TECNOLOGÍA DISRUPTIVA Y SOSTENIBLE PARA LA ELIMINACIÓN DE NITRATOS EN AGUAS SALINAS, RECUPERACIÓN DE AGUA Y VALORIZACIÓN DE OTROS CONTENIDOS IÓNICOS PRESENTES

PATENTED TECHNOLOGY

CONTACT DETAILS:

Relaciones con la Empresa
Oficina de Transferencia de Resultados de la Investigación-OTRI
Universidad de Alicante
Tel.: +34 96 590 99 59
Email: areaempresas@ua.es
http://innoua.ua.es

ABSTRACT

El **Grupo de Electroquímica Aplicada y Electrocatálisis (LEQA)** de la **Universidad de Alicante**, en colaboración con la **Universidad de Valencia** y la empresa **AVSA**, ha desarrollado una tecnología innovadora que permite la eliminación eficiente de nitratos (NO_3^-) presentes en corrientes salinas mediante un proceso de desnitrificación electroquímica (REN). Este sistema, se enfoca en optimizar el tratamiento de las corrientes de rechazo generadas por plantas de electrodiálisis inversa (EDR), integrando de manera eficaz las fases de pretratamiento, desnitrificación y postratamiento para maximizar la recuperación de recursos como el agua y el hidrógeno.

El proceso se caracteriza por ser altamente eficiente en la conversión de nitratos a nitrógeno gas (N_2), con una mínima formación de subproductos tóxicos. Además, la gestión integral de recursos permite, además de la reintroducción del agua desmineralizada al ciclo de tratamiento y la generación de energía eléctrica, la recuperación de sales valorizables, como calcio y magnesio. Otra característica diferenciadora es la ausencia de generación de lodos, un problema común en otros métodos, y su compatibilidad con normativas ambientales estrictas. La flexibilidad operativa de esta tecnología, que admite modo continuo y por lotes, amplía aún más su aplicabilidad industrial.

La tecnología, protegida mediante solicitud de patente, se encuentra desarrollada a escala piloto y lista para demostración. Se buscan empresas interesadas en su explotación comercial.

INTRODUCTION

La contaminación de aguas subterráneas por nitratos (NO_3^-) es un problema global creciente, principalmente atribuido al uso intensivo de fertilizantes. Este exceso afecta negativamente al medio ambiente y la salud humana, asociándose a enfermedades como metahemoglobinemia, cáncer y disfunciones tiroideas. Normativas como la Directiva de Nitratos de la Unión Europea y las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) limitan el contenido de nitrato en agua potable a 50 mg/L, impulsando el desarrollo de tecnologías para su eliminación.

Existen dos enfoques principales: técnicas de separación y transformación. Las primeras, como la ósmosis inversa, la electrodiálisis y las resinas de intercambio aniónico, desplazan los nitratos hacia corrientes auxiliares concentradas, que requieren gestión adicional. Aunque son efectivas, generan residuos secundarios, planteando retos ambientales.

Las técnicas de transformación, en cambio, convierten químicamente los nitratos. La desnitrificación biológica emplea bacterias para destruirlos, pero enfrenta limitaciones como la generación de lodos y el riesgo de contaminación bacteriana. Los métodos (electro)catalíticos, como la reducción electrocatalítica y la catálisis heterogénea, utilizan agentes reductores y electrocatalizadores para transformar los nitratos en compuestos menos dañinos, siendo el nitrógeno gas (N_2) el producto deseado.

La desnitrificación electroquímica (REN) es una alternativa prometedora que reduce nitratos directamente en el cátodo de una celda electrolítica. No obstante, su compleja química puede generar productos intermedios como NO_2^-, NH_3 o N_2O, cuya toxicidad debe controlarse. La selectividad hacia el nitrógeno gas depende del diseño de la celda, las condiciones de operación y el material del cátodo, que actúa como electrocatalizador.

El proceso REN enfrenta desafíos en eficiencia energética, ya que compite con la reducción del agua para generar hidrógeno (H_2), disminuyendo la eficacia del sistema. Aunque tecnologías actuales logran una reducción selectiva a N_2, presentan limitaciones industriales, como dificultades para tratar aguas con alta dureza, eficiencia moderada a bajas concentraciones de nitratos (menos de 500 ppm) y la gestión del amoniaco (NH_3) generado como subproducto.

La solución presentada aborda estas limitaciones mediante un sistema integral para tratar las aguas de rechazo de plantas de Electrodiálisis Reversa (EDR), caracterizadas por altos niveles de nitratos. Combina un proceso REN con etapas de pre- y post-tratamiento, mejorando la viabilidad y eficiencia. Además, incorpora un sensor colorimétrico para controlar la liberación de amoniaco y un diseño que valoriza el hidrógeno generado, optimizando la eficiencia energética.

Esta solución ofrece un enfoque efectivo para tratar corrientes salinas con alta concentración de nitratos, minimizando los inconvenientes de tecnologías previas y cumpliendo estándares regulatorios, representando un avance en la gestión sostenible del agua.

TECHNICAL DESCRIPTION

El **Grupo de Electroquímica Aplicada y Electrocatálisis** de la **Universidad de Alicante**, en colaboración con la **Universidad de Valencia** y la empresa **AVSA**, ha desarrollado un innovador procedimiento basado en la desnitrificación electroquímica (REN) para tratar aguas salinas con alta concentración de nitratos (NO_3^-). Este método, diseñado para corrientes de acuosas salinas procedentes de plantas de desalación por electrodiálisis inversa (EDR), combina tecnologías de pretratamiento, desnitrificación y postratamiento, logrando la recuperación de agua y generación de energía eléctrica *(Figura 1)*.

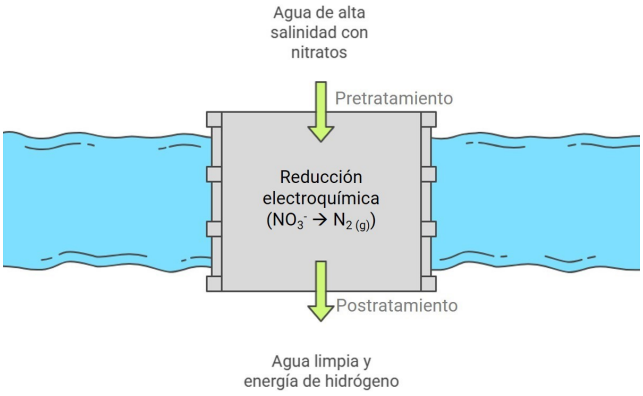

Figura 1. *Esquema del proceso de recuperación de agua y eliminación de nitratos a partir de una corriente acuosa salina que, tras un tratamiento previo, el proceso REN y una etapa de postratamiento permite obtener energía eléctrica y agua desmineralizada.*

El proceso se divide en **tres etapas principales**:

1. PRETRATAMIENTO *(Figura 2)*: En esta fase inicial, se preparan las corrientes acuosas salinas para su tratamiento en el reactor electroquímico y tienen lugar:

- **Reducción de la dureza** de la corriente acuosa salina proveniente de la planta EDR;
- **Concentración de los iones NO_3^-** mediante ósmosis inversa;
- **Ajuste del pH** de la corriente de concentrado generada en la etapa de ósmosis anterior que es dirigida al reactor electroquímico.

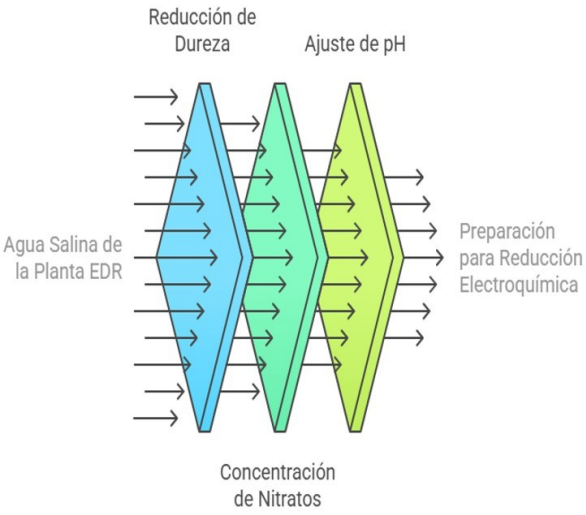

Figura 2. *Diagrama esquemático del proceso de pretratamiento que prepara la corriente de agua salina para ser introducida en el reactor electroquímico.*

2. PROCESO DE DESNITRIFICACIÓN ELECTROQUÍMICA: En esta etapa los iones NO_3^- son eliminados de forma eficiente mediante una reducción electroquímica (cátodo), transformándose en N_2 gas (inocuo). De forma simultánea, el agua se reduce también en cátodo, generando H_2 gas con una pureza ≥ 97%. A la salida del reactor se obtiene una corriente gaseosa de H_2 y una corriente acuosa con subproductos de iones amonio (NH_4^+) e iones NO_3^-.

3. POSTRATAMIENTO : En esta etapa se tratan las corrientes acuosa y gaseosa para maximizar la recuperación de recursos y minimizar el impacto ambiental:

- **Corriente acuosa** *(Figura 3)*: Se añade un agente un oxidante para convertir los iones NH_4^+ y NO_2^- en N_2 y NO_3^-, respectivamente. Mediante intercambio iónico, se desmineraliza el agua tratada, permitiendo su reintegración al proceso EDR como agua de alimentación. Las **resinas** utilizadas en el intercambio iónico son **regeneradas**, produciendo disoluciones salinas ricas en sodio (Na^+) y cloruros (Cl^-) que facilitan la **recuperación de sales insolubles de calcio (Ca) y magnesio (Mg)**, y la **regeneración de la resina** empleada en la etapa de reducción de la dureza en la etapa de pretratamiento.

Figura 3. *Diagrama esquemático del proceso de postratamiento de la corriente acuosa que sale del reactor electroquímico.*

- **Corriente gaseosa** *(Figura 4)*: En primer lugar, se purifica el hidrógeno generado eliminando las trazas de amoniaco. Posteriormente, el gas se seca y desoxigena, obteniendo una corriente de hidrógeno acondicionada para su almacenamiento. El hidrógeno almacenado puede ser utilizado en pilas de combustible para **generar energía eléctrica**, contribuyendo a la sostenibilidad del proceso.

Figura 4. *Diagrama esquemático que describe las diferentes etapas del proceso de postratamiento de la corriente gaseosa del REN.*

Este procedimiento se distingue por incorporar un sistema de oxidación que permite transformar subproductos tóxicos, como el amonio y el nitrito, en compuestos menos nocivos, garantizando un tratamiento eficiente y compatible con las normativas ambientales. Además, la tecnología emplea un enfoque integrado para la desmineralización y reutilización del agua tratada, permitiendo su reintegración en los procesos industriales.

Por otro lado, el diseño del procedimiento admite tanto operaciones continuas como por lotes, ofreciendo flexibilidad para adaptarse a diferentes necesidades operativas. Asimismo, el sistema incluye una etapa de recuperación de hidrógeno como subproducto de alta pureza (≥ 97%), que puede ser utilizado como fuente de energía renovable a través de pilas de combustible.

VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA

La tecnología desarrollada presenta múltiples ventajas que destacan tanto a nivel técnico como ambiental:

- **Alta eficiencia en la eliminación de nitratos**: El proceso de desnitrificación electroquímica está diseñado para maximizar la conversión de nitratos en nitrógeno gas (inocuo), evitando la generación de corrientes residuales contaminantes. El pretratamiento incrementa la capacidad de tratamiento y reduce el consumo energético, mejorando la viabilidad industrial.
- **Gestión avanzada de subproductos**: Las etapas de pretratamiento y postratamiento garantizan el manejo eficiente de aguas con alta dureza y la minimización de subproductos indeseables, como el amoníaco y facilitan la regeneración y reutilización de las resinas de intercambio iónico, reduciendo costos operativos.
- **Aprovechamiento energético**: La valorización del hidrógeno generado durante el proceso permite utilizarlo como fuente de energía renovable en pilas de combustible, contribuyendo a reducir el consumo eléctrico global.
- **Compatibilidad con normativas ambientales**: La tecnología transforma contaminantes en productos menos dañinos, cumpliendo con las exigencias regulatorias, eliminando la necesidad de gestionar residuos sólidos como lodos.
- **Flexibilidad operativa**: El sistema admite modos de operación continuo y por lotes, adaptándose a diferentes necesidades industriales.
- **Recuperación y diversificación de recursos**: Permite la reintroducción del agua tratada y desmineralizada al inicio del proceso, minimizando el uso de agua nueva. Asimismo, permite la valorización de sales como calcio y magnesio para usos comerciales, añadiendo un componente económico estratégico.
- **Sostenibilidad**: Este procedimiento destruye los contaminantes en lugar de trasladarlos a otras corrientes, reduciendo significativamente el impacto ambiental. La generación de energía a partir del hidrógeno obtenido maximiza la sostenibilidad del proceso.

ASPECTOS INNOVADORES DE LA TECNOLOGÍA

Por un lado, la tecnología combina un proceso electroquímico altamente selectivo para la eliminación de nitratos (NO_3^-) con la generación de hidrógeno de alta pureza (≥ 97%) como subproducto aprovechable. Este enfoque no solo elimina eficientemente los contaminantes, sino que también transforma un residuo en una fuente de energía renovable utilizable en pilas de combustible, lo que representa un avance significativo en sostenibilidad energética y eficiencia operativa.

Por otro lado, el sistema incorpora un diseño integral que permite la reintroducción del agua desmineralizada al ciclo de electrodiálisis inversa (EDR), maximizando la reutilización de recursos. Además, la recuperación de resinas y sales valorizables, como calcio y magnesio, refuerza el enfoque de economía circular, diferenciándose de otras tecnologías que generan residuos difíciles de gestionar, como lodos o corrientes contaminantes.

Estos dos aspectos posicionan esta tecnología como una solución avanzada y disruptiva, destacándose por su enfoque en la sostenibilidad, la eficiencia energética y la economía circular.

CURRENT STATE OF DEVELOPMENT

El sistema ha sido diseñado a escala piloto y está operativo para su demostración.

Se dispone de un piloto estacionario en las instalaciones de AVSA en Gandía desarrollado bajo el paraguas del proyecto ELEKTRA, financiado por la IVACE+i. En estos momentos, se está construyendo un piloto contenedorizado transportable dentro del proyecto ELEKTRA LIFE.

MARKET APPLICATIONS

Esta tecnología resulta especialmente ventajosa para el **tratamiento de aguas** procedentes del rechazo de plantas de desalación por electrodiálisis inversa (EDR) contaminadas con nitratos. No obstante, esta tecnología sería de aplicación a cualquier corriente con una elevada concentración de nitratos, como las provenientes de la industria química, alimentaria o textil. Además, su capacidad para eliminar nitratos hace que sea especialmente útil en regiones donde el uso intensivo de fertilizantes ha contaminado acuíferos y fuentes de agua.

COLLABORATION SOUGHT

Se buscan empresas interesadas en adquirir esta tecnología para su **explotación comercial** mediante:

- Acuerdos de licencia de la patente.
- Acuerdos de colaboración en I+D para desarrollar la tecnología de acuerdo con las necesidades de la empresa.
- Servicios de asesoramiento científico-técnico.
- Etc.

Perfil de empresas buscadas:

- Fabricantes de equipos y sistemas de tratamiento de aguas.
- Empresas que integradores soluciones llave en mano para plantas de tratamiento.
- Plantas de desalación y EDR.
- Empresas de gestión de aguas residuales industriales.

INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

Esta tecnología se encuentra protegida mediante **solicitud de patente**.

- *Título de la patente: "Procedimiento para la recuperación de agua y eliminación de iones nitrato en corrientes acuosas salinas y equipo para llevar a cabo dicho procedimiento"*
- *Número de solicitud: P202330547*
- *Fecha de solicitud: 29 junio de 2023*

MARKET APPLICATION (4)

Agroalimentación y Pesca
Calzado y Textil
Contaminación e Impacto Ambiental
Tecnología Química