

(19)

OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 882 352**

(21) Número de solicitud: 202030510

(51) Int. Cl.:

B01J 20/34 (2006.01)**C01B 32/36** (2007.01)

(12)

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

(22) Fecha de presentación:

01.06.2020

(43) Fecha de publicación de la solicitud:

01.12.2021

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

24.02.2022

Fecha de concesión:

16.02.2023

(45) Fecha de publicación de la concesión:

23.02.2023

(73) Titular/es:

**UNIVERSITAT D'ALACANT / UNIVERSIDAD DE
ALICANTE (100.0%)
CARRETERA SAN VICENTE DEL RASPEIG, S/N
03690 SAN VICENTE DEL RASPEIG (Alicante) ES**

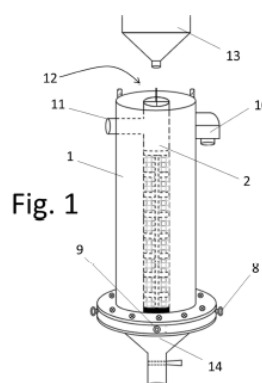
(72) Inventor/es:

**MORALLÓN NÚÑEZ, Emilia;
CAZORLA AMORÓS, Diego;
MEDINA RUIZ, Francisco Javier y
FERRÁNDEZ GÓMEZ, Borja**

(54) Título: **REACTOR ELECTROQUÍMICO PARA LA REGENERACIÓN ELECTROQUÍMICA DE CARBÓN
ACTIVADO**

(57) Resumen:

La presente invención se refiere a un reactor para la regeneración electroquímica de carbón activado agotado. Comprende dos configuraciones posibles, con electrodos cilíndricos concéntricos y planos paralelos, separados por una membrana iónica. En cada compartimento se coloca un electrodo, que puede actuar de ánodo o cátodo según la necesidad del proceso. El electrolito necesario para llevar a cabo la regeneración electroquímica tiene su entrada en la parte inferior y la salida en la parte superior de cada compartimento. Alcanza una eficiencia de regeneración superior al 90% en carbones activados agotados en plantas potabilizadoras de agua.



ES 2 882 352 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

DESCRIPCIÓN

Reactor electroquímico para la regeneración electroquímica de carbón activado

5 CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un reactor electroquímico, que posee dos variantes principales con diferente configuración. Un tipo de reactor electroquímico con electrodos cilíndricos concéntricos y un segundo tipo con electrodos planos paralelos para
10 regenerar carbón activado que ha sido parcial o totalmente gastado en diferentes industrias. El objeto de la invención puede ser utilizado en la misma instalación donde se produce la aplicación del carbón activado y/o puede ser transportado a otro lugar.

Son dos reactores electroquímicos, uno con electrodos cilíndricos concéntricos y otro
15 con electrodos planos paralelos, para la regeneración electroquímica de carbón activado.

ESTADO DE LA TÉCNICA

20 La adsorción en carbón activado es una tecnología avanzada establecida para eliminar contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en plantas de tratamiento de agua y en instalaciones industriales para la reducción de emisión de gases.

La creciente demanda de reutilización de agua, que cada vez es más inaccesible a la
25 población, junto al desarrollo de procesos avanzados de tratamiento de agua y a la aprobación de una legislación de protección ambiental más restrictiva, ha provocado que la producción global de carbón activado aumente anualmente alrededor del 10%, alcanzando una cuota de mercado de más de 6100 millones de dólares en el año 2018 y con una previsión de superar los 11500 millones de dólares en el año 2025.

30 Sin embargo, hay varios problemas relacionados con esta tecnología que aún deben abordarse, siendo el principal la manipulación y el manejo del carbón activado cuando se alcanza la vida útil del material carbonoso. El final de la vida útil ocurre cuando la capacidad de adsorción del carbón activado se agota parcial o totalmente, ya que debe

considerarse como un desecho altamente contaminante. En consecuencia, la viabilidad del uso de carbón activado a nivel industrial depende de la reactivación o regeneración del material (es decir, la recuperación de la porosidad inicial del material) y de la gestión adecuada necesaria para garantizar la sostenibilidad de todo el proceso de adsorción.

5

Actualmente se describen hasta cuatro tecnologías diferentes para la regeneración de carbón activado: térmica, química, microbiológica y de vacío. El procedimiento convencional de regeneración de carbón activado en la industria es la regeneración térmica en atmósfera inerte o en condiciones oxidantes [US2501700A, WO1983000682A1, US4217191A, US4455282A y JP53065270A]. Se trata de un método que consigue una elevada eficiencia (85-90%) de regeneración, pero que posee algunos inconvenientes:

- Un alto consumo de energía (0,53 kWh/kg)
- La modificación de la porosidad del material debido a reacciones no deseadas de gasificación del material carbonoso (con una pérdida de carbón activado entre el 10-20%).
- Liberación de gases contaminantes.
- Altos costos de transporte ya que es un proceso que se hace *ex-situ* y el número de empresas que pueden regenerar el carbón activado es limitado.

20

Por tanto, podemos decir que el principal método de regeneración de carbón activado actual corresponde a un proceso térmico de alto costo económico y energético, que además resulta agresivo con el medio ambiente, y que requiere de la adición de carbón activado nuevo para conseguir la porosidad final deseada del producto regenerado. Con el fin de reducir estos problemas se han desarrollado varios métodos alternativos de regeneración de los carbones activados, entre los que destaca el método de regeneración electroquímica.

La regeneración electroquímica de carbón activado es una de las alternativas más interesantes a los métodos térmicos debido a varias ventajas:

- (i) uno de los reactivos es el electrón, que puede ser fácilmente suministrado por una fuente de corriente continua,
- (ii) puede aplicarse *in-situ*,
- (iii) el proceso puede interrumpirse inmediatamente,

- (iv) tener una alta selectividad,
- (v) al menor consumo energético y
- (vi) menores emisiones de CO₂.

- 5 Por lo que la regeneración electroquímica destaca por sus altos rendimientos, bajo costo económico, bajo consumo de energía, que puede ser aplicado a otros materiales adsorbentes y por ser un método ambientalmente amigable. Un ejemplo de este procedimiento se aprecia en ES2482466A1, de la Universidad de Alicante.
- 10 Los avances en la recuperación de la capacidad de adsorción del carbón activado mediante métodos electroquímicos se han centrado en estudios a escala de laboratorio, en cantidades de gramos, con una eficiencia de regeneración superior al 85% dependiendo de las condiciones experimentales [R.V. McQuillan et al., “*The electrochemical regeneration of granular activated carbon: A review*”, Journal of
- 15 Hazardous Materials, **355**, 34-49, (2018)].

Estos tratamientos se han realizado empleando los tipos comunes de diseño de reactores que incluyen: a) electrodos planos paralelos en un canal de flujo rectangular, b) electrodos cilíndricos concéntricos, c) celdas filtro-prensa y d) electrodos activos de

20 lecho fluidizado, con y sin separación de compartimentos. [F.C. Walsh et al., “Progress in electrochemical flow reactors for laboratory and pilot scale processing”, *Electrochimica Acta*, **280**, 121-148, (2018); F. Salvador et al., “Regeneration of carbonaceous adsorbents. Part II: Chemical, microbiological and vacuum regeneration”, *Microporous and Mesoporous Materials*, **202**, 277–296, (2015)].

- 25 Entre los reactores desarrollados a escala laboratorio para la regeneración electroquímica de materiales adsorbentes, destacan los diseñados con una configuración en columna como los que se muestran en CN101891331A, CN101844075A o US4217191A y en los artículos de R.M. Narbaitz et al.,
- 30 (“*Electrochemical regeneration of field spent GAC from two water treatment plants*”, *Water Research*, **46**, 4852-4860, (2012)); J. Zhan et al. (“*Enhanced treatment of pharmaceutical wastewater by combining three dimensional electrochemical process with ozonation to in situ regenerate granular activated carbon particle electrodes*”, *Separation and Purification Technology*, **208**, 12-18, (2019)); y O. Zanella et al. (

- “*Electrochemical regeneration of phenol-saturated activated carbon-proposal of a reactor*”, Environmental Technology, **38(5)**, 549-557, (2017)) y los construidos con una configuración en electrodos planos paralelos [US7267710B2; US6391185B1, US5904832A; R.M. Narbaitz et al., “*Electrochemical reactivation of granular activated carbon: Impact of reactor configuration*”, Chemical Engineering Journal, **197**, 414-423, (2012); F. Sharif et al., “*Electrochemical regeneration of a reduced graphene oxide/magnetite composite adsorbent loaded with methylene blue*”, Water Research, **114**, 237-245, (2017)].
- 10 En cuanto a los prototipos desarrollados a escala de planta piloto, se ha encontrado un reactor electroquímico con configuración de electrodos planos paralelos y con una capacidad de carbón activado entre 5-6 kg, que ha sido empleada para regenerar carbón activado granular saturado en el laboratorio con una disolución de fenol y de 4,4'-diamino estilbeno-2,2'-disulfónico [L. Wang et al., “*The influence of TiO₂ and aeration on the kinetics of electrochemical oxidation of phenol in packed bed reactor*” Journal of Hazardous Materials, **160**, 608-613 (2008); L Wang et al., “*Electrochemical regeneration of granular activated carbon saturated with organic compounds*”, Chemical Engineering Journal, **155**, 763-768 (2009)].
- 20 A nivel industrial, Arvia Technology Limited ha desarrollado una tecnología que funciona empleando un principio similar, mediante la cual se produce adsorción de contaminantes en Nyex™ y destrucción electroquímica dentro de un único reactor, apreciable en los documentos US7790024B2, WO2008047132, WO2007125334 y WO2010128298.
- 25 Sin embargo, la falta de estudios realizados con carbones activados agotados en situaciones reales, la escala de laboratorio utilizada en el diseño (de gramos a 6kg) y construcción de los reactores y la ausencia de procesos de escalado para poder aplicar este tratamiento a escala industrial, hacen que tanto este como otros métodos de recuperación alternativos a la regeneración térmica carezcan, en este momento, de una
- 30 aplicación industrial conocida globalmente.

EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

La invención es un reactor que se refleja en dos ejemplos preferidos de reactores con

diferente configuración estructural para la regeneración electroquímica de carbón activado usado según las reivindicaciones. Estos reactores resultan en una mejora importante respecto del estado de la técnica.

- 5 La presente invención soluciona los problemas descritos en el estado de la técnica anterior ya que se refiere a dos reactores con diferente configuración estructural para regenerar carbón activado agotado empleando un método electroquímico aplicable a plantas piloto y plantas industriales.
- 10 El objeto de la presente invención consta de dos compartimentos y unos electrodos:
 - Un primer compartimento, con un primer electrodo, ánodo o cátodo, preferiblemente próximo a una pared externa del primer compartimento (es decir, la pared más alejada del segundo compartimento). Como electrodos puede
15 utilizarse acero inoxidable, titanio platinizado (Pt/Ti), óxido de rutenio (RuO₂/Ti), óxido de iridio (IrO₂/Ti), entre otros. Por ejemplo, se utilizará acero inoxidable cuando el electrodo vaya a funcionar como cátodo.
 - Un segundo compartimento, con un segundo electrodo, cátodo o ánodo. El segundo compartimento está adosado al primer compartimento. El segundo
20 electrodo es igualmente de acero inoxidable, titanio platinizado (Pt/Ti), óxido de rutenio (RuO₂/Ti) u óxido de iridio (IrO₂/Ti), entre otras opciones. El acero inoxidable se utilizará cuando el electrodo vaya a funcionar como cátodo.
 - El segundo compartimento tiene, en su zona de contacto con el primer
25 compartimento, una membrana intercambiadora de iones (catiónica o aniónica), que está soportada en una pieza de un material polimérico con orificios rectangulares distribuidos de manera uniforme. El segundo electrodo puede estar próximo a esta membrana. La membrana puede estar en un sector intermedio que separa los dos compartimentos.
- 30 Los compartimentos tienen un sistema de entrada del electrolito, preferiblemente situados en la parte inferior de los reactores. Consta de una o más conducciones distribuidas homogéneamente en el compartimento correspondiente. El electrolito vuelve a salir del compartimento, preferiblemente por la parte superior de los reactores, para ir a un tanque propio por medio de un circuito de recirculación, que es

independiente.

El carbón activado a regenerar se introduce por una entrada superior, desde un depósito o tolva, y se extrae por una salida inferior.

5

En las salidas del electrolito de los compartimentos es preferible disponer filtros retenedores de partículas. El electrolito retirado se envía a su correspondiente tanque de almacenamiento, donde se regenera, filtra, decanta y otras operaciones convenientes.

10

Los reactores comprenden bombas de movimiento del electrolito, por ejemplo, de arrastre magnético, válvulas de vaciado de los compartimentos, sensores de presión, caudalímetros, etc. y una entrada de carbón activado desde un depósito o tolva al compartimiento interno, de donde se dispone una salida.

15

En una forma de configuración, para una capacidad del reactor de 10 kg de carbón activado, el primer compartimento es cilíndrico, con 700 mm de altura y 150 mm de radio, y el primer electrodo tiene un área de 1080 cm². El segundo compartimento, en su interior y cilíndrico, tendría 700 mm de altura y 50 mm de radio. Entre electrodos, habría una separación de 100 mm. Los tanques de almacenamiento de electrolito serán de 100 litros cada uno.

20

En una segunda forma de configuración, para una capacidad del reactor de 15 kg de carbón activado, ambos compartimentos serían prismáticos rectangulares, con unas dimensiones de 570x720x100 mm (primer compartimento) y 570x720x100 mm (segundo compartimento), estando los electrodos de 2800 cm² en caras mayores. Entre electrodos, habría una separación de 100 mm. Los tanques de almacenamiento de electrolito serán igualmente de 100 litros cada uno.

25

Por tanto, la presente invención comprende la construcción de dos reactores electroquímicos para la regeneración de carbones activados agotados procedentes de industrias en situación de funcionamiento real, y en la escala de 10-15 kg pudiendo ser escalados a 100 kg como mínimo.

30

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de figuras en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

FIGURA 1.- Vista esquemática frontal del reactor electroquímico en configuración de electrodos cilíndricos concéntricos del objeto de la invención.

FIGURA 2.- Vista frontal del segundo compartimento del ejemplo anterior.

FIGURA 3.- Vista superior del primer ejemplo de configuración. Las partes con trazo punteado son las entradas de electrolito a cada compartimento y están situadas en la parte inferior del reactor. Los círculos con trazo punteado representan las vías de vaciado de carbón activado una vez regenerado.

FIGURA 4.- Vista esquemática de la instalación completa del primer ejemplo de configuración de electrodos cilíndricos concéntricos, con los componentes necesarios para su funcionamiento.

FIGURA 5.- Gráfica de las isothermas de adsorción-desorción de nitrógeno a -196°C de un experimento de regeneración electroquímica de carbón activado agotado. Los símbolos representan: (rombo hueco con línea continua) es el carbón activado original, (rombo relleno con línea discontinua) es el carbón activado agotado, (círculo relleno con línea discontinua) es el carbón activado tomado en la primera hora de tratamiento, (triángulo hueco con línea discontinua) es el carbón activado tomado en la segunda hora de tratamiento y (cuadrado relleno con línea de puntos) es el carbón activado tomado en la tercera hora de tratamiento.

FIGURA 6.- Vista en perspectiva del segundo reactor electroquímico en configuración de electrodos planos paralelos.

FIGURA 7.- Vista superior del segundo ejemplo de configuración.

EXPOSICIÓN DETALLADA DE MODOS DE REALIZACIÓN

A partir de los ejemplos de configuración mostrados en las figuras se va a describir formas de realización concretas, no limitantes.

El primer reactor, cilíndrico, mostrado en las figuras 1-4 parte de dos compartimentos (1,2) cilíndricos concéntricos: un primer compartimento (1) exterior y un segundo compartimento (2) interior. Cada uno de los compartimentos (1,2) posee un electrodo (3,4) que pueden hacer de ánodo o de cátodo según el tipo de regeneración, catódica o anódica, realizado. Una membrana de intercambio de iones (5) se dispone entre los dos compartimentos (1,2).

El material de cada electrodo (3,4) dependerá de si trabaja como ánodo o como cátodo. Si hace funciones de cátodo será, por ejemplo, acero inoxidable. Si es ánodo, Pt/Ti, pudiendo utilizarse ánodos dimensionalmente estables como IrO₂/Ti, RuO₂/Ti entre otros. Preferiblemente, el área de los dos electrodos (3,4) debe ser similar.

Los compartimentos (1,2) se llenan de electrolito desde dos tanques (6,7), cada uno conectado al compartimento (1,2) respectivo, con sendos circuitos independientes de recirculación del electrolito. El circuito comprende entradas inferiores (8,9) de electrolito y sendos rebosaderos superiores (10,11) de donde se retorna al tanque.

Una entrada superior (12) del carbón activado a regenerar se conecta con un depósito o tolva (13). El primer compartimento (1) recibe el carbón activado de la entrada superior (12) y comprende una salida inferior (14) del carbón activado una vez regenerado.

El primer electrodo (3) está dispuesto en la pared más exterior del primer compartimento (1). El segundo electrodo (4) está dispuesto en el interior del segundo compartimento (2).

En las figuras 6 y 7 se muestra el segundo ejemplo de reactor, de configuración plana paralela, en donde los mismos elementos están identificados con las mismas referencias. Se aprecia que la principal diferencia es la forma de los compartimentos (1,2) del reactor. En este caso, tanto el primer compartimento (1) como el segundo compartimento (2) son prismáticos rectangulares y el primer electrodo (3) se dispone en la pared intermedia. La membrana de intercambio de iones (5) puede estar en un sector intermedio, que no forma parte de ninguno de los compartimentos (1,2).

El procedimiento para realizar la regeneración electroquímica de carbón activado

agotado empleando los dos reactores descritos en la invención comprende las siguientes variables: tipo de electrolito, concentración de electrolito, tipo de regeneración (anódica o catódica) y caudal.

- 5 El electrolito se seleccionará poniendo en contacto el carbón activado a regenerar con electrolitos de diferentes tipos: ácido, básico y neutro, en ausencia de campo eléctrico. También se deberá ensayar la concentración y el caudal para optimizar el proceso de regeneración. Como ejemplos de electrolitos se citan H_2SO_4 , NaOH , Na_2SO_4 , etc.
- 10 El tipo de regeneración se escogerá con un ensayo de cada tipo, adecuando los electrodos al sentido de la corriente. Se ensayará para diferentes densidades de corriente.

- 15 Finalmente se ha de ensayar el tiempo de residencia o tratamiento del carbón activado en el reactor.

Ejemplo 1

- 20 En un ejemplo práctico de realización de la presente invención se colocan 10 kg de carbón activado granular agotado tamizado a 710 μm , que ha sido empleado en una planta potabilizadora de agua, en el primer compartimento, cilíndrico, que realiza las funciones de cátodo (regeneración catódica). 70 litros de electrolito H_2SO_4 en concentración 0,5 M en el tanque del primer compartimento (catódico) y 30 litros de electrolito H_2SO_4 en concentración 0,5 M en el tanque del segundo compartimento (anódico).

- 25 Se conecta el cátodo al polo (-) y el ánodo al polo (+) de una corriente continua de 27 A, correspondiente a una densidad de corriente de 250 A/m^2 en modo galvanostático. Se hace recircular electrolito con un caudal de 750 L/h durante 4 horas. Como cátodo se emplea acero inoxidable 304 y como ánodo una malla de Pt/Ti expandido. El reactor se monta como se aprecia en la figura 5.
- 30

Durante el experimento de regeneración, se realiza cada hora un muestreo en diferentes puntos del lecho de carbón activado y se mezclan para obtener una muestra homogeneizada de carbón activado regenerado. Todas las muestras se lavan con agua

hasta obtener un pH neutro y se secan a 70 °C durante 24 h.

La porosidad de las muestras original, agotada y regeneradas se determina mediante isothermas de adsorción-desorción de N₂ a -196 °C e isothermas de adsorción de CO₂ a 0 °C. Las muestras se desgasifican a 150 °C en vacío durante 8 h. El volumen de los microporos (V_{DR,N₂}) (poros de tamaño inferior a 2 nm) y el volumen de poros de los microporos estrechos (V_{DR,CO₂}) (poros de tamaño inferior a 0,7 nm) se calculan aplicando la ecuación Dubinin-Radushkevich (DR). El volumen de los mesoporos (V_{meso}) se calcula restando el volumen adsorbido a las presiones relativas de 0,9 y 0,2 y el área superficial aparente se determina con la ecuación de Brunauer-Emmet-Teller (BET) [D. Lozano-Castelló, F. Suárez-García, D. Cazorla-Amorós, A. Linares-Solano. "Porous texture of carbons" En: F. Beguin, E. Frackowiak, editores. "Carbons for electrochemical energy storage conversion system", CRC Press, 115-163, (2009)]. El porcentaje de recuperación de la porosidad (%ER) se calcula como la relación del área de superficie BET (S_{BET}) de la muestra regenerada y original, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\%ER = \frac{S_{BET} \text{ carbón activado regenerado}}{S_{BET} \text{ carbón activado original}} \cdot 100 \quad (1)$$

A partir de los datos mostrados en la Tabla 1 del experimento de regeneración electroquímica realizado en el reactor vertical objeto de la invención, realizado por triplicado, se puede concluir que se logra una recuperación parcial de la porosidad del carbón activado agotado en una planta potabilizadora de agua. Tras 3 horas de tratamiento se alcanza una recuperación de porosidad del 95%, que se puede considerar como el tiempo de regeneración óptimo.

TABLA 1

Caracterización de textura porosa de los carbones activados mediante isothermas de adsorción-desorción de N₂ a -196 °C e isothermas de adsorción de CO₂ a 0 °C para el ejemplo 1.

Muestra	S _{BET} (m ² /g)	V _{meso} (cm ³ /g)	V _{DR, N₂} (cm ³ /g)	V _{DR, CO₂} (cm ³ /g)	%ER
Original	995	0,04	0,40	0,30	
Agotado	790	0,03	0,32	0,24	

Reg-1h	855	0,03	0,35	0,29	86
Reg-2h	815	0,04	0,33	0,26	82
Reg-3h	950	0,04	0,38	0,27	95

Respecto al consumo energético del reactor vertical para la regeneración de carbón activado, éste se puede calcular con los parámetros experimentales presentados en esta sección y empleando la ecuación (2):

5

$$EC \text{ (kWh/kg de carbón activado)} = \frac{(E \cdot I \cdot t) \cdot 10^{-3}}{m} \quad (2)$$

Donde E es el voltaje del reactor (V), I es la corriente aplicada (A), t es el tiempo de regeneración (h) y m es la masa de carbón activado a regenerar (kg).

10

Por lo tanto, empleando los parámetros experimentales explicados en este modo de realización: I de 27 A, t de 3 horas, m de 10 kg de carbón activado agotado y V (en la tercera hora de tratamiento) de 4,3 V, el consumo energético del proceso de regeneración electroquímica en el reactor vertical objeto de la invención es de 0,035 kWh/kg.

15

Ejemplo 2

En un segundo ejemplo práctico del primer modo de realización de la presente invención, se ha llevado a cabo una prueba de regeneración electroquímica de carbón activado agotado bajo las mismas condiciones experimentales explicadas en el ejemplo anterior. La diferencia es el ánodo empleado ya que en lugar de titanio platinizado (Pt/Ti) se han usado ánodos dimensionalmente estables comerciales: óxidos de iridio y de rutenio (IrO₂/Ti y RuO₂/Ti), respectivamente.

20

25

A partir de los datos mostrados en la Tabla 2 del experimento de regeneración electroquímica realizado en el reactor vertical objeto de la invención para el ejemplo 2, realizado por triplicado, se puede concluir que se logra una recuperación de la porosidad del carbón activado agotado en una planta potabilizadora de agua en al menos un 90%.

30

TABLA 2

Caracterización de textura porosa de los carbones activados mediante isothermas de adsorción-desorción de N₂ a -196 °C e isothermas de adsorción de CO₂ a 0 °C para el Ejemplo 2.

Muestra	S _{BET} (m ² /g)	V _{meso} (cm ³ /g)	V _{DR, N₂} (cm ³ /g)	V _{DR, CO₂} (cm ³ /g)	%ER
Original	995	0,04	0,40	0,30	
Agotado	790	0,03	0,32	0,24	
IrO ₂ /Ti	935	0,04	0,37	0,29	94
RuO ₂ /Ti	900	0,05	0,36	0,27	90

5

Respecto el consumo energético del proceso, ecuación (2), obtenido en ambos ánodos de trabajo comerciales alternativos al Pt/Ti fue de 0,043 kWh/kg.

Ejemplo 3.

- 10 En un ejemplo del segundo modo de realización de la presente invención se colocan 15 kg de carbón activado granular aglomerado tamizado a 710 µm, que ha sido empleado en una planta potabilizadora de agua, en el primer compartimento (regeneración catódica), 75 L de electrolito H₂SO₄ en concentración 0,5 M en el tanque del primer compartimento (catódico) y 70 L de electrolito H₂SO₄ en concentración 0,5 M en el
- 15 tanque del segundo compartimento (anódico). Una vez conectado el cátodo al polo (-) y el ánodo al polo (+), se hace recircular electrolito con un caudal de 750 L/h durante 4 horas aplicando una intensidad de corriente de 70 A, correspondiente a una densidad de corriente de 250 A/m², proporcionada por una fuente de corriente en modo galvanostático. Como cátodo se emplea acero inoxidable 304 y como ánodo una malla
- 20 de Pt/Ti expandido.

Durante el experimento de regeneración, se realiza cada hora un muestreo con las condiciones del experimento 1.

- 25 A partir de los datos mostrados en la Tabla 3 del experimento de regeneración electroquímica realizado en el prototipo de reactor de placas paralelas objeto de la invención, realizado por triplicado, se puede concluir que se logra una recuperación parcial de la porosidad del carbón activado agotado en una planta potabilizadora de

agua. Tras 2 horas de tratamiento se alcanza una recuperación de porosidad del 100%, que se puede considerar como el tiempo de regeneración óptimo.

TABLA 3

- 5 Caracterización de textura porosa de los carbones activados mediante isothermas de adsorción-desorción de N_2 a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ e isothermas de adsorción de CO_2 a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el Ejemplo 3.

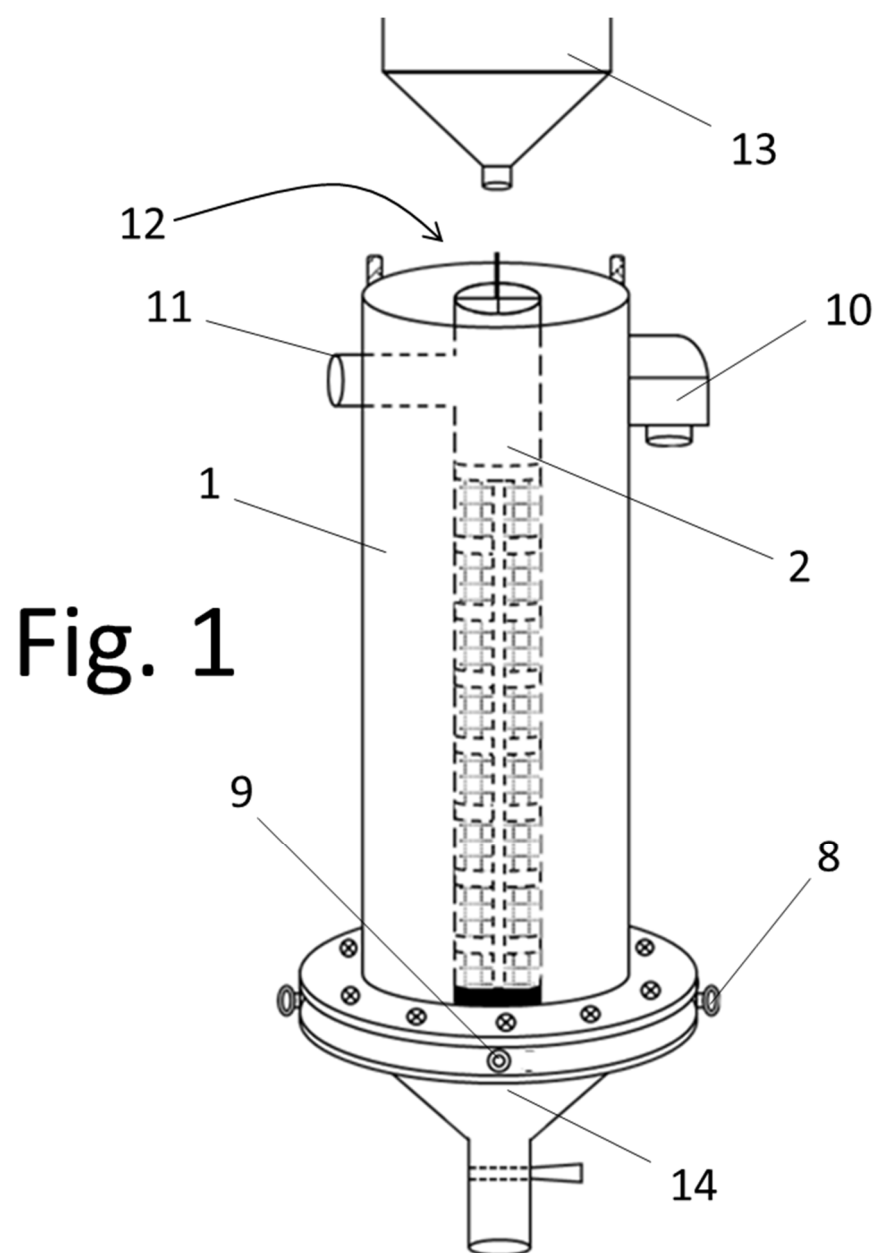
Muestra	S_{BET} (m^2/g)	V_{meso} (cm^3/g)	V_{DR, N_2} (cm^3/g)	V_{DR, CO_2} (cm^3/g)	%ER
Original	995	0,04	0,40	0,30	
Agotado	790	0,03	0,32	0,24	
Reg-1h	910	0,04	0,34	0,23	91
Reg-2h	995	0,04	0,40	0,24	100
Reg-3h	1020	0,04	0,41	0,16	100
Reg-4h	970	0,04	0,39	0,18	97

- 10 Respecto al consumo energético del prototipo de reactor de placas paralelas, y empleando los parámetros experimentales explicados en este modo de realización, el consumo energético del proceso de regeneración electroquímica en el prototipo de reactor de placas paralelas es de $0,061\text{ kWh/kg}$.

REIVINDICACIONES

- 1- Reactor electroquímico de regeneración electroquímica de carbón activado, caracterizado por que comprende dos compartimentos (1,2) separados por una
5 membrana de intercambio de iones (5), cada uno con un electrodo (3,4) y conectados a sendos circuitos independientes de recirculación de electrolito desde sendos tanques (6,7) de electrolito, una entrada superior (12) del carbón activado a regenerar desde un depósito o tolva (13), y una salida inferior (14) del carbón activado regenerado, donde el segundo electrodo (4) está dispuesto en el interior del segundo compartimento (2)
10 adherido a la membrana de intercambio de iones (5).
- 2- Reactor electroquímico, según la reivindicación 1, caracterizado por tener una configuración con electrodos cilíndricos concéntricos.
- 15 3- Reactor electroquímico, según la reivindicación 1, caracterizado por tener una configuración con electrodos planos paralelos.
- 4- Reactor electroquímico, según cualesquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que un electrodo (3,4) es de acero inoxidable y el otro electrodo (3,4)
20 es de Pt/Ti, IrO₂/Ti o RuO₂/Ti.
- 5- Reactor electroquímico, según la reivindicación 1, caracterizado por que los circuitos de recirculación comprenden entradas inferiores (8,9) de electrolito y sendos rebosaderos superiores (10,11) de donde se retorna al tanque (6,7).
25
- 6- Reactor electroquímico, según la reivindicación 1, caracterizado por que el primer electrodo (3) está dispuesto en la pared más exterior del primer compartimento (1).
- 7- Reactor electroquímico, según la reivindicación 1, caracterizado por que los
30 compartimentos (1,2) están anidados.
- 8- Reactor electroquímico, según la reivindicación 1, caracterizado por una separación entre electrodos de 100 mm de distancia.

9- Reactor electroquímico, según la reivindicación 1, caracterizado por que la membrana intercambio de iones (5) está en un sector independiente entre los compartimentos.



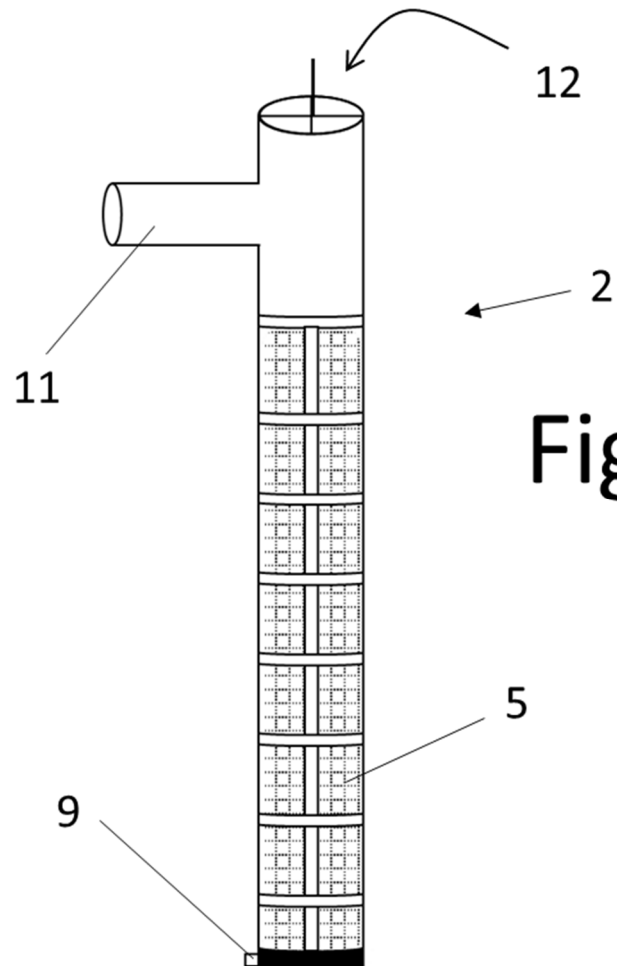


Fig. 2

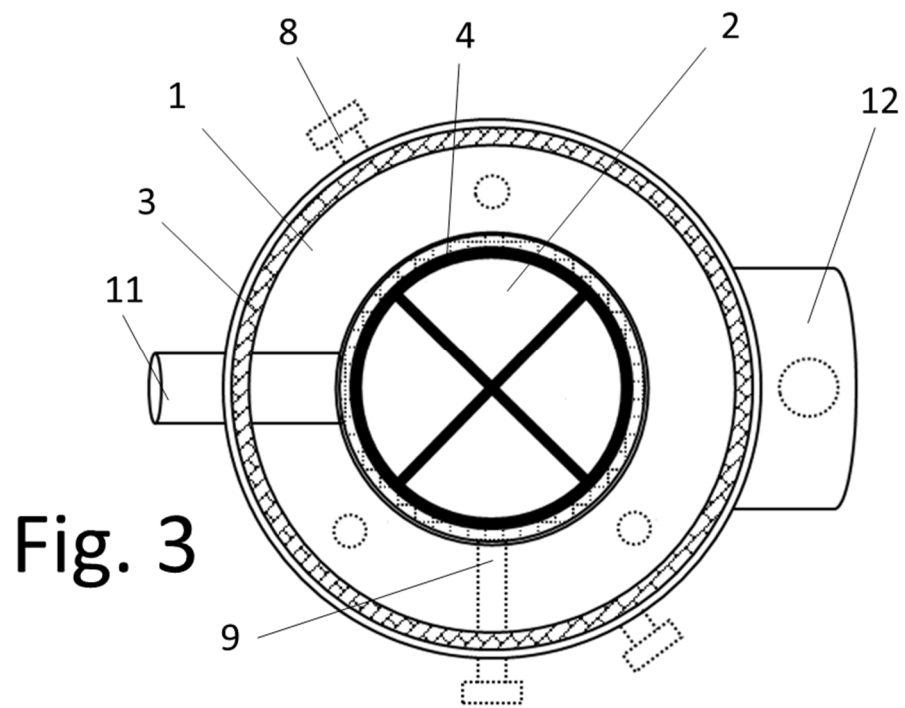


Fig. 4

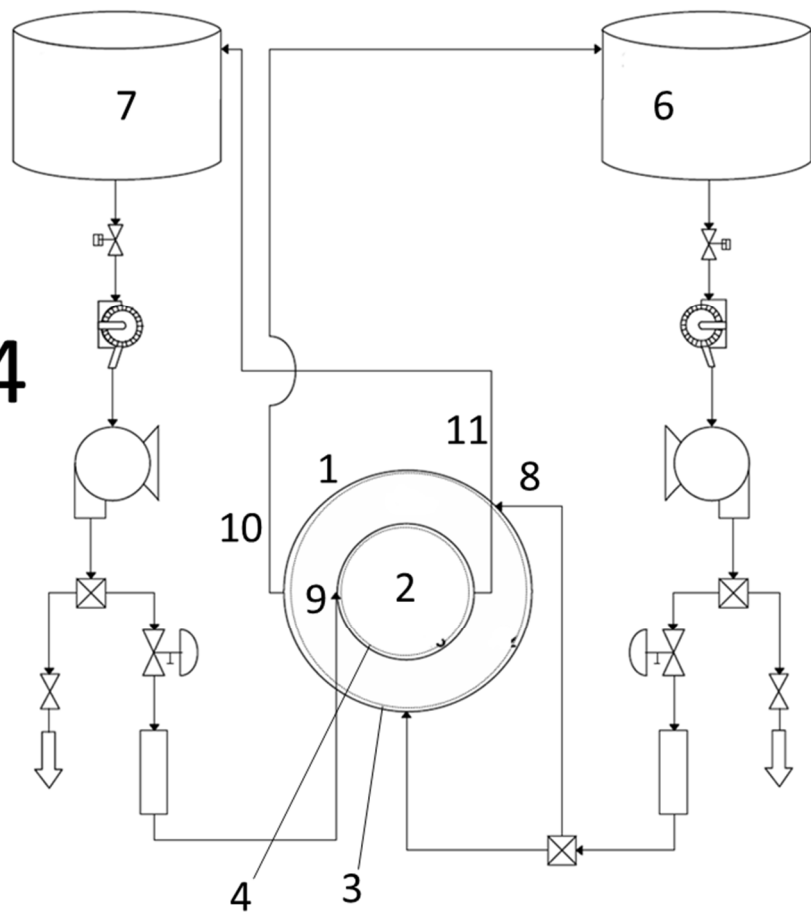


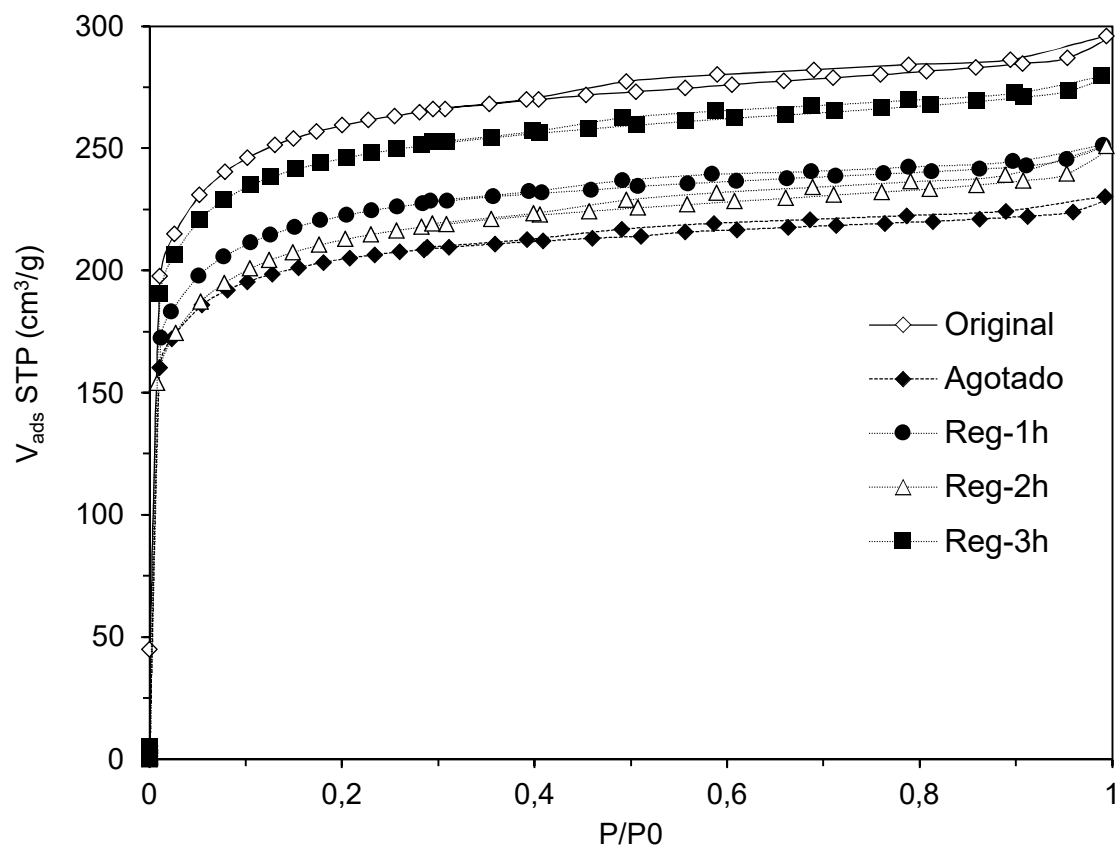
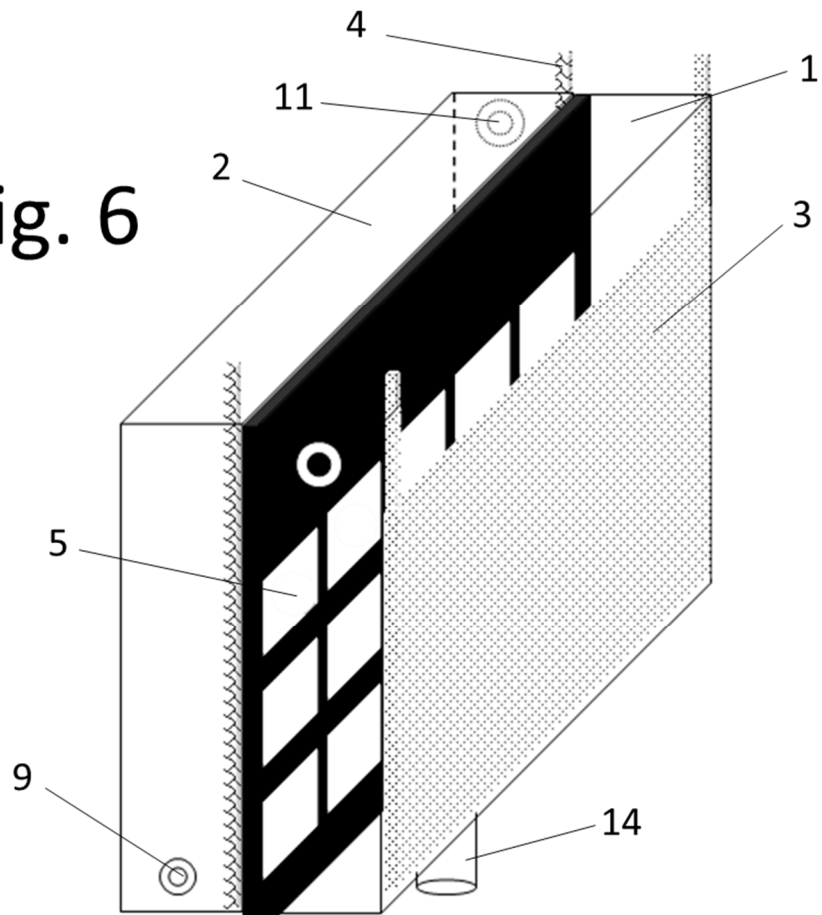
FIG. 5

Fig. 6



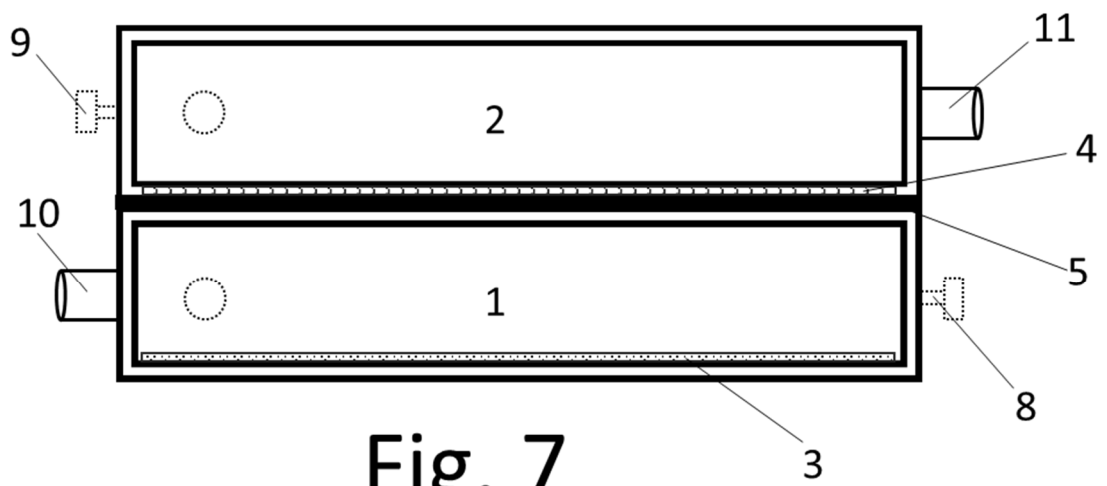


Fig. 7