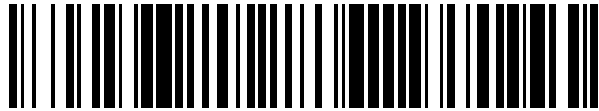


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 600 387**

21 Número de solicitud: 201690069

51 Int. Cl.:

**C02F 1/469** (2006.01)

**C02F 103/08** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION

B1

22 Fecha de presentación:

**04.05.2016**

30 Prioridad:

**08.05.2015 ES P201530629**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**08.02.2017**

Fecha de concesión:

**07.08.2017**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**14.08.2017**

56 Se remite a la solicitud internacional:

**PCT/ES2016/070339**

73 Titular/es:

**UNIVERSITAT D'ALACANT / UNIVERSIDAD DE  
ALICANTE (100.0%)**

**Edificio Torre de Control. Crta. San Vicente del  
Raspeig, s/n**

**03690 SAN VICENTE DEL RASPEIG (Alicante) ES**

72 Inventor/es:

**EXPOSITO RODRIGUEZ, Eduardo;**

**GARCIA GARCIA, Vicente;**

**GALLUD MARTINEZ, Francisco;**

**ORTIZ DIAZ-GUERRA, Juan Manuel;**

**ALDAZ RIERA, Antonio y**

**MONTIEL LEGUEY, Vicente**

74 Agente/Representante:

**TEMIÑO CENICEROS, Ignacio**

54 Título: **SISTEMA AUTÓNOMO DE TRATAMIENTO DE AGUAS**

57 Resumen:

Sistema autónomo de tratamiento de aguas que tiene: equipos de pretratamiento (2) que tienen: una toma (1) de agua a ser tratada (10); un filtro (2) para filtrar el agua a ser tratada (10) y obtener agua pretratada (20); equipos de tratamiento electroquímico (4'): aguas abajo de los medios de pretratamiento (2); para recibir el agua pretratada (20) y obtener agua tratada (60). El sistema tiene una fuente de energía eléctrica discontinua (4) para alimentar directamente consumos energéticos del sistema autónomo de tratamiento de aguas.

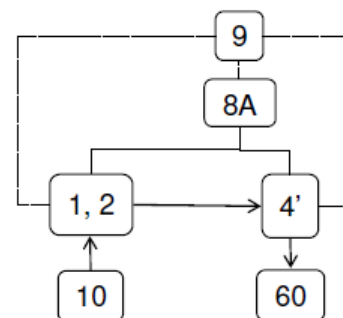


FIG. 1

ES 2 600 387 B1

## DESCRIPCIÓN

**SISTEMA AUTÓNOMO DE TRATAMIENTO DE AGUAS****CAMPO DE LA INVENCION**

5 La presente invención se refiere a un sistema autónomo de desalación de aguas mediante Electrodiálisis (ED) junto a las etapas de pre- y post-acondicionamiento de estas aguas, alimentado por un campo solar fotovoltaico u otra fuente de energía eléctrica discontinua que en ningún caso incluye un subsistema de almacenamiento de energía por baterías. Como se ha comentado, el tratamiento de desalación se realiza mediante Electrodiálisis. Las

10 etapas de pre- y post-acondicionamiento de las aguas dependerán: i) del origen y características de estas aguas (pozo salobre, agua marina, efluentes de EDAR o industriales u otros), y ii) del uso final al que estén destinadas (consumo humano, riego, baldeo u otros). Así, pueden incluirse técnicas de filtración (micro, ultrafiltración entre otras) y desinfección (potabilización electroquímica o por adición de reactivos, UV entre otras).

15

**ESTADO DE LA TECNICA.**

La ED es una técnica de naturaleza electroquímica basada en el transporte de iones a través de membranas selectivas, bajo la influencia de un campo eléctrico. La ED es una

20 técnica ampliamente contrastada y utilizada en procesos de desalación de aguas de diversas procedencias (pozos salobres, marina, efluentes industriales u otras). Por otra parte, la combinación de la ED con otras técnicas como la desinfección (electroquímica o no) y/o la filtración (micro, ultra u otras) puede emplearse para generar aguas tratadas aptas para diversos usos (consumo humano, riego, baldeo u otros).

25 Una de las fuentes de energía renovable más extendidas y estudiadas es la energía solar fotovoltaica, en la que los paneles solares fotovoltaicos (PFVs) transforman la radiación solar en energía eléctrica de corriente continua. Entre las ventajas del uso de la energía solar fotovoltaica se incluyen el ser no contaminante, silenciosa, abundante, descentralizada, gratuita, inacabable, a lo que debemos añadir la larga vida de los PFVs y el

30 bajo coste de mantenimiento de estos sistemas. Generalmente, un campo de paneles consta de PFVs, baterías (almacenan energía para ser consumida cuando la demanda energética y la disponibilidad de horas solares no sean simultáneas), un regulador (protege a las baterías de sobrecargas) y un inversor (transforma la corriente continua en alterna). Las instalaciones solares fotovoltaicas poseen un gran interés para su uso en localizaciones

35 remotas como sistemas de suministro de energía eléctrica de forma autónoma y fiable. La utilización de un campo solar fotovoltaico como fuente de alimentación en sistemas de

electrodiálisis en procesos de desalación ya está descrita. Ejemplo de esta utilización es CN103193304 (A). El sistema descrito emplea un bombeo en corriente alterna con inversor y baterías. En CN102774916 (A) se emplea un sistema de bombeo en corriente alterna sin baterías. Por último, en US6042701A el sistema emplea baterías y es específico de electrodiálisis reversa. Todos los elementos que consumen potencia están alimentados con corriente continua (DC) mediante convertidores DC/DC.

Sin embargo, en los sistemas descritos anteriormente, o bien se utilizan baterías para el almacenamiento de la energía generada en los paneles, o bien se utilizan inversores para transformarla en corriente alterna para alimentar los sistemas de bombeo. Sin embargo, la electricidad generada por los paneles fotovoltaicos puede ser suministrada de forma directa –sin el uso de un sistema de almacenamiento por baterías– al sistema de electrodiálisis –tanto al electrodiálizador como al sistema de bombeo– produciendo toda el agua desalada posible durante las horas de irradiación solar y almacenando el exceso de agua desalada para su uso en periodos sin irradiación solar. Obviamente, la ausencia de baterías hace que la producción de agua diaria dependa de la irradiación solar, que en última instancia depende de las condiciones meteorológicas, localización y otros factores.

Por otra parte, la metodología expuesta para el reactor de electrodiálisis puede ser aplicada de igual forma a un reactor de electro-oxidación y su sistema de bombeo. No existen sistemas descritos donde se realice un tratamiento integral de desalación y desinfección de un agua donde la alimentación eléctrica se lleve a cabo con un campo solar fotovoltaico sin uso de baterías como se describe en el sistema objeto de esta invención.

### **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION.**

El uso de PFVs como fuente de alimentación en sistemas de desalación mediante electrodiálisis con pre- y/o post-acondicionamiento de las aguas desaladas es una solución ya estudiada. Sin embargo, los estudios realizados utilizan campos solares fotovoltaicos con *stack* de baterías y el equipamiento electrónico asociado (regulador e inversor). Hasta este momento no existen precedentes de sistemas de desalación mediante electrodiálisis con pre- y/o post-acondicionamiento de las aguas desaladas, donde la totalidad de la alimentación eléctrica del sistema se realice desde un campo solar fotovoltaico o de otra fuente de energía eléctrica discontinua sin conexión a un banco de baterías.

La invención que se describe permite llevar a cabo la alimentación eléctrica de los distintos elementos del sistema de desalación y acondicionamiento (reactores electroquímicos y sistemas de bombeo fundamentalmente) empleando una fuente de energía eléctrica discontinua, como un campo solar fotovoltaico, sin sistema de acumulación de energía

eléctrica, lo que redundará en:

- i) rebajar sustancialmente el coste de inversión de estos sistemas, dado el elevado coste de las baterías, regulador e inversor;
- ii) mejorar la eficiencia en la utilización de la energía eléctrica generada en la fuente de energía eléctrica discontinua como los PFVs, al no utilizar almacenamiento en baterías ni paso a corriente alterna;
- iii) evitar los costes económicos y medioambientales asociados a la gestión de las baterías agotadas;
- iv) reducir el coste y tiempo de mantenimiento al evitar el uso de baterías.

El objeto de la presente invención es aportar un sistema autónomo de desalación de aguas mediante Electrodialisis (ED) junto a las etapas de pre- y post-acondicionamiento de estas aguas, alimentado por una fuente de energía eléctrica discontinua, como un campo solar fotovoltaico, sin un subsistema de almacenamiento de energía por baterías. El sistema de la invención se caracteriza por una elevada eficiencia energética, grandes beneficios medioambientales y un casi total grado de autonomía con mínimas actuaciones de mantenimiento que mejoran ostensiblemente las soluciones conocidas.

El objeto de la invención:

- i) Puede ser aplicado a aguas a desalar de procedencia muy variada: agua de mar, de pozo salobre, procedentes de EDAR, procesos industriales u otras.
- ii) La etapa de desalación puede ser llevada a cabo para cualquier modalidad conocida de electrodialisis: modo de operación en *batch* con recirculación, continuo o reactores en cascada, electrodialisis reversa u otros.
- iii) Las etapas de pre- y post-tratamiento dependerán de las características físico-químicas del agua a desalar y del uso final de la misma una vez desalada. De esta forma, se incluyen diferentes técnicas conocidas como, por ejemplo: filtraciones de diversas modalidades, electrogeneración o adición de oxidantes, aplicación de UV u otras.

En el sistema que se propone hay varios subsistemas que necesitan energía eléctrica y que poseen características de voltaje/intensidad diferentes. Típicamente, las necesidades de energía eléctrica se establecen para:

- i) Reactor de electrodialisis (etapa de desalación)
- ii) Reactor de electro-oxidación (etapa de post-tratamiento)
- iii) Bombeo (elementos auxiliares, incluye sistema de pretratamiento por filtración)
- iv) Monitorización y control (sistemas de control y adquisición de datos)

Por otro lado, durante el proceso de pre-acondicionamiento, desalación y post-acondicionamiento de las aguas, no todos los subsistemas que necesitan energía necesitan

funcionar simultáneamente o hacerlo a su máxima potencia. Esto hace que puedan implementarse estrategias de operación donde los distintos subsistemas pueden dejar de funcionar o hacerlo con un bajo consumo energético para disminuir los requisitos globales de energía eléctrica del sistema y adecuarlos a la cantidad de energía disponible en cada momento. Por todo ello el generador debe tener varias salidas para abastecer a los diferentes consumos. Cada salida puede alimentar a un subsistema distinto. Para obtener todas estas líneas de alimentación pueden usarse varias configuraciones:

- i) Un subcampo de PFV para cada línea.
- ii) Un solo campo de PFV con un convertidor DC/DC fijo para cada subsistema.
- 10 iii) Un solo campo de PFV con un convertidor DC/DC variable para cada subsistema.
- iv) Un solo campo de PFV con un convertidor DC/DC que haga uso de estrategias de búsqueda del punto de máxima potencia (Maximum Power Point Tracking, MPPT) para maximizar la energía obtenida de los paneles y una salida para cada subsistema.
- 15 v) Una combinación de lo anterior.

Como se ha comentado anteriormente, el objeto de la presente invención es aportar un sistema autónomo de desalación y acondicionamiento de aguas alimentado por una fuente de energía eléctrica discontinua como PFVs. El sistema propuesto es especialmente útil si el sistema está aislado de la red eléctrica. Sin embargo, si el sistema puede conectarse a una red eléctrica, el objeto de la invención no es incompatible con el uso de una alimentación mixta con las siguientes características:

- i) Utilización de la fuente de energía eléctrica discontinua (que puede ser un campo solar fotovoltaico) como fuente de alimentación en días donde el origen de la fuente de energía eléctrica discontinua es suficiente (por ejemplo, irradiación solar) y conexión a red eléctrica convencional cuando la fuente de energía eléctrica discontinua sea insuficiente durante periodos prolongados de tiempo (noche o días muy nublados), con el objetivo de aumentar la producción de agua tratada.
- 25 ii) Cada subsistema se puede alimentar únicamente con la fuente de energía eléctrica discontinua (por ejemplo energía solar), energía de red convencional o de forma mixta.
- 30

### **DESCRIPCIÓN BREVE DE LAS FIGURAS**

La figura 1 es un esquema general del sistema de la invención

35 La figura 2 es un esquema de una realización de la invención.

Se indican a continuación las referencias numéricas de los elementos de la invención:

- Toma (1)
- Agua para ser tratada (10)
- Filtro (2)
- Agua pretratada (20)
- 5 Depósito de acumulación (3) de agua pretratada (20)
- Equipo de electrodiálisis (4)
- Medios de tratamiento electroquímico (4')
- Electrodializador (4A)
- Disolución de diluido de retorno (30)
- 10 Disolución de diluido (30B)
- Depósito de disolución de diluido (4B)
- Disolución de concentrado (30C)
- Disolución de concentrado de retorno (30')
- Depósito de disolución de concentrado (4C)
- 15 Electrolito (30'')
- Depósito de electrolito (4D)
- Reactor de electro-oxidación (5)
- Disolución de concentrado a oxidar (40')
- Disolución de concentrado con oxidante electrogenerado (50)
- 20 Diluido tratado (40)
- Mezcla resultante (60)
- Disolución de rechazo (70)
- Subsistema de alimentación eléctrica (8)
- Campo de aerogeneradores, PFVs o combinación de varias fuentes de energía discontinua
- 25 (8A)
- Convertidor DC/DC (8B)
- Medios de seguimiento (8C)
- Primera línea de salida (81) para alimentar un electrodializador (4A)
- Segunda línea de salida (82) para alimentación de un reactor de electro-oxidación (5)
- 30 Tercera línea de salida (83) para alimentación del sistema de control (9)
- Cuarta línea de salida (84) para alimentación del sistema de bombeo
- Sistema de control (9)

### **DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION**

35

La elección de una configuración u otra dependerá mucho de la aplicación ya que los costes

determinarán cuál es la elección adecuada.

Para conseguir el objetivo perseguido se aporta como forma de aplicación preferida la siguiente solución técnica. Un equipo de desalinización por Electrodiálisis y desinfección de agua mediante un módulo de Electro-oxidación que comprende:

- 5 i) Un equipo de captación de agua mediante bombeo con alimentación por una fuente de energía eléctrica discontinua (que puede comprender aerogeneradores o una planta solar fotovoltaica), acondicionamiento de las aguas mediante filtración y almacenamiento en un depósito de acumulación.
- 10 ii) Un equipo de desalinización de agua mediante electrodiálisis con alimentación por la fuente de energía eléctrica discontinua de los equipos de bombeo y el electrodiálizador. El sistema descrito funciona en modo de operación batch con recirculación.
- 15 iii) Un equipo de desinfección de agua mediante cloración electroquímica con alimentación por la fuente de energía eléctrica discontinua de los equipos de bombeo y el reactor de electro-oxidación. La generación del oxidante se produce en modo continuo de operación.
- 20 iv) Un campo solar fotovoltaico o de aerogeneradores para proporcionar la energía eléctrica para abastecer los consumos del sistema.
- v) Un equipo de transformación de potencia del campo solar fotovoltaico o de aerogeneradores.
- vi) Medios de automatización y control.

La descripción del funcionamiento del sistema ilustrado en la figura 2 sería como sigue:

El equipo de bombeo del sistema de captación toma agua para ser tratada (10) a través de la toma (1). A continuación es filtrada en el filtro (2) obteniéndose agua pretratada (20), que puede ser almacenada en un depósito de acumulación (3). El agua pretratada (20) se envía al equipo de electrodiálisis (4). De forma muy simplificada, en modo de operación *batch* con recirculación un equipo de electrodiálisis (4) está formado por el electrodiálizador (4A), un depósito para la disolución de diluido (4B), un depósito para la disolución de concentrado (4C) y un depósito para el electrolito (4D) y bombas que recirculan las disoluciones al electrodiálizador (4A). El punto final de la electrodiálisis se determina por la conductividad del diluido tratado (40).

En una realización de la invención se puede utilizar un reactor de electro-oxidación (5) en un solo paso, para aprovechar la elevada concentración de cloruros en la disolución de concentrado a oxidar (40'), generando hipoclorito como agente desinfectante. A través del reactor de electro-oxidación (5), se circula una pequeña corriente de disolución tomada del depósito de disolución de concentrado (4C) donde se genera cloro activo en cantidad

suficiente. Esa disolución de oxidación (50) con un contenido alto de cloro libre, se mezcla con el diluido tratado (40), de tal forma que se produce la desinfección del diluido tratado (40) obteniendo una mezcla resultante (60) desinfectada, al asegurarse un contenido en cloro libre adecuado al que marca la legislación. Adicionalmente, dado el bajo volumen de la disolución de oxidación (50), la mezcla resultante (60) mantiene prácticamente la salinidad del diluido tratado (40), para que siga cumpliendo el límite marcado para el uso al que esté destinada.

Las ventajas de emplear la disolución de concentrado a oxidar (40') para generar el cloro activo son numerosas. Estas ventajas derivan de la alta concentración de cloruros en la misma, que repercute en una mayor eficiencia en la generación de cloro activo y, por tanto, en la posibilidad de trabajar en un solo paso minimizando algunos parámetros, entre otros: área de electrodo, tamaño de reactor y caudal de disolución .

Cuando la disolución de concentrado de retorno (30') no puede seguir siendo reutilizada debido a la alta concentración de sales disueltas, se genera una disolución de rechazo (70) que debe ser bombeada fuera del sistema.

En una realización de la invención, el subsistema de alimentación eléctrica (8) puede comprender un campo de PFVs, o de aerogeneradores, o una combinación de ambos, como fuente de energía discontinua (8A), conectado a un convertidor DC/DC (8B) que aplique estrategias de MPPT y que comprenda una primera línea de salida (81) para alimentar un electrodiálizador (4A), una segunda línea de salida (82) para alimentación de un reactor de electro-oxidación (5) y una tercera línea de salida (83) para alimentación del sistema de control (9) y una cuarta línea de salida (84) para alimentación del sistema de bombeo.

El sistema de control (9) monitoriza toda la planta, controla el proceso y determina dónde es más necesaria la energía. En los momentos en que se tenga suficiente energía toda la planta recibe energía. Cuando la energía sea insuficiente, se apagarán o reducirá el consumo de diferentes subsistemas para permitir continuar el proceso (reducción de caudal de bombas, apagado de electro-oxidación, apagado de bombeo en elementos auxiliares).

Conforme se ha descrito, una realización básica de la invención se refiere a un sistema autónomo de tratamiento de aguas que comprende:

1a) medios de pretratamiento (2) que comprenden:

1a1) una toma (1) de agua a ser tratada (10);

1a2) un filtro (2) para filtrar el agua a ser tratada (10) y obtener agua pretratada (20);

1b) medios de tratamiento electroquímico (4'):

1b1) aguas abajo de los medios de pretratamiento (2);

1b2) para recibir el agua pretratada (20) y obtener agua tratada (60);

1c) una fuente de energía eléctrica discontinua (8A) configurada para alimentar



directamente consumos energéticos del sistema autónomo de tratamiento de aguas.

Conforme a otras características de la invención:

Los medios de tratamiento electroquímico (4') pueden comprender:

5 2a1) Un equipo de electrodiálisis (4) para recibir el agua pretratada (20), tratar el agua pretratada (20) mediante electrodiálisis y obtener una disolución de diluido tratado (40).

10 3a1) Un reactor (5) para recibir una disolución de concentrado a oxidar (40'), oxidar la disolución de concentrado a oxidar (40') y obtener una disolución de concentrado con oxidante electrogenerado (50).

El reactor (5) puede ser un reactor de electrooxidación configurado para oxidar la disolución de concentrado a oxidar (40') mediante una reacción seleccionada entre cloración, ozonización y combinaciones de las mismas.

La fuente de energía eléctrica discontinua (8A) puede ser un campo solar fotovoltaico;

15 Los medios de tratamiento electroquímico (4') pueden estar alimentados con un campo solar fotovoltaico.

El sistema autónomo de tratamiento de aguas puede comprender:

un convertidor DC/DC (8B) que puede comprender:

20 una primera línea de salida (81) para alimentar un electrodiálizador (4A);  
una segunda línea de salida (82) para alimentar un reactor de electro-oxidación (5);  
una cuarta línea de salida (84) para alimentar un sistema de bombeo.

El convertidor DC/DC (8B) puede comprender medios de seguimiento (8C) de un punto de máxima potencia de la fuente de energía eléctrica discontinua (8A). Los medios de seguimiento funcionan midiendo el voltaje y la intensidad en la fuente que suministra la  
25 energía eléctrica, de tal forma que adecúan el consumo del convertidor DC/DC para conseguir que la potencia (que es el producto del voltaje por la intensidad) suministrada por la fuente de energía sea máxima.

Cada consumo energético, como el electrodiálizador (4A), el reactor de electro-oxidación (5) y los medios de bombeo, puede comprender una fuente de energía eléctrica discontinua  
30 (8A) asociada configurada para alimentar el consumo energético (4A, 5) al que está asociada.

La fuente de energía eléctrica discontinua (8A) puede estar seleccionada entre: solar fotovoltaica, eólica y combinaciones de las mismas.

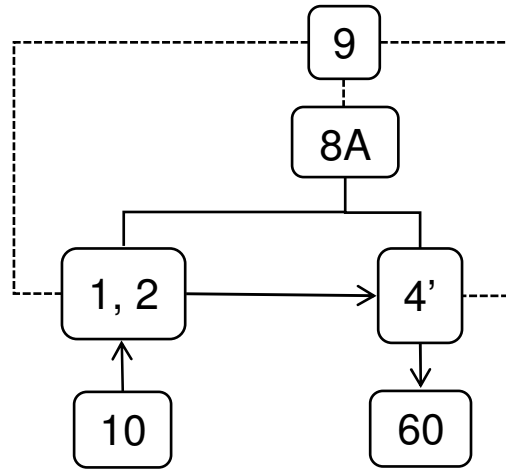
El sistema autónomo de tratamiento de aguas puede comprender un sistema de control (9)  
35 conectado con componentes (4A, 5, 8A, 8B) del sistema.

## REIVINDICACIONES

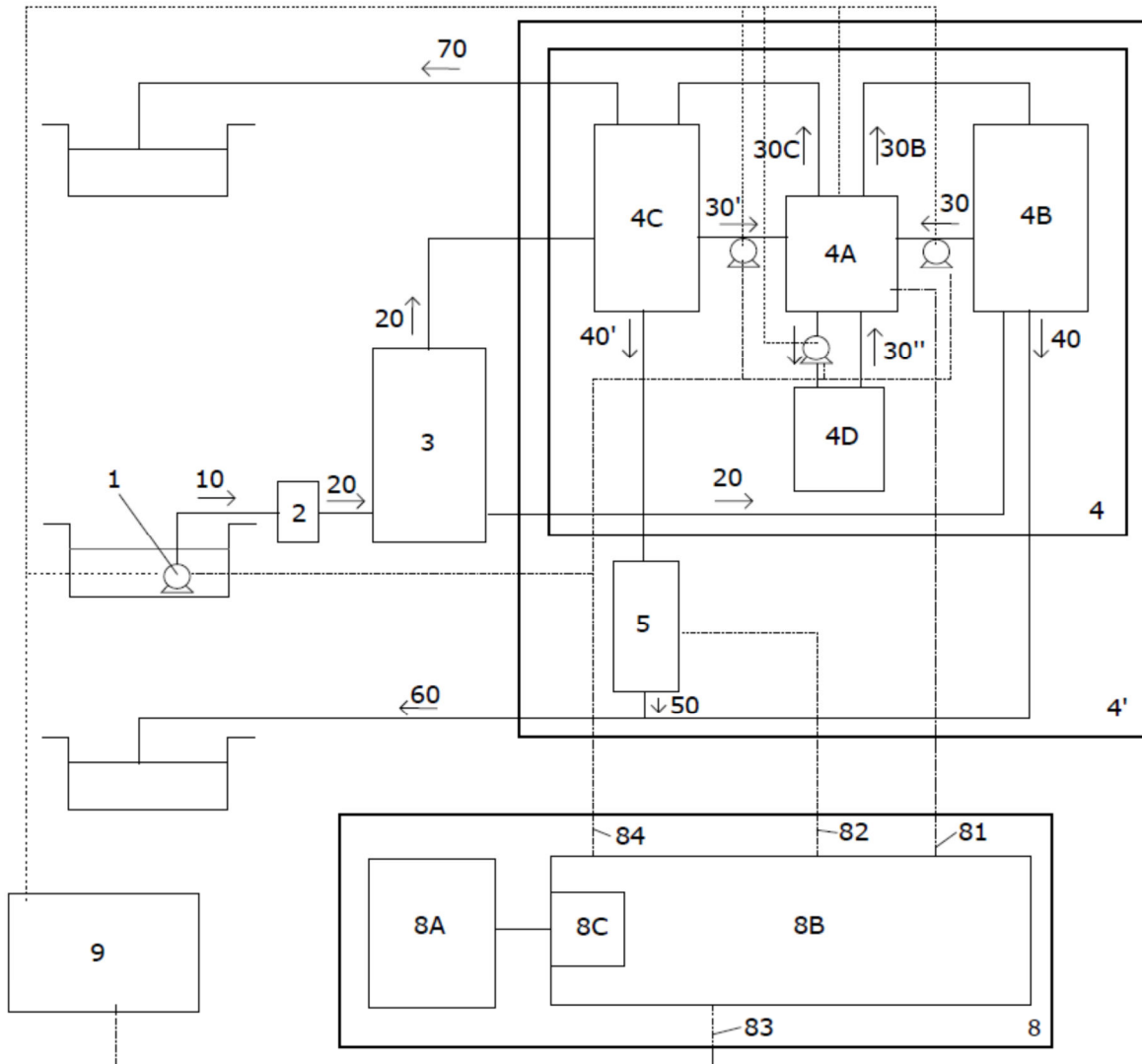
1. Sistema autónomo de tratamiento de aguas que comprende:
- 1a) medios de pretratamiento (2) que comprenden:
- 5 1a1) una toma (1) de agua a ser tratada (10);  
1a2) un filtro (2) para filtrar el agua a ser tratada (10) y obtener agua pretratada (20);
- 1b) medios de tratamiento electroquímico (4'):
- 1b1) aguas abajo de los medios de pretratamiento (2);  
1b2) para recibir el agua pretratada (20) y obtener agua tratada (60);
- 10 **caracterizado por que** comprende:
- 1c) una fuente de energía eléctrica discontinua (8A) configurada para alimentar directamente consumos energéticos del sistema autónomo de tratamiento de aguas.
2. Sistema autónomo de tratamiento de aguas según la reivindicación 1, **caracterizado por**
- 15 **que**
- 2a) los medios de tratamiento electroquímico (4') comprenden:
- 2a1) un equipo de electrodiálisis (4) para recibir el agua pretratada (20), tratar el agua pretratada (20) mediante electrodiálisis y obtener una disolución de diluido tratado (40).
- 20
3. Sistema autónomo de tratamiento de aguas según la reivindicación 2, **caracterizado por**
- que**
- 3a) los medios de tratamiento electroquímico (4') comprenden:
- 3a1) un reactor (5) para recibir una disolución de concentrado a oxidar (40'), oxidar la
- 25 disolución de concentrado a oxidar (40') y obtener una disolución de concentrado con oxidante electrogenerado (50).
4. Sistema autónomo de tratamiento de aguas según la reivindicación 3, **caracterizado por**
- que** el reactor (5) es un reactor de electrooxidación configurado para oxidar la disolución de
- 30 concentrado a oxidar (40') mediante una reacción seleccionada entre cloración, ozonización y combinaciones de las mismas.
5. Sistema autónomo de tratamiento de aguas según la reivindicación 1, **caracterizado por**
- que:**
- 35 5a) la fuente de energía eléctrica discontinua (8A) comprende un campo solar fotovoltaico;  
5b) los medios de tratamiento electroquímico (4') están alimentados con un campo solar

fotovoltaico.

6. Sistema autónomo de tratamiento de aguas según la reivindicación 3, **caracterizado por que** comprende:
- 5 6a) un convertidor DC/DC (8B) que comprende:
- 6a1) una primera línea de salida (81) para alimentar un electrodiálizador (4A);
  - 6a2) una segunda línea de salida (82) para alimentar un reactor de electro-oxidación (5);
  - 6a3) una cuarta línea de salida (84) para alimentar un sistema de bombeo.
- 10
7. Sistema autónomo de tratamiento de aguas según la reivindicación 6, **caracterizado por que** el convertidor DC/DC (8B) comprende medios de seguimiento (8C) de un punto de máxima potencia de la fuente de energía eléctrica discontinua (8A).
- 15
8. Sistema autónomo de tratamiento de aguas según la reivindicación 3, **caracterizado por que** cada consumo energético (4A, 5) comprende una fuente de energía eléctrica discontinua (8A) asociada configurada para alimentar el consumo energético (4A, 5) al que está asociada.
- 20
9. Sistema autónomo de tratamiento de aguas según la reivindicación 1, **caracterizado por que** la fuente de energía eléctrica discontinua (8A) está seleccionada entre: solar fotovoltaica, eólica y combinaciones de las mismas.
- 25
10. Sistema autónomo de tratamiento de aguas según cualquiera de las reivindicaciones 7-9, **caracterizado por que** comprende un sistema de control (9) conectado con componentes (4A, 5, 8A, 8B) del sistema.



**FIG. 1**



**FIG. 2**