanto ambiental como económico. Asimismo, los reactores MBBR o de lecho móvil pueden trabajar con elevadas concentraciones de sólidos en el influente, sin que esto vaya en detrimento de la eficiencia de eliminación.

Experiencia a escala laboratorio

Veolia lleva varios años involucrada en proyectos de investigación para la optimización de la tecnología de lecho móvil para reducir el contenido de selenio en diversos tipos de aguas residuales, entre ellos, los procedentes de minerías de carbón y cobre y centrales eléctricas. Resultados experimentales, tanto a escala laboratorio como a escala piloto, han corroborado la aplicabilidad de los procesos de lecho móvil para reducir efectivamente el selenio contenido en el agua. En la Tabla 1 quedan resumidas las principales características influyentes de algunas de las aguas residuales con los que se han realizado los experimentos a escala de laboratorio.

Tabla 1. Características de muestras de aguas residuales empleadas en experimentos a escala de laboratorio realizados en AnoxKaldnes-Veolia (Lünd, Suecia)

Parámetro influyente	[Se total] (µg/l)	[N-NO ₃] (mg/l)	Temperatura (°C)
Aguas residuales reales			
Mina de carbón (EE.UU.)	30-40	25	6-15
Mina de cobre (EE.UU.)	500-600	2	10-15
Central eléctrica 1 (EE.UU.)	210	5-40	30
Central eléctrica 2 (Dinamarca)	150-2.000	40-100	30-35
Productor de ánodos de cobre (España)	300	<2	30
Aguas residuales sintéticas			
Residuo "Mina de cobre"	400-500	10	3-10
Residuo sintético	300-1.800	15	15

Se han llevado a cabo ensayos experimentales con muestras de aguas residuales sintéticas así como de aguas residuales producidas en diferentes actividades industriales, entre otras, aguas generadas en minas de carbón y de cobre. Tal y como se puede apreciar en la tabla superior, los rangos de concentraciones tanto de selenio como de nitratos evaluados han sido considerablemente amplios, así como la temperatura a la que se han realizado los experimentos.

Los trabajos experimentales han permitido estudiar la idoneidad de los procesos MBBR para la reducción de selenio. Mediante los estudios experimentales se han determinado las tasas para diferentes tipos de agua a diferentes condiciones, valorar el impacto de la presencia de nitratos y sulfatos en el agua y también analizar la efectividad de diferentes tipos de soporte plástico de AnoxKaldnes (p.ej. K5, Z). Igualmente, se ha evaluado el efecto sobre la concentración final de selenio que se puede obtener a través de diferentes post-tratamientos de separación de sólidos, como por ejemplo la precipitación con químicos, la filtración y la ultrafiltración, y el intercambio iónico.

A modo de ejemplo, la Figura 2 recoge los resultados experimentales alcanzados en el estudio de reducción de selenio en un reactor MBBR alimentado con una muestra real de aguas residuales producidas en una compañía española dedicada a la producción de ánodos de cobre. La concentración de selenio influente de la muestra era de unos 300 $\mu\text{g/l}$ y el tratamiento mediante reactor MBBR permitía reducir el contenido de selenio por debajo del límite requerido ($<100 \mu\text{g/l}$), tanto una vez tratado el agua de salida del MBBR con un sistema de filtración (representados por cuadros rojos) como tras un tratamiento de precipitación química (representados por triángulos verdes).

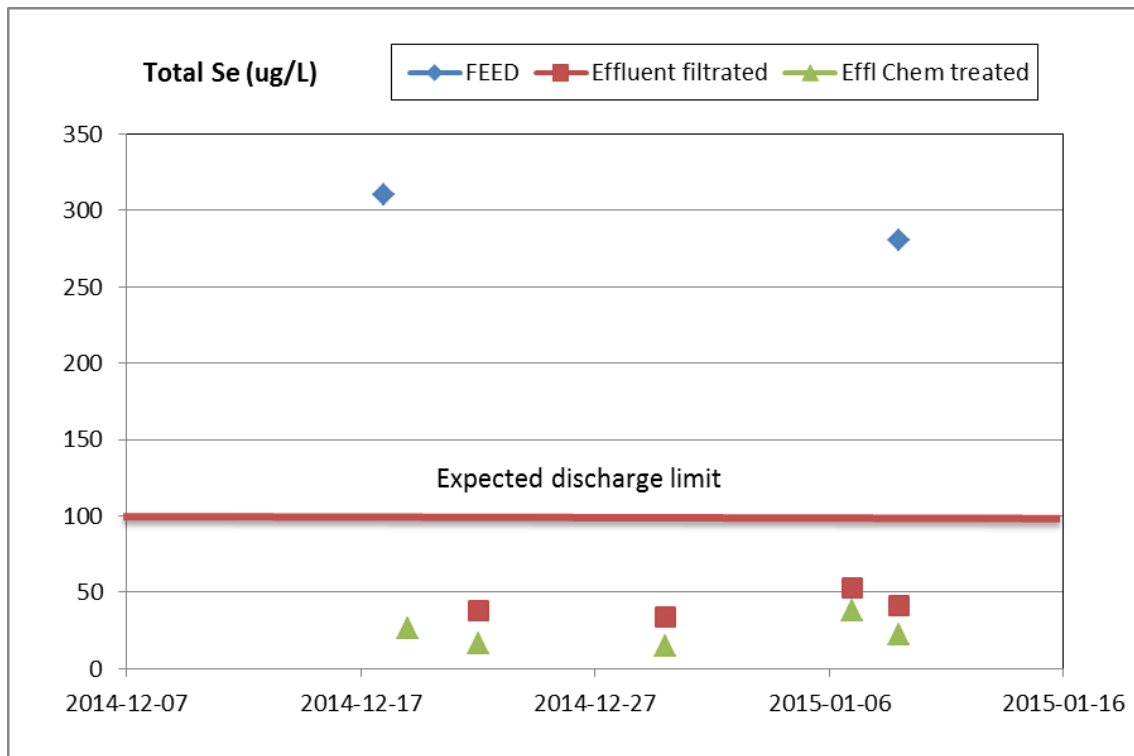


Figura 2. Resultados experimentales obtenidos en ensayo de reducción de selenio a escala de laboratorio con agua residual real de una compañía productora de ánodos de cobre

Experiencia real

Veolia no sólo ha comprobado mediante experimentación a escala de laboratorio y piloto la efectividad de los tratamientos AnoxKaldnes™ MBBR en la eliminación biológica de selenio, sino que, en la actualidad, existen ya 3 plantas a escala real en funcionamiento en 3 minas de carbón de Estados Unidos. Las tres minas pertenecen a la misma compañía y producen aguas residuales de similares características (Tabla 2). Cada una de las plantas consta de una primera etapa MBBR seguida de una etapa de separación de sólidos mediante la tecnología Actiflo®. La etapa MBBR contempla, en todas ellas, dos reactores en serie; un primer reactor para la desnitrificación de los nitratos influentes (MBBR D) y un segundo para la reducción de selenio (MBBR Se), que ocurre una vez se han eliminado los nitratos presentes en el agua.

A modo representativo, en la Figura 3 se puede observar una imagen de la primera de las plantas arrancadas (Planta 1).

Tabla 2. Parámetros de diseño principales de las tres plantas de eliminación de selenio instaladas en tres minas de carbón de Estados Unidos.

Parámetros diseño	Unidad	Planta 1		Planta 2		Planta 3	
		Media	Punta	Media	Punta	Media	Punta
Caudal influente	m ³ /d	1.090	1.635	1.445	1.690	4.688	7.631
N-NO ₃ influente	mg/l	1	2	18,6	30	15	18
Se total influente	mg/l	6	10	29	39	22	27
Temperatura influente	°VC	7	7	7	7	7	7
Parámetros diseño	Unidad	Planta 1		Planta 2		Planta 3	
Volumen MBBR D	m ³	85		299		890	
Volumen MBBR Se	m ³	133		299		890	
Volumen MBBR Total	m ³	218		598		1.780	



Figura 3. Imagen de la EDAR instalada en la Planta 1 en una de las minas de carbón de Estados Unidos. De derecha a izquierda, los principales equipos de la EDAR: 1ª MBBR de desnitrificación, 2ª etapa MBBR para reducción de selenio, Actiflo® (color azul) y espesador de fangos provenientes del Actiflo®

La primera de las plantas (Planta 1) se arrancó en abril del 2014 y el soporte plástico de los reactores MBBR se sembró con fango real de un tratamiento ya existente para acelerar el proceso de arranque biológico.

Tras seis semanas de operación, el contenido de selenio a la salida de la EDAR estaba por debajo del límite de detección del método de determinación empleado, lo cual confirmaba el correcto funcionamiento del proceso biológico.

La Planta 2 y Planta 3 se pusieron en marcha en julio y septiembre del 2014, respectivamente. En cada una de ellas, se efectuó una siembra del soporte plástico con fango procedente de la Planta 1 y Planta 2. Este hecho aceleró sustancialmente el proceso de arranque y como consecuencia se consiguió reducir el tiempo del alcance del régimen estacionario en las plantas.

Las tres plantas instaladas llevan en funcionamiento más de una año y reducen eficientemente el selenio de forma biológica con el empleo de reactores MBBR y permiten cumplir con los requerimientos estrictos del territorio en el que están instalados. Se ha confirmado que la tecnología AnoxKaldnes™ MBBR es capaz de afrontar los cambios en las características del agua influente y en las condiciones operacionales, como por ejemplo, cambios de temperatura, caudal tratado etc. En la Figura 4 se puede observar los resultados experimentales obtenidos tras la puesta en marcha de la Planta 2. Desde casi el inicio de la operación del proceso biológico se lograron valores cercanos al límite exigido por ley (Se total efluente < 5 µg/l) y además la planta ha sido capaz de hacer frente al aumento progresivo de la concentración y la carga de selenio influente sin que ello conlleve un empeoramiento de la calidad del agua efluente.

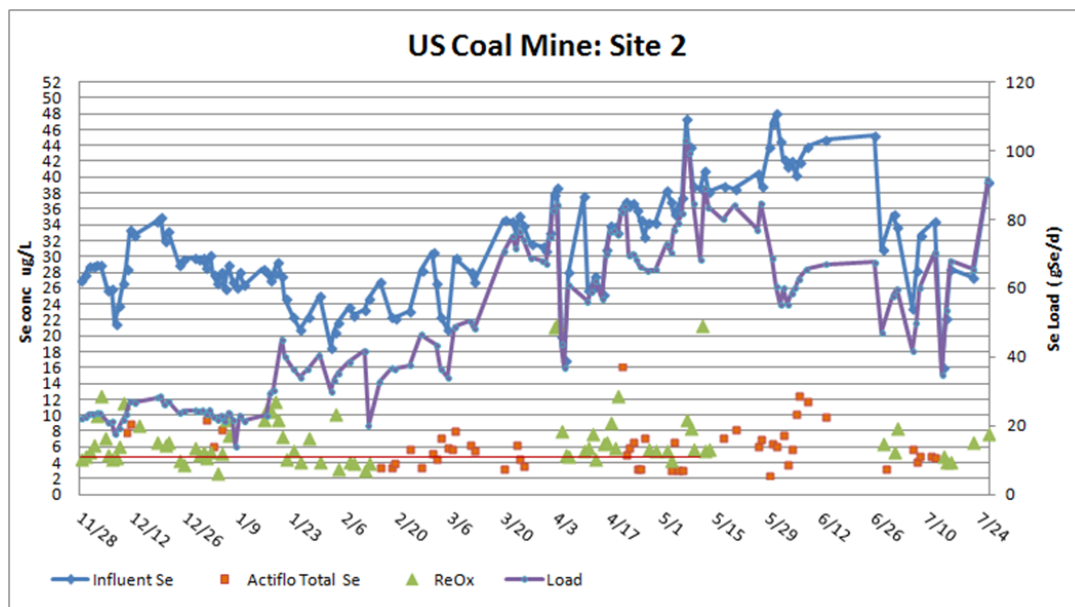


Figura 4. Resultados experimentales alcanzados desde la puesta en marcha de la Planta 2 que trata agua residuales de una mina de carbón situada en EE.UU. Representación de la evolución temporal de la concentración influente de selenio, la carga influente de selenio y la concentración de selenio a la salida del proceso Actiflo® para la separación de sólidos.

Conclusiones

El tratamiento biológico mediante procesos MBBR es una solución técnica y económicamente viable que permite cumplir con límites de descarga muy estrictos. La tecnología AnoxKaldnes™ MBBR es atractiva para el tratamiento de aguas residuales de la actividad minera por su operación sencilla, robustez, flexibilidad y por ser un proceso compacto. La experiencia real ha permitido observar que la aclimatación del soporte plástico durante el arranque del proceso conlleva una reducción significativa del periodo de consecución del régimen estacionario del proceso biológico y el tiempo de puesta en marcha. Veolia prosigue con sus labores de investigación y desarrollo en el campo del tratamiento de aguas residuales mineras para dar la respuesta más idónea en cada caso de aplicación.