

Electrodeaminación aplicada al tratamiento de lixiviados

José Alfonso Canicio Chimeno¹, Ruth Canicio Bardolet², Andriy Kharuk Carabela³

¹Presidente y asesor científico, ²CEO, ³Director de operaciones

Hydrokemós | hydrokemos.com



Figura 1. Lixiviados sin tratar (a la derecha) y lixiviados tratados mediante electrodesnitrificación de Hydrokemós (a la izquierda). Fuente: CCR.

1. INTRODUCCIÓN

Las características fisicoquímicas de un lixiviado dependen altamente de una serie de factores tales como la naturaleza y la cantidad de los residuos almacenados, la antigüedad y la forma de explotación del vertedero, la climatología del lugar o la época del año considerada [El-Fadel et al., 2002]. Su composición es bastante compleja y

variable, pudiendo ser sus componentes clasificados en cuatro grandes categorías: materia orgánica disuelta (expresada en forma de parámetros generales como DQO o TOC), componentes inorgánicos (Cl^- , SO_4^{2-} , N-NH_3 , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), metales pesados (Fe, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn) y compuestos xenobióticos (PAH, AOX o fenoles) [Christensen et al., 2001; Kjeldsen et al., 2002]. La Tabla 1 mues-

tra la composición típica de los diferentes tipos de lixiviado en función de la edad del vertedero [Alvarez-Vazquez et al., 2004; Kurniawan et al., 2005].

La Directiva europea 1999/31/EC define el lixiviado como “cualquier líquido que percole a través de los residuos y que sea emitido o esté contenido en un vertedero”. Esta Directiva establece los requisitos que se deben cumplir en materia de diseño y operación de vertede-

Tabla 1: Características de diferentes tipos de lixiviados en función de los años

Parámetro	Tipo de lixiviado		
	Joven	Intermedio	Estable
Edad del vertedero (años)	<1	1-5	>5
pH	<6,5	6,5-7,5	>7,5
DBO5/DQO	0,6-1	0,3-0,6	0-0,3
DQO (mg/L)	>15.000	5.000-15.000	<5.000
N-NH3 (mg/l)	<520	No data	>520
Metales pesados (mg/L)	>2	<2	<2

ros, así como la recogida de los lixiviados generados y su apropiado tratamiento antes de ser vertidos al medio ambiente. Por lo tanto, los lixiviados de vertedero deben ser gestionados y tratados de una forma adecuada, para evitar la contaminación de las aguas superficiales y/o subterráneas receptoras de este efluente, lo cual provocaría serios problemas en el medio ambiente y en la salud pública. Además, se debe tener en cuenta que un vertedero puede continuar produciendo lixiviado hasta 50 años después de su clausura y cese de las actividades [Kurniawan et al., 2005].

2. TECNOLOGÍA DE ELECTRODEAMINACIÓN

La tecnología de electrodeaminación de Hydrokemós, S.L., HYK, permite eliminar el amonio presente en los lixiviados, transformándolo en nitrógeno gas mediante una reacción electroquímica y sin generar residuos. Simultáneamente, el tratamiento de electrodeaminación, reduce también la conductividad y la DQO del sistema.

Respecto a las mejores técnicas actualmente disponibles para la remediación de lixiviados, los aspectos diferenciales de la deaminación de Hydrokemós son:

- En contraposición a las técnicas físicas o químicas de separación, la tec-

nología de electrodeaminación HYK permite eliminar el amonio transformándolo en nitrógeno e hidrógeno, gases inocuos que se vierten a la atmósfera, y consecuentemente es una tecnología totalmente limpia. No genera ningún tipo de residuo.

- La tecnología de electrodeaminación permite eliminar el amonio de un 90 a un 98%. El rango ordinario de concentración inicial de amonio, en forma alguna exclusivo, es del orden de entre 2.000 y 50 mg/L.

- La tecnología de electrodeaminación, produce también una electrooxidación de la materia orgánica, reduciendo la DQO del sistema hasta valores de un 60-65%. El agente oxidante es el ácido hipocloroso quien oxida el amonio hasta nitrógeno gas y simultáneamente la materia orgánica, o no, de carácter reductor. El ácido hipocloroso es generado en el ánodo por oxidación de los iones cloruro presentes en el lixiviado o añadidos a él cuando procede. La oxidación anódica de agua o sales conlleva además la generación de radicales tremendamente oxidantes, por ejemplo, hidroxilos, peróxidos o persulfatos, potentísimos oxidantes que colaboran en una verdadera combustión electrolítica, en presencia de agua, de la materia orgánica.

- Es una tecnología electroquímica robusta. No es dependiente de factores medioambientales como la temperatura, toxicidad del medio o aporte de nu-

trientes, entre otros. Y no menos importante para el tratamiento de lixiviados cuya composición varía en función de las condiciones meteorológicas o la antigüedad del vertedero. El funcionamiento de la planta HYK y su capacidad se adapta regulando la cantidad de corriente (A/L) suministrada.

- Es una tecnología electroquímica autónoma y adaptable. Perfectamente controlable a distancia. La automatización del sistema y el continuo análisis del amonio, permite modificar en tiempo real las condiciones de operación para garantizar la concentración de amonio a la salida, incluso con fuertes variaciones en la concentración de entrada.

- Los costes de explotación del proceso son costes básicamente energéticos. Un 98% de coste energético y únicamente un 2% de coste de reactivos para ajustar condiciones de operación. Son costes muy competitivos respecto a tecnologías disponibles.

- Para una DQO constante, la cinética de eliminación de amonio es lineal y los costes de explotación en €/Kg de amonio eliminado son constantes independientemente de la concentración de amonio a tratar.

- El sistema HYK es un sistema modular. En función de la necesidad del cliente y de planta requerida se pueden acoplar los módulos necesarios de electrodosnitrificación. Es un sistema compacto y no requiere de grandes superficies.

2.1. Descripción de la tecnología

La tecnología desarrollada por Hydrokemós, S.L. tiene como principio de funcionamiento un proceso electroquímico que consigue convertir el amonio y nitrato de los lixiviados en nitrógeno gas y aire. Los gases generados durante el proceso pueden descargarse directamente a la atmósfera puesto

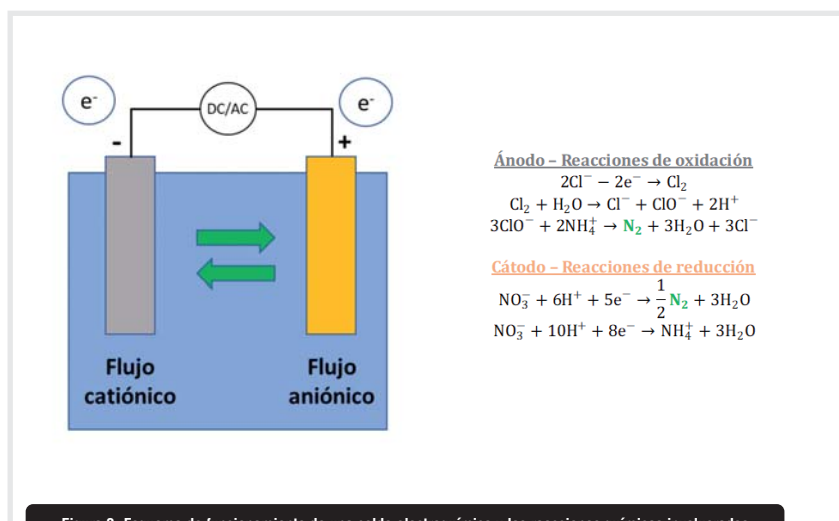


Figura 2. Esquema de funcionamiento de una celda electroquímica y las reacciones químicas involucradas

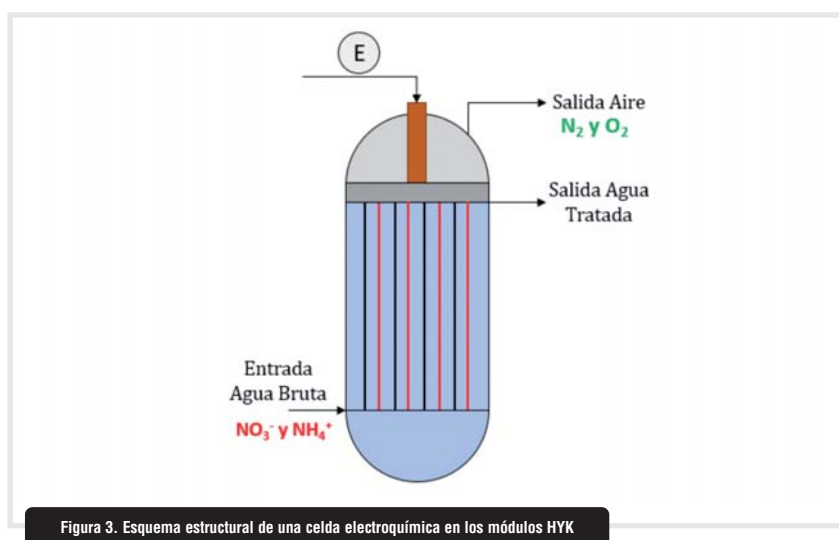


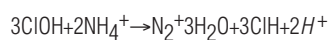
Figura 3. Esquema estructural de una celda electroquímica en los módulos HYK

que son inocuos para el medioambiente y la salud humana. Por este motivo, se considera que la electrodeaminación es una tecnología absolutamente limpia.

El proceso no genera ningún tipo de subproducto o rechazo susceptible de ser tratado a posteriori una vez se trata el agua contaminada. La clave química del proceso es la oxidación indirecta del amonio a nitrógeno gas mediante el hipocloroso generado por oxidación anódica del ion cloruro presente o añadido en los lixiviados.

Las células electroquímicas contenidas en los módulos de deaminación

no están compartimentadas por diafragma o membrana alguna sino enfrentadas entre sí formando canales por donde fluye el agua a remediar. Como se ha dicho, la reacción clave es la electrooxidación anódica del cloruro a hipocloroso que, en el bulk, oxida indirectamente al amonio a nitrógeno gas, según:



En la celda electroquímica además de estas reacciones, se produce la oxidación anódica y la reducción catódica del agua, produciendo O_2 y H_2 , res-

pectivamente. Otras reacciones relevantes son las reducciones catódicas de nitratos, o bien formados por oxidación excesiva del amonio o presentes en la concentración inicial de las aguas a tratar, conjuntamente con la formación anódica de radicales libre hidroxilo, peróxidos y persulfatos altamente oxidantes capaces de, conjuntamente con el hipocloroso, contribuir a la reducción de DQO.

La tecnología no adiciona reactivos químicos durante el proceso de tratamiento, únicamente puede ser necesario el aumento de concentración de cloruro para generar el hipoclorito necesario para oxidar el amonio a nitrógeno gas, figura 2, y aumentar la cinética de reacción, cumpliendo siempre con las limitaciones de vertido o para controlar que la salida de cloro libre o combinado sea inferior siempre a 1 mg/L.

Estas características atribuyen al sistema desarrollado por Hydrokemós, S.L. unas ventajas frente a las mejores técnicas disponibles (MTDs) muy significativas en términos de costes de inversión (CAPEX) y costes de explotación (OPEX).

2.2. Descripción genérica de una instalación

La planta de deaminación HYK-AR, *Hydrokemos Ammonia Removal*, se dimensiona en función de la concentración del amonio a eliminar. En la implantación se diferencian tres zonas:

- Zona de Reactivos. Para el funcionamiento de la planta es necesario en algunos casos la inyección de reactivos como pueden ser el cloruro y antiespumante, que permiten incrementar la productividad del módulo de electrodeaminación.
- Zona de Reacción. La zona de reacción está compuesta por los módulos de electrodeaminación donde se pro-

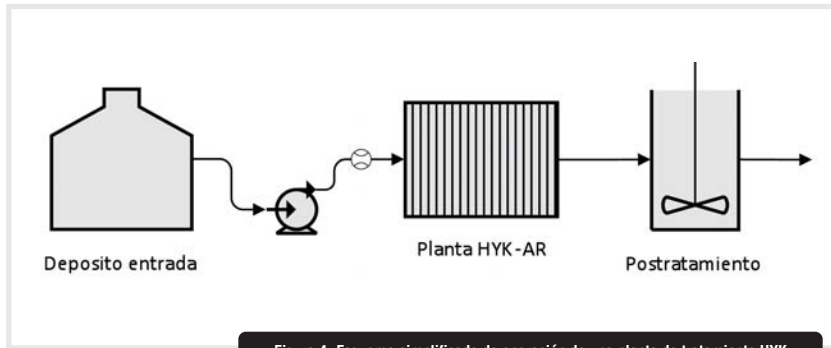


Figura 4. Esquema simplificado de operación de una planta de tratamiento HYK

duce la reacción electroquímica. Dependiendo de la necesidad final del cliente se instalan más o menos módulos de electrodeaminación. Hay una recirculación de agua en ambos módulos con la finalidad de incrementar la turbulencia dentro del dispositivo electrodesnitrificador e incrementar la

productividad del módulo.

Los módulos se conectan a un rectificador de potencia AC/DC que es el elemento encargado de suministrar la energía eléctrica necesaria para la reacción electroquímica.

Esta zona también presenta una primera zona de monitorización de la cali-

dad del agua contando con sensores de pH, conductividad y ORP.

- Zona de Descarga. La zona de descarga de agua cuenta con una segunda zona de monitorización de parámetros para asegurar que la calidad del agua a la salida de la planta de electrodeaminación cumple con los requisitos marcados por el cliente y la normativa de vertido.

La figura 4 muestra el diagrama de proceso de la planta de electrodeaminación instalada para tratar los lixiviados del vertedero.

3. RESULTADOS

Hydrokemós, S.L. ha aplicado con éxito su técnica de electrodeaminación en las aguas procedentes de un

EQUIPOS STEMM PARA MANIPULACION DE GRANELES

**PULPOS, CUCHARAS BIVALVA, PINZAS Y EQUIPOS ESPECIALES
ACCIONAMIENTO A CABLES Y ELECTROHIDRAULICO**

www.stemm.com

STEMM EQUIPOS INDUSTRIALES, S.L. PNO. APATTA, 20.400 IBARRA (ESPAÑA)
TELÉFONO: +34 943 335 033 FAX: +34 943 333 506 E-MAIL: info@stemm.com

Plazos de entrega:
3-4 semanas
Conozca todos los precios
On-line
Solicite su password !!!!



Figura 5. Vista general del vertedero clausurado Ripollès-3, la depuradora clausurada y la balsa de lixiviados.
Fuente: GoogleMaps®

vertedero municipal clausurado ubicado en el municipio de Ripoll (Cataluña), figura 5.

La concentración de amonio, en la entrada de la balsa de lixiviados, es de 800-950 mg/L, pero puede llegar en épocas de sequía a 1.200-1.300 mg/L y, en cambio, en épocas de lluvias a

400-500 mg/L. Según las condiciones meteorológicas y lluvias de cada período, fluctúan los caudales de lixiviados a tratar y la concentración de amonio en estos, pero se mantiene prácticamente constante la necesidad de tratamiento y de eliminación de amonio de 22 kg/día. El valor límite para el vertido de

estas aguas al alcantarillado para poder ser tratados a posteriori en la planta de tratamiento de aguas residuales, EDAR, es de 60 mg/L de amonio.

El Consejo Comarcal del Ripoll, CCR, que es el responsable de gestionar los lixiviados, ha ensayado con éxito la tecnología de Hydrokemós para reducir el contenido de amonio de los lixiviados y reducir al mismo tiempo también la DQO y materia orgánica. Gracias a estos niveles de reducción conseguidos sería posible verter los lixiviados en la EDAR sin necesidad de ningún tratamiento posterior.

Durante 6 semanas se ha realizado un ensayo piloto con una planta de tratamiento de aproximadamente 14 m³/día de lixiviados.

Los resultados obtenidos durante las 6 semanas de pilotaje han sido muy satisfactorios, con una reducción de amonio del 90 % y una reducción de DQO del 40 %. Los valores obtenidos de diferentes parámetros analizados se detallan en la tabla 2.



Figura 6. Planta de electrodesnitrificación de Hydrokemós durante el pilotaje. Fuente: CCR

El gráfico 1 representa el registro histórico de la concentración de amonio a la entrada y salida de planta durante el pilotaje con la planta d'electrodeaminación HYK-AR. La normativa de vertido a la EDAR respecto a los amonios es de 60 mg/L. A parte de la puesta en marcha de la planta, duró una semana, durante todo el pilotaje se ha cumplido con la normativa de vertido con relación al amonio.

El coste de explotación de la planta HYK para la eliminación de amonio a los valores requeridos durante el pilotaje ha sido del orden de 3,5 €/m³ dicho coste varía en función de la concentración de

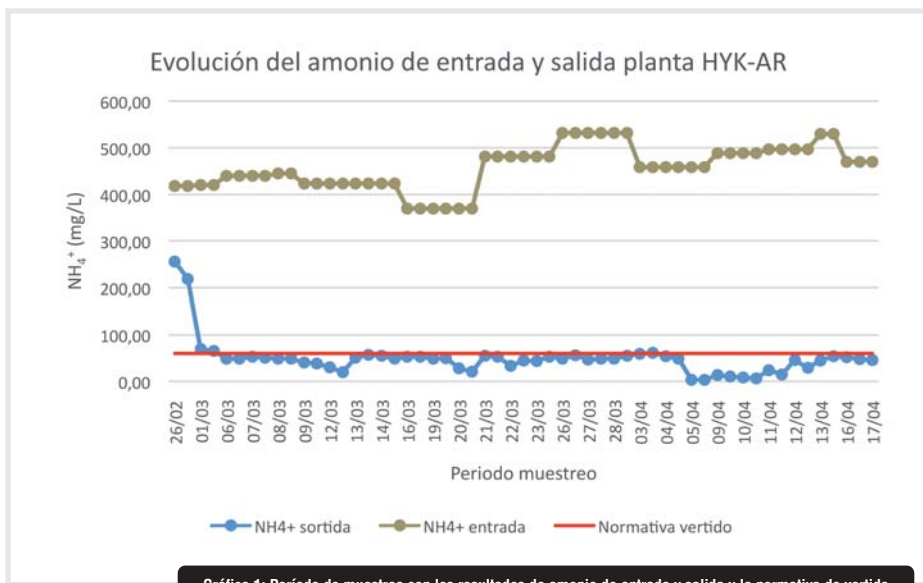


Gráfico 1: Período de muestreo con los resultados de amonio de entrada y salida y la normativa de vertido



Figura 7. Visita a planta de electrodesnitrificación de Hydrokemós durante el pilotaje. Fuente: CCR

amonio necesaria a eliminar y se establece un coste medio de 5-6 €/Kg de amonio a eliminar.

En el caso concreto de tratamiento de lixiviados del vertedero clausurado Ripollès-3, la aplicación de la tecnología de Hydrokemós, S.L., representa una reducción del 90% de los costes de gestión, comparando con los gestores de residuos externos, de las aguas a tratar.

Esta realidad abre la posibilidad de que la electrodeaminación de Hydrokemós, S.L. devenga la mejor técnica disponible para el tratamiento de este tipo de aguas, considerado en extremo de difícil tratamiento.

El proceso ha demostrado ser válido igualmente para cualquier otro tipo de aguas industriales o urbanas conteniendo amonio de diferentes procedencias con resultados muy similares en industrias y gestores de residuos.

Los resultados en la eliminación de amonio y tratamiento de lixiviados son una derivada del proyecto europeo WATIFY, SME-H-2020 (2016-2018) de eliminación de nitratos del agua por transformación en nitrógeno gas, concertado entre la Comisión y Hydrokemós, S.L., que culminó con total éxito.

Tabla 2: Valores de entrada y salida de la planta HYK-AR instalada a la EDAR de Ripoll

Parámetro	Entrada HYK-AR	Salida HYK-AR	Normativa vigente
Amonio (mg/L)	444,7	46,5	60
Cloruros (mg/L)	831,3	2.038,4	2.500
pH	8,3	6,2	6-10
Conductividad (mS/cm)	8,6	4,1	6
DQO (mg/L O ₂)	830	481	1.500
Cloro libre (mg/L)	<0,1	<1	1
Cloro combinado (mg/L)	<0,1	<2	-
Temperatura	6,9	19,4	40