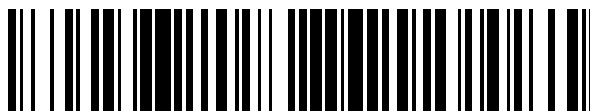


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 566 536**

51 Int. Cl.:

**C02F 1/469** (2006.01)

**B01J 49/00** (2006.01)

**B01D 61/52** (2006.01)

**B01D 61/48** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.07.2010** **E 10290370 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.01.2016** **EP 2402290**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento de electrodesionización que comprende el control de la corriente eléctrica mediante la medición de la expansión del material de intercambio iónico**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**13.04.2016**

73 Titular/es:

**EMD MILLIPORE CORPORATION (100.0%)**  
**290 Concord Road**  
**Billerica, MA 01821, US**

72 Inventor/es:

**GRABOWSKI, ANDREJ**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 566 536 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 y procedimiento de electrodesionización que comprende el control de la corriente eléctrica mediante la medición de la expansión del material de intercambio iónico

5 La presente invención se refiere a un dispositivo y un procedimiento de electrodesionización especializados (EDI). Dichos dispositivos y procedimientos se emplean para la producción de un líquido al menos parcialmente desionizado a partir de una corriente de alimentación de líquido polar.

En la presente memoria, "desionizado" significa "desanionizado", "descationizado", o "completamente desionizado" (es decir, des-anionizado y des-cationizado) independientemente del grado de desionización conseguido.

10 La EDI continua o no continua se conoce en la técnica como un procedimiento que elimina, al menos parcialmente, especies ionizadas e ionizables de líquidos polares, tales como agua, usando medios eléctricamente activos y una diferencia de potencial eléctrico para accionar el transporte de iones. La desionización se lleva a cabo en al menos un compartimiento de diluido de EDI, que es un compartimiento en el dispositivo electroquímico en el que se produce la purificación, es decir, la eliminación de contaminantes.

15 En la actualidad, EDI se refiere a las técnicas de desionización de agua estándar. Su principio original, es decir, el uso de una resina de intercambio iónico de lecho mixto en el compartimiento de diluido de una pila de electrodiálisis, ha sido comercializado por Millipore Corporation desde 1987.

20 En general, un módulo EDI comprende al menos un par de electrodos y compartimientos, que pueden estar separados por membranas, en el que el compartimiento o los compartimientos de diluido están llenos de un material de intercambio iónico. Típicamente, los compartimientos son compartimientos de diluido y compartimientos de concentrado alternos y las membranas que separan estos compartimientos son membranas de intercambio iónico, generalmente membranas de intercambio aniónico y de intercambio catiónico alternas. Los compartimientos que comprenden los electrodos, es decir, compartimientos con electrodo, pueden actuar como compartimientos de diluido o como compartimientos de concentrado, dependiendo del concepto.

25 Los materiales de intercambio iónico son generalmente materiales de intercambio de cationes y de intercambio de aniones en la forma de perlas (resinas de intercambio iónico convencionales), polvos, fibras (textiles tejidos o no tejidos) y bloques porosos. Ocupan un cierto volumen como un lecho en un compartimiento, y permiten que una corriente de fluido fluya a través del volumen de huecos, y que la corriente eléctrica de los iones sea conducida a través del material de intercambio iónico. Se conocen generalmente como "resinas".

30 En la técnica anterior, son posibles diferentes disposiciones de los materiales de intercambio iónico en un compartimiento de diluido de un dispositivo de EDI. La disposición original es un lecho mixto de resinas de intercambio iónico. Una disposición alternativa es la alternancia de capas de resinas de intercambio catiónico e intercambio aniónico, denominada lechos en capas. Se conoce también el uso de resina de intercambio catiónico y resina de intercambio aniónico en compartimientos de diluido completamente separados, regeneradas electroquímicamente en un modo continuo. En ciertos esquemas, la solución acuosa de alimentación fluye a través de los lechos de resina de intercambio catiónico y de resina de intercambio aniónico en serie y los iones  $H^+$  y  $OH^-$  producidos por ejemplo, en las reacciones en los electrodos se usan para la regeneración de las resinas.

40 En los procedimientos conocidos de EDI y los dispositivos relacionados con regeneración electroquímica del material de intercambio iónico, el flujo de líquido es suministrado a y sale de cada compartimiento por separado o es distribuido entre los compartimientos paralelos de un módulo a través del colector común colocado fuera de los compartimientos. El líquido típico usado como alimentación es agua pre-tratada, tal como permeado de ósmosis inversa.

45 Cuando se aplica un voltaje eléctrico entre los electrodos, la corriente eléctrica de iones es conducida principalmente a través de este material de intercambio iónico. La eliminación de los iones desde la corriente de alimentación se lleva a cabo directamente en el material de intercambio iónico, donde se intercambian con iones  $H^+$  u  $OH^-$ . Durante la regeneración, los iones  $H^+$  y  $OH^-$  generados, por ejemplo, generados mediante disociación de agua mejorada electroquímicamente, regeneran el material de intercambio iónico correspondiente mientras producen un concentrado como residuo. Normalmente, se requiere un grado específico de regeneración de las resinas para proporcionar suficiente eliminación de contaminantes iónicos desde el material de intercambio iónico y, en caso de aplicación en la desionización de agua, para producir agua de alta resistividad. Si el grado de regeneración de las resinas no es suficientemente alto, la resistividad del diluido, es decir la calidad del agua producida, disminuirá.

50 A un caudal y una composición de agua de alimentación fijos, es decir, la concentración de todos los contaminantes, el grado de regeneración del material de intercambio iónico es proporcional a la corriente eléctrica directa. Cabe señalar que la resina en la forma regenerada, es decir, en forma de iones  $H^+$  para la resina de intercambio catiónico y en forma de iones  $OH^-$  para la resina de intercambio aniónico, se hincha más fuertemente, es decir, tiene más volumen que en su

forma de sal (original).

5 Si el compartimiento de diluido de un módulo EDI está completamente lleno de resina, el aumento del grado de regeneración de dicha resina resulta en una expansión de la resina y una tensión mecánica sobre las paredes del compartimiento. Esta tensión resulta en una deformación de compresión sobre los elementos que forman el compartimiento, es decir, deforma membranas, bastidores, distribuidores de flujo, etc. Esto puede conducir a fugas internas o externas. Además, el mantenimiento de una corriente eléctrica a un nivel significativamente más alto que un nivel suficiente para mantener el grado de regeneración requerido resultaría en un consumo de energía excesivo.

10 Por otra parte, si el grado de regeneración y el volumen de del lecho se reducen, entonces el compartimiento no puede ser llenado completamente con el lecho de resina, y puede resultar en un aumento de la resistencia eléctrica en la zona vacía, la fluidización del lecho de resina y un soporte mecánico débil de las membranas. Todos estos fenómenos no son ventajosos para el rendimiento del módulo y su tiempo de vida. Además, una intensidad de corriente eléctrica, que no es suficientemente alta para crear una regeneración suficiente de resinas y una eliminación de contaminantes, resultaría en la producción de agua de mala calidad.

15 De esta manera, para un funcionamiento sostenible y fiable de un módulo EDI, se requiere un ajuste correcto de la corriente con el fin de prevenir los inconvenientes indicados anteriormente.

20 Normalmente, cuando se miden los parámetros del agua de alimentación, tales como la conductividad y las concentraciones de CO<sub>2</sub> disuelto y silicio para el permeado de ósmosis inversa, puede calcularse una corriente eléctrica óptima para el EDI, teniendo en cuenta un caudal fijo. Sin embargo, las características del agua de alimentación pueden cambiar con el tiempo, lo que puede ser causado por la inestabilidad del tratamiento aguas arriba o por cambios en la calidad del agua usada por el sistema. Además, el caudal a través del aparato de EDI puede variar durante el tiempo de vida del dispositivo. Debido a todos estos posibles cambios, la corriente eléctrica establecida puede desviarse de la óptima y esto puede ocasionar un mal funcionamiento.

25 Algunos documentos de la técnica anterior han señalado la importancia del control de la corriente eléctrica en un dispositivo de EDI. Normalmente se supervisan diferentes parámetros como una señal para el control de la corriente eléctrica.

30 Por ejemplo, la solicitud de patente US 2004/060823 describe un procedimiento para controlar automáticamente la corriente eléctrica establecida a través de un conjunto de unidad de EDI. La carga iónica del agua alimentada a la unidad es supervisada continuamente mediante la medición de la conductividad del agua de alimentación y usando la salida del medidor de conductividad para ajustar automáticamente la corriente eléctrica a través de la unidad de EDI. La limitación del procedimiento es que la medición de la conductividad estima sólo el contenido de especies ionizadas y no de moléculas ionizables. La concentración de CO<sub>2</sub>, que es una molécula ionizable, es generalmente comparable con la concentración de iones de sal en una composición típica de agua de alimentación de EDI. De esta manera, la regulación de la corriente según este procedimiento no es satisfactoria.

35 El documento US N° 7.264.737 B2 describe un sistema de tratamiento de agua que incluye un analizador de boro. Un controlador responde a una concentración de boro detectada en el agua producida, ajustando la corriente o el voltaje en la unidad de EDI y manteniendo una parte de la resina de intercambio iónico en el compartimiento de diluido en un estado sustancialmente regenerado. Sin embargo los analizadores de boro en línea son caros y requieren un mantenimiento especial, por lo tanto su uso según esta patente no es una solución fácil para la persona con conocimientos en la materia.

40 En el documento US 2008/0156710 A1, un aparato productor de agua con un dispositivo de EDI, comprende medios de detección, que miden la temperatura del agua en las diferentes etapas del procedimiento, y medios de control, que controlan un voltaje aplicado o una corriente eléctrica suministrada al dispositivo de EDI en base a estas temperaturas del agua. Debido a que la temperatura no está directamente relacionada con el nivel de contaminantes, el uso de la temperatura como un parámetro para la regulación de la corriente en el dispositivo de EDI no es satisfactorio.

45 El documento EP 0862942 describe un aparato de EDI que comprende compartimientos llenos con membranas de intercambio iónico dispuestas de manera alterna para formar compartimientos. Hay dispuesto un separador en cada compartimiento para mantener el espesor del compartimiento. Las membranas se incorporan en su estado seco al aparato de EDI. Las membranas se hinchan durante el uso del aparato. Se llevan a cabo algunas mediciones externas con el fin de determinar la presión en un momento determinado, comparando el volumen de la membrana y el volumen de la misma membrana a medida que se hincha en un recipiente de metal exterior.

50 El documento US 2008/308482 se refiere a un aparato de EDI. Al igual que el documento EP 0862942, este documento reconoce el problema técnico del hinchamiento y el encogimiento de las membranas o resinas de intercambio iónico cuando se lleva a cabo la operación de dicho aparato. La solución propuesta en el documento US 2008/308482 es la de usar la mezcla de una resina monolítica y una resina de intercambio iónico.

De esta manera, los procedimientos de la técnica anterior para controlar la corriente eléctrica en los aparatos de EDI son insuficientes o excesivamente caros, y existe una necesidad de procedimientos sencillos y fiables para regular la corriente eléctrica y mantener un grado de regeneración suficiente del material de intercambio iónico en EDI. Además, ninguno de estos documentos de la técnica anterior considera o ni siquiera sugiere la expansión de la resina de intercambio iónico como un parámetro para controlar la corriente eléctrica.

5

La solución descrita en la presente memoria proporciona una manera sencilla para controlar la corriente eléctrica en un dispositivo de EDI. Esta solución al problema es menos cara y, además, proporciona la posibilidad de optimizar el consumo de energía (costo de funcionamiento) de la desionización, mientras que proporciona la calidad requerida del agua producida y evita daños mecánicos en el dispositivo (por ejemplo, una fuerte deformación de la membrana, o fugas internas o externas).

10

Por consiguiente y de manera ventajosa, la presente invención proporciona dispositivos y procedimientos que abordan uno o más de los problemas discutidos anteriormente, de una manera simple, eficiente y rentable.

La invención proporciona un dispositivo de electrodesionización para la eliminación de iones desde un líquido polar, en el que el dispositivo comprende electrodos, al menos un compartimiento que comprende al menos una entrada para un flujo de líquido polar entrante y al menos una salida para un flujo de líquido desionizado saliente, en el que en dicho compartimiento un material de intercambio iónico regenerable electroquímicamente llena una zona a través de cuya zona puede pasar un flujo de líquido, en el que el dispositivo está caracterizado por que comprende al menos un sensor de al menos un cambio dimensional del material de intercambio iónico que llena dicha zona.

15

El compartimiento es un compartimiento de diluido o un compartimiento de purificación, ya que produce un líquido purificado y diluido. Esta zona es una zona de purificación o una zona de diluido.

20

Según la invención, un compartimiento está compuesto de un medio de intercambio iónico y un bastidor que es un elemento de plástico que mantiene los medios en su interior. El compartimiento de diluido es un compartimiento en el que, según la invención, hay al menos una zona de diluido en la que puede producirse la desionización. Según la invención, un módulo es un conjunto de compartimientos y electrodos.

25

Dicho sensor es capaz de detectar y, preferiblemente, detectar y registrar, al menos un cambio dimensional del material de intercambio iónico. Normalmente, dicho cambio dimensional se produce en un desplazamiento de los límites del material de intercambio iónico. Dicho desplazamiento puede ser un desplazamiento lineal.

Los cambios dimensionales del material de intercambio iónico son principalmente el cambio de volumen de dicho material en el interior del compartimiento, que causa una tensión mecánica. Este cambio de volumen depende del contenido iónico del material. El volumen del material de intercambio iónico en su forma regenerada normalmente es mayor que su volumen en forma de sal. Por ejemplo, un material de intercambio catiónico típico que comprende el 8% en peso de agente de reticulación tiene un volumen 7% más grande en forma de iones  $H^+$  que el volumen en forma de iones  $Na^+$ . Un material de intercambio aniónico típico que comprende 8% de agente de reticulación tiene un volumen 20% más grande en forma de iones  $OH^-$  que el volumen en forma de iones  $Cl^-$ .

30

Cuando el material de intercambio iónico está constituido por perlas esféricas rígidas, estas perlas cambian su diámetro con respecto a su forma iónica, conduciendo de esta manera a un cambio correspondiente del volumen total (tres dimensiones) del lecho formado por estas perlas. Por ejemplo, si un lecho de material de intercambio iónico llena completamente un compartimiento restringido en todos los lados por paredes, un incremento del volumen total del lecho creará una tensión mecánica sobre las paredes del compartimiento.

35

El grado de expansión y la tensión mecánica causada por la resina expandida es dependiente del tipo, el grado de reticulación y el grado de regeneración del material de intercambio iónico, así como de los parámetros geométricos del compartimiento y de la cantidad de material de intercambio iónico colocada originalmente en este compartimiento. También varía con la temperatura, las propiedades mecánicas de las membranas y los bastidores, y otros parámetros tal como conoce la persona con conocimientos en la materia.

40

Una ubicación preferible del sensor es completamente dentro del compartimiento en el que se espera un cambio más fuerte de la expansión de la resina.

45

Según la invención, la tensión mecánica creada por la expansión de la resina es medida por al menos un sensor de tensión mecánica, por ejemplo un sensor piezorresistivo, un sensor magnetorresistivo, o un sensor magnetostrictivo, montado preferiblemente en el bastidor del compartimiento, y se usa como un parámetro para el control de la corriente eléctrica mediante la expansión de la resina, que es una medida del grado de regeneración. La señal de este sensor de tensión mecánica es proporcionada preferiblemente a un dispositivo electrónico que controla la corriente eléctrica aplicada al dispositivo de EDI. La medición de la tensión mecánica dentro del compartimiento se usa de manera ventajosa para controlar de manera suficiente la corriente eléctrica que debe aplicarse al compartimiento para producir agua de la calidad

50

requerida sin dañar el compartimiento.

5 En una variante, el sensor comprende un sensor de tensión mecánica que generalmente está colocado completamente dentro de o en contacto con la zona. Por ejemplo, el sensor de tensión mecánica está montado en el bastidor del compartimiento, por ejemplo, en una pared de dicho bastidor. La tensión medida por dicho sensor es una suma de la presión hidráulica del agua en el interior del compartimiento y una tensión adicional creada mecánicamente por el material de resina de intercambio iónico que se hincha.

10 El sensor de tensión mecánica puede comprender también un sensor piezorresistivo, un sensor magnetorresistivo, un sensor magnetostrictivo o de otro tipo, tal como conoce la persona con conocimientos en la materia, tal como un transformador diferencial lineal variable. El sensor de tensión mecánica generalmente determina la posición del límite del material de intercambio iónico, y es capaz de generar una señal en relación con esta posición. La señal de salida del sensor es usada típicamente como un parámetro para el control de la corriente eléctrica.

15 El sensor de tensión mecánica puede ser usado en relación con miembros de soporte, tales como muelles y placas, proporcionando una mejor precisión de la medición de la tensión mecánica. En una realización preferida, la posición del límite del material de intercambio iónico es fijada por una placa, soportada generalmente por un muelle. En otra realización, el sensor de tensión mecánica es una parte móvil, por ejemplo una varilla, accionada por el material de intercambio iónico, y esta parte móvil está conectada mecánicamente con una parte móvil de un potenciómetro que regula la corriente eléctrica.

Según la invención, el sensor puede comprender un foto-sensor colocado generalmente fuera del compartimiento.

20 Según una implementación preferida, el sensor comprende un foto-sensor que comprende un elemento mecánico, colocado generalmente en el interior de o en contacto con la zona, y un foto-detector del desplazamiento de dicho elemento mecánico que comprende un transceptor, colocado generalmente fuera del compartimiento, y en el que el compartimiento alrededor del elemento mecánico tiene al menos una pared transparente (o ventana) de manera que la señal óptica desde el transmisor al receptor pueda cruzar dicho compartimiento adyacente al elemento mecánico.

25 La descripción no se limita ni al tipo de dispositivo (diseño del módulo, sensores, etc.), ni a los miembros de soporte (muelle, accesorios, etc.), si los hay, ni al tipo de sensor. El control de la corriente eléctrica descrito en la presente memoria puede ser aplicado a diferentes conceptos de dispositivos de EDI (con lecho mixto, con lechos en capas o separados, etc.), y usando diferentes materiales de intercambio iónico en el dispositivo (lecho de perlas de resina, bloques de intercambio iónico, etc.). La transmisión de la señal desde el sensor al controlador, así como desde el controlador a la fuente de alimentación del EDI puede realizarse por medio de cables, así como mediante diferentes tecnologías inalámbricas. La regulación de la corriente eléctrica puede realizarse también con relación a la expansión del material de intercambio iónico en un compartimiento de concentrado y/o en un compartimiento de electrodos, si dicha medida se considera que es más ventajosa para ciertas configuraciones de EDI.

30 Según la invención, el dispositivo puede comprender también otro sensor, generalmente diferente del sensor según la invención, que es capaz de medir la presión hidráulica del flujo de líquido que puede circular a través de la zona (y sólo esta presión hidráulica). Si el sensor según la invención reacciona tanto a la tensión mecánica creada por el material de intercambio iónico expandido como a la presión hidráulica del líquido, deberían deducirse las mediciones adicionales de la presión hidráulica del líquido polar de las mediciones realizadas por el sensor según la invención. De esta manera, pueden obtenerse mediciones más precisas de los cambios dimensionales del material de intercambio iónico.

35 El sensor según la invención normalmente es capaz de medir la presión hidráulica del líquido en el interior del compartimiento y los cambios dimensionales del material de intercambio iónico mientras que el otro sensor es capaz de medir la presión hidráulica del líquido dentro del compartimiento. Por ejemplo, si otro sensor supervisa la presión aguas abajo del compartimiento, y si el sensor según la invención dentro del compartimiento supervisa la tensión, las mediciones de estos dos sensores pueden ser usadas para calcular la tensión mecánica causada por el material de intercambio iónico. En caso de que la presión relativa aguas abajo del dispositivo sea cercana a cero (por ejemplo, un flujo a un tanque a presión atmosférica), las mediciones de la tensión en un sensor colocado cerca de la salida del compartimiento, por ejemplo, un compartimiento de diluido, pueden ser consideradas como la medición de la tensión mecánica debida a los cambios dimensionales del material de intercambio iónico en este compartimiento. También en el caso en el que se proporciona una presión constante de líquido en un amplio intervalo de velocidades de flujo, por ejemplo usando un regulador de presión o una válvula de retención, en general, no se requiere la supervisión adicional de esta presión hidráulica y normalmente se resta un valor predefinido y constante de presión hidráulica de las mediciones del sensor dentro del compartimiento, para deducir la tensión mecánica de la expansión de la resina.

50 Según la invención, el dispositivo de electrodesionización comprende un aparato conectado al sensor y que es capaz de analizar el cambio dimensional del material de intercambio iónico y controlar la corriente eléctrica conducida a través de dicho compartimiento o a través del dispositivo.

La invención comprende también un procedimiento para la eliminación de iones desde un líquido polar en un dispositivo de electrodesionización según la invención, en el que al menos una parte de dicho líquido polar pasa como una corriente a través del material de intercambio iónico regenerable electroquímicamente situado en el compartimiento en el que se aplica un campo eléctrico de manera que los iones a ser eliminados migren,

5 en el que el procedimiento comprende una etapa de control de la corriente eléctrica conducida a través de dicho compartimiento,

en el que el procedimiento está caracterizado por que incluye una etapa de medición de al menos un cambio dimensional del material de intercambio iónico y por que la etapa de control de la corriente eléctrica tiene en cuenta este cambio dimensional del material de intercambio iónico.

10 La etapa de control de la corriente eléctrica está relacionada al menos con la corriente eléctrica en el compartimiento, pero puede controlar también la corriente en el dispositivo en el que está comprendido el compartimiento.

En una realización, la migración de los iones a ser eliminados es preferiblemente en una dirección opuesta al flujo de la corriente a través de dicho material de intercambio iónico. De esta manera, el flujo de líquido usado para la eliminación de iones puede ser dirigido en una dirección opuesta, es decir, en contracorriente, a la migración de los iones en el interior del material de intercambio iónico. Los iones correspondientes desde la corriente de alimentación serán eliminados mediante intercambio iónico, migrarán adicionalmente al interior del material de intercambio iónico y finalmente serán liberados en el electrodo a una corriente de concentrado para ser desechados.

15 Generalmente, el material de intercambio iónico es regenerado electroquímicamente de manera continua. De esta manera, los iones desde la corriente de alimentación pueden ser intercambiados de manera continua y se obtiene un flujo sustancialmente libre de iones de la sal correspondiente.

20 El grado de regeneración de dicho material es usado como un parámetro para controlar la corriente eléctrica, mediante el cambio del volumen de dicho material.

Las características del líquido polar pueden cambiar con el tiempo debido a la inestabilidad de un tratamiento aguas arriba (por ejemplo, efecto de la temperatura, la descamación, el ensuciamiento o el envejecimiento) o por cambios en la calidad del agua utilizada por el sistema (cambio de la fuente por el proveedor de agua, cambios estacionales, etc.). El caudal a través del EDI puede variar también durante la vida útil del módulo. De manera ventajosa, el procedimiento de la invención proporciona un procedimiento operativo con todas estas condiciones cambiantes con un buen nivel de control de la corriente eléctrica.

25 El líquido típico usado como líquido polar es agua pre-tratada, tal como el permeado de una ósmosis inversa, nanofiltración o ultrafiltración.

30 El principio de los procedimientos y los dispositivos de la presente invención usados para eliminar los componentes iónicos e ionizables de un líquido polar pueden ser aplicados no sólo a las soluciones acuosas de electrólitos, sino también a soluciones en otros disolventes polares o en mezclas de agua/disolvente polares.

35 Preferiblemente, la tensión mecánica máxima permitida que determina el valor máximo de la corriente eléctrica para el dispositivo de EDI se define experimentalmente para cada diseño de dispositivo de EDI. Si se alcanza este máximo, entonces el controlador reducirá la corriente eléctrica conducida a través del compartimiento para prevenir una expansión excesiva de la resina y la posterior deformación en el bastidor y en las membranas. Esto reducirá el riesgo de posibles fugas y el consumo de energía del compartimiento. También puede establecerse un límite inferior de la tensión mecánica para restringir la corriente eléctrica. Por ejemplo, si la relación entre la forma de sal y la forma regenerada de la resina disminuye, las perlas de resina se contraen y la tensión mecánica recibida por el sensor puede desaparecer. En este caso, el controlador debería aumentar la intensidad de la corriente eléctrica para alcanzar un valor por encima del valor mínimo establecido.

40 El período de tiempo entre los cambios de la corriente eléctrica y la expansión de la resina deberían ser tenidos en cuenta por el controlador. El sistema puede necesitar mucho tiempo para alcanzar un estado estable, donde la expansión de la resina corresponde a una nueva corriente aplicada, y este hecho debe ser considerado en el control de la corriente eléctrica. Los detalles de los algoritmos de control (regulación) y la comunicación entre el sensor, el controlador y la fuente de alimentación no se describen en detalle en este documento y son fácilmente accesibles para una persona con conocimientos en la materia.

45 Sin embargo, en la presente memoria se describen posibles formas de regulación de corriente sin especificar los detalles de los algoritmos.

50 La expansión del lecho de resina en el dispositivo de EDI es medida con ciertos intervalos predefinidos. El tiempo entre las

mediciones debe ser seleccionado según el diseño y las dimensiones del módulo, así como las condiciones de funcionamiento. Puede durar desde unos pocos minutos a unas pocas horas de operación. Preferiblemente, se realizan varias mediciones y se calcula y se tiene en cuenta una medición promedio.

5 Un cierto intervalo de expansión de resina, registrado por un sensor, se define como un "intervalo óptimo", donde no se realiza ningún ajuste y el módulo está trabajando bajo una corriente eléctrica constante.

10 Hay dos intervalos de expansión "aceptable" fuera de este intervalo óptimo, donde se regula la corriente eléctrica. Si la expansión es menor que en el intervalo óptimo, la corriente eléctrica debe ser aumentada. El incremento del aumento de corriente puede ser predeterminado o puede depender de la diferencia entre el valor medido de la expansión y el valor óptimo correspondiente predefinido, por ejemplo, el incremento incrementará proporcionalmente a esta diferencia. El tiempo entre el momento en el que se cambia la corriente eléctrica y el momento en el que se tiene en cuenta una medición de expansión siguiente puede ser fijo o puede variar, por ejemplo dependiendo del incremento de la intensidad de la corriente eléctrica.

Si la expansión está en un "intervalo aceptable", pero más alto que el intervalo óptimo, la corriente eléctrica debe ser disminuida de una manera similar a la manera descrita anteriormente.

15 Una expansión fuera de los intervalos óptimos y aceptables no es deseable. Cuando la expansión del lecho de resina es inaceptablemente baja, esto puede conducir a una disminución de la calidad del agua producida. Cuando la expansión del lecho de resina es inaceptablemente alta, esto puede conducir a un consumo de energía ineficiente y posibles fugas. Si la expansión es inaceptablemente baja, la corriente eléctrica puede ser ajustada a un valor máximo, por ejemplo, a un valor preestablecido o la corriente más alta disponible para la fuente de alimentación, con el objetivo de facilitar la regeneración de la resina y aproximar la expansión de la resina al intervalo óptimo. Si la expansión es inaceptablemente alta, la corriente eléctrica puede ser ajustada a un valor mínimo, por ejemplo, a un valor preestablecido o puede apagarse completamente la fuente de alimentación. La expansión en el intervalo inaceptable debería ser supervisada continuamente hasta que los valores medidos se mueven al intervalo aceptable u óptimo.

20

25 Según la invención, la etapa de medición del cambio dimensional del material de intercambio iónico se lleva a cabo por medio de un sensor.

En una realización, el sensor comprende un foto-sensor.

En una realización preferida, independiente o no de la realización anterior, el sensor comprende un sensor de tensión mecánica.

30 La invención describe también un procedimiento que comprende además una etapa de medición de la presión hidráulica del flujo de corriente que pasa a través del material de intercambio iónico.

Preferiblemente, la etapa de control de la corriente eléctrica tiene en cuenta el cambio dimensional del material de intercambio iónico sin la influencia de la presión hidráulica del flujo de corriente.

Como una variante, el flujo de corriente es regulado mediante el ajuste hidrodinámico de la caída de presión en la corriente saliente.

35 La presencia de una membrana de intercambio iónico es opcional. El hecho de que, opcionalmente, hay un material de intercambio iónico regenerable electroquímicamente colocado en el compartimiento no significa necesariamente que este material llene completamente este compartimiento. Este material generalmente llena una zona en el compartimiento, por ejemplo, una zona comprendida entre dos membranas de intercambio iónico, o entre un electrodo y una membrana de intercambio iónico. En cualquier caso, el material de intercambio iónico llena esta zona generalmente como un lecho fijo de material de intercambio iónico.

40

La resistencia hidrodinámica del dispositivo, correspondiente a la diferencia de presión entre los flujos de líquido entrante y saliente, está relacionada estrechamente con el diseño del dispositivo, tal como conoce la persona con conocimientos en la materia.

45 Según la invención, un dispositivo que contiene el material de intercambio aniónico, tal como se ha descrito anteriormente, puede ser usado para una eliminación eficiente de los aniones de sales presentes en la corriente de alimentación. También es capaz de eliminar los ácidos débilmente disociados presentes en forma de moléculas no disociadas, tales como ácido carbónico (o  $\text{CO}_2$ ), ácido silícico, ácido bórico, etc.

50 Según la invención, un dispositivo lleno de material de intercambio catiónico, tal como se ha descrito anteriormente, puede ser usado para la eliminación eficiente de los cationes de sales presentes en la corriente de alimentación. También es capaz de eliminar las bases presentes en la forma de moléculas no disociadas, tales como  $\text{NH}_4\text{OH}$  (o  $\text{NH}_3$ ), aminas,

etc.

El dispositivo descrito a continuación puede ser usado para la eliminación de ácidos o bases desde un líquido polar, o para la producción de bases o ácidos a partir de su solución acuosa de sal, intercambiando iones correspondientes por iones  $\text{OH}^-$  o  $\text{H}^+$ .

5 El material de intercambio iónico regenerable es normalmente un lecho de una resina de intercambio iónico. Más generalmente, los materiales de intercambio iónico convencionales son perlas de resina, perlas de alta granulometría de resina de intercambio iónico, resina en polvo, así como intercambiadores iónicos fibrosos o porosos. Pueden ser proporcionados como lechos o bloques.

10 Para la eliminación tanto de cationes como de aniones, es decir, para una desionización completa, una solución es el uso de dos dispositivos en serie, uno lleno de material de intercambio catiónico y el otro lleno de material de intercambio aniónico. En este caso, debe definirse una secuencia preferida de los dispositivos en serie teniendo en cuenta los tipos de contaminación. Para los contaminantes típicos de aguas naturales o tratadas (por ejemplo mediante ósmosis inversa), la secuencia de material de intercambio catiónico y de material de intercambio aniónico es generalmente ventajosa, pero no se limita a la misma. Si se desea, ambos dispositivos podrían estar integrados en el interior de una carcasa, sin estar fuera del alcance de la invención.

15 Otra solución, usada de manera ventajosa para una desionización completa según la invención, reside en el uso de un dispositivo con el flujo de líquido dirigido contra-corriente con relación a la electromigración de iones dentro del material de intercambio iónico, en el que un electrodo bipolar o una membrana de intercambio iónico, preferiblemente una membrana bipolar, es utilizada para la formación de iones  $\text{H}^+$  y  $\text{OH}^-$  regeneradores. El uso de una membrana bipolar es ventajoso, en un caso en el que el líquido polar es una solución acuosa, ya que resulta sólo en una disociación de agua mejorada electroquímicamente en iones  $\text{H}^+$  y  $\text{OH}^-$  sin formación de gases y otros productos secundarios como ocurre con los electrodos.

Las técnicas de la presente invención se entenderán fácilmente considerando la descripción detallada siguiente en conjunción con los dibujos adjuntos, en el caso de una solución acuosa a ser desionizada, en la que:

25 La Figura 1 es una representación esquemática del procedimiento según la invención que usa cualquier dispositivo de desionización según la invención,

La Figura 2 es una representación esquemática de una primera implementación de un dispositivo de desionización según la invención,

30 La Figura 3 es una representación esquemática de una segunda implementación de un dispositivo de desionización según la invención, cuando el compartimiento está lleno de perlas de resina,

La Figura 4 es una representación esquemática de la segunda implementación del dispositivo de desionización según la invención, cuando el compartimiento está lleno de perlas de resina, y una tensión mecánica es transmitida al bastidor,

La Figura 5 es una representación esquemática de una segunda implementación del dispositivo de desionización según la invención, cuando el compartimiento no está completamente lleno de perlas de resina, y

35 La Figura 6 es una representación esquemática de una tercera implementación de un dispositivo de desionización según la invención.

Para facilitar la comprensión, se han usado números de referencia idénticos, cuando sea posible, para designar aquellos elementos idénticos que son comunes a las Figuras. Los dibujos no están a escala y las dimensiones relativas de los diversos elementos en los dibujos se representan esquemáticamente y no a escala.

40 En todas las Figuras, el compartimiento está definido por su bastidor.

La Figura 1 es una representación esquemática del procedimiento según la invención de un dispositivo 2 de EDI según la invención.

El dispositivo 2 puede ser usado para la eliminación de aniones o para la eliminación de cationes, así como para la desionización completa según el procedimiento de la invención.

45 El flujo de líquido polar entrante (flecha F) entra al dispositivo 2 a través de la entrada 4. El flujo de líquido desionizado o diluido (flecha D) sale del dispositivo 2 a través de la salida 6. El flujo de concentrado (flecha C) puede salir por la salida 5. Dos placas 7 y 8 de extremo, cada una de las cuales comprende un electrodo, definen un módulo (7, 8) de los compartimientos (9, 14'), en el que todos los compartimientos 9 y 14' están llenos de material de intercambio iónico (no mostrado) y apilados por las placas 7 y 8 de extremo. El compartimiento 14' es idéntico a cualquier otro compartimiento 9,



excepto que un sensor 1' de tensión mecánica está colocado dentro del mismo, preferiblemente en una pared y cerca de la salida 6. Este sensor 1' de tensión mecánica mide la expansión de la resina, y proporciona una señal transmitida a un dispositivo o controlador 10 electrónico a través de un aparato 100, que es un aparato Quantity Transmitter (QT). Esto permite un control de la corriente eléctrica aplicada al dispositivo 2 de EDI, por medio de una fuente de alimentación 11. La corriente eléctrica es conducida desde la fuente de alimentación 11 al dispositivo 2 de EDI a través de los cables 12 y 13 eléctricos.

Según la invención, sería posible tener un sensor 1' en más de un compartimiento.

La interdependencia de la intensidad de corriente eléctrica y la expansión de la resina puede ser presentada como sigue: un aumento de la corriente eléctrica a través del dispositivo 2 de EDI implica un aumento del grado de regeneración de la resina. Este aumento del grado de regeneración de la resina implica un aumento del hinchamiento de la resina que da lugar a una expansión más fuerte de dicha resina. El control según la invención se basa en la medición de esa expansión del lecho de resina en el interior del dispositivo de EDI, y actúa sobre la intensidad de la corriente eléctrica.

La Figura 2 es una representación esquemática de una primera implementación de un dispositivo 20 de EDI según la invención. Sólo se representa una parte de este dispositivo 20. Este dispositivo 20 comprende un bastidor 14 que define un compartimiento 14 y un electrodo 15 móvil a través del flujo. El compartimiento 14 es un compartimiento de diluido, completamente lleno de un material de intercambio iónico, que se muestra como un lecho de una resina 17. El flujo de líquido polar entra en el compartimiento 14 por la entrada 4 (flecha F). Hay una salida 5 para el líquido saliente que enjuaga el electrodo 15 (flecha C). El flujo de líquido se dirige en dirección contraria a la electromigración de los iones dentro del material 17 de intercambio iónico. Un sensor 1, colocado en su totalidad en una zona  $Z_{20}$  del compartimiento 20, comprende un muelle 3 presente entre el electrodo 15 móvil y el sensor 16 de tensión mecánica. Este sensor 16 de tensión mecánica está fijado perpendicularmente y conectado a un cable 26 conectado al controlador (no representado). En esta representación, el muelle 3 empuja el electrodo 15 de manera que este electrodo 15 permanezca en contacto con el material 17 de intercambio iónico. Si el material 17 de intercambio iónico en el interior del compartimiento 14 cambia la expansión por hinchamiento, el electrodo 15 se moverá y la tensión transmitida al sensor 16 cambiará. Esto conducirá a una detección de este movimiento y una estimación del grado de regeneración de la resina. El muelle 3 transmite la tensión mecánica desde el electrodo 15 al sensor 16 de tensión mecánica.

Por ejemplo, si el volumen de la resina disminuye, el electrodo 15 será movido por el muelle 3 en la dirección a la resina 17. De esta manera, se reduce la tensión mecánica transmitida a través del muelle 3 al sensor 16.

En el caso en el que se aproxima a la tensión mecánica más baja establecida, el controlador puede aumentar la corriente eléctrica con el fin de aumentar el grado de regeneración de la resina 17 cuyo volumen aumentará.

Esta configuración permitiría el uso de un material de intercambio iónico con un bajo grado de reticulación, que normalmente muestra una expansión más fuerte por hinchamiento.

Las Figuras 3, 4 y 5 son representaciones esquemáticas de una segunda implementación de un dispositivo 22 de desionización (mostrado parcialmente) según la invención.

El dispositivo 22 comprende un compartimiento 14' definido por su bastidor, lleno de un material 17' de intercambio iónico como un lecho de perlas de resina. El sensor 1', según la invención, está colocado totalmente dentro de una zona Z del compartimiento 14'. El sensor 1' comprende un muelle 3', una barra 18 porosa que es un distribuidor de flujo, y un sensor 19 de tensión mecánica, en la forma de un elemento T. Esta barra 18 porosa confina el lecho de la resina 17' desde un lado del compartimiento 14'. La corriente de flujo (flecha F) fluye a través del lecho de perlas 17' distribuido de manera uniforme en el interior del compartimiento 14', pasa a través de la barra 18 porosa, y sale del compartimiento 14' por la salida 5'a aguas arriba de la barra 18 porosa. El sensor 19 de tensión mecánica está fijado en la barra 18 cuyos movimientos son transmitidos por el muelle 3' desde el lado opuesto al lecho 17' de resina. La barra 18 porosa puede ser de material plástico de cierta elasticidad.

En el caso de la Figura 3, las condiciones en términos de corriente eléctrica son normales. La expansión de la resina es normal: está dentro de un "intervalo óptimo". Esta es una operación en estado estacionario, y la corriente eléctrica es constante.

En caso de una expansión excesiva del material de intercambio iónico mostrado en la Figura 4, una tensión mecánica será transmitida a la barra 18, que es deformada ligeramente y transmite una tensión mecánica al sensor 19. La deformación es detectada. Sin embargo, la expansión de la resina todavía está dentro del "intervalo aceptable", y la corriente eléctrica se reduce. Si la expansión de la resina entra en un valor fuera del intervalo aceptable, la corriente eléctrica se anularía.

La Figura 5 es otra representación esquemática de la segunda implementación del dispositivo de desionización según la invención. La diferencia con las Figuras 3 y 4 es que el compartimiento 14' no está completamente lleno de perlas de

resina. Un lecho de perlas 17<sup>a</sup> comprende una zona Z' que no está completamente llena de perlas. Esta zona Z' podría representar a la zona superior de un lecho fluidizado de las perlas. Es una zona de resistencia eléctrica aumentada. No se transmite tensión mecánica al sensor 1' y la corriente eléctrica debe ser aumentada.

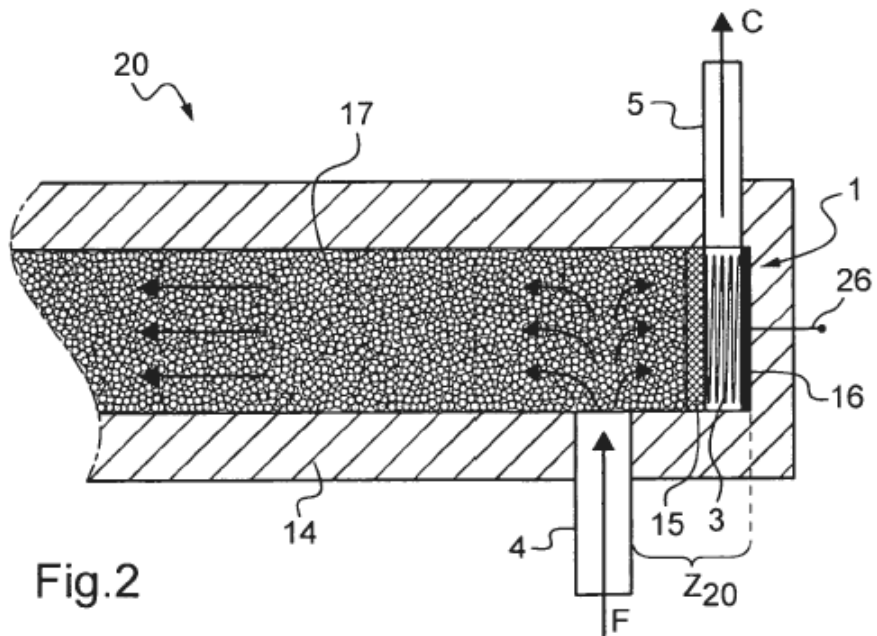
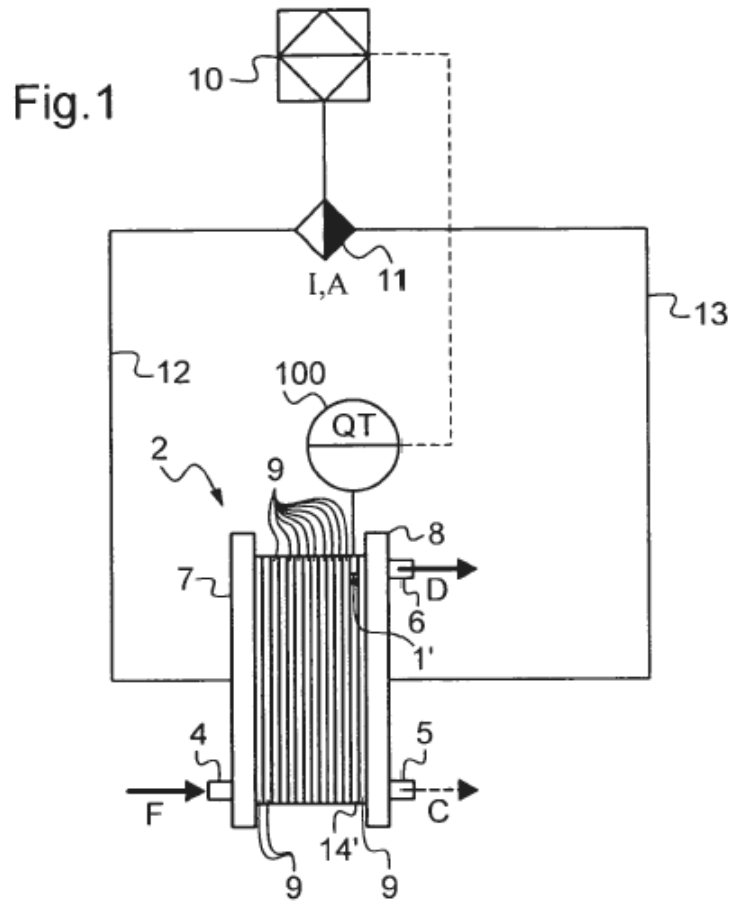
5 La Figura 6 es una representación esquemática en perspectiva de una tercera implementación del dispositivo 27 de desionización según la invención, donde sólo se muestra un compartimiento 14". El compartimiento 14" está representado muy esquemáticamente, con el fin de mostrar cómo se implementa un foto-sensor según la invención.

10 En este caso, un sensor 1" según la invención comprende un foto-sensor que comprende un transmisor 23 de señal o luz óptica (tal como se representa en la Figura 6, frente al compartimiento 14"), un receptor 24 (tal como se representa en la Figura 6, detrás del compartimiento 14"), y un analizador 25 que está conectado tanto al transmisor 23 como al receptor 24. El analizador 25 está conectado a un controlador (no mostrado). Un muelle 3' está fijado entre el compartimiento 14" y una placa 18" móvil. La placa 18" móvil se considera aquí como una parte del sensor 1". El material 17" de intercambio iónico, en forma de perlas de resina, es proporcionado como un lecho en el compartimiento 14". El lecho 17" de perlas llena el compartimiento bajo la placa 18" móvil, que fija la posición del lecho 17" de resina dentro del compartimiento 14".  
15 Una membrana 26 de intercambio aniónico y una membrana 27 de intercambio catiónico definen dos paredes laterales del compartimiento 14", respectivamente la pared derecha y la pared izquierda tal como se representa en la Figura 6. La placa 18" móvil es detectable a través de la ventana 28 transparente. La ventana 28 transparente forma una parte de la pared frontal (tal como se representa en la Figura 6) del compartimiento 14". El foto-sensor (23, 24, 25) está colocado fuera del compartimiento 14". Es capaz de detectar pequeños cambios de la posición de la placa 18", que corresponden a cambios dimensionales del volumen de la resina 17", haciendo posible el control de la corriente eléctrica.

20

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Dispositivo (2, 20, 22, 27) de electrodesionización para la eliminación de iones desde un líquido (F) polar, en el que el dispositivo comprende electrodos, al menos un compartimiento (14, 14', 14'') que comprende al menos una entrada (4) para un flujo (F) de líquido polar entrante y al menos una salida (5) para un flujo (D, F') de líquido desionizado saliente, en el que en dicho compartimiento (14, 14', 14'') un material (17, 17', 17'') de intercambio iónico regenerable electroquímicamente llena una zona, a través de cuya zona puede pasar un flujo de líquido, en el que el dispositivo (2, 20, 22, 27) está caracterizado por que comprende al menos un sensor (1, 1'; 1'') de al menos un cambio dimensional del material (17, 17', 17'') de intercambio iónico que llena dicha zona, y por que comprende un aparato (10, 11, 100) conectado al sensor que es capaz de analizar el cambio dimensional del material de intercambio iónico y controlar la corriente eléctrica que puede ser conducida a través de dicho compartimiento o a través de dicho dispositivo.
- 10 2. Dispositivo (2, 20, 22, 27) según la reivindicación 1, en el que el sensor (1'') comprende un foto-sensor (23, 24, 25).
- 15 3. Dispositivo (2, 20, 22, 27) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en el que el sensor (1, 1') comprende un sensor (16, 19) de tensión mecánica.
- 20 4. Dispositivo (2, 20, 22, 27) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el sensor (1'') comprende un foto-sensor que comprende un elemento (18'') mecánico y un foto-detector (23, 24, 25) del desplazamiento de dicho elemento mecánico que comprende un tranceptor (23, 24), y en el que el compartimiento (14'') alrededor del elemento (18'') mecánico tiene al menos una pared (28) transparente de manera que la señal óptica desde el transmisor (23) al receptor (24) pueda atravesar dicho compartimiento (14'') adyacente al elemento (18'') mecánico.
- 25 5. Dispositivo (2, 20, 22, 27) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el dispositivo comprende otro sensor que es capaz de medir la presión hidráulica del flujo de líquido que puede circular en la zona.
- 30 6. Procedimiento para la eliminación de iones desde un líquido (F) polar en un dispositivo de electrodesionización según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que al menos una parte de dicho líquido (F) polar pasa como una corriente a través del material (17, 17', 17'') de intercambio iónico regenerable electroquímicamente situado en el compartimiento (14, 14', 14'') en el que se aplica un campo eléctrico de manera que los iones a ser eliminados migren,
- en el que el procedimiento comprende una etapa de control de la corriente eléctrica conducida a través de dicho compartimiento (14, 14', 14''),
- en el que el procedimiento está caracterizado por que incluye una etapa de medición de al menos un cambio dimensional del material (17, 17', 17'') de intercambio iónico, y por que la etapa de control de la corriente eléctrica tiene en cuenta este cambio dimensional del material (17, 17', 17'') de intercambio iónico.
- 35 7. Procedimiento según la reivindicación 6, en el que la etapa de medición del cambio dimensional del material (17, 17', 17'') de intercambio iónico es llevada a cabo por medio de un sensor (1; 1'; 1'').
8. Procedimiento según la reivindicación 7, en el que dicho sensor (1'') comprende un foto-sensor (23, 24, 25).
9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que dicho sensor comprende un sensor (1, 1', 18'') de tensión mecánica.
- 40 10. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, que comprende además una etapa de medición de la presión hidráulica del flujo de corriente que pasa a través del material (17, 17', 17'') de intercambio iónico.
- 45 11. Procedimiento según la reivindicación 10, en el que la etapa de control de la corriente eléctrica tiene en cuenta el cambio dimensional del material (17, 17', 17'') de intercambio iónico sin la influencia de la presión hidráulica del flujo de corriente.



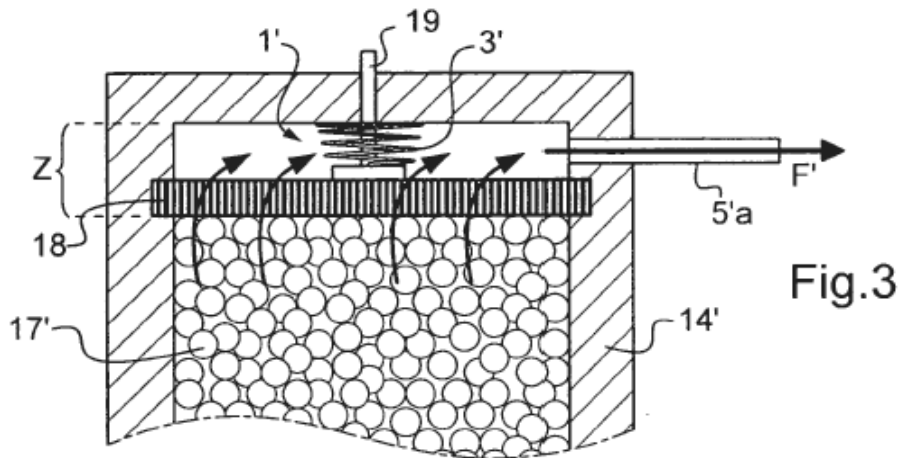


Fig.3

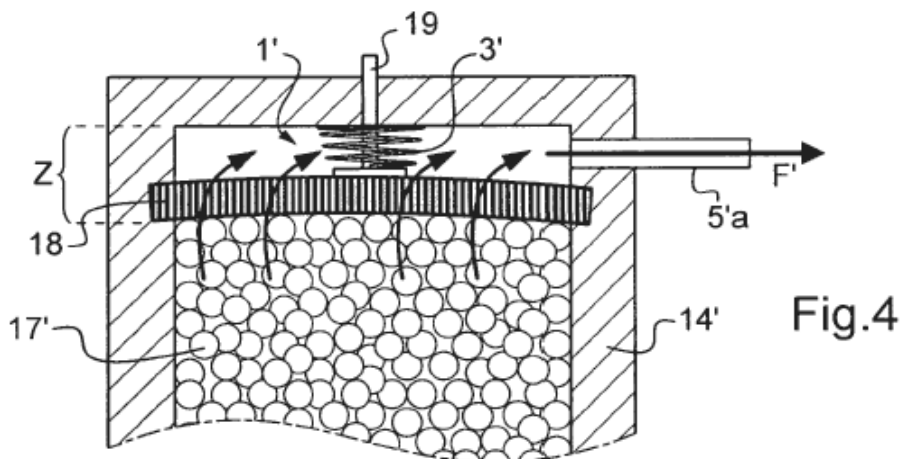
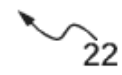


Fig.4

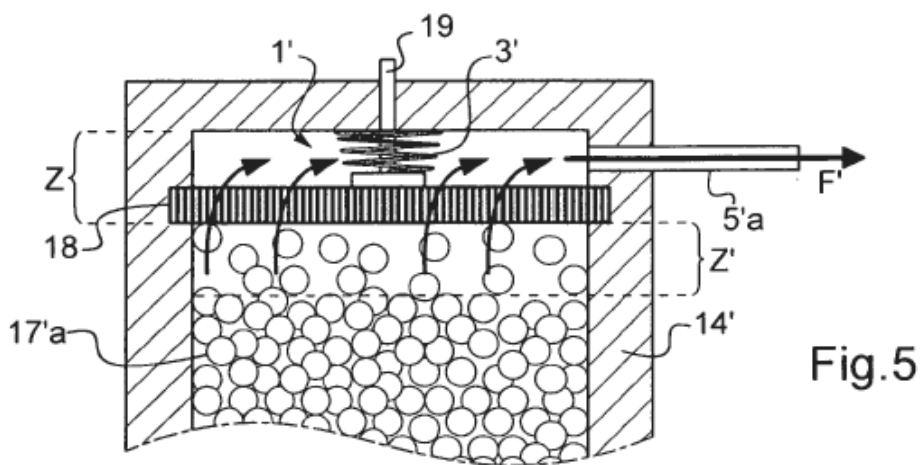
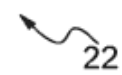
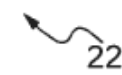


Fig.5



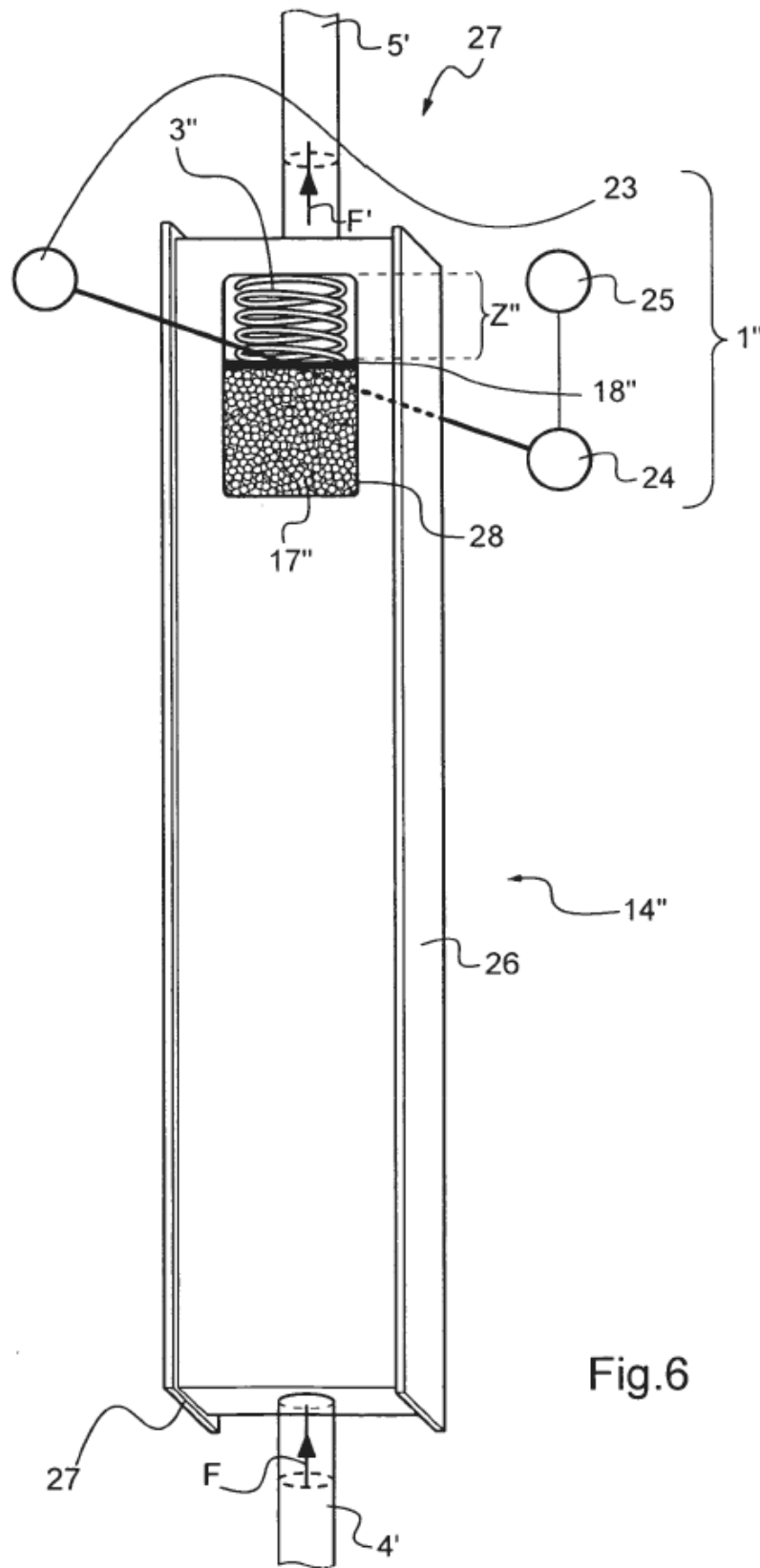


Fig. 6