

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 769 544**

51 Int. Cl.:

B01J 47/00 (2007.01)
B01D 63/10 (2006.01)
B01D 61/46 (2006.01)
B01D 61/52 (2006.01)
B01D 63/08 (2006.01)
B01D 63/14 (2006.01)
C02F 1/469 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.03.2013 PCT/US2013/032068**
87 Fecha y número de publicación internacional: **22.05.2014 WO14077887**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.03.2013 E 13855054 (6)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.12.2019 EP 2919909**

54 Título: **Dispositivo de separación electroquímica**

30 Prioridad:

19.11.2012 US 201261727914 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.06.2020

73 Titular/es:

**EVOQUA WATER TECHNOLOGIES LLC (100.0%)
210 Sixth Avenue, Suite 3300
Pittsburgh, PA 15222, US**

72 Inventor/es:

LIANG, LI-SHIANG

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 769 544 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo de separación electroquímica

Campo de la descripción

5 Aspectos se refieren, en general, a la separación electroquímica y, más particularmente, a sistemas y a procedimientos de separación electroquímica que implican membranas de intercambio iónico dispuestas en una configuración de pista de carreras.

Sumario

10 Según un aspecto de la invención, un dispositivo de separación electroquímica comprende las características expuestas en la reivindicación 1 e incluye un primer electrodo, al menos un par de celdas que comprenden una membrana de intercambio aniónico y una membrana de intercambio catiónico enrollada alrededor del primer electrodo para formar un haz que tiene una configuración de pista de carreras, y un segundo electrodo que rodea el haz. En otro aspecto, la presente invención proporciona un procedimiento de tratamiento de agua según la reivindicación 13. Las realizaciones preferidas de la presente invención se exponen en las reivindicaciones dependientes. Dichas realizaciones preferidas, así como una realización para una mejor comprensión de la invención, se describen en la descripción y las figuras siguientes.

15 En algunos aspectos, el dispositivo puede estar configurado de manera que las corrientes de dilución y de concentración fluyan en el mismo sentido desde el primer electrodo al segundo electrodo. El primer electrodo puede comprender un ánodo y el segundo electrodo puede comprender un cátodo. El ánodo puede comprender una sección recta con una sección semicircular en cada extremo para definir un ánodo con forma de S sustancialmente alargado. El ánodo puede comprender además un elemento de fijación, tal como una pestaña de fijación, en cada extremo para asegurar el al menos un par de celdas. El ánodo puede estar revestido con un material resistente a la oxidación.

20 En algunos aspectos, el ánodo puede estar segmentado. El dispositivo puede comprender además un separador configurado para mantener una distancia predeterminada entre los segmentos primero y segundo del ánodo. En otros aspectos, el cátodo puede estar segmentado. El dispositivo puede comprender además un colector para facilitar el flujo de fluido a través del al menos un par de celdas.

25 En algunos aspectos, al menos un extremo del haz está sellado con un adhesivo. Un recipiente puede estar configurado para recibir el haz. El recipiente puede comprender bloques de extremo. El dispositivo puede estar caracterizado por una utilización de membrana de al menos aproximadamente el 85%.

30 En algunos aspectos, una sección transversal del haz tiene una sección sustancialmente recta y una sección curva en los extremos primero y segundo de la sección sustancialmente recta. La densidad de corriente puede ser sustancialmente uniforme en toda la sección sustancialmente recta del haz. Una relación de una longitud de la sección sustancialmente recta a una altura de cada una de las secciones curvas puede ser mayor que cero. En al menos algunos aspectos, la altura de las secciones curvas no depende del número de pares de celdas. En algunos aspectos, la membrana de intercambio aniónico y la membrana de intercambio catiónico son planas y paralelas a lo largo de la sección sustancialmente recta del haz. El haz puede tener generalmente dos ejes de simetría.

35 En algunos aspectos, un sistema de tratamiento de agua puede incluir un dispositivo de separación electroquímica que tiene un primer electrodo, al menos un par de celdas que comprenden una membrana de intercambio aniónico y una membrana de intercambio catiónico enrollada alrededor del primer electrodo para formar un haz que tiene una configuración de pista de carreras, y un segundo electrodo que rodea el haz.

40 Todavía otros aspectos, realizaciones y ventajas de estos aspectos y realizaciones ejemplares, se describen en detalle a continuación. Las realizaciones descritas en la presente memoria pueden combinarse con otras realizaciones en cualquier manera consistente con al menos uno de los principios descritos en la presente memoria, y las referencias a "una realización", "algunas realizaciones", "una realización alternativa", "diversas realizaciones", "una realización» o similares no son necesariamente mutuamente excluyentes y pretenden indicar que una función, estructura o característica descrita particular puede incluirse en al menos una realización. Las apariciones de dichos términos en la presente memoria no se refieren necesariamente todas a la misma realización.

Breve descripción de los dibujos

45 A continuación, se describen varios aspectos de al menos una realización con referencia a las figuras adjuntas, que no pretenden estar dibujadas a escala. Las cifras se incluyen para proporcionar ilustración y una comprensión adicional de los diversos aspectos y realizaciones, y se incorporan a, y constituyen una parte de, la presente memoria descriptiva, pero no se pretende que sean una definición de los límites de la invención. Cuando las

características técnicas en las figuras, en la descripción detallada o en cualquier reivindicación van seguidas de signos de referencias, los signos de referencia se han incluido con el único propósito de aumentar la inteligibilidad de las figuras y de la descripción. En las figuras, cada componente idéntico o casi idéntico que se ilustra en diversas figuras se representa mediante un número de referencia similar. En aras de la claridad, es posible que no todos los componentes estén etiquetados en cada figura. En las figuras:

5

La Fig. 1 presenta una sección transversal esquemática de un dispositivo de separación electroquímica según una o más realizaciones;

La Fig. 2 presenta una vista detallada de una sección de la Fig. 1 según una o más realizaciones;

10

Las Figs. 3a y 3b presentan esquemas de un dispositivo de separación electroquímica según una o más realizaciones;

La Fig. 4 presenta una vista detallada de una sección de la Fig. 3a según una o más realizaciones;

La Fig. 5 presenta un esquema de un dispositivo de separación electroquímica alojado en un recipiente según una o más realizaciones;

Las Figs. 6a y 6b presentan esquemas de diversos patrones de flujo según una o más realizaciones; y

15

La Fig. 7 presenta datos descritos en un ejemplo adjunto según una o más realizaciones.

Descripción detallada

20

Los dispositivos para la purificación de fluidos que usan campos eléctricos se usan comúnmente para tratar el agua y otros líquidos que contienen especies iónicas disueltas. Dos tipos de dispositivos que tratan el agua de esta manera son dispositivos de electrodesionización y de electrodiálisis. En el interior de estos dispositivos hay compartimientos de concentración y de dilución separados por membranas selectivas de iones. Un dispositivo de electrodiálisis incluye típicamente membranas de intercambio aniónico y catiónico semipermeables electroactivas alternas. Los espacios entre las membranas están configurados para crear compartimientos de flujo de líquido con entradas y salidas. Un campo eléctrico aplicado impuesto a través de los electrodos causa que los iones disueltos, atraídos a sus contraelectrodos respectivos, migren a través de las membranas de intercambio aniónico y catiónico. Esto resulta generalmente en que el líquido del compartimiento de dilución se quede sin iones y que el líquido en el compartimiento de concentración se enriquezca con los iones transferidos.

25

30

La electrodesionización (EDI) es un proceso que elimina, o al menos reduce, una o más especies ionizadas o ionizables desde el agua usando medios eléctricamente activos y un potencial eléctrico para influir en el transporte de iones. Los medios eléctricamente activos sirven típicamente para recoger y descargar de manera alterna especies iónicas y/o ionizables y, en algunos casos, para facilitar el transporte de iones, que puede ser continuo, mediante mecanismos de sustitución iónicos o electrónicos. Los dispositivos EDI pueden comprender medios electroquímicamente activos de carga permanente o temporal, y pueden ser operados de manera discontinua, de manera intermitente, de manera continua y/o incluso en modos de inversión de polaridad. Los dispositivos EDI pueden ser operados para promover una o más reacciones electroquímicas diseñadas específicamente para conseguir o mejorar el rendimiento. Además, dichos dispositivos electroquímicos pueden comprender membranas eléctricamente activas, tales como membranas de intercambio iónico o bipolares semipermeables o selectivamente permeables. En la electrodesionización continua (CEDI), los dispositivos son dispositivos EDI conocidos por las personas expertas en la técnica que funcionan de una manera en la que la purificación de agua puede proceder de manera continua, mientras que el material de intercambio iónico se recarga de manera continua. Las técnicas CEDI pueden incluir procesos tales como desionización continua, electrodiálisis de celdas llenas o electrodiáresis. Bajo condiciones de tensión y de salinidad controladas, en los sistemas CEDI, las moléculas de agua pueden dividirse para generar iones hidrógeno o hidronio o especies e hidróxido o iones hidroxilo o especies que pueden regenerar los medios de intercambio iónicos en el dispositivo y pueden facilitar de esta manera la liberación de las especies atrapadas en los mismos. De esta manera, una corriente de agua a ser tratada puede ser purificada de manera continua sin necesidad de recarga química de la resina de intercambio iónico.

45

50

Los dispositivos de electrodiálisis (Electrodialysis Devices, ED) operan en base a un principio similar al de CEDI, excepto que los dispositivos ED típicamente no contienen medios electroactivos entre las membranas. Debido a la falta de medios electroactivos, el funcionamiento de ED puede verse obstaculizado en aguas de alimentación de baja salinidad debido a una resistencia eléctrica elevada. Además, debido a que la operación de ED en aguas de alimentación de alta salinidad puede resultar en un consumo de corriente eléctrica elevado, hasta ahora el aparato de ED ha sido usado más efectivamente en fuentes de agua de salinidad intermedia. En los sistemas basados en ED, debido a que no hay medios electroactivos, la división del agua es ineficiente y generalmente se evita el funcionamiento en un régimen de este tipo.

En dispositivos CEDI y ED, múltiples celdas o compartimientos adyacentes están típicamente separados por membranas selectivamente permeables que permiten el paso de especies cargadas positiva o negativamente, pero típicamente no ambas. Los compartimientos de dilución o de depleción están típicamente intercalados con los compartimientos concentradores o de concentración en dichos dispositivos. En algunas realizaciones, un par de celdas puede referirse a un par de compartimientos de concentración y de dilución adyacentes. A medida que el agua fluye a través de los compartimientos de depleción, típicamente se introducen especies cargadas iónicas y otras a los compartimientos de concentración bajo la influencia de un campo eléctrico, tal como un campo de CC. Las especies cargadas positivamente son atraídas hacia un cátodo, típicamente situado en un extremo de una pila de múltiples compartimientos de depleción y de concentración, y las especies cargadas negativamente son igualmente atraídas hacia un ánodo de dichos dispositivos, típicamente situado en el extremo opuesto de la pila de compartimientos. Típicamente, los electrodos están alojados en compartimientos de electrolito que están normalmente parcialmente aislados de una comunicación de fluido con los compartimientos de depleción y/o de concentración. Una vez en un compartimiento de concentración, las especies cargadas son típicamente atrapadas por una barrera de membrana selectivamente permeable que define al menos parcialmente el compartimiento de concentración. Por ejemplo, típicamente, se previene que los aniones migren adicionalmente hacia el cátodo, fuera del compartimiento de concentración, mediante una membrana selectiva de cationes. Una vez capturadas en el compartimiento de concentración, las especies cargadas atrapadas pueden ser eliminadas en una corriente de concentrado.

En los dispositivos CEDI y ED, el campo de CC se aplica típicamente a las celdas desde una fuente de voltaje y la corriente eléctrica se aplica a los electrodos (ánodo o electrodo positivo, y cátodo o electrodo negativo). La propia fuente de voltaje y de corriente (colectivamente "fuente de alimentación") puede ser alimentada por una diversidad de medios, tales como una fuente de alimentación de CA, o, por ejemplo, una fuente de alimentación derivada a partir de energía solar, eólica o undimotriz. En las interfaces electrodo/líquido, se producen reacciones de semi celdas electroquímicas que inician y/o facilitan la transferencia de iones a través de las membranas y los compartimientos. Las reacciones electroquímicas específicas que se producen en el electrodo/las interfaces pueden ser controladas en cierta medida por la concentración de sales en los compartimientos especializados que alojan los conjuntos de electrodos. Por ejemplo, una alimentación a los compartimientos de electrolito de ánodo que es alta en cloruro de sodio tenderá a generar gas de cloro e iones de hidrógeno, mientras que dicha alimentación al compartimiento de electrolito de cátodo tenderá a generar gas hidrógeno e iones hidróxido. Generalmente, el ion hidrógeno generado en el compartimiento del ánodo se asociará con un anión libre, tal como un ion de cloro, para conservar la neutralidad de carga y crear una solución de ácido clorhídrico, y de manera análoga, el ion hidróxido generado en el compartimiento del cátodo se asociará con un catión libre, tal como sodio, para conservar la neutralidad de carga y crear una solución de hidróxido de sodio. Los productos de reacción de los compartimientos de electrodo, tales como el gas de cloro y el hidróxido de sodio generados, pueden ser utilizados en el procedimiento según sea necesario con propósitos de desinfección, para la limpieza de la membrana y con propósitos de limpieza, y con propósitos de ajuste del pH.

En los diseños ED de placa-y-marco tradicionales, las corrientes de dilución y de concentración están en paralelo, en el mismo sentido o en sentido contrario. Otro posible diseño implica dispositivos de flujo cruzado, en los que las corrientes de dilución y concentradoras son perpendiculares entre sí. En comparación con el diseño de placa-y-marco, el diseño de flujo transversal tiene la ventaja de una mayor utilización de la membrana y una menor caída de presión. Ambos diseños de placa-y-marco y de flujo cruzado tienen membranas aniónicas y catiónicas alternadas que son planas y que están separadas por pantallas. Cada pila de componentes paralelos está delimitada en ambos extremos por electrodos. La corriente fluye desde el ánodo al cátodo a través de cada membrana en serie, a excepción de una fracción que circunvala la pila fluyendo a través de los colectores de entrada y de salida (corriente de fuga). Si la corriente de fuga fuera una pequeña fracción de la corriente total, la densidad de corriente media sería sustancialmente uniforme en toda la pila. A medida que el agua de alimentación fluye a través de un compartimiento de dilución, la tasa de transferencia de iones a los compartimientos concentradores adyacentes sería por lo tanto aproximadamente la misma a lo largo de la trayectoria de flujo.

Los diseños de placa-y-marco y enrollado en espiral se han usado para diversos tipos de dispositivos de desionización electroquímica, incluyendo, pero sin no limitarse a, dispositivos de electrodiálisis (ED) y de electrodesionización (EDI). Por ejemplo, los documentos WO 02/14224A1 y US 2007/21547 se refieren a dispositivos de electrodiálisis (ED) y de electrodesionización (EDI) con diferentes configuraciones. Los diseños enrollados en espiral se describen, por ejemplo, en el documento US 7 591 933 B2 y en el documento de Wen T. et al titulado "Spirally wound electrodialysis (SpED) modules" (Desalination, Elsevier, Amsterdam, NL, Vol. 101, N°1, 1 de Marzo de 1995, páginas 79-91). Los dispositivos ED disponibles comercialmente son típicamente de diseño de placa-y-marco, mientras que los dispositivos EDI están disponibles en ambas configuraciones de placa-y-marco y espiral. En los diseños enrollados en espiral, los dispositivos pueden construirse con las membranas y pantallas enrolladas en espirales alrededor de un electrodo en el centro; envolviéndose el otro electrodo alrededor de la periferia. Las corrientes de dilución y de concentración pueden fluir radialmente en trayectorias espirales, hacia el interior o hacia el exterior, en el mismo sentido o en sentido contrario. De manera alternativa, una de las corrientes puede ser radial y otra en una dirección axial. En una configuración común, el electrodo interior es un ánodo y el

electrodo exterior un cátodo. El agua de alimentación, tal como agua de mar, se introduce en el centro y se alimenta a los compartimientos de dilución y de concentración. Ambas corrientes fluyen hacia el exterior en una trayectoria espiral hacia el cátodo. Los extremos del haz espiral están sellados con adhesivo de encapsulación. El producto y la parte rechazada se recogen en los extremos exteriores de los compartimientos espirales.

- 5 Los diseños enrollados en espiral convencionales pueden tener ciertas ventajas sobre los diseños de placa-y-marco. Su única corriente de fuga es la corriente que fluye a lo largo de las trayectorias espirales en lugar de a través de las membranas y se espera que sea mínima. El montaje del dispositivo tiene menos etapas y es más fácil de automatizar. Componentes tales como los separadores en la placa-y-marco no son necesarios. Los diseños enrollados en espiral tienen ciertas desventajas, incluyendo también que la densidad de corriente disminuye a medida que aumenta la distancia desde el electrodo interior, de manera que la tasa de transferencia iónica desde la corriente diluida disminuye a medida que la corriente diluyente se extiende en espiral hacia el exterior. Con el fin de eliminar la cantidad de iones necesarios para una aplicación, el área de la membrana puede aumentarse aumentando la longitud de las espirales o la velocidad de la parte diluida puede disminuirse, aumentando de esta manera el tiempo de residencia. El aumento de las áreas de membrana y de la longitud de la espiral aumenta el coste de las membranas y la caída de presión. Las áreas de membrana adicionales están más lejos del electrodo interior con una densidad de corriente incluso menor. Además, debido a que hay presente una pérdida de agua debido a la electro-ósmosis y la ósmosis, el caudal del agua del producto final se reduce adicionalmente, de manera que el coste de energía y de capital por unidad de producto aumenta. Por lo tanto, es posible que se esté en un escenario de retorno decreciente en el que no es posible un diseño competitivo en lo referente a los costes. El número de pares de celdas y, por lo tanto, el caudal del producto, está limitado por el tamaño de los huecos entre los segmentos de ánodo y la dificultad de enrollar un gran número de láminas. Sin embargo, un aumento de los radios de los segmentos aumenta el coste del ánodo, que debe estar realizado en materiales caros resistentes a la oxidación, tal como titanio revestido con platino. Con el fin de conseguir la eliminación de sal requerida, la densidad de corriente en el ánodo puede ser inaceptablemente alta, del orden de varios cientos de amperios/m².
- 25 Según una o más realizaciones, una configuración con forma de pista de carreras puede proporcionar ciertas ventajas asociadas con los diseños en espiral mientras minimiza sus desventajas.

Una o más realizaciones se refieren a dispositivos que pueden purificar eléctricamente fluidos que pueden estar contenidos en el interior de una carcasa, así como a procedimientos de fabricación y uso de los mismos. Los líquidos u otros fluidos a ser purificados entran al dispositivo de purificación y, bajo la influencia de un campo eléctrico, se tratan para producir un líquido sin iones. Se recogen especies desde los líquidos entrantes para producir un líquido concentrado en iones.

Según una o más realizaciones, la eficiencia de los sistemas de separación electroquímica puede ser mejorada. La pérdida de corriente es una potencial fuente de ineficiencia. En algunas realizaciones, puede abordarse la posibilidad de una fuga de corriente. Eficiencia de corriente puede definirse como el porcentaje de la corriente que es eficaz para mover iones desde la corriente diluida a la corriente de concentrado. Pueden existir diversas fuentes de ineficiencia de corriente en un sistema de separación electroquímica. En un dispositivo de flujo cruzado, por ejemplo, una potencial fuente de ineficiencia puede implicar corriente que circunvala los pares de celdas fluyendo a través del diluido y de la entrada de concentrado y los colectores de salida. Los colectores de entrada y de salida abiertos pueden estar en comunicación de fluido directa con compartimientos de flujo y pueden reducir la caída de presión en cada trayectoria de flujo. Parte de la corriente eléctrica desde un electrodo al otro puede circunvalar la pila de pares de celdas fluyendo a través de las áreas abiertas. La corriente de circunvalación reduce la eficiencia de corriente y aumenta el consumo de energía. Otra potencial fuente de ineficiencia puede implicar iones que entran en la corriente diluida desde el concentrado debido a la imperfecta permeabilidad selectiva de las membranas de intercambio iónico. En algunas realizaciones, diversas técnicas y diseños pueden facilitar la reducción de la fuga de corriente.

Según una o más realizaciones, un dispositivo de separación electroquímico puede incluir una configuración de pista de carreras para prevenir fugas de corriente.

En una o más realizaciones, una trayectoria de circunvalación a través de una pila puede ser manipulada para promover el flujo de corriente a lo largo de una trayectoria directa a través de una pila de celda con el fin de mejorar la eficiencia de corriente. En algunas realizaciones, un dispositivo de separación electroquímica puede construirse y disponerse de manera que una o más trayectorias de circunvalación sean más tortuosas que una trayectoria directa a través de la pila de celdas. En al menos ciertas realizaciones, un dispositivo de separación electroquímica puede construirse y disponerse de manera que una o más trayectorias de circunvalación presenten una resistencia más elevada que una trayectoria directa a través de la pila de celdas. En algunas realizaciones, puede conseguirse una eficiencia de corriente de al menos aproximadamente el 60%. En otras realizaciones, puede conseguirse una eficacia de corriente de al menos aproximadamente el 70%. En todavía otras realizaciones, puede conseguirse una eficacia de corriente de al menos aproximadamente el 80%. En al menos algunas realizaciones, puede conseguirse

una eficiencia de corriente de al menos aproximadamente el 85%. En algunas realizaciones, puede conseguirse una eficiencia de corriente de al menos aproximadamente el 90%.

5 Según una o más realizaciones, el flujo en el interior de un compartimiento puede ser ajustado, redistribuido o redirigido para proporcionar un mayor contacto del fluido con las superficies de la membrana en el interior del compartimiento. El compartimiento puede construirse y disponerse para redistribuir el flujo de fluido en el interior del compartimiento. El compartimiento puede tener obstrucciones, proyecciones, salientes, rebordes o deflectores que pueden proporcionar una estructura para redistribuir el flujo a través del compartimiento, que se describirán adicionalmente más adelante. En ciertas realizaciones, las obstrucciones, proyecciones, salientes, rebordes o deflectores pueden denominarse un redistribuidor de flujo. Un redistribuidor de flujo puede estar presente en uno o más de los compartimientos de la pila de celdas.

15 Cada uno de los compartimientos de la pila de celdas de un aparato de purificación eléctrica puede construirse y disponerse para proporcionar un porcentaje de área superficial o de utilización de membrana predeterminado para el contacto con el fluido. Se ha encontrado que una mayor utilización de la membrana proporciona mayores eficiencias en el funcionamiento del aparato de purificación eléctrica. Las ventajas de conseguir una mayor utilización de la membrana pueden incluir un menor consumo de energía, una menor huella del aparato, menos pasadas a través del aparato y un agua producto de una mayor calidad. En ciertas realizaciones, la utilización de la membrana que puede conseguirse es mayor del 65%. En otras realizaciones, la utilización de la membrana que puede conseguirse es mayor del 75%. En ciertas otras realizaciones, la utilización de la membrana que puede conseguirse es mayor del 85%. La utilización de la membrana puede depender al menos en parte de los procedimientos usados para asegurar cada una de las membranas entre sí, y del diseño de cualquier separador. Con el fin de obtener una utilización de membrana predeterminada, pueden seleccionarse técnicas y componentes de fijación apropiados con el fin de conseguir un sellado fiable y seguro que permita un funcionamiento óptimo del aparato de purificación eléctrica, sin encontrar fugas en el interior del aparato. En algunas realizaciones, los procedimientos de producción de la pila pueden implicar técnicas de unión térmica para maximizar la utilización de la membrana, mientras se mantiene una gran área de superficie de membrana que puede usarse en el procedimiento.

25 Según una o más realizaciones, se proporciona un aparato de purificación eléctrica que comprende una pila de celdas. El aparato de purificación eléctrica puede comprender un primer compartimiento que comprende membranas de intercambio iónico y puede construirse y disponerse para proporcionar un flujo de fluido directo en una primera dirección entre las membranas de intercambio iónico. El aparato de purificación eléctrica puede comprender también un segundo compartimiento que comprende membranas de intercambio iónico y puede construirse y disponerse para proporcionar un flujo de fluido directo en una segunda dirección. Cada uno de entre el primer compartimiento y el segundo compartimiento puede construirse y disponerse para proporcionar un porcentaje de área superficial o de utilización de membrana predeterminado para el contacto de fluido.

30 Un aparato de purificación eléctrica puede comprender una pila de celdas. El aparato de purificación eléctrica puede comprender un primer compartimiento que comprende una primera membrana de intercambio catiónico y una primera membrana de intercambio aniónico, estando el primer compartimiento construido y dispuesto para proporcionar un flujo de fluido directo en una primera dirección entre la primera membrana de intercambio catiónico y la primera membrana de intercambio aniónico. El aparato puede comprender también un segundo compartimiento que comprende una primera membrana de intercambio aniónico y una segunda membrana de intercambio catiónico para proporcionar un flujo de fluido directo en una segunda dirección entre la primera membrana de intercambio aniónico y la segunda membrana de intercambio catiónico. Cada uno de entre el primer compartimiento y el segundo compartimiento puede construirse y disponerse para proporcionar una utilización de membrana predeterminada, por ejemplo, un contacto con el fluido mayor del 85% del área de superficie de la primera membrana de intercambio catiónico, de la primera membrana de intercambio aniónico y de la segunda membrana de intercambio catiónico. Al menos uno de entre el primer compartimiento y el segundo compartimiento puede comprender un separador, que puede ser un separador de bloqueo.

35 Según una o más realizaciones, el aparato de purificación eléctrica que comprende una pila de celdas puede comprender además una carcasa que encierra la pila de celdas, con al menos una parte de una periferia de la pila de celdas asegurada a la carcasa. Puede posicionarse un marco entre la carcasa y la pila de celdas. Puede haber presente un redistribuidor de flujo en uno o más de los compartimientos de la pila de celdas. Al menos uno de los compartimientos puede construirse y disponerse para proporcionar una inversión del flujo en el interior del compartimiento.

40 En algunas realizaciones de la descripción, se proporciona una pila de celdas para un aparato de purificación eléctrica. La pila de celdas puede proporcionar múltiples compartimientos de depleción y de concentración de iones alternados. Puede posicionarse un separador en la pila de celdas. El separador puede proporcionar estructura al compartimiento, y puede definir los compartimientos y, en ciertos ejemplos, puede ayudar a dirigir el flujo de fluido a través del compartimiento. El separador puede ser un separador de bloqueo que puede construirse y disponerse

para redirigir al menos uno de entre un flujo de fluido y una corriente eléctrica a través de la pila de celdas. Tal como se ha descrito, el separador de bloqueo puede reducir o prevenir ineficiencias de corriente eléctrica en el aparato de purificación eléctrica.

5 Según una o más realizaciones, una carcasa puede incluir electrodos. Las placas de extremo pueden incluir los electrodos. El aparato de purificación eléctrica puede comprender un primer electrodo en un interior del haz y un segundo electrodo que rodea el haz. En algunas realizaciones, el primer electrodo puede ser un ánodo y el segundo electrodo puede ser un cátodo. En otras realizaciones, el primer electrodo puede ser un cátodo y el segundo electrodo puede ser un ánodo. Uno de los electrodos o ambos pueden estar segmentados tal como se describe en la presente memoria.

10 El flujo de fluido en la primera dirección puede ser una corriente de dilución y el flujo de fluido en la segunda dirección puede ser una corriente de concentración. En ciertas realizaciones, el flujo de fluido en la primera dirección puede convertirse en una corriente de concentración y el flujo de fluido en la segunda dirección puede convertirse en una corriente de dilución con el uso de una inversión de polaridad en la que el campo eléctrico aplicado se invierte, invirtiendo de esta manera la función de la corriente. Múltiples conjuntos separadores, separados por separadores, pueden asegurarse entre sí para formar una pila de pares de celdas, o una pila de celdas de membrana.

15 El aparato de purificación eléctrica de la presente descripción puede comprender además una carcasa que encierra la pila de celdas. Al menos una parte de la periferia de la pila de celdas puede estar asegurada a la carcasa. Puede posicionarse una estructura de marco o de soporte entre la carcasa y la pila de celdas para proporcionar soporte adicional a la pila de celdas. El marco puede comprender también colectores de entrada y colectores de salida que permiten el flujo de líquido al interior de y desde la pila de celdas. El marco y la pila de celdas juntos pueden proporcionar una unidad modular de aparato de purificación eléctrica. El aparato de purificación eléctrica puede comprender además una segunda unidad modular asegurada en el interior de la carcasa. Puede aplicarse adhesivo para sellar al menos una parte de la periferia de la pila de celdas a la pared interior de la carcasa.

20 En ciertas realizaciones de la descripción, el flujo en el interior de un compartimiento puede ser ajustado, redistribuido o redirigido para proporcionar un mayor contacto del fluido con las superficies de la membrana en el interior del compartimiento. El compartimiento puede construirse y disponerse para redistribuir el flujo de fluido en el interior del compartimiento. El compartimiento puede tener obstrucciones, proyecciones, salientes, rebordes o deflectores que pueden proporcionar una estructura para redistribuir el flujo a través del compartimiento. Las obstrucciones, proyecciones, salientes, rebordes o deflectores pueden formarse como parte de las membranas de intercambio iónico, el separador, o pueden ser una estructura separada adicional que se proporciona en el interior del compartimiento.

25 La presente invención no está limitada en su uso a un equipo de electrodiálisis. Puede construirse también otro dispositivo de desionización electroquímica, tal como electrodesionización (EDI) o electrodesionización continua (CEDI), usando una configuración de pista de carreras. Las aplicaciones potenciales incluyen la desalinización de agua de mar, de agua salobre y de salmueras procedentes de la producción de petróleo y gas.

30 Según una o más realizaciones, se proporciona un dispositivo de separación electroquímica. En algunas realizaciones, el dispositivo de separación electroquímica puede ser un dispositivo de electrodiálisis. En otras realizaciones, el dispositivo de separación electroquímica puede ser un dispositivo de electrodesionización. Según ciertas realizaciones, el dispositivo de separación electroquímica puede comprender un electrodo y al menos un par de celdas. El par de celdas puede comprender una membrana de intercambio aniónico y catiónico. En al menos algunas realizaciones, las membranas de intercambio iónico pueden enrollarse alrededor del electrodo para formar un haz. El haz puede tener una configuración de pista de carreras. En diversas realizaciones, el dispositivo de separación electroquímica puede comprender además un segundo electrodo que está configurado para rodear el haz. Uno o ambos de los electrodos pueden segmentarse para adoptar la configuración de pista de carreras del haz.

35 En ciertas realizaciones, el dispositivo de separación electroquímica puede comprender además un colector para facilitar el flujo de fluido a través del al menos un par de celdas del haz.

40 Según una o más realizaciones, una configuración de pista de carreras puede combinar las ventajas de los dispositivos ED de tipo placa-y-marco, de flujo cruzado y en espiral. En el área de la membrana delimitada por las secciones rectas de los segmentos de ánodo y de cátodo, las membranas son planas y paralelas, como en los dispositivos de placa-y-marco y de flujo cruzado. La densidad de corriente es sustancialmente uniforme y la velocidad de eliminación de iones desde los compartimientos de dilución no es una función de la distancia desde el electrodo interior. La única área de membrana no activa en la transferencia de iones es la pequeña fracción encapsulada en el compuesto de encapsulación. Se espera una utilización de la membrana de más del 85%, como en los dispositivos de flujo cruzado y en espiral. La única corriente de fuga es la corriente que fluye a lo largo de las trayectorias con forma de pista de carreras en lugar de a través de las membranas y se espera que sea mínima. El montaje del dispositivo tiene menos etapas y es más fácil de automatizar. Componentes tales como los separadores en la placa-y-marco y en los marcos modulares en el flujo cruzado no son necesarios.

Según una o más realizaciones, el diseño de un dispositivo que tiene una configuración de pista de carreras puede implicar numerosas variables para la optimización, incluyendo el número de pares de celdas, la longitud de la sección recta o las secciones rectas en el electrodo interior, el número de vueltas alrededor del electrodo interior y la longitud de las trayectorias de flujo, la velocidad de flujo en la entrada a los compartimientos diluidos y concentrados y la separación entre las membranas y el tipo de pantallas en los compartimientos de dilución y de concentración, que puede ser el mismo o diferente. El área de la membrana en las partes circulares de las trayectorias de pista de carrera está sujeta a la densidad de corriente no uniforme como en los dispositivos en espiral. En esas áreas, existe el reto de disminuir la velocidad de eliminación de iones con la distancia desde el electrodo interior, y puede haber un retorno decreciente en la competitividad en lo referente a los costes a medida que aumenta el número de vueltas.

La Fig. 1 es una sección transversal esquemática de un módulo 100 de separación electroquímica con una configuración de pista de carreras que cuenta con un ánodo 110 y un cátodo 120 segmentado. Dos pilas de pares de celdas que comprenden membranas de intercambio aniónico y catiónico se enrollan alrededor del ánodo 110 para formar un haz. El cátodo 120 está segmentado para formar dos secciones que están configuradas para rodear el haz. El agua de alimentación, tal como agua de mar, se introduce en las entradas 130 que están posicionadas cerca del centro de la pista de carreras cerca del ánodo 110. El agua de alimentación se alimenta a los compartimientos de dilución y de concentración del módulo a través de las entradas 130 y a continuación pasa a fluir hacia el exterior al cátodo 120. Una vez tratada el agua de alimentación por los compartimientos de dilución y de concentración, los flujos de producto y de rechazo correspondientes se recogen en los extremos exteriores de la configuración de pista de carreras y salen del módulo a través de salidas 140. En algunas realizaciones, el módulo puede configurarse de manera que las corrientes de dilución y de concentración fluyan en el mismo sentido una con relación a la otra en una trayectoria de flujo sustancialmente enrollada desde el ánodo al cátodo. De manera alternativa, el módulo puede estar configurado de manera que las corrientes de dilución y de concentración fluyan en sentido contrario una con relación a la otra. En otra realización, el módulo puede configurarse de manera que una de entre las corrientes de dilución y de concentración fluya en una trayectoria de flujo sustancialmente enrollada desde el ánodo al cátodo, mientras que la otra de entre las corrientes de dilución o de concentración fluya en una dirección sustancialmente axial perpendicular a la otra corriente. Esta configuración particular puede ser adecuada en aplicaciones en las que la conductividad del agua de alimentación es baja. En todavía otras realizaciones, el módulo puede estar configurado de manera que las corrientes de dilución y de concentración fluyan hacia el interior desde el cátodo exterior al ánodo interior. En aras de la claridad, el espesor de todos los componentes se ha exagerado y en la figura sólo se muestran dos pares de celdas por cada pila, con los pares de celdas enrollados alrededor del ánodo sólo dos veces. En la práctica, el número de pares de celdas y el número de vueltas pueden ser más, particularmente si las membranas y cualquiera de las pantallas (descritas adicionalmente más adelante) están configuradas para ser delgadas.

En algunas realizaciones no limitativas, el ánodo 110 puede fabricarse tomando una placa plana y a continuación doblando o enrollando los extremos. De manera alternativa, el ánodo puede construirse soldando secciones de una placa plana a secciones conformadas como semicilindros. Según algunas realizaciones, las membranas pueden tener una construcción homogénea y pueden tener 0,025 mm de espesor, y las pantallas pueden tener 0,25 mm de espesor, produciendo un par de celdas con un espesor de 0,55 mm. Estas dimensiones permitirían que una pila de 50 pares de celdas fuera capaz posteriormente de encajar en una sección de extremo con un radio de 13,8 mm.

La Fig. 2 es un detalle ampliado de una de las entradas 230 a los compartimientos de dilución y de concentración y posicionada cerca del centro de la configuración de pista de carreras. En esta realización particular, el ánodo 210 puede comprender una sección recta con una sección semicircular en cada extremo para definir una forma de S sustancialmente alargada. Los extremos de la sección semicircular pueden comprender además una sección recta corta que puede funcionar como un elemento de sujeción, tal como una pestaña 250 de sujeción. En diversas realizaciones, el ánodo puede comprender una pestaña de sujeción posicionada en cada extremo que asegura uno o más pares de celdas al ánodo. Tal como se ilustra, dos pilas de membranas rectangulares y las pantallas pueden insertarse en las secciones de extremo del ánodo y pueden acoplarse mecánicamente en su sitio mediante su fijación a las pestañas 250. En algunas realizaciones, las membranas y las pantallas pueden acoplarse mecánicamente en su sitio doblando las pestañas 250. A continuación, las membranas y las pantallas pueden enrollarse alrededor del ánodo para formar una configuración con forma de pista de carreras. El sustrato del ánodo puede fabricarse a partir de diversos materiales, tales como titanio, y puede revestirse adicionalmente sobre la superficie con un material resistente a la oxidación, tal como platino, óxido de iridio, óxido de rutenio y mezclas de los mismos.

Las Figs. 3a y 3b presentan esquemas de un módulo 300 de separación electroquímica con una configuración de pista de carreras que cuenta con un ánodo 310 y un cátodo 320 segmentado. El ánodo está segmentado para formar dos secciones y dos pilas de pares de celdas que comprenden membranas de intercambio aniónico y catiónico que están enrolladas alrededor del ánodo 310 para formar un haz. De manera similar a la Fig. 1, el agua de alimentación se introduce en las entradas 330 que están posicionadas cerca del centro de la pista de carreras cerca del ánodo 310 y, a continuación, puede pasar a fluir hacia el exterior al cátodo 320 y sale del módulo a través de las

- salidas 340. Tal como se ha descrito anteriormente, el módulo puede configurarse de manera que las corrientes de dilución y de concentración puedan fluir en el mismo sentido o en sentido contrario una con relación a la otra. El módulo puede configurarse también de manera que las corrientes de dilución y de concentración fluyan en una trayectoria sustancialmente enrollada desde el ánodo al cátodo, o el módulo puede configurarse de manera que una de entre las corrientes de dilución y de concentración fluya en una trayectoria sustancialmente enrollada desde el ánodo al cátodo, mientras que la otra de entre las corrientes de dilución o de concentración fluye en una dirección sustancialmente axial perpendicular a la otra corriente. De manera alternativa, el módulo puede configurarse de manera que las corrientes de dilución y de concentración fluyan hacia el interior desde el cátodo exterior al ánodo interior.
- La Fig. 4 es un detalle ampliado de la zona central de la Fig. 3a y muestra las entradas 430 a los compartimientos de dilución y de concentración posicionados cerca del centro de la configuración de pista de carreras. En esta realización, el ánodo está segmentado, comprendiendo cada sección una sección recta y una sección curva. Cuando las membranas de intercambio aniónico y catiónico se enrollan alrededor del ánodo, el haz correspondiente puede tener también una sección sustancialmente recta y una sección curva. El ánodo segmentado puede permitir una mayor flexibilidad en la construcción del módulo. Por ejemplo, los radios de las secciones curvas del ánodo y las secciones curvas del haz pueden ser independientes del número de pares de celdas, debido a que la distancia entre las secciones rectas del ánodo segmentado puede variarse. Tal como se ilustra en la figura, uno o más separadores 470 pueden posicionarse entre las secciones rectas del ánodo segmentado para separar los dos segmentos de ánodo. El separador puede configurarse para mantener una distancia predeterminada entre los dos segmentos del ánodo. Un ejemplo de un tipo de separador adecuado puede ser un mecanismo de tipo tornillo. Tal como se ha descrito anteriormente, los extremos de la sección curva semicircular del ánodo pueden comprender además una sección recta corta que funciona como una pestaña 450 de sujeción y, en algunas realizaciones, el ánodo puede comprender además un elemento de sujeción posicionado en cada extremo para asegurar uno o más pares de celdas al ánodo.
- La Fig. 5 ilustra un haz enrollado en forma de pista de carreras que se ha colocado en un recipiente. Un haz con configuración de pista de carreras puede montarse en un recipiente de diversas maneras. Según una o más realizaciones no limitativas, una vez que los uno o más pares de celdas se enrollan alrededor del electrodo interior, uno o ambos de los extremos del haz se sellan con adhesivo 580 de encapsulación y se recortan. A continuación, el haz encapsulado puede insertarse en un recipiente 590 cilíndrico. El recipiente puede comprender además uno o más bloques extremos (no mostrados). Uno o más colectores 585 de salida pueden comprender salidas para las corrientes de producto y de rechazo. Los colectores de entrada pueden estar también en comunicación de fluido con el haz de pista de carreras. Cualquier hueco entre el haz y el interior del recipiente puede llenarse además con partes contorneadas (no mostradas) de manera que el recipiente 590 funcione para soportar la periferia exterior del haz. El recipiente 590 puede estar cubierto además en ambos extremos por bloques terminales (no mostrados) que pueden proporcionar los puertos de entrada y de salida y las conexiones eléctricas a los electrodos. Si se usan piezas contorneadas, pueden fabricarse a partir de materiales de bajo coste y no corrosivos, tales como plásticos, y pueden formarse mediante moldeo o técnicas de procesamiento de mecanizado. Las piezas contorneadas pueden funcionar también para soportar la periferia exterior del haz, o para realizar otras funciones. Por ejemplo, una o más de las piezas contorneadas pueden contener uno o más colectores para recoger el efluente desde las corrientes de rechazo o de producto y pueden enrutarlo a un puerto correspondiente. En ciertas realizaciones, las partes de carga no son necesarias. Por ejemplo, el haz encapsulado puede insertarse simplemente en un recipiente redondo y pueden fijarse bloques terminales. A continuación, puede inyectarse material de relleno en el espacio entre el haz y la superficie interior del recipiente. Los ejemplos de materiales de relleno adecuados incluyen compuesto de encapsulado rígido o semirrígido y espuma sellante, que pueden expandirse y solidificarse después de ser inyectados en la cavidad. El recipiente 590 puede adoptar cualquier número de diferentes formas, incluyendo formas rectangulares o de pista de carreras. Estas configuraciones pueden permitir que múltiples dispositivos sean empaquetados de manera más compacta en el recipiente. El recipiente puede tener cualquier forma que sea adecuada para su funcionamiento como una carcasa para las configuraciones de haz descritas en los dispositivos y los sistemas descritos en la presente memoria.
- Según algunas realizaciones, una sección transversal del haz formado a partir de las membranas de intercambio aniónico y catiónico enrolladas y el ánodo puede tener una sección sustancialmente recta y una sección curva en los extremos primero y segundo de la sección sustancialmente recta. En ciertas realizaciones, la densidad de corriente puede ser sustancialmente uniforme en toda la sección sustancialmente recta del haz. En diversas realizaciones, una relación de una longitud de la sección sustancialmente recta a una altura o radio de cada una de las secciones curvas puede ser mayor que cero. En al menos una realización, el radio de las secciones curvas puede no depender del número de pares de celdas. Por ejemplo, la configuración del dispositivo puede ser tal como se muestra en la Fig. 3. Según algunas realizaciones, el radio de cada una de las secciones curvas es igual a aproximadamente el espesor de una pila. En diversos aspectos, las membranas de intercambio aniónico y catiónico son planas y paralelas a lo largo de la sección sustancialmente recta del haz. En algunas realizaciones, el haz puede tener dos ejes de simetría. En todavía otra realización, las secciones curvas pueden no ser sustancialmente semicirculares, si

no que pueden tener una forma curva elíptica u otra forma.

Las Figs. 6a y 6b presentan esquemas de diferentes patrones de flujo potenciales según una o más realizaciones. La Fig. 6a presenta ambas corrientes fluyendo en el mismo sentido en un patrón de pista de carreras desde un electrodo interior a un electrodo exterior. De manera alternativa, las corrientes pueden fluir en el mismo sentido desde el electrodo exterior al electrodo interior. Las corrientes pueden fluir también en sentido contrario. La Fig. 6b presenta una configuración de flujo cruzado en la que una primera corriente fluye en el mismo sentido en un patrón de pista de carreras desde un electrodo interior a un electrodo exterior. Los bordes de los compartimientos de la corriente 1 pueden estar sellados. La corriente 2 fluye en una dirección perpendicular a la corriente 1. Los bordes de los compartimientos asociados con la corriente 2 pueden estar abiertos.

Según al menos una realización, el dispositivo de separación electroquímica puede estar caracterizado por una utilización de la membrana de al menos aproximadamente el 85%. En algunas realizaciones, la utilización de la membrana puede ser al menos de aproximadamente el 90%. Estos valores pueden ser más altos que los conseguidos usando diseños de placa-y-marco. Además, la caída de presión a través del dispositivo puede ser también menor que la caída de presión a través de los diseños de placa-y-marco.

En diversas realizaciones, uno o más de los dispositivos de separación electroquímica pueden usarse en un sistema de tratamiento de agua. El sistema de tratamiento de agua puede comprender además otros componentes y dispositivos, tales como dispositivos sensores y de control, conjuntos de colector y de distribución adicionales, dispositivos de almacenamiento y dispositivos de tratamiento adicionales. En algunos aspectos, uno o más de los dispositivos de separación electroquímica pueden insertarse en un sistema de tratamiento de agua preexistente.

La configuración de pista de carreras de los dispositivos de separación electroquímica descritos puede ofrecer ciertas ventajas que se experimentan usando las configuraciones de placa-y-marco, de flujo transversal y enrolladas en espiral, y puede proporcionar ventajas adicionales que no se experimentan usando estos otros tipos. Por ejemplo, el área de la membrana unida por las secciones sustancialmente rectas del ánodo y del cátodo puede ser plana y paralela, permitiendo una densidad de corriente sustancialmente uniforme en esta región. Además, la velocidad de eliminación de iones desde los compartimientos de dilución no es una función de la distancia desde el electrodo interior. Estas son ventajas evidentes con respecto a los dispositivos en espiral, ya que la densidad de corriente puede disminuir a medida que aumenta la distancia desde el electrodo interior en este tipo de configuración. Esto significa que la velocidad de transferencia de iones desde la corriente de dilución disminuye a medida que la corriente de dilución sigue la espiral hacia el exterior. Para conseguir un nivel de eliminación de iones deseado, la densidad de corriente en el electrodo interior puede ser inaceptablemente alta (del orden de varios cientos de amp/m²). Además, puede ser necesario aumentar el área de la membrana aumentando la longitud de las espirales o disminuyendo el caudal a través del compartimiento de dilución. Ambos de estos enfoques requieren que se aumente el tiempo de residencia y pueden contribuir a un aumento en la caída de presión a través del dispositivo. Además, un aumento de las áreas de membrana y de la longitud de la espiral puede aumentar el coste tanto de la fabricación como del funcionamiento de las membranas. Además, la pérdida de agua asociada con la electro-ósmosis y la ósmosis puede contribuir a un menor caudal de la corriente de producto. Los dispositivos en espiral pueden presentar también desventajas por el hecho de que el número de pares de celdas y, por lo tanto, el caudal del producto que sale del dispositivo, puede estar limitado por el tamaño de los huecos entre los segmentos de ánodo y la dificultad en el enrollado de un gran número de pares de celdas alrededor del electrodo central. Un aumento del radio del electrodo interior segmentado en un dispositivo enrollado en espiral puede aumentar el coste del electrodo, y este coste adicional puede ser significativo. El uso de la configuración de pista de carreras puede minimizar una o más de estas desventajas asociadas con el dispositivo enrollado en espiral.

Una ventaja adicional de la configuración de pista de carreras puede ser que las tasas de utilización de la membrana pueden ser mayores del 85%, ya que las únicas áreas de la membrana que es posible que no se usen de manera activa para la transferencia iónica son las pequeñas partes que están encapsuladas por el compuesto de encapsulación. Puede haber también una mínima corriente de fuga, ya que esta se produce sólo en la corriente que fluye a lo largo de las trayectorias de pista de carreras (en lugar de a través de las membranas). El dispositivo puede requerir menos etapas de fabricación y de montaje, y puede ser más fácil de automatizar o controlar. Además, pueden no requerirse componentes separados, tales como separadores y marcos.

La optimización de los dispositivos de separación electroquímica descritos en la presente memoria puede conseguirse variando uno o más parámetros, tales como el número de pares de celdas, la longitud de la sección o las secciones sustancialmente rectas en el electrodo interior, el número de vueltas alrededor del electrodo interior y la longitud de las trayectorias de flujo, la velocidad de flujo en la entrada o las entradas, la separación entre las membranas y el tipo de pantallas usadas en los compartimientos de dilución y de concentración.

Según una o más realizaciones, se proporciona un sistema de tratamiento de agua. En diversas realizaciones, el sistema de tratamiento de agua puede ser un sistema de separación electroquímica, tal como se ha descrito y caracterizado anteriormente. El sistema de tratamiento de agua puede incluir una entrada de alimentación que está

conectada de manera fluida a una fuente de agua a ser tratada. Los ejemplos no limitativos de fuentes de agua adecuadas a ser tratadas incluyen fuentes de agua potable, por ejemplo, agua municipal o agua de pozo, fuentes de agua no potable, por ejemplo, salobre o salada, agua semipura pretratada y cualquier combinación de las mismas.

5 La función y las ventajas de estas y otras realizaciones se entenderá más completamente a partir del siguiente ejemplo. El ejemplo pretende ser de naturaleza ilustrativa y no debe considerarse como limitativo del alcance de las realizaciones descritas en la presente memoria.

Ejemplo profético

10 Se realizó un estudio de un caso práctico A para evaluar el coste de fabricación y el consumo de energía para la configuración de pista de carreras según una o más realizaciones en comparación con la configuración enrollada en espiral convencional. El estudio de caso práctico se centró en una aplicación de desalinización suponiendo una alimentación que tiene un valor TDS de 36.500 ppm y un producto deseado que tiene un valor TDS de 2.000 ppm. Este tipo de planta de desalinización puede ser útil para operaciones en plataformas en alta mar donde se inyecta agua de alimentación en un yacimiento de petróleo para aumentar la recuperación de petróleo.

15 La configuración de pista de carreras incluye un módulo ED con cuatro devanados que incluye una sección recta con una longitud de 200 mm. El módulo enrollado en espiral usado para el estudio práctico incluía a 5 devanados.

20 Los resultados del estudio se muestran en la Fig. 7. La comparación entre las dos configuraciones incluye el coste de fabricación por unidad de caudal de producto (m^3/h), tal como se indica en el eje y en función del consumo de energía por metro cúbico de producto, tal como se indica en el eje x. Los resultados demuestran que, para un consumo de energía determinado, el coste de la configuración de pista de carreras es más bajo. A lo largo de todo el intervalo de valores de consumo de energía, el coste de la configuración de pista de carreras es consistentemente más bajo que la configuración enrollada en espiral convencional.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de separación electroquímica, que comprende:

un primer electrodo (310);

5 en el que el primer electrodo (310) está segmentado, comprendiendo cada sección una sección recta y una sección curva;

al menos un par de celdas que comprende una membrana de intercambio aniónico y una membrana de intercambio catiónico enrollada alrededor del primer electrodo para formar un haz que tiene una configuración de pista de carreras; y

un segundo electrodo (320) que rodea el haz;

10 en el que una sección transversal del haz tiene una sección recta y una sección curva en los extremos primero y segundo de la sección recta;

en el que una relación de una longitud de la sección recta a un radio de cada una de las secciones curvas del haz es mayor que cero;

15 en el que la membrana de intercambio aniónico y la membrana de intercambio catiónico son planas y paralelas a lo largo de la sección recta del haz; y

en el que el primer electrodo (310) comprende un ánodo y en el que el segundo electrodo (320) comprende un cátodo.

2. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que las secciones curvas del primer electrodo (310) son semicirculares.

20 3. Dispositivo según la reivindicación 2, en el que el primer electrodo (310) comprende además una pestaña (450) de sujeción en cada extremo para asegurar el al menos un par de celdas.

4. Dispositivo según la reivindicación 1, que comprende además un separador (470) configurado para mantener una distancia predeterminada entre los segmentos primero y segundo del ánodo.

5. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que el cátodo (320) está segmentado.

25 6. Dispositivo según la reivindicación 1, que comprende además una carcasa que encierra la pila de celdas, una estructura de marco entre la carcasa y la pila de celdas que comprende colectores de entrada (330) y colectores (585) de salida (340) en comunicación de fluido con el haz para permitir el flujo de fluido en y desde el al menos un par de celdas.

7. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que al menos un extremo del haz está sellado con un adhesivo.

8. Dispositivo según la reivindicación 1, que comprende además un recipiente configurado para recibir el haz.

30 9. Dispositivo según la reivindicación 8, en el que el recipiente (590) comprende bloques de extremo.

10. Dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el radio de las secciones curvas del haz no depende del número de pares de celdas.

11. Dispositivo según la reivindicación 1, en el que el haz tiene dos ejes de simetría.

35 12. Sistema de tratamiento de agua, que comprende el dispositivo de separación electroquímica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.

13. Procedimiento de tratamiento de agua que usa un dispositivo según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que la densidad de corriente es uniforme en toda la sección recta del haz; y

el procedimiento comprende que las corrientes de dilución y de concentración fluyan en el mismo sentido desde el primer electrodo (310) al segundo electrodo (320).

40

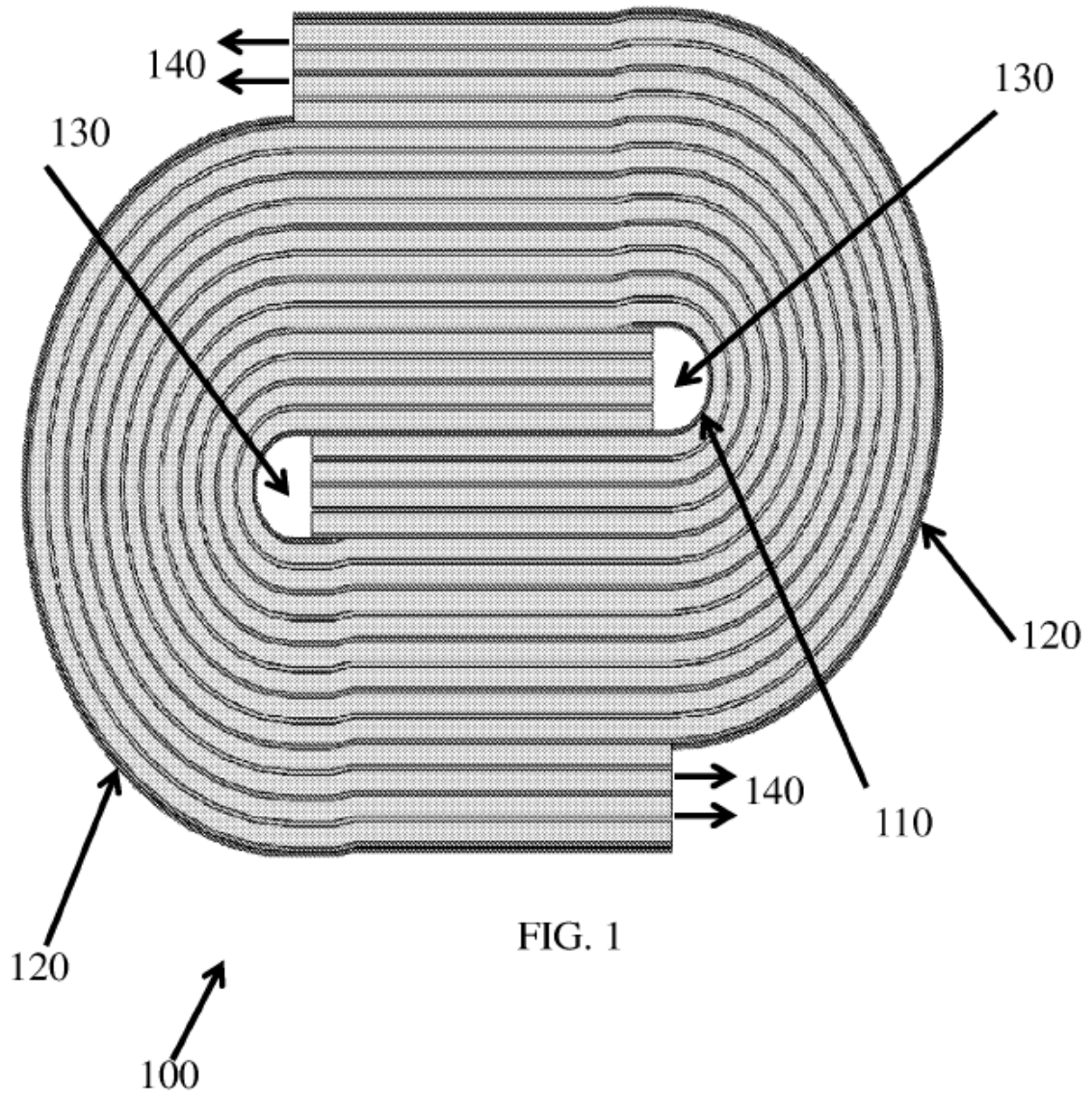


FIG. 1

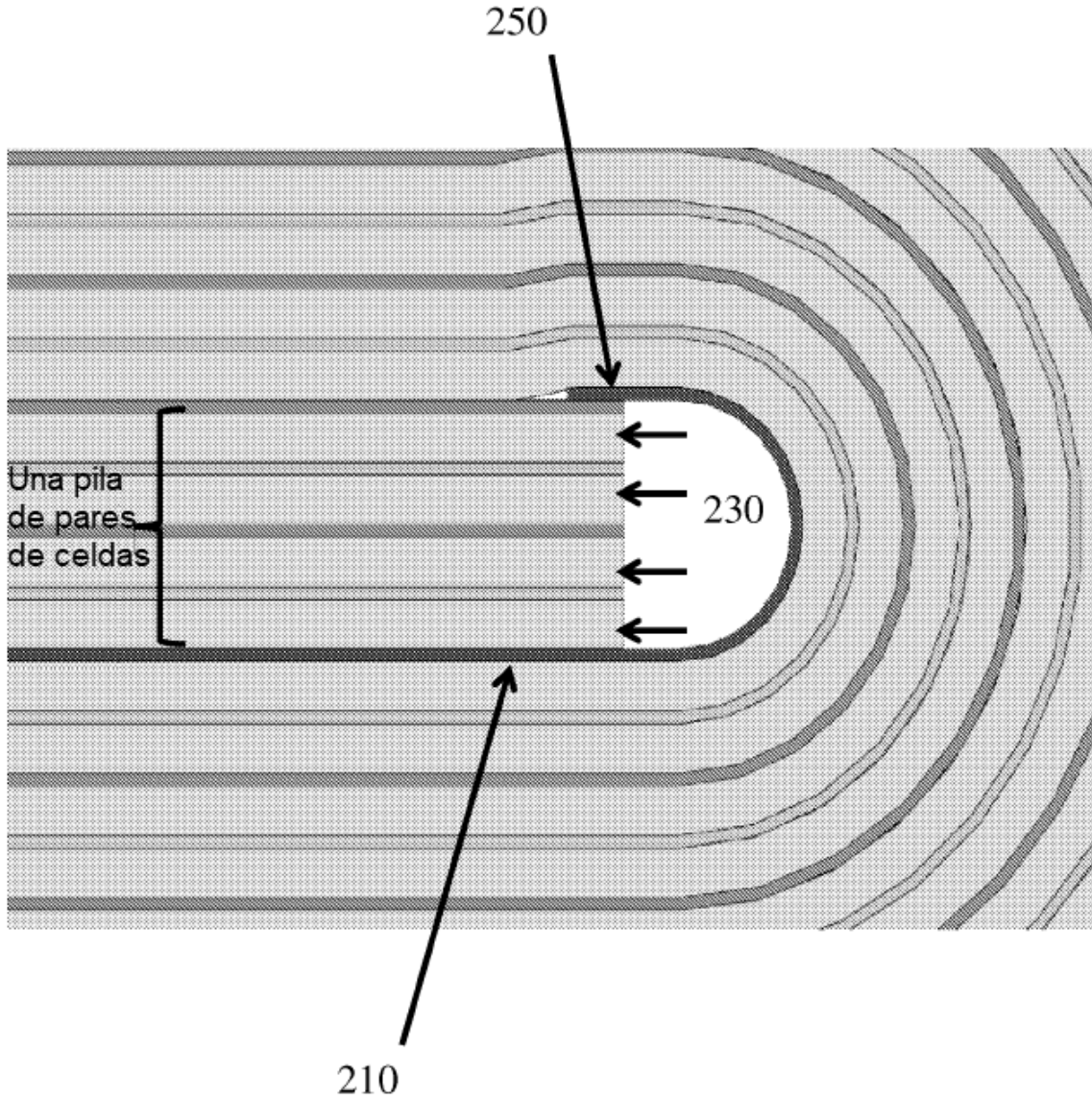


FIG. 2

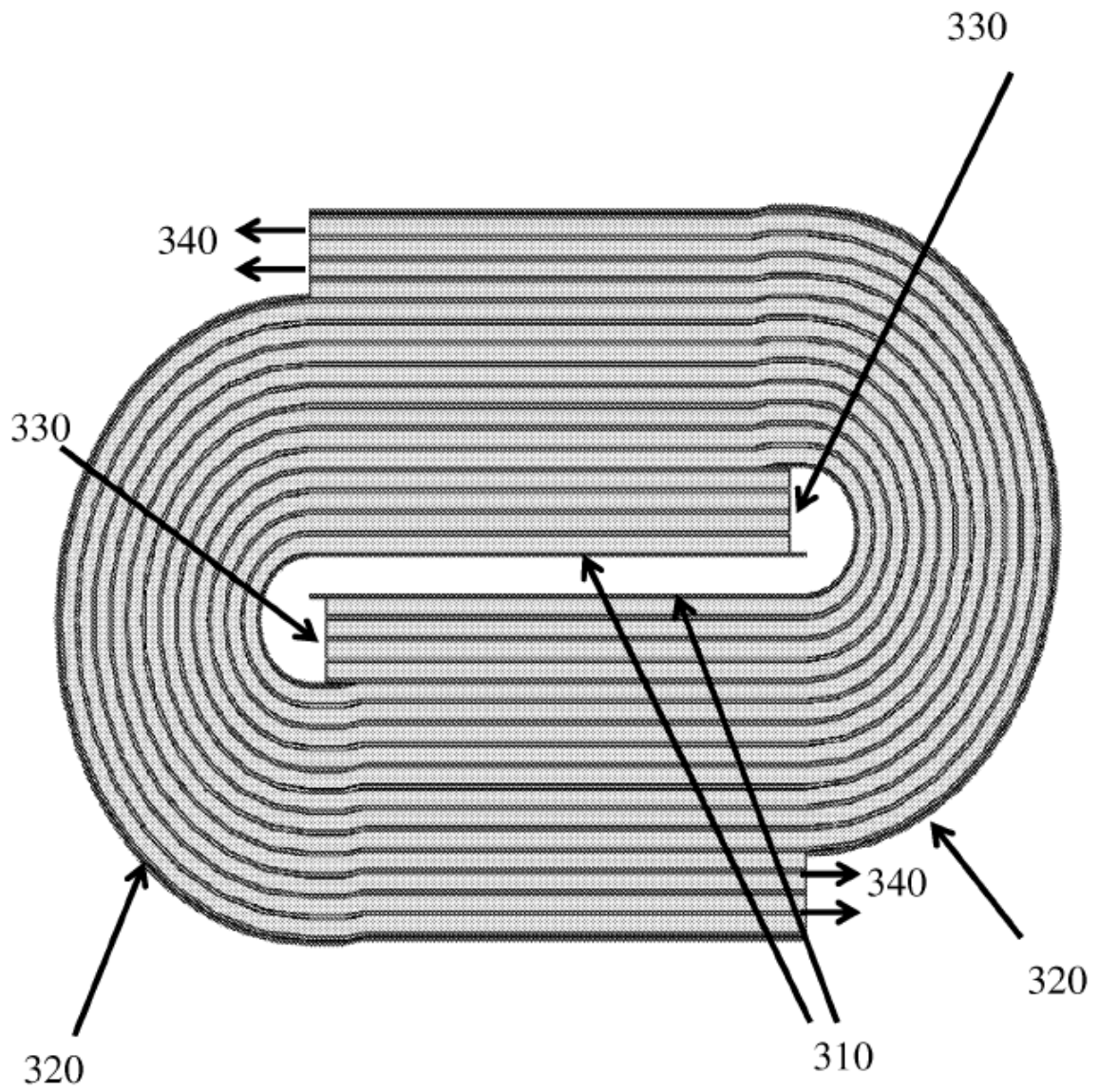


FIG. 3a

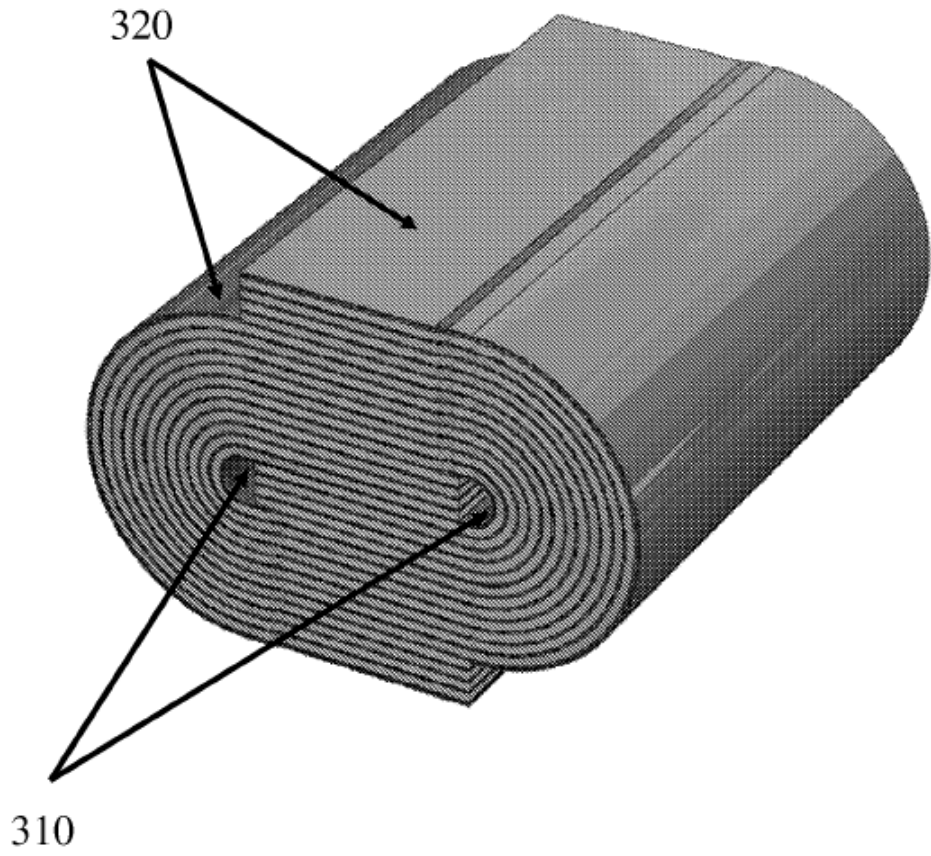


FIG. 3b

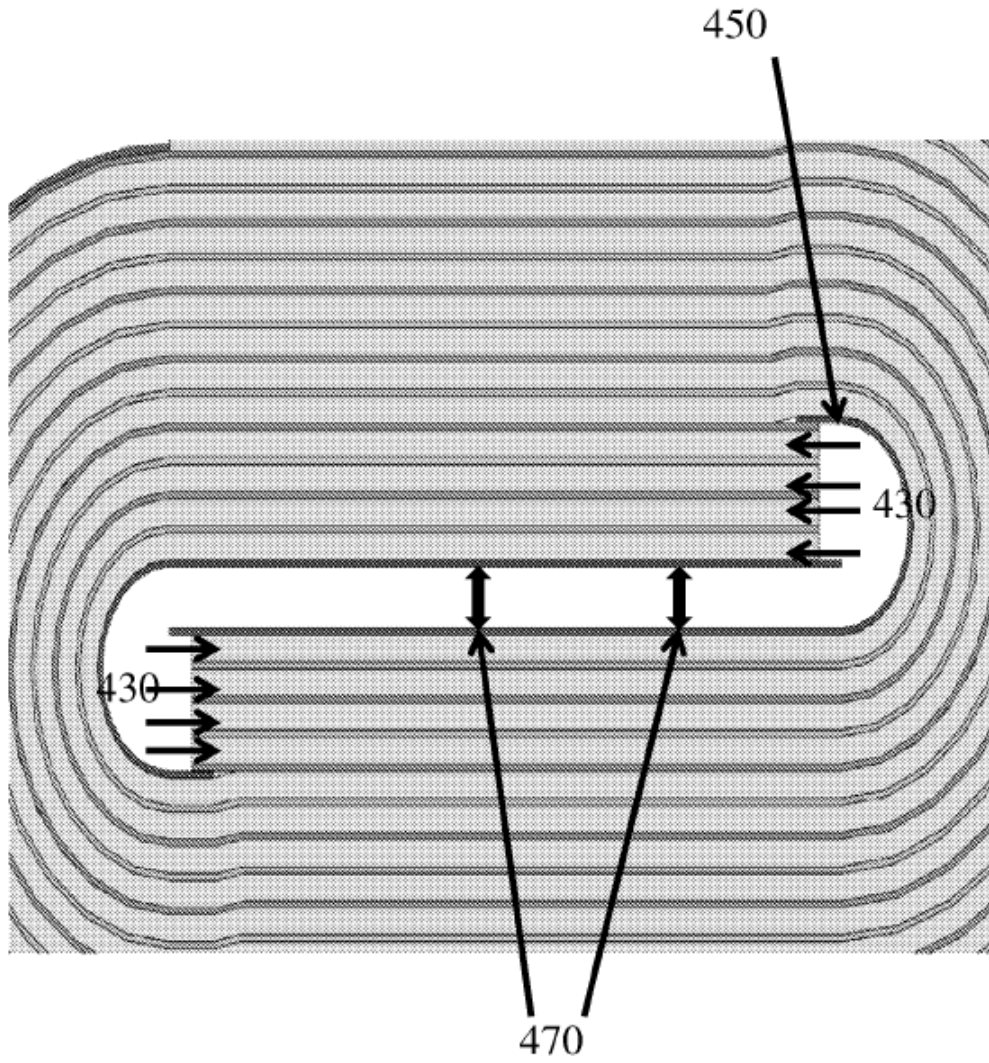


FIG. 4

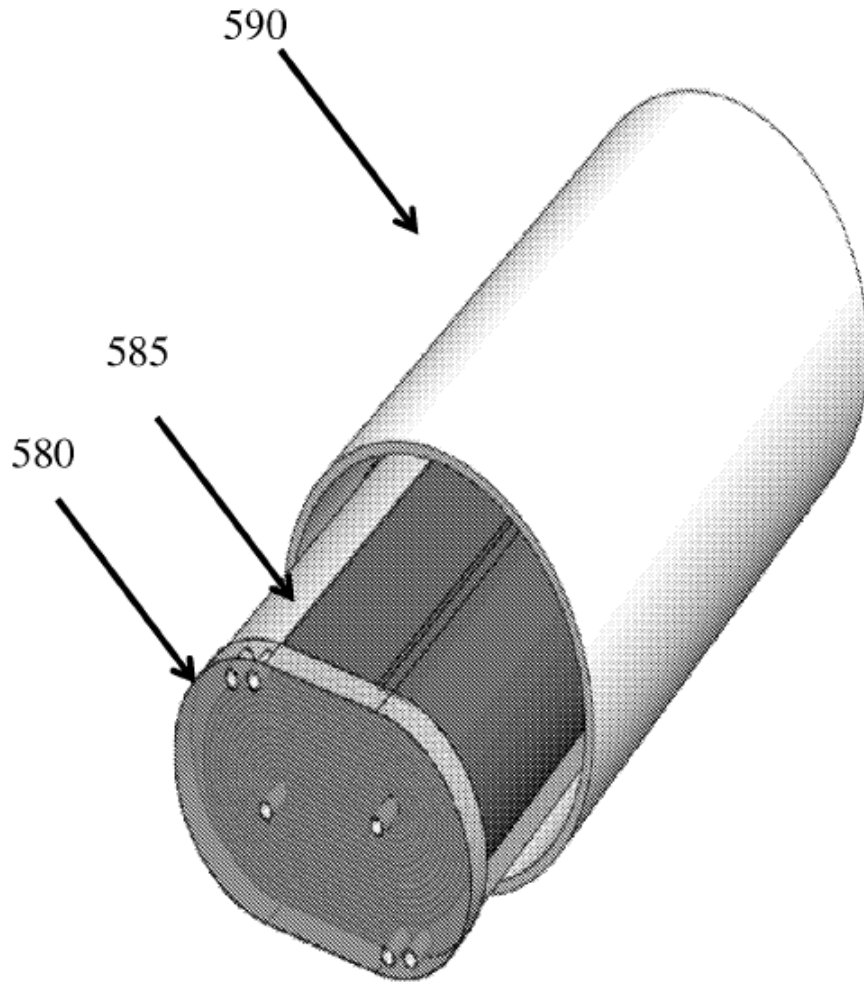


FIG. 5

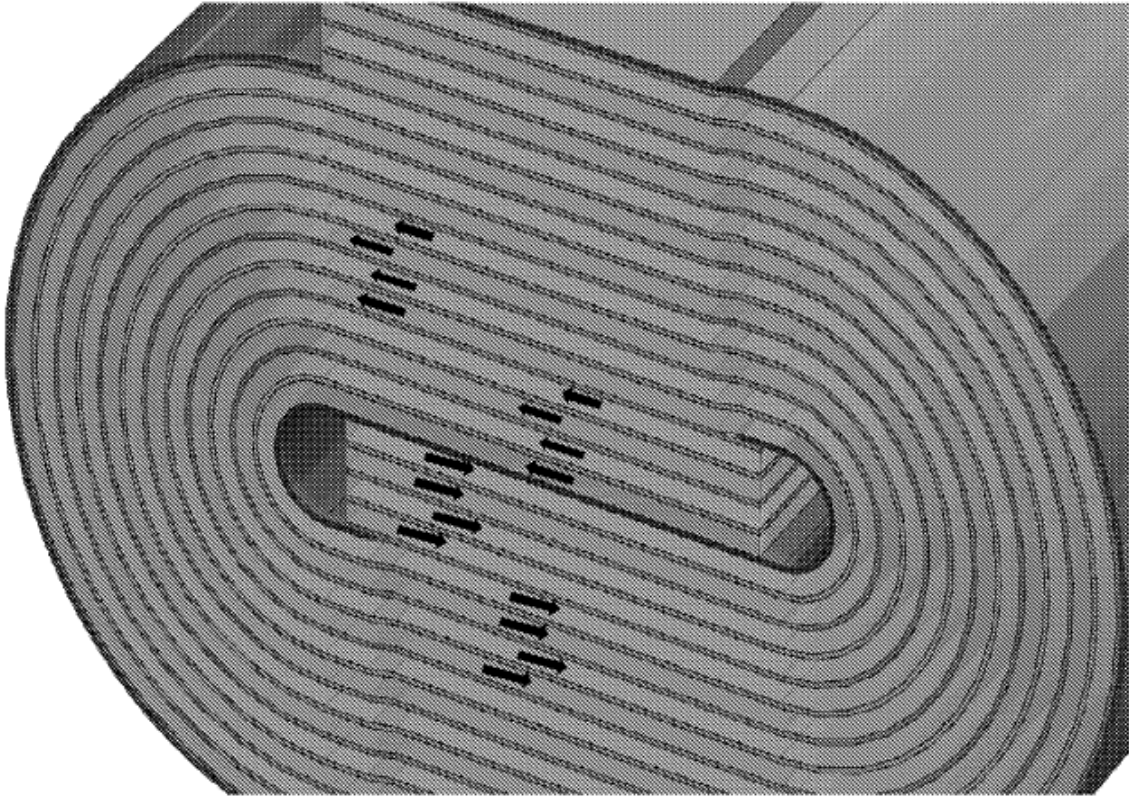


FIG. 6a

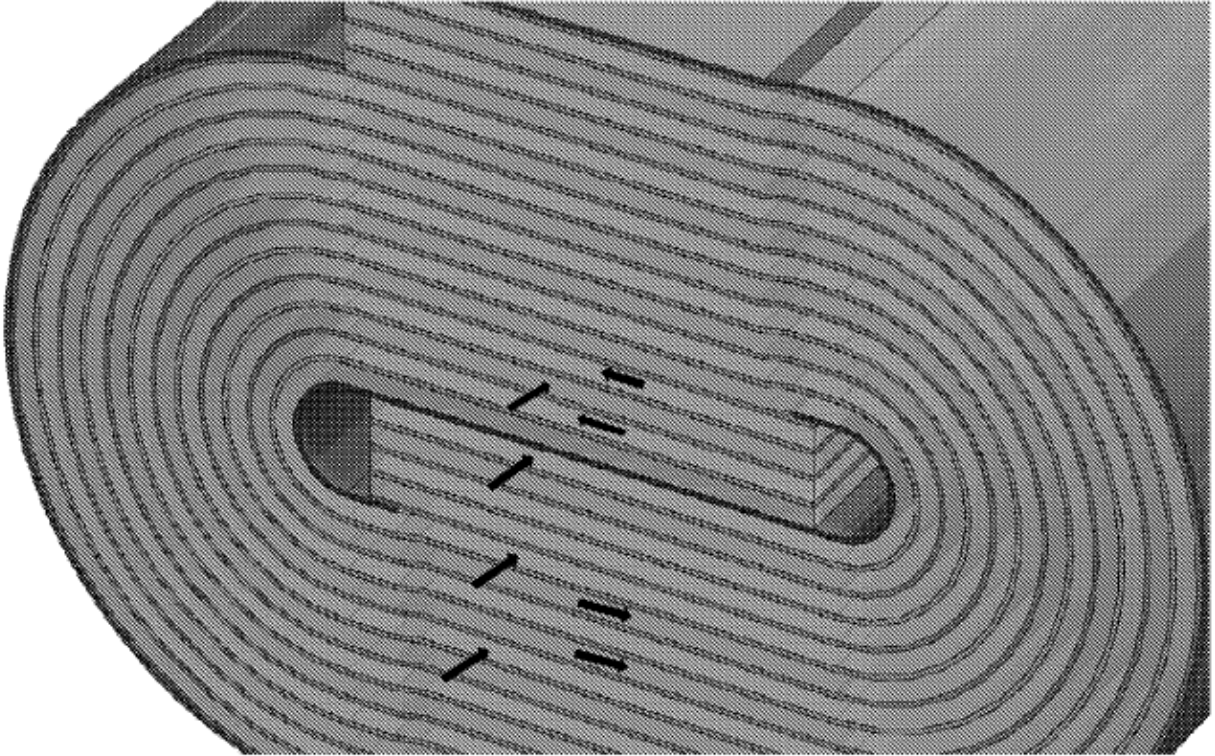


FIG. 6b

Costes de fabricación en función del consumo de energía
 Módulo ED enrollado en forma de pista de carreras con 4 vueltas vs. enrollado en espiral con 5 vueltas
 Alimentación de agua de mar 36.500 ppm TDS, 20 C
 Producto 2.000 ppm TDS, Recuperación 50%

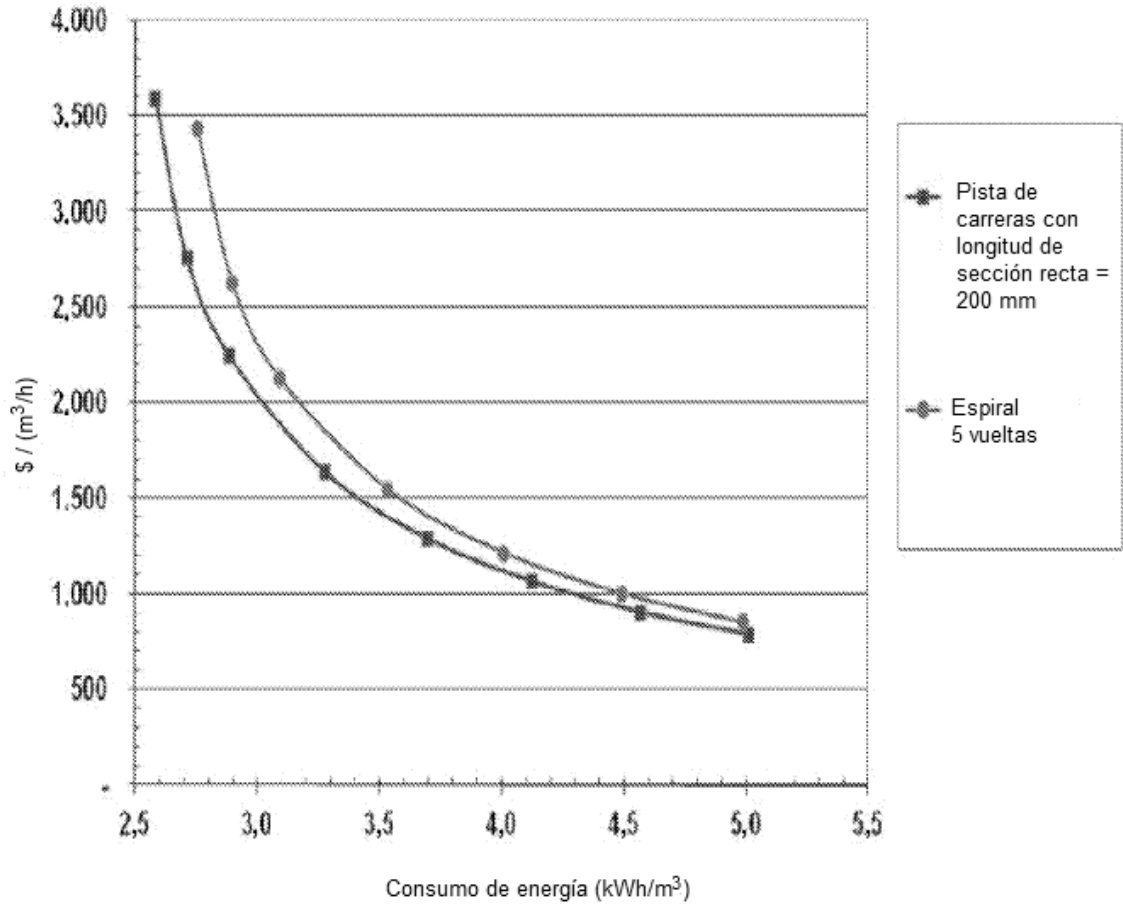


FIG. 7