

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 748 835**

51 Int. Cl.:

B01J 49/53 (2007.01)

B01J 49/85 (2007.01)

B01J 47/14 (2007.01)

C02F 1/42 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.02.2017** **E 17157543 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2019** **EP 3366373**

54 Título: **Dispositivo de ablandamiento de agua y procedimiento para hacer funcionar un dispositivo de ablandamiento de agua**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.03.2020

73 Titular/es:
BWT AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Walter-Simmer-Strasse 4
5310 Mondsee, AT

72 Inventor/es:
BALIDAS, PIERRE;
BRAND, CHRISTIAN y
JOHANN, JÜRGEN

74 Agente/Representante:
CURELL SUÑOL, S.L.P.

ES 2 748 835 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 ablandamiento de agua y procedimiento para hacer funcionar un dispositivo de ablandamiento de agua.

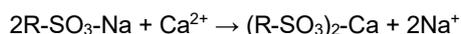
5

La presente invención se refiere a un dispositivo de ablandamiento de agua y a un procedimiento para hacer funcionar un dispositivo de ablandamiento de agua.

10

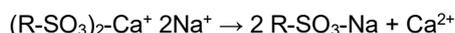
Los dispositivos de ablandamiento de agua comprenden con frecuencia un filtro que está relleno con un material de intercambio iónico (IEX) catiónico de ácido fuerte (SAC), regenerado en forma de sodio. Un agua bruta fluye a través de un lecho del material, en el que se intercambian iones de calcio y magnesio (los iones que provocan dureza o, de manera resumida, la "dureza") frente a iones de sodio. La reacción de intercambio tiene lugar dado que el material de IEX muestra una afinidad superior con respecto a iones de calcio y magnesio que con respecto a iones de sodio. Se produce la siguiente reacción durante la etapa de ablandamiento:

15



Cuando todo el material de IEX está cargado con dureza, se ha alcanzado la capacidad del filtro y se necesita regenerar el material, de vuelta a la forma de sodio. La reacción de intercambio de regeneración se alcanza exponiendo el material a un exceso de iones de sodio con el fin de invertir el equilibrio de intercambio según la siguiente reacción:

20



Para una cantidad dada de material de IEX en el filtro, la cantidad de salmuera utilizada durante la regeneración varía habitualmente, dependiendo entre otras cosas de la aplicación y de la capacidad de material de IEX. Para aplicaciones domésticas, resulta habitual una regeneración con una cantidad de aproximadamente 90 g de NaCl por litro de material de IEX, dando como resultado una capacidad de material de IEX de funcionamiento de partida de aproximadamente 1.1 eq/l. Para aplicaciones industriales normalmente la cantidad de salmuera utilizada es de aproximadamente 180 g de NaCl por litro de material de IEX, dando como resultado una capacidad de material de IEX de funcionamiento de partida de aproximadamente 1.5 eq/l.

30

Para una composición de agua bruta dada y un volumen de material de IEX definido, la capacidad o volumen de agua bruta que puede tratarse con el filtro puede determinarse según la siguiente ecuación:

35

$$V_{RW} = C_{IEX} * V_{IEX} / TH_{RW}$$

en la que

- V_{RW} es el volumen de agua bruta que va a tratarse [l],
- C_{IEX} es la capacidad específica del material de IEX [eq.*l⁻¹]
- V_{IEX} es el volumen del volumen de material de IEX en el filtro [l]
- TH_{RW} es la dureza total ([Ca²⁺] + [Mg²⁺]) en el agua bruta [meq.*l⁻¹]

Como ejemplo específico, los siguientes parámetros son típicos para una aplicación doméstica:

- $V_{IEX} = 25$ l
- $C_{IEX} = 1.1$ eq.*l⁻¹ (regenerado con 90 g de NaCl por litro de material de IEX)
- $TH_{RW} = 5.2$ meq.*l⁻¹

50

En este caso, para la capacidad o volumen de agua bruta que puede tratarse, da como resultado:

$$V_{RW} = 1.1 * 25 / 5.2 * 10^{-3} = 5288 \text{ l (aproximadamente } 5.3 \text{ m}^3\text{)}$$

Esto significa que tras un volumen de aproximadamente 5.3 m³ de agua bruta se agotará el lecho de material de IEX. Cuando se alcance esta capacidad, el material de IEX debe regenerarse.

En la práctica hay algunos parámetros adicionales de los que depende la capacidad de un material de IEX. Tales parámetros son, por ejemplo, temperatura, velocidad de flujo a través del lecho de material, concentración de sodio de flujo de entrada en comparación con la carga catiónica total, contenido de sólidos disueltos totales (TDS) en el agua bruta, concentración de la salmuera que se utiliza durante la etapa de regeneración y el nivel de dureza permitido al final del ciclo. Con el fin de tener en cuenta la influencia de todos estos parámetros, puede aplicarse un coeficiente de seguridad con el fin de garantizar que la regeneración se inicia antes de un avance de la dureza.

60

Como ilustración, en el ejemplo anterior, puede integrarse el coeficiente de seguridad en C_{IEX} en forma de un

65

margen de seguridad del 10%. Para un nivel de regenerador de 90 g de NaCl por litro de material de IEX, la capacidad de material de IEX práctica que debe tenerse en cuenta pasará a ser de 1.0 eq/l. Para la capacidad o el volumen de agua bruta que puede tratarse de manera segura sin el riesgo de un avance de la dureza dará como resultado:

5

$$V_{RW} = 1.0 * 25 / 5.2 * 10^{-3} = 4808 \text{ l (aproximadamente } 4.8 \text{ m}^3\text{)}$$

10

En este caso la capacidad de funcionamiento práctica del filtro se establecerá a 4.8 m³. Este volumen corresponde al volumen de agua que puede tratarse de manera segura antes de que tenga que iniciarse la regeneración. En comparación con la capacidad de funcionamiento de partida de 5.3 m³ anterior, la diferencia es de 0.5 m³.

15

Esto significa que en la práctica el material de IEX en el filtro siempre se regenera antes de que se alcance su capacidad completa y que se pierde aproximadamente el 10% de la capacidad de funcionamiento en cada ciclo. Durante cada regeneración, se consume una cantidad fija de salmuera y agua. El hecho de que el filtro no se utiliza hasta toda su capacidad da como resultado un aumento del consumo de salmuera y agua en comparación con un modo de funcionamiento en el que se utilice el filtro hasta toda su capacidad.

20

Se conoce un dispositivo de ablandamiento de agua que comprende un material de IEX que se regenera con una combinación de una sal de sodio y una de potasio a partir del documento WO 2010/051437 A2.

25

La presente invención se basa en el objetivo de proporcionar una solución técnica al problema descrito de pérdida de capacidad debida a la regeneración de un material de IEX antes de alcanzarse toda su capacidad. Este objetivo se alcanza mediante el dispositivo de ablandamiento de agua que presenta las características según la reivindicación 1 y mediante el procedimiento para hacer funcionar un dispositivo de ablandamiento de agua que presenta las características según la reivindicación 6. En las reivindicaciones dependientes 2 a 5 se especifican formas de realización preferidas del dispositivo. En las reivindicaciones dependientes 7 a 10 se especifican formas de realización preferidas del procedimiento.

30

La presente invención se basa en el hallazgo de que, utilizando un material de IEX que se modifica aplicando condiciones de regeneración específicas, es posible identificar el punto en el que se agota un filtro y se producirá el avance de la dureza, para desencadenar una regeneración del material de IEX utilizado. Esto permite aprovechar la capacidad completa del material de IEX, dando como resultado una disminución de la cantidad de sal y consumo de agua residual en comparación con un modo de funcionamiento de elemento de ablandamiento convencional.

35

40

Las condiciones de regeneración específicas significan que, además de la sal de regenerador, se utiliza una sal de trazador adicional para la regeneración de material de IEX. Esto conduce a un material de IEX que está cargado con dos especies iónicas catiónicas diferentes. La sal de trazador debe elegirse de tal manera que el material de IEX muestra una afinidad con respecto a los iones catiónicos de la sal de trazador que es inferior a su afinidad con respecto a iones que provocan dureza y superior a su afinidad con respecto a los iones catiónicos de la sal de regenerador. Esto significa que durante el funcionamiento puede tener lugar de manera gradual un efecto cromatográfico en el lecho de material. Cuando se agota el material de IEX, los iones catiónicos de la sal de regenerador se han intercambiado frente a iones que provocan dureza. Sin embargo, antes de un avance de la dureza la concentración de iones catiónicos de la sal de trazador aumentará en el agua que sale del filtro con el material de IEX modificado. Se ha encontrado que este aumento de la concentración puede detectarse, en particular monitorizando propiedades eléctricas del agua.

45

50

Un dispositivo de ablandamiento de agua según la invención comprende un filtro que está configurado para eliminar la dureza a partir de un primer flujo de agua bruta para producir un segundo flujo de agua ablandada. El término dureza se entiende como iones que provocan dureza en el agua bruta.

El dispositivo está caracterizado por las siguientes características:

55

- el filtro comprende un material de intercambio iónico (IEX) y
- el material de IEX está cargado con una primera especie iónica catiónica que deriva de una sal de trazador y
- el material de IEX muestra una afinidad inferior con respecto a la primera especie iónica catiónica que con respecto a la dureza y
- el material de IEX está cargado con una segunda especie iónica catiónica que deriva de una sal de regenerador y
- el material de IEX muestra una afinidad inferior con respecto a la segunda especie iónica catiónica que con respecto a la primera especie iónica catiónica y

65

- la primera especie iónica catiónica y la segunda especie iónica catiónica difieren en sus conductividades molares iónicas, y

5 • el dispositivo comprende un sensor para monitorizar una propiedad eléctrica del segundo flujo.

La primera especie iónica catiónica y la segunda especie iónica catiónica difieren en sus conductividades molares iónicas. Tal como se explicó anteriormente, el aumento de la concentración de los iones catiónicos de la sal de trazador puede detectarse monitorizando cambios de las propiedades eléctricas del segundo flujo (el agua ablandada). Si las dos especies iónicas difieren en sus conductividades molares iónicas, los cambios tenderán a ser superiores. Esto facilita la detección.

Por motivos de claridad: La conductividad molar es la conductividad de una disolución de electrolito (por ejemplo, una disolución de sal disuelta) dividida entre la concentración molar del electrolito (la sal disuelta). Es la potencia de conducción de todos los iones producidos disolviendo un mol de un electrolito en disolución. La unidad de la conductividad molar son los siemens por metro por molaridad, o siemens metro cuadrado por mol.

Se prefiere que el material de resina de IEX sea una resina de IEX.

20 En formas de realización preferidas, el dispositivo de ablandamiento de agua comprende por lo menos una de las siguientes características adicionales:

- El material de IEX es un material de intercambio iónico (IEX) catiónico de ácido fuerte (SAC), en particular una resina de intercambio iónico (IEX) catiónica de ácido fuerte (SAC).

- El agua bruta contiene Ca^{2+} y Mg^{2+} como iones que provocan dureza.

- La primera especie iónica catiónica es K^+ o NH_4^+ .

- La segunda especie iónica catiónica es Na^+ o Li^+ .

Se prefieren particularmente K^+ como primera especie iónica catiónica y Na^+ como segunda especie iónica catiónica. La conductividad molar iónica del potasio es superior a la conductividad molar iónica del sodio. Esto dará como resultado un pico de conductividad en cuanto todos los iones de sodio se hayan intercambiado, pero antes del avance de la dureza. Detectando este pico de conductividad es posible desencadenar la regeneración justo antes, o en el momento, de producirse el avance.

En formas de realización adicionales preferidas el dispositivo de ablandamiento de agua comprende por lo menos una de las siguientes características adicionales:

- El dispositivo comprende o está acoplado a un depósito de regenerador.

- El depósito de regenerador contiene un regenerador que comprende como primera sal la sal de trazador y como segunda sal la sal de regenerador.

- La sal de trazador es cloruro de potasio (KCl).

- La sal de regenerador es cloruro de sodio (NaCl).

Hay depósitos de regenerador para dispositivos de ablandamiento de agua comercialmente disponibles. Un depósito adecuado se describe, por ejemplo, en el documento EP 3 103 770 A1. Es posible que un depósito de este tipo comprenda una primera sal con la primera especie iónica catiónica y una segunda sal con la segunda especie iónica catiónica. Preferentemente el depósito comprende una disolución acuosa que comprende las dos sales en un estado disuelto.

La cantidad de la primera especie iónica catiónica fijada sobre el material de IEX en comparación con la cantidad de la segunda especie iónica catiónica fijada sobre el material de IEX dependerá de la composición de mezcla de sal de regenerador / de trazador en el depósito.

Se prefiere que

- la relación molar entre la primera sal y la segunda sal en el depósito de regenerador esté en el intervalo de desde 1 hasta 100, preferentemente desde 1 hasta 25,

y/o

- que del 0.5% al 20%, preferentemente del 2% al 8% de la capacidad del material de IEX esté cargado con la primera especie iónica catiónica

y/o

- 5
- que del 80% al 99.5%, preferentemente del 92% al 98% de la capacidad del material de IEX esté cargado con la segunda especie iónica catiónica.

10 Un buen ejemplo será la utilización de una sal de potasio como sal de trazador y de una sal de sodio como sal de regenerador. Por ejemplo, añadiendo una cantidad definida de cloruro de potasio (KCl) a salmuera (NaCl) en el depósito de regenerador, el material de IEX se regenerará en forma de sodio y potasio.

15 En formas de realización adicionales preferidas el dispositivo de ablandamiento de agua comprende por lo menos una de las siguientes características adicionales:

- El dispositivo comprende o está acoplado a un primer y a un segundo depósito.
- El primer depósito es un depósito de sal de regenerador y comprende la sal de regenerador (correspondiente a la segunda sal anterior).
- El segundo depósito es un depósito de sal de trazador y comprende la sal de trazador (correspondiente a la primera sal anterior).
- La primera sal es cloruro de potasio (KCl).
- La segunda sal es cloruro de sodio (NaCl).

25

30 En teoría, también es posible proporcionar la sal de trazador en forma de una disolución acuosa que se almacena en el segundo depósito y mezclarla con una disolución acuosa de la sal de regenerador que se almacena en el primer depósito, proporcionando de ese modo una mezcla de regenerador que consiste en las dos disoluciones acuosas. Sin embargo, en la práctica se prefiere lavar un material de IEX durante una regeneración en primer lugar con una disolución acuosa de la sal de regenerador procedente del primer depósito y después, en una segunda etapa, con una disolución acuosa de la sal de trazador procedente del segundo depósito.

35 En formas de realización preferidas el dispositivo de ablandamiento de agua comprende por lo menos una de las siguientes características adicionales:

- El dispositivo comprende un sensor para monitorizar una propiedad eléctrica del primer flujo.
- El sensor para monitorizar la propiedad eléctrica del primer flujo está configurado para monitorizar una conductividad eléctrica y/o una resistencia eléctrica.
- El sensor para monitorizar una propiedad eléctrica del primer flujo está configurado como una célula electrolítica que es capaz de aplicar una corriente al primer flujo.
- El sensor para monitorizar la propiedad eléctrica del segundo flujo está configurado para monitorizar una conductividad eléctrica y/o una resistencia eléctrica.
- El sensor para monitorizar una propiedad eléctrica del segundo flujo está configurado como una célula electrolítica que es capaz de aplicar una corriente al segundo flujo.

40

45

50

55 Generalmente se prefiere que el sensor para monitorizar la propiedad eléctrica del primer flujo y el sensor para monitorizar la propiedad eléctrica del segundo flujo estén configurados para medir una conductividad eléctrica. Los expertos en la materia conocen sensores adecuados para medir la conductividad eléctrica de agua, en particular células electrolíticas adecuadas para medir la conductividad eléctrica de agua, y no necesitan ninguna explicación adicional.

60 En una forma de realización adicional preferida el dispositivo comprende un sensor adicional para medir el volumen de agua que fluye a través del filtro.

65 En formas de realización adicionales preferidas el dispositivo de ablandamiento de agua puede estar caracterizado por al menos una de las siguientes características adicionales:

- El dispositivo comprende una unidad de control electrónico que está conectada al sensor para monitorizar la propiedad eléctrica del primer flujo y al sensor para monitorizar la propiedad eléctrica del segundo flujo.

- El control electrónico está conectado además al sensor adicional.
- La unidad de control electrónico comprende una memoria de datos interna y una unidad de procesamiento de datos.

5

Se prefiere que el dispositivo esté caracterizado por una combinación de todas estas características.

En formas de realización adicionales preferidas el dispositivo de ablandamiento de agua puede estar caracterizado por al menos una de las siguientes características adicionales:

10

- El dispositivo comprende una línea de derivación para mezclar el segundo flujo de agua ablandada con agua bruta del primer flujo.
- La línea de derivación comprende una válvula para regular la cantidad de agua del primer flujo mezclada con el segundo flujo.

15

A través de la línea de derivación puede combinarse el segundo flujo con agua del primer flujo.

20

El procedimiento según la invención es un procedimiento para hacer funcionar un dispositivo de ablandamiento de agua tal como se describió anteriormente. Comprende las etapas de

25

- hacer pasar un primer flujo de agua bruta a través de un filtro que comprende un material de IEX, en el que el filtro, en particular el material de IEX, que está configurado para eliminar la dureza del primer flujo de agua bruta, produciendo, de este modo, un segundo flujo de agua ablandada,
- cargar el material de IEX con una primera especie iónica catiónica,
- cargar el material de IEX con una segunda especie iónica catiónica que difiere en su conductividad molar iónica de la primera especie iónica catiónica, y
- monitorizar una propiedad eléctrica del segundo flujo mediante un sensor.

30

35

Las propiedades y formas de realización preferidas del material de IEX, la primera especie catiónica, la segunda especie catiónica y las propiedades eléctricas del segundo flujo de agua ya se han comentado en el contexto de la descripción del dispositivo según la invención. También en relación con el procedimiento según la invención, la primera especie iónica catiónica y la segunda catiónica se eligen de tal manera que la resina de IEX muestra una afinidad superior con respecto a la primera especie iónica catiónica que con respecto a la segunda especie iónica catiónica y la primera especie iónica catiónica y la segunda especie iónica catiónica difieren en sus conductividades molares iónicas.

40

Se prefiere que

45

- la propiedad eléctrica monitorizada sea la conductividad eléctrica o la resistencia eléctrica del segundo flujo y/o
- que se utilice un cambio de la propiedad eléctrica monitorizada como indicador del estado de agotamiento del filtro.

50

Se prefiere particularmente que el procedimiento pueda estar caracterizado por al menos una de las siguientes etapas o características adicionales:

55

- El dispositivo comprende o está acoplado a un depósito de regenerador (en particular un depósito tal como se describió anteriormente).
- Un cambio de la propiedad eléctrica monitorizada desencadena un proceso de regeneración que comprende lavar el filtro que comprenden del material de IEX con un regenerador procedente del depósito de regenerador.

60

- El regenerador contiene una sal de trazador que comprende la primera especie catiónica.

60

- El dispositivo comprende o está acoplado a un depósito de sal de trazador.

65

- Un cambio de la propiedad eléctrica monitorizada desencadena un proceso de regeneración que comprende lavar el filtro en una primera etapa con un regenerador procedente del depósito de regenerador y en la segunda etapa con sal de trazador procedente del depósito de sal de trazador.

Se prefiere que el procedimiento según la invención se repita de manera cíclica. Un ciclo completo está compuesto por una fase de funcionamiento habitual y una etapa de regeneración. Por tanto, cada etapa de regeneración va seguida por una fase de funcionamiento habitual y (viceversa) cada fase de funcionamiento habitual va seguida por una etapa de regeneración. La fase de funcionamiento habitual termina cuando se agota el filtro o (más particularmente) el material de IEX contenido en el mismo. Este punto de tiempo se indica mediante el cambio de la propiedad eléctrica monitorizada comentado anteriormente. Más en detalle, este punto de tiempo se alcanza cuando el cambio monitorizado de la propiedad eléctrica alcanza un máximo o un mínimo. Por ejemplo, este es el caso cuando la conductividad eléctrica monitorizada del segundo flujo que sale de un filtro que contiene un material de IEX que está cargado con Na⁺ como primera especie catiónica e iones K⁺ como segunda especie catiónica alcanza un máximo debido al aumento de iones K⁺ en el flujo.

En una forma de realización preferida el procedimiento según la invención comprende por lo menos una de las siguientes etapas adicionales:

- El filtro es regenerado de manera cíclica, en el que durante cada regeneración un determinado porcentaje de la capacidad del material de IEX está cargado con la primera especie iónica catiónica y un determinado porcentaje de la capacidad del material de IEX está cargado con la segunda especie iónica catiónica.
- Tras cada regeneración, durante la fase de funcionamiento habitual, el primer flujo de agua bruta es hecho pasar a través del filtro y la propiedad eléctrica del segundo flujo es monitorizada hasta que el cambio de la propiedad eléctrica del flujo que indica que el filtro está agotado alcanza un máximo o un mínimo.
- El volumen de agua V_{SW} que pasa a través del filtro durante la fase de funcionamiento habitual es medido, preferentemente mediante el tercer sensor anteriormente mencionado.

En una siguiente etapa posible, puede determinarse la dureza de agua bruta TH_{RW} en función del volumen de la cantidad medida de agua V_{SW} y la capacidad específica del material de IEX C_{IEX} y el volumen V_{IEX} del material de intercambio iónico.

La siguiente ecuación da resultados con una precisión relativamente buena, en particular si del 2% al 8% de la capacidad del material de IEX está cargado con la primera especie iónica catiónica:

$$TH_{RW} = C_{IEX} * V_{IEX} / V_{SW}$$

En una forma de realización adicional preferida el procedimiento según la invención comprende por lo menos una de las siguientes etapas adicionales, preferentemente incluso la totalidad de las siguientes etapas adicionales:

- El segundo flujo de agua ablandada es mezclado con agua bruta del primer flujo a través de una línea de derivación.
- La relación del primer flujo y el segundo flujo es mantenida constante durante la fase de funcionamiento habitual.
- La relación del primer flujo y el segundo flujo es ajustada al final de la fase de funcionamiento habitual dependiendo del cambio monitorizado de la propiedad eléctrica del segundo flujo.

El ajuste puede controlarse de manera automática mediante la unidad de control electrónico.

Descripción más detallada de la invención / ejemplo de forma de realización

Pueden derivarse características y ventajas adicionales de la invención a partir de las figuras y de la siguiente descripción detallada de formas de realización preferidas. Las formas de realización preferidas descritas son simplemente con fines de ilustración y para proporcionar una mejor comprensión de la invención y no constituirán de ninguna manera una restricción.

La figura 1 ilustra esquemáticamente el proceso general de intercambio iónico durante el funcionamiento de un dispositivo de ablandamiento de agua que contiene un filtro que comprende una resina de IEX que se hace funcionar en modo de Na⁺.

La figura 2 ilustra esquemáticamente una forma de realización preferida de un dispositivo de ablandamiento de agua según la invención.

La figura 3 ilustra esquemáticamente una forma de realización adicional preferida de un dispositivo de ablandamiento de agua según la invención.

La figura 4 ilustra los cambios de concentraciones de los cationes Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ en agua ablandada que sale del filtro de un dispositivo de ablandamiento de agua según la invención en función del volumen que pasa a través del filtro.

5 La figura 5 ilustra la conductividad eléctrica de agua ablandada que sale del filtro de un dispositivo de ablandamiento de agua según la invención y la concentración de dureza en la misma en función del volumen que pasa a través del filtro.

10 La figura 6 ilustra la concentración de dureza en el pico de conductividad medido en agua que sale del filtro de un dispositivo de ablandamiento de agua según la invención en función de la carga de una resina de IEX con una sal de trazador.

(1) Proceso general de intercambio iónico con una resina de IEX de SAC que se hace funcionar en modo de Na^+

15 Para la mayor parte del agua natural encontrada, la dureza total TH corresponde a la suma de las concentraciones de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} en el agua. Tal agua tratada sobre un lecho de resina de SAC que se hace funcionar en forma de Na^+ reaccionará de la siguiente manera:



Los iones Na^+ fijados sobre la resina de SAC se intercambian frente a la dureza (Ca^{2+} y Mg^{2+}). El proceso se ilustra en la figura 1.

(2) Forma de realización preferida de un dispositivo según la invención

25 El dispositivo 100 mostrado en la figura 2 comprende un filtro 101 que contiene una resina de IEX de SAC y un depósito 108 de salmuera que contiene salmuera. En la parte superior del filtro 101 está instalada una cabeza de filtro 102. Esta cabeza de filtro 102 comprende una válvula de múltiples vías o una combinación de válvulas. La válvula de múltiples vías o la combinación de válvulas regulan todos los flujos desde y hacia el filtro 101, incluyendo un flujo de agua bruta hacia el filtro 101 y un flujo de agua ablandada que sale del filtro 101. A través de la válvula o la combinación el filtro 101 está conectado además al depósito 108 de salmuera.

35 La resina de IEX en el filtro 101 tiene que regenerarse en intervalos. En el transcurso de la regeneración se hace pasar salmuera saturada del depósito 108 de salmuera a través de la línea 109 (que incluye una válvula 110) y la cabeza de filtro 102 al interior del filtro 101, purgando el lecho de resina en el mismo. La salmuera contiene (además de la sal de regenerador principal, cloruro de sodio), como sal de trazador disuelta, cloruro de potasio. Se prefiere diluir la salmuera en la cabeza de filtro 102 con agua antes de lavar el lecho de resina, por ejemplo, con agua bruta a partir de la línea 103. Por ejemplo, se prefiere ajustar la concentración de sal en la salmuera hasta un valor de aproximadamente el 10% en peso. La salmuera utilizada que sale del filtro 101 puede desecharse a través de la línea 111. Tras la regeneración, habitualmente desde el 2% hasta el 8% de la capacidad de la resina de IEX está cargado con potasio, el resto con iones de sodio. El valor exacto depende de las condiciones de regeneración y de la composición de la salmuera.

45 El agua bruta entra al interior de la cabeza de filtro 102 a través de la línea 103. Un flujo de agua ablandada sale de la cabeza de filtro 102 a través de la línea 107. Hay una línea de derivación directa 104 que conecta directamente las líneas 103 y 107. El agua que ha salido del filtro 101 puede combinarse con agua bruta a través de la línea de derivación 103. La cantidad de agua bruta puede regularse mediante la válvula 105.

50 El dispositivo 100 comprende dos sensores 112 y 114 para medir la conductividad eléctrica del agua que fluye a través del dispositivo. El sensor 112 está posicionado en la línea de salida 107. El sensor 114 está posicionado en la línea de entrada 103. Además de esto, el dispositivo 100 comprende sensores 113 y 119 para medir el volumen del agua que fluye a través del filtro 101 y a través de la línea de derivación 104. Los sensores 112, 113, 114 y 119 están conectados a una unidad de control electrónico 115.

(3) Forma de realización adicional preferida de un dispositivo según la invención

55 El dispositivo 200 mostrado en la figura 3 comprende un filtro 201 que contiene una resina de IEX de SAC, un depósito de salmuera 208 que contiene una disolución acuosa de cloruro de sodio como sal de regenerador y un depósito de sal de trazador 206 que comprende una disolución acuosa de cloruro de potasio como sal de trazador. En la parte superior del filtro 201 está instalada una cabeza de filtro 202. Esta cabeza de filtro 202 comprende una válvula de múltiples vías o una combinación de válvulas. La válvula de múltiples vías o la combinación de válvulas regulan todos los flujos desde y hacia el filtro 201, incluyendo un flujo de agua bruta hacia el filtro 201 y un flujo de agua ablandada que sale del filtro 201. A través de la válvula o la combinación el filtro 201 está conectado además al depósito de salmuera 208 y al depósito de sal de trazador 206.

65 La resina de IEX en el filtro 201 tiene que regenerarse en intervalos. En el transcurso de la regeneración se hace

5 pasar en primer lugar una disolución acuosa de cloruro de sodio a partir del depósito de salmuera 208 a través de la línea 209 (que incluye una válvula 210) a través de la cabeza de filtro 202 al interior del filtro 201, purgando el lecho de resina en el mismo. Después, en una segunda etapa, se hace pasar una disolución acuosa de cloruro de potasio a partir del depósito de sal de trazador 206 a través de la línea 216 (que incluye una válvula 218) a través de la cabeza de filtro 202 al interior del filtro 201.

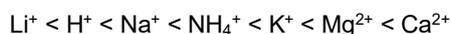
10 Se prefiere diluir la disolución acuosa de cloruro de sodio y/o la disolución acuosa de la sal de trazador en la cabeza de filtro 202 con agua antes de lavar el lecho de resina, por ejemplo, con agua bruta a partir de la línea 203. Por ejemplo, se prefiere ajustar la concentración de sal en la salmuera hasta un valor de aproximadamente el 10% en peso. El regenerador utilizado que sale del filtro 201 puede desecharse a través de la línea 211. Tras la regeneración, habitualmente desde el 2% hasta el 8% de la capacidad de la resina de IEX está cargado con potasio, el resto con iones de sodio. El valor exacto depende de las condiciones de regeneración y de la composición de la disolución acuosa de la sal de trazador.

15 Agua bruta entra al interior de la cabeza de filtro 202 a través de la línea 203. Un flujo de agua ablandada sale de la cabeza de filtro 202 a través de la línea 207. Hay una línea de derivación directa 204 que conecta directamente las líneas 203 y 207. El agua ablandada que ha salido del filtro 201 puede combinarse con agua bruta a través de la línea de derivación 203. La cantidad de agua bruta puede regularse a través de la válvula 205.

20 El dispositivo 200 comprende dos sensores 212 y 214 para medir la conductividad eléctrica del agua que fluye a través del dispositivo. El sensor 212 está posicionado en la línea de salida 207. El sensor 214 está posicionado en la línea de entrada 203. Además de esto, el dispositivo 200 comprende un sensor 213 para medir el volumen del agua que fluye a través del filtro 201. Los sensores 212, 213 y 214 están conectados a una unidad de control electrónico 215.

25 (4) Descripción detallada de una forma de realización preferida de un procedimiento según la invención

30 El procedimiento según la invención está caracterizado en particular por la utilización de un regenerador que contiene una sal de trazador para la regeneración de resina de IEX. La naturaleza de esta sal y especialmente la selectividad de resina con respecto a esta sal son importantes. Con el fin de obtener el efecto deseado, la selectividad de la resina de IEX con respecto a la sal de trazador debe estar ubicada entre la selectividad por la sal utilizada para la regeneración (habitualmente una sal de sodio) y la selectividad por la dureza (Mg^{2+} y Ca^{2+}). Para una resina de SAC, el orden de afinidad / selectividad es de la siguiente manera para las especies más comunes:



40 Para un elemento de ablandamiento regenerado con una sal de sodio (con iones Na^+), una sal de potasio (con iones K^+) respetará la condición anterior ya que su selectividad está ubicada entre la selectividad por iones de sodio (Na^+) y la dureza (Mg^{2+} y Ca^{2+}). El ion amonio (NH_4^+) también respetará la condición, por tanto, también puede utilizarse una sal de amonio como sal de trazador. De hecho, cualquier sal cuya selectividad esté ubicada entre la dureza y la selectividad de la sal de regenerador puede utilizarse como sal de trazador.

45 Los cationes de la sal de trazador se fijan sobre la resina de IEX durante la regeneración y especialmente durante la etapa de contacto con salmuera. Durante esta etapa, la resina de IEX se purga con salmuera a partir de un depósito de salmuera. El objetivo al final de la regeneración es obtener una carga de sal de trazador de desde el 0.5 hasta el 20%, con respecto a la capacidad de funcionamiento de la resina de IEX.

50 Hay dos enfoques diferentes para poner la sal de trazador en contacto con la resina de IEX. El primer enfoque es mezclar la sal de trazador con la disolución de salmuera en un depósito de salmuera. Este enfoque se prefiere para aplicaciones domésticas. El segundo enfoque es instalar (además de un depósito de salmuera) un segundo depósito que contiene la sal de trazador, por ejemplo, en forma de una disolución acuosa. Este enfoque se prefiere para aplicaciones industriales.

55 Para una regeneración con una sal de sodio como sal de regenerador en condiciones domésticas (~90 g de NaCl por litro de resina de IEX) habitualmente la eficiencia de regeneración es de aproximadamente el 60% para el sodio. Esto significa que para 1 mol de sal de sodio que se hace pasar a través de un filtro con la resina de IEX, se fijan aproximadamente 0.6 mol sobre la resina de IEX. Cuando se utiliza un regenerador que contiene una sal de regenerador y una sal de trazador, la eficiencia de regeneración para la sal de trazador es inferior a aquella para la sal de regenerador. Por ejemplo, con el fin de obtener una carga de potasio del 5% con respecto a la capacidad de la resina de IEX, la eficiencia de regeneración con respecto al potasio es de aproximadamente el 45% (cuando se utilizan 90 g de NaCl por litro de resina de IEX). A pesar del hecho de que la selectividad de la resina para el potasio es superior, la concentración de salmuera superior hace que la selectividad para la sal de trazador sea inferior en esas condiciones, durante la regeneración.

65 Para una regeneración con una sal de sodio como sal de regenerador en condiciones industriales, habitualmente

se hace pasar en primer lugar salmuera a partir del depósito de salmuera a través del lecho de resina de IEX. La sal de trazador se lleva a la resina de IEX en una segunda etapa, una vez que se ha regenerado la resina de IEX con la sal de regenerador habitual. En el momento en el que se lleva la sal de trazador a la resina de IEX, no hay más competencia entre ambas sales. En este caso la resina de IEX regenerada con la sal de regenerador habitual muestra una afinidad superior por la sal de trazador y la eficiencia de regeneración con respecto a la sal de trazador es próxima al 100%.

Con el fin de entender lo que le sucede a un lecho de resina de IEX (que se ha regenerado con una sal de regenerador y una sal de trazador) durante un funcionamiento habitual, se facilita el siguiente ejemplo: se rellena un filtro con 25 litros de una resina de IEX de SAC. El regenerador habitual para un filtro de este tipo es NaCl, con un nivel de regenerador de 90 g de NaCl por litro de resina de IEX para una aplicación doméstica, dando como resultado una capacidad de funcionamiento de resina de IEX de partida de 1.1 eq/l. Como sal de trazador se eligió KCl. Se establecieron las condiciones de regeneración con el fin de obtener el 5% de la capacidad de resina de IEX cargada con K⁺. El agua bruta contenía 26^of de dureza total. A continuación, se facilita la composición detallada del agua bruta:

T = 15°C
 pH = 7.6
 Ca²⁺ = 2.39 mmol/l
 Mg²⁺ = 0.21 mmol/l
 Na⁺ = 0.29 mmol/l
 K⁺ = 0.06 mmol/l
 NO₃⁻ = 0.25 mmol/l
 Cl⁻ = 0.25 mmol/l
 SO₄²⁻ = 0.36 mmol/l
 Alcalinidad = 4.88 mmol/l

Dentro del filtro se configuró la velocidad de flujo a 630 l/h (con una velocidad de 19.6 m/h). Se monitorizaron los cambios de las concentraciones de los cationes Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ en el agua ablandada que salía del filtro. Los resultados se muestran en la figura 4.

De acuerdo con la selectividad de la resina de IEX de los iones Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ se observó un efecto cromatográfico. La sal de trazador (K⁺) cuya selectividad está ubicada entre la selectividad de la sal de regenerador (Na⁺) y la selectividad de la dureza (Ca²⁺ y Mg²⁺) se liberó antes del avance de la dureza, pero sólo después de que la concentración de Na⁺ comenzara a disminuir significativamente. Esto dio como resultado un cambio de conductividad del agua que salía del filtro, véase la figura 5.

El pico de conductividad eléctrica corresponde a la concentración de iones de potasio en el agua que sale del filtro. El hecho de que la conductividad aumenta con la concentración de potasio puede explicarse por la conductividad molar iónica de cada especie. Los iones de sodio presentan una conductividad molar iónica de 5.01 S.m².mol⁻¹ frente a 7.35 S.m².mol⁻¹ para los iones de potasio. Dado que los iones de potasio muestran una conductividad molar iónica superior, esto explica por qué la conductividad eléctrica aumenta una vez que los iones de sodio comienzan a sustituirse por iones de potasio al final de la capacidad del filtro. El pico de potasio indica que un avance de la dureza es inminente.

Por tanto, es posible detectar el avance de la dureza monitorizando la conductividad en la salida del filtro, en particular detectando el pico de conductividad. El presente procedimiento puede centrarse en la conductividad de salida exclusivamente con tan sólo un sensor en la salida del filtro, o en la relación de conductividad desde la salida con respecto a la entrada con un sensor de conductividad en la entrada del filtro y otro instalado en la salida (compárese la figura 2: el sensor de conductividad 112 está posicionado aguas abajo del filtro, el sensor de conductividad 114 está posicionado aguas arriba del filtro). La segunda configuración es de particular interés en el caso de condiciones fluctuantes de agua bruta para garantizar que un pico de conductividad de agua ablandada vinculado a algunos cambios del agua bruta no se interprete por el dispositivo como un avance de la dureza.

Aplicación industrial

En la figura 3 se muestra un dispositivo de ablandamiento de agua adecuado para una aplicación industrial. Para una aplicación industrial, la derivación 204 entre el agua bruta y ablandada está o bien cerrada o bien ausente. El nivel de dureza requerido aguas abajo del dispositivo de ablandamiento de agua es preferentemente de 0^of.

Para una concentración de dureza de agua bruta dada, la concentración de fuga de dureza en el pico de conductividad medido en la línea de salida 207 está directamente vinculada con la cantidad de sal de trazador fijada sobre la resina de IEX durante la regeneración. La curva en la figura 6 ilustra la concentración de dureza en el pico de conductividad medido en la línea de salida 207 en función de la carga de una resina de IEX con una sal de trazador.

A partir de esta curva se vuelve evidente que, dependiendo de la cantidad de sal de trazador implicada, puede controlarse la fuga de dureza en el pico de conductividad para una concentración de dureza de agua bruta dada. En una aplicación industrial la configuración habitual es disponer de un elemento de ablandamiento de elemento de pulido aguas debajo de un primer dispositivo de ablandamiento de agua. Por tanto, a pesar del hecho de que el nivel de dureza en el agua ablandada debe permanecer a 0^of, es posible permitir una fuga de dureza limitada en la salida del primer dispositivo de ablandamiento de agua. En presencia de un elemento de ablandamiento de elemento de pulido, la fuga se captará por el elemento de pulido.

Esto conduce a la conclusión de que, una vez conocida la dureza de agua bruta, la cantidad de sal de trazador implicada durante la regeneración puede establecerse al nivel requerido con el fin de obtener la fuga de dureza deseada al final de cada ciclo cuando se produce el pico de conductividad. Por ejemplo, si el agua bruta está caracterizada por una dureza constante de 26^of y la dureza objetivo es de 2^of, de nuevo al final de cada ciclo cuando se produce el pico de conductividad, una carga de sal de trazador (como K⁺) en la resina de IEX del 10% será apropiada. En este caso, la cantidad de sal de trazador implicada durante la regeneración se establecerá con el fin de obtener una carga del 10% en la resina de IEX. Dado que la eficiencia de regeneración con respecto a la sal de trazador en esta configuración es próxima al 100%, la cantidad de sal de trazador que tiene que implicarse puede definirse claramente para coincidir con la condición de fuga objetivo al final de cada ciclo cuando se produce el pico de conductividad.

20 Aplicación doméstica

El dispositivo de ablandamiento de agua según la figura 2 es adecuado en particular para una aplicación doméstica. Entre otras cosas, comprende un sensor 113 para medir la cantidad del agua que fluye a través del filtro 101.

Un sensor de este tipo permite determinar el volumen de agua V_{SW} que se hace pasar a través del filtro en el tiempo entre la regeneración anterior y el momento en el que se produce el pico de conductividad mostrado en la figura 5. Dado que se conoce el nivel de regenerador utilizado durante la regeneración anterior, también se conoce la capacidad de la resina de IEX. Entonces, a partir del volumen de agua, la capacidad de IEX y el volumen de resina de intercambio iónico, es posible estimar la concentración de dureza de agua bruta con una precisión relativamente buena según el siguiente cálculo:

$$TH_{RW} = C_{IEX} * V_{IEX} / V_{SW}$$

en el que

- V_{SW} es el volumen de agua tratado hasta que la conductividad monitorizada alcanza un máximo [l],
- C_{IEX} es la capacidad específica de la resina de IEX [eq.]
- V_{IEX} es el volumen de la resina de IEX volumen en el filtro [l]
- TH_{RW} es la dureza total ([Ca²⁺] + [Mg²⁺]) en el agua bruta [meq.*l⁻¹]

Según la curva en la figura 5, el pico de conductividad se produce a 5.2 m³. En este caso, la estimación de la dureza de agua bruta dará:

$$TH_{RW} = 1.1 * 25 / 5200 = 5.28 \text{ meq.l}^{-1} \approx 26.4 \text{ }^{\circ}\text{f}$$

Para una dureza de agua bruta de 26.0^of, la estimación a 26.4^of según el procedimiento anterior dará la dureza de agua bruta con una precisión del 1.5% en este caso, para una carga de sal de trazador del 5% en la resina de IEX.

Una vez que se conoce la dureza de agua bruta tras una primera regeneración con una sal de trazador, puede ajustarse la derivación a través de la válvula 105, por ejemplo, de manera automática por el controlador 115, con el fin de obtener la concentración de dureza deseada en el agua ablandada. En una aplicación doméstica, el valor objetivo está ubicado desde 8 hasta 12^of. El punto de consigna puede introducirlo el usuario y la derivación se ajustará automáticamente con el fin de obtener el valor de dureza establecido. Para hacer eso, se requerirá un sensor adicional para determinar el volumen de agua que se hace pasar a través de la línea de derivación 104. Con un sensor de este tipo, puede ajustarse la cantidad de agua bruta mezclada con el agua ablandada al nivel requerido.

Anteriormente se ha explicado que, para una dureza de agua bruta dada y una carga de trazador de sal dada en la resina de IEX, es posible determinar la concentración de fuga de dureza en el pico de conductividad. Por tanto, al final de cada ciclo, cuando la conductividad comienza a aumentar, es posible vincular el aumento de conductividad con el aumento de fuga de dureza. En estas condiciones, el ajuste de derivación puede ajustarse de manera automática de manera que la válvula 105 se cerrará gradualmente con el fin de mantener el nivel de dureza aguas abajo del dispositivo a un nivel constante.

Esto permite agotar el lecho de resina de IEX hasta el punto en el que el nivel de dureza en la salida de recipiente

ES 2 748 835 T3

alcanza el valor establecido para el agua mezclada, de modo que puede tratarse el volumen máximo de agua mediante la resina de IEX. Debe alcanzarse este punto y desencadenarse la regeneración cuando la válvula de derivación estará totalmente cerrada y la fuga de dureza haya alcanzado el valor establecido.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Dispositivo de ablandamiento de agua (100; 200) que comprende un filtro (101; 201) que está configurado para eliminar la dureza a partir de un primer flujo de agua bruta para producir un segundo flujo de agua ablandada, en el que
- 10 a. el filtro (101; 201) comprende un material de intercambio iónico (IEX) y
- b. el material de IEX está cargado con una primera especie iónica catiónica que deriva de una sal de trazador y
- 15 c. el material de IEX muestra una afinidad inferior con respecto a la primera especie iónica catiónica que con respecto a la dureza y
- d. el material de IEX está cargado con una segunda especie iónica catiónica que deriva de una sal de regenerador y
- 20 e. el material de IEX muestra una afinidad inferior con respecto a la segunda especie iónica catiónica que con respecto a la primera especie iónica catiónica y
- 25 f. la primera especie iónica catiónica y la segunda especie iónica catiónica difieren en sus conductividades molares iónicas, y
- g. el dispositivo (100; 200) comprende un sensor (112; 212) para monitorizar una propiedad eléctrica del segundo flujo.
2. Dispositivo de ablandamiento de agua según la reivindicación 1 con por lo menos una de las siguientes características adicionales:
- 30 a. El material de IEX es una resina de intercambio iónico (IEX) catiónica de ácido fuerte (SAC).
- b. La primera especie iónica catiónica es K^+ o NH_4^+ .
- c. La segunda especie iónica catiónica es Na^+ o Li^+ .
- 35 d. Del 0.5% al 20% de la capacidad del material de IEX está cargado con la primera especie iónica catiónica.
- e. Del 99.5% al 80% de la capacidad del material de IEX está cargado con la segunda especie iónica catiónica.
3. Dispositivo de ablandamiento de agua según la reivindicación 1 o según la reivindicación 2 con por lo menos una de las siguientes características adicionales:
- 40 a. El dispositivo (100) comprende un depósito de regenerador (108).
- b. El depósito de regenerador (108) contiene un regenerador que comprende como una primera sal la sal de trazador y como una segunda sal la sal de regenerador.
- 45 c. La sal de trazador es cloruro de potasio (KCl).
- d. La sal de regenerador es cloruro de sodio (NaCl).
4. Dispositivo de ablandamiento de agua según una de las reivindicaciones anteriores con una de las siguientes características adicionales:
- 50 a. El dispositivo (200) comprende un primer (208) y un segundo depósito (206).
- b. El primer depósito (208) es un depósito de sal de regenerador y comprende la sal de regenerador.
- c. El segundo depósito (206) es un depósito de sal de trazador y comprende la sal de trazador.
- 55 d. La sal de trazador es cloruro de potasio (KCl).
- e. La sal de regenerador es cloruro de sodio (NaCl).
5. Dispositivo de ablandamiento de agua según una de las reivindicaciones anteriores con una de las siguientes características adicionales:
- 60 a. El dispositivo (100; 200) comprende un sensor (114; 214) para monitorizar una propiedad eléctrica del primer flujo.
- b. El sensor (114; 214) para monitorizar la propiedad eléctrica del primer flujo está configurado para monitorizar una conductividad eléctrica y/o una resistencia eléctrica.
- 65 c. El sensor (114; 214) para monitorizar la propiedad eléctrica del primer flujo está configurado como una

- célula electrolítica capaz de aplicar una corriente al primer flujo.
- 5 d. El sensor (112; 212) para monitorizar la propiedad eléctrica del segundo flujo está configurado para monitorizar una conductividad eléctrica y/o una resistencia eléctrica.
- e. El sensor (112; 212) para monitorizar la propiedad eléctrica del segundo flujo está configurado como una célula electrolítica capaz de aplicar una corriente al segundo flujo.
- 10 f. El dispositivo (100; 200) comprende un sensor adicional (113; 213) para medir el volumen de agua que fluye a través del filtro (101; 201).
6. Procedimiento para hacer funcionar un dispositivo de ablandamiento de agua (100; 200) según una de las reivindicaciones anteriores, en el que
- 15 a. un primer flujo de agua bruta es hecho pasar a través de un filtro (101; 201) que comprende un material de IEX que está configurado para eliminar la dureza del primer flujo de agua bruta, produciendo, de este modo, un segundo flujo de agua ablandada,
- 20 b. el material de IEX está cargado con la primera especie iónica catiónica,
- c. el material de IEX está cargado con la segunda especie iónica catiónica que difiere en su conductividad molar iónica de la primera especie iónica catiónica, y
- 25 d. una propiedad eléctrica del segundo flujo es monitorizada por un sensor (112; 212).
7. Procedimiento según la reivindicación 6 con por lo menos una de las siguientes etapas y/o características adicionales:
- 30 a. La propiedad eléctrica monitorizada es la conductividad eléctrica o la resistencia eléctrica del segundo flujo.
- b. Un cambio de la propiedad eléctrica monitorizada es utilizado como indicador del estado de agotamiento del filtro (101; 201).
8. Procedimiento según la reivindicación 7 con por lo menos una de las siguientes etapas y/o características adicionales:
- 35 a. El dispositivo (100; 200) comprende o está acoplado a un depósito de regenerador (108; 208).
- 40 b. Un cambio de la propiedad eléctrica monitorizada desencadena un proceso de regeneración que comprende lavar el filtro que comprende el material de IEX con un regenerador procedente del depósito de regenerador (108; 208).
- c. El regenerador contiene la sal de trazador que comprende la primera especie catiónica.
- 45 d. El dispositivo (200) comprende o está acoplado a un depósito de sal de trazador (206).
- e. Un cambio de la propiedad eléctrica monitorizada desencadena un proceso de regeneración que comprende lavar el filtro (201) en una primera etapa con el regenerador procedente del depósito de regenerador (208) y en una segunda etapa con la sal de trazador procedente del depósito de sal de trazador (206).
- 50 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 6 a 8 con las siguientes etapas adicionales:
- 55 a. El filtro (101; 201) es regenerado de manera cíclica, en el que durante cada regeneración un determinado porcentaje de la capacidad del material de IEX está cargado con la primera especie iónica catiónica y un determinado porcentaje de la capacidad del material de IEX está cargado con la segunda especie iónica catiónica.
- 60 b. Tras cada regeneración, durante una fase de funcionamiento habitual, el primer flujo de agua bruta es hecho pasar a través del filtro (101; 201) y la propiedad eléctrica del segundo flujo es monitorizada hasta que el cambio de la propiedad eléctrica del flujo que indica que el filtro (101; 201) está agotado alcanza un máximo o un mínimo.
- 65 c. El volumen V_{SW} de agua que pasa a través del filtro (101; 201) durante la fase de funcionamiento habitual es medido.

- d. La dureza del agua bruta TH_{RW} es determinada en función del volumen de la cantidad medida de agua V_{SW} y el volumen V_{IEX} y la capacidad específica C_{IEX} del material de IEX.

5 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 6 a 9 con por lo menos una de las siguientes etapas adicionales:

- a. El segundo flujo de agua ablandada es mezclado con agua bruta del primer flujo a través de una línea de derivación (104);
- 10
- b. La relación del primer flujo y el segundo flujo es mantenida constante durante la fase de funcionamiento habitual;
 - c. La relación del primer flujo y el segundo flujo es ajustada al final de la fase de funcionamiento habitual dependiendo del cambio monitorizado de la propiedad eléctrica del segundo flujo.

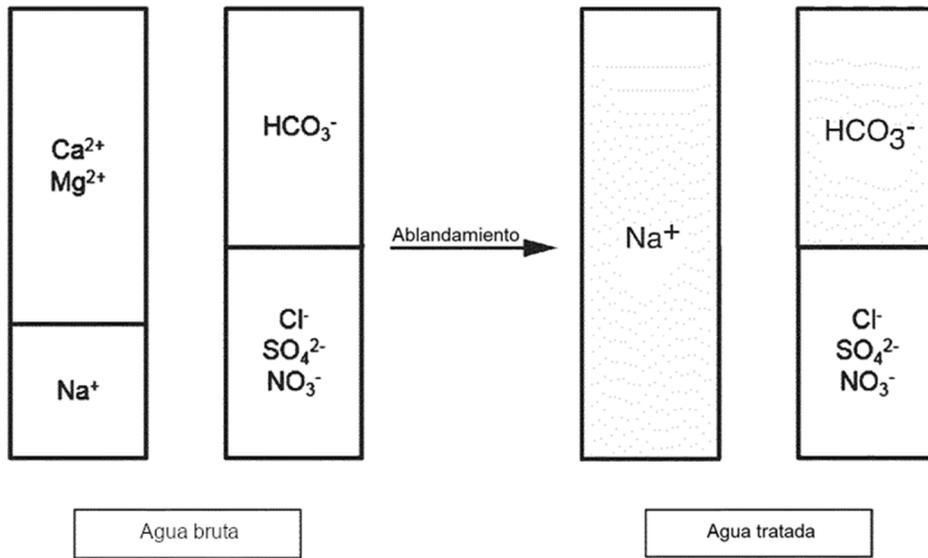


Fig. 1

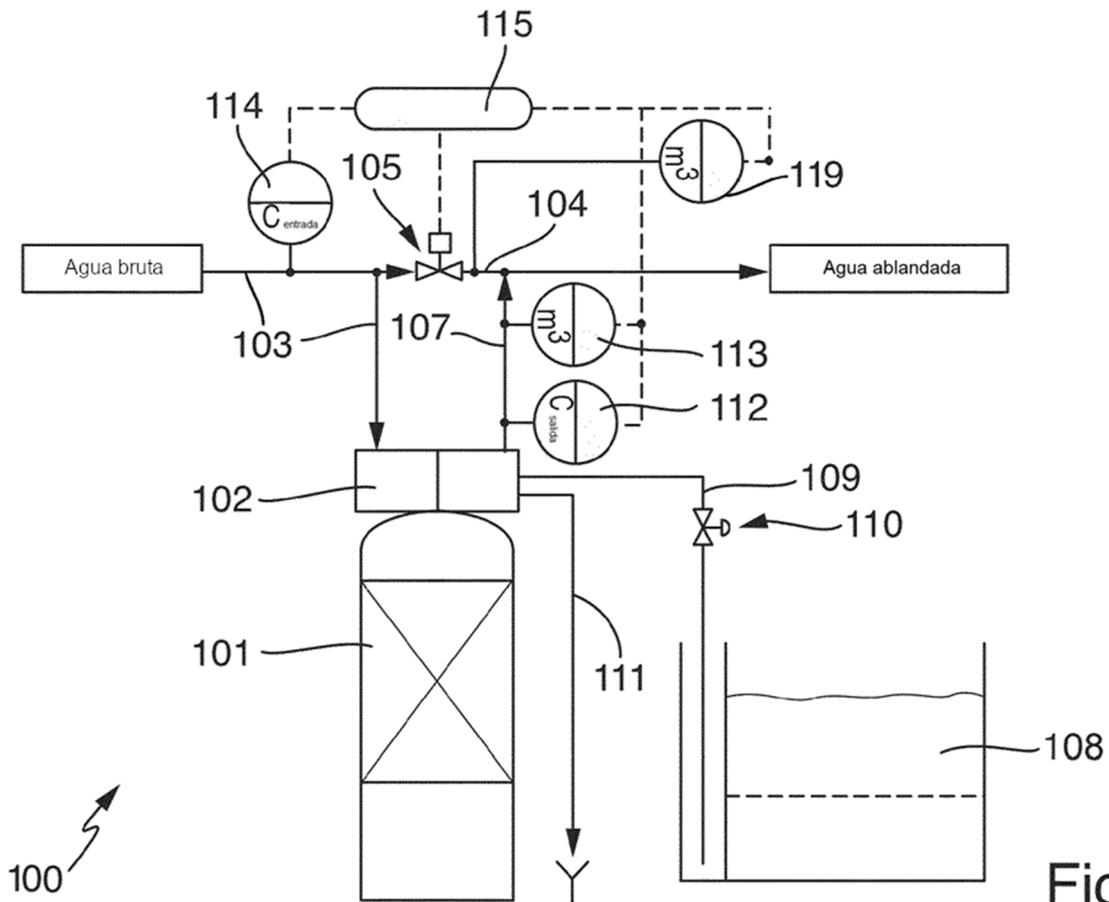


Fig. 2

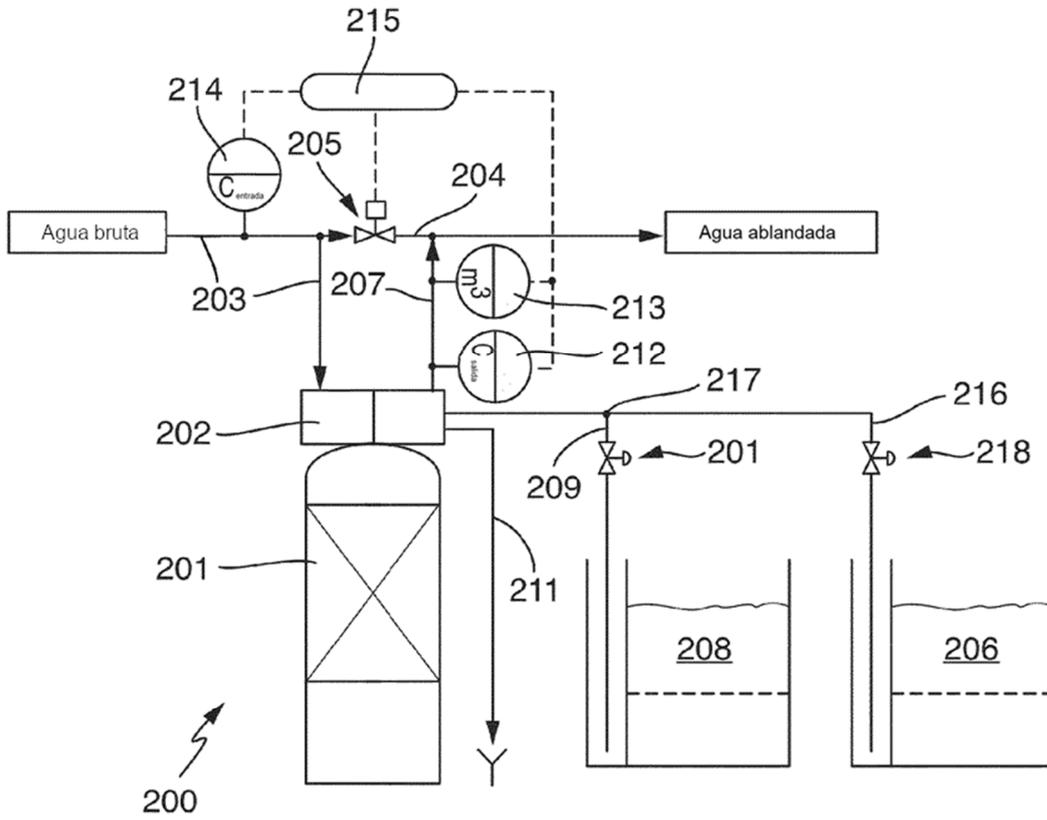


Fig. 3

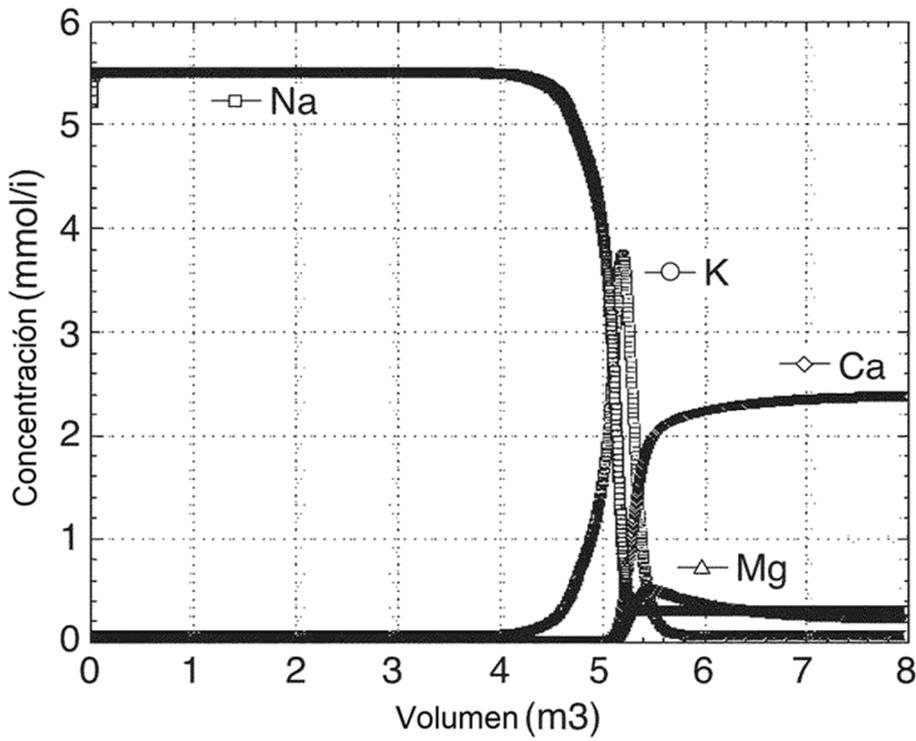


Fig. 4

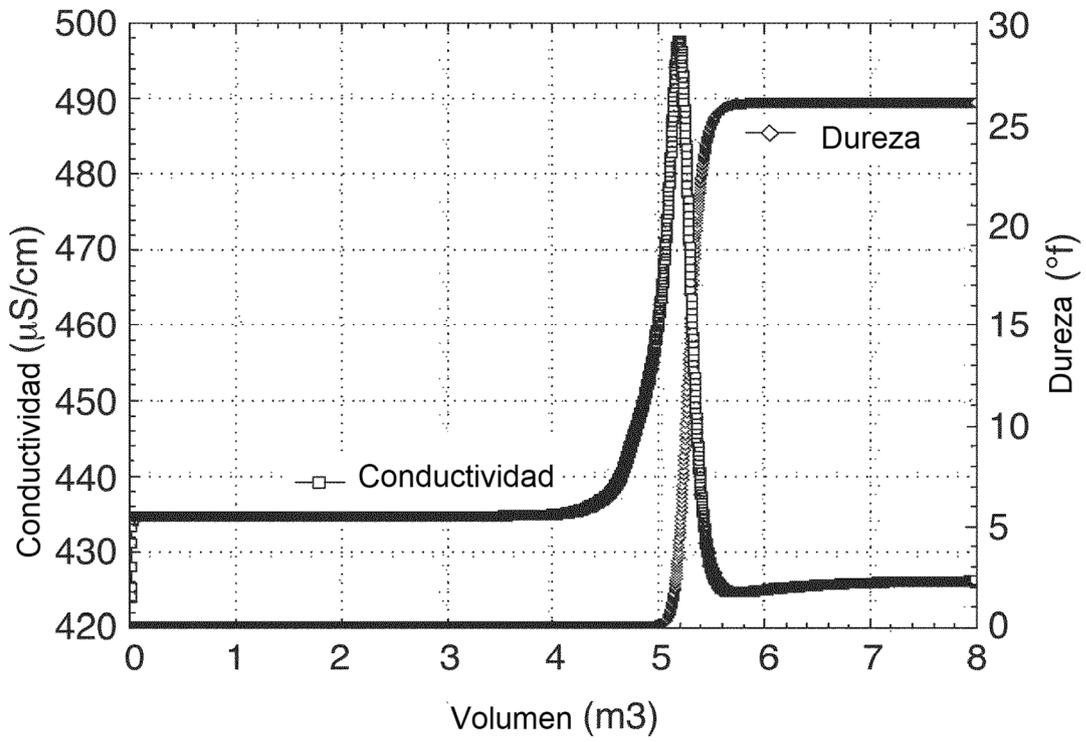


Fig. 5

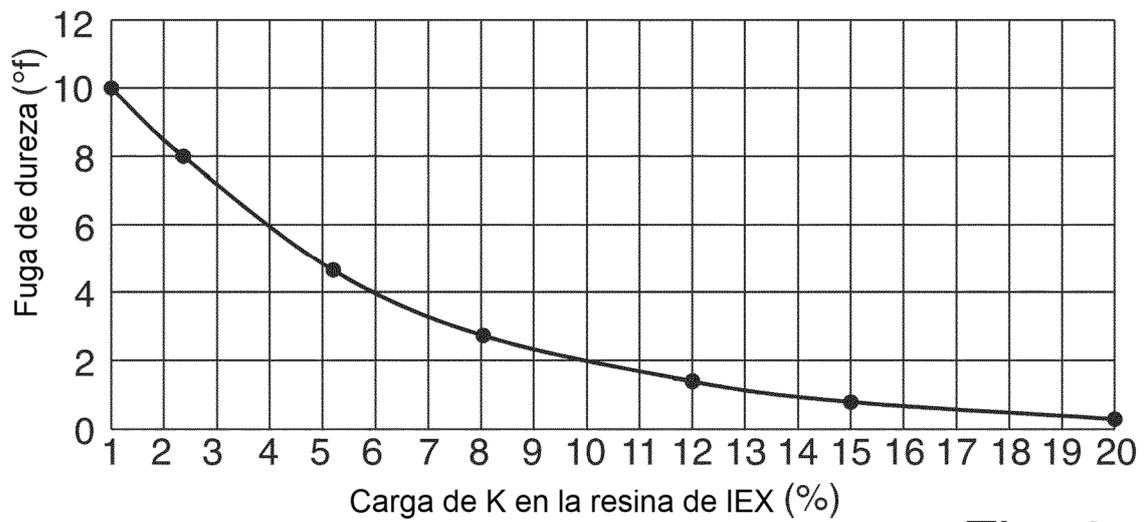


Fig. 6