

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 022 637**

51 Int. Cl.:

C02F 1/00 (2013.01)

C02F 1/42 (2013.01)

B01J 47/024 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.02.2017** **E 17155008 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.03.2025** **EP 3357868**

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

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
28.05.2025

73 Titular/es:
BWT AKTIENGESELLSCHAFT (100.00%)
Walter-Simmer-Strasse 4
5310 Mondsee, AT

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

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

ES 3 022 637 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 método 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 método para hacer funcionar un dispositivo de ablandamiento de agua.

10 Los métodos de ablandamiento de agua son bien conocidos y conllevan típicamente un tratamiento con agua a presión en el que una corriente de agua se hace pasar a través de un filtro que comprende un material de intercambio catiónico (bien inorgánico o bien orgánico), obteniéndose de este modo un agua ablandada que es deseable para aplicaciones domésticas como lavar la ropa, bañarse y lavar los platos, dispositivos como cafeteras, en particular aquellas que generan vapor, así como muchas aplicaciones industriales.

15 La finalidad principal del ablandamiento del agua es proteger los dispositivos contra las incrustaciones calcáreas. Esto se logra intercambiando iones calcio y magnesio (la denominada dureza) de una corriente de agua, por ejemplo, por iones sodio o potasio.

20 Otros filtros contienen una resina de intercambio iónico catiónica de ácido débil (WAC) como material de intercambio catiónico. Estos filtros intercambian la dureza por protones. Esto significa que el ablandamiento del agua viene acompañado de una caída del pH del agua tratada.

25 Cada material de intercambio catiónico tiene una capacidad definida que se corresponde con la cantidad de cationes que se pueden intercambiar por dureza. El volumen de agua que se puede tratar con el filtro antes de que este último se gaste y sea necesario sustituirlo depende de la composición del agua tratada. Por motivos evidentes, resulta ventajoso disponer de un indicador para el estado de agotamiento del filtro.

30 Típicamente, los criterios utilizados para determinar el estado de agotamiento de un filtro son el valor del pH de una corriente de agua después de su tratamiento mediante el filtro que comprende el material de intercambio catiónico. La protección contra incrustaciones calcáreas suele quedar garantizada por debajo de un valor del pH de 6.8. Cuando la tasa de agotamiento del filtro ha avanzado hasta un punto en el que el pH supera un valor de 6.8, es necesario sustituir el filtro.

35 Por diversos motivos, la determinación directa del valor del pH de la corriente de agua después del tratamiento no constituye una elección óptima para determinar el estado de agotamiento. Uno de los factores es el coste de las mediciones del pH. Otro de los factores es el hecho de que un sensor de pH requiere calibraciones frecuentes. La solución óptima debería ser rentable y autónoma.

40 En las publicaciones EP 2481713 A1 y DE 102010003636 A1, se puede encontrar otro método para determinar el estado de agotamiento de un filtro.

45 En el documento EP 2481713 A1 un primer sensor se coloca antes del filtro y mide la conductividad eléctrica del agua no tratada. El filtro se hace funcionar en modo Na^+ . Un segundo sensor se posiciona aguas abajo del filtro y mide la conductividad eléctrica del agua que ha pasado por el filtro. A partir de las conductividades medidas, se determina la dureza del agua no tratada y del agua filtrada. Cuando la dureza determinada del agua filtrada supera un valor de umbral, se indica una regeneración o cambio del filtro.

50 Por analogía con la publicación EP 2481713 A1, en el documento DE 102010003636 A1 se usan mediciones de la conductividad eléctrica para determinar la dureza de agua no tratada y agua filtrada. La dureza del agua se deduce a partir de la conductividad eléctrica medida usando un factor de conversión. Se indica agotamiento del filtro cuando la dureza específica del agua ablandada supera un valor de umbral.

55 La publicación EP 3034474A1 da a conocer un sistema de ablandamiento del agua con un primer lecho de medio de tratamiento líquido que incluye resina de intercambio catiónico funcionando en modo H^+ y que también se puede tamponar con una sal potásica o una sal sódica. Este documento da a conocer también la determinación de la conductividad eléctrica del agua ablandada con un sensor de conductividad para determinar la reducción de la dureza de carbonatos y, de este modo, la cantidad de CO_2 libre generada.

60 La presente invención se basa en el objetivo de proporcionar una solución técnica al problema descrito de indicar el estado de agotamiento de un filtro para un proceso de ablandamiento del agua.

65 Este objetivo se alcanza con el dispositivo de ablandamiento de agua que tiene las características de la reivindicación 1 y con el método para hacer funcionar un dispositivo de ablandamiento de agua que tiene las características de la reivindicación 10. En las reivindicaciones dependientes 2 a 9 se especifican formas de realización preferidas del dispositivo. En las reivindicaciones dependientes 11 a 14 se especifican formas de realización preferidas del método.

La presente invención se basa en la comprensión de que el resultado de mediciones de propiedades eléctricas del agua que se hace pasar a través de un filtro que comprende un material de intercambio catiónico puede servir como indicador para el estado de agotamiento del filtro. En comparación con la determinación directa de valores del pH, las mediciones de la conductividad eléctrica son ventajosas. El coste de los sensores para las mediciones de propiedades eléctricas, incluida la electrónica necesaria para hacerlos funcionar, es considerablemente inferior al correspondiente para los equipos necesarios para mediciones del pH. Adicionalmente, los sensores para las mediciones de propiedades eléctricas suelen requerir solamente una única calibración.

Un dispositivo de ablandamiento de agua según la invención comprende

- un filtro que está configurado para reducir la dureza de una primera corriente de agua no tratada con el fin de producir una segunda corriente de agua con dureza reducida,
- un primer sensor configurado para medir una conductividad eléctrica y/o una resistencia eléctrica de la primera corriente, y
- un segundo sensor configurado para medir una conductividad eléctrica y/o una resistencia eléctrica de la segunda corriente,

en el que

- el filtro comprende una resina de intercambio iónico que se hace funcionar en modo H^+ , y
- la resina de intercambio iónico está tamponada, y
- la resina de intercambio iónico está tamponada con por lo menos una sal seleccionada de entre el grupo de una sal potásica (K^+), una sal sódica (Na^+) y una sal de litio (Li^+).

El dispositivo de ablandamiento de agua puede comprender, además, un tercer sensor para detectar un flujo de agua a través del filtro. No obstante, esta característica es opcional.

El dispositivo comprende una unidad de control electrónica que está conectada al primer sensor, al segundo sensor y, opcionalmente, si el dispositivo comprende el tercer sensor, al tercer sensor, y que comprende una memoria de datos interna y una unidad de procesamiento de datos.

Además, el dispositivo está configurado para determinar una relación entre la conductividad eléctrica medida y/o de la segunda corriente y la conductividad y/o resistencia eléctricas medidas de la primera corriente y usar la relación como indicador para el estado de agotamiento del filtro.

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

- El dispositivo comprende una unidad de base.
- El primer sensor, el segundo sensor y, opcionalmente, si el dispositivo comprende el tercer sensor, también el tercer sensor, son partes integrantes de la unidad de base.
- El filtro está configurado como filtro recambiable que es conectable de manera separable a la unidad de base.

De este modo, se prefiere que el dispositivo tenga un diseño modular. La unidad de base puede comprender todos los componentes que no se gastan durante el funcionamiento. El filtro puede comprender únicamente un material de intercambio catiónico que está sujeto a agotamiento durante el funcionamiento del dispositivo. Cuando se produce su agotamiento, el filtro se puede sustituir. En contraposición con esto, la unidad de base es reutilizable.

En otras formas de realización preferidas, el dispositivo de ablandamiento de agua puede caracterizarse por al menos una de las siguientes características adicionales:

- La unidad de base y el filtro están conectados mediante una conexión roscada.
- El filtro comprende una entrada para la primera corriente y una salida para la segunda corriente.
- La unidad de base comprende una línea de entrada para la primera corriente y una línea de salida para la segunda corriente.
- La línea de entrada de la unidad de base está acoplada a la entrada del filtro y la línea de salida de la unidad

de base está acoplada a la salida del filtro.

Una conexión roscada puede proporcionar una conexión muy fiable y a prueba de fugas entre la unidad de base y el filtro. Se prefiere que el filtro comprenda una parte de abertura con una rosca externa mientras que la unidad de base comprende un receptáculo para el filtro con una rosca interna, en donde la forma y las dimensiones de las roscas coinciden entre sí. La abertura proporciona acceso a la entrada del filtro para la primera corriente y a la salida para la segunda corriente. El receptáculo comprende un acceso a la línea de salida de la unidad de base. Adicionalmente, la línea de entrada de la unidad de base se abre al receptáculo. Preferentemente, la abertura y el receptáculo están interrelacionados y ajustados entre sí de tal manera que la línea de entrada de la unidad de base está acoplada a la entrada del filtro y la línea de salida de la unidad de base está acoplada a la salida del filtro cuando la parte de abertura con la rosca externa está enroscada en el receptáculo.

Para proporcionar impenetrabilidad ante fugas, puede preferirse que uno o más compuestos de sellado, en particular una o más juntas tóricas, estén dispuestos en la interfaz entre el filtro y la unidad de base.

Evidentemente, también sería posible conectar la unidad de base y el filtro con otros medios técnicos, por ejemplo con una simple conexión por encaje con clic.

En otras formas de realización preferidas, el dispositivo de ablandamiento de agua puede caracterizarse por al menos una de las siguientes características adicionales:

- El primer sensor está configurado como una celda electrolítica capaz de aplicar una corriente eléctrica a la primera corriente.
- El segundo sensor está configurado como una celda electrolítica capaz de aplicar una corriente eléctrica a la segunda corriente.
- El primer sensor está posicionado dentro de la línea de entrada de la unidad de base o en un acceso de la línea de entrada de la unidad de base.
- El segundo sensor está posicionado dentro de la línea de salida de la unidad de base o en una entrada de la línea de salida de la unidad de base.
- El tercer sensor opcional, si hay presencia del mismo, está posicionado dentro de la línea de entrada de la unidad de base o en un acceso de la línea de entrada de la unidad de base o dentro de la línea de salida de la unidad de base o en un acceso de la línea de salida de la unidad de base.

En general, se prefiere que el primer sensor y el segundo sensor estén configurados para medir una conductividad eléctrica. Los sensores adecuados para medir la conductividad eléctrica del agua, en particular las celdas electrolíticas adecuadas para medir la conductividad eléctrica del agua, son conocidos para aquellos versados en la materia y no requieren de explicaciones adicionales.

En otras formas de realización preferidas, el dispositivo de ablandamiento de agua puede caracterizarse por la siguiente característica adicional:

- La unidad de control electrónica es parte integrante de la unidad de base.

Preferentemente, la unidad de control electrónica y todos los sensores son partes integrantes de la unidad de base.

En otras formas de realización preferidas, el dispositivo de ablandamiento de agua puede caracterizarse por al menos una de las siguientes características adicionales:

- El filtro comprende un cartucho en el que está contenida la resina de intercambio iónico, en donde el cartucho consiste preferentemente en plástico.
- La resina de intercambio iónico es una resina de intercambio iónico catiónica de ácido débil (resina WAC).

Se prefiere particularmente que la resina de intercambio iónico sea una resina WAC tamponada, en particular una resina WAC tamponada con por lo menos una sal seleccionada de entre el grupo de una sal potásica (K^+), una sal sódica (Na^+) y una sal de litio (Li^+). Si la resina WAC está tamponada, contiene - aparte de iones H^+ - una cantidad de cationes metálicos, en particular K^+ , Na^+ y/o Li^+ .

En otras formas de realización preferidas, el dispositivo de ablandamiento de agua puede caracterizarse por al menos una de las siguientes características adicionales:

- El dispositivo comprende una línea de derivación para mezclar la segunda corriente con agua de la primera

corriente.

- La línea de derivación conecta la línea de entrada de la unidad de base con la línea de salida de la unidad de base.
- La línea de derivación comprende una válvula para regular la cantidad de agua de la primera corriente mezclada en la segunda corriente.
- La línea de derivación está integrada en la unidad de base.

Mediante la línea de derivación, la segunda corriente se puede mezclar con agua de la primera corriente. Esto puede llegar a ser útil si, por ejemplo, como consecuencia del tratamiento con el dispositivo de ablandamiento de agua, el pH de la segunda corriente cae demasiado.

En otras formas de realización preferidas, el dispositivo de ablandamiento de agua puede caracterizarse por al menos una de las siguientes características adicionales:

- El dispositivo comprende un indicador de sustitución de filtro configurado para indicar que el filtro ha llegado al final de su vida útil o está cerca del final de su vida útil.
- El indicador de sustitución es un dispositivo de señalización óptica y/o un dispositivo acústico.
- El indicador de sustitución de filtro es una parte integrante de la unidad de base.
- El indicador de sustitución de filtro está conectado a la unidad de control electrónica.
- La unidad de control electrónica está configurada para activar el indicador de sustitución de manera que emita una señal de aviso en función de propiedades eléctricas de la primera y la segunda corriente medidas por el primer y el segundo sensor.

Se prefiere que el dispositivo se caracterice por una combinación de todas estas características. Un dispositivo de este tipo no solamente es capaz de determinar el estado de agotamiento de un filtro. Es capaz, además, de emitir una señal de aviso para proporcionar información al operario de que el filtro está llegando al final de su vida útil y será necesario sustituirlo pronto.

En otras formas de realización preferidas, el dispositivo de ablandamiento de agua puede caracterizarse por al menos una de las siguientes características adicionales:

- El dispositivo comprende una montura para la instalación estacionaria de la unidad de base.
- La montura comprende uno o más orificios y está conectada o es conectable a la unidad de base.

Es posible posicionar la unidad de base en una posición estacionaria, fija, por medio de la montura. Durante el funcionamiento hay que cambiar únicamente el filtro.

El método según la invención es un método para hacer funcionar un dispositivo de ablandamiento de agua. Preferentemente, el dispositivo que se hace funcionar según este método es un dispositivo como el descrito anteriormente. Comprende las etapas de

- hacer pasar una primera corriente de agua no tratada a través de un filtro que está configurado para reducir la dureza de la corriente con el fin de producir una segunda corriente de agua con dureza reducida,
- medir una conductividad eléctrica o una resistencia eléctrica de la primera corriente con un primer sensor,
- medir una conductividad eléctrica o una resistencia eléctrica de la segunda corriente con un segundo sensor,
- determinar una relación entre la propiedad eléctrica medida de la segunda corriente y la propiedad eléctrica medida de la primera corriente y
- utilizar la relación como indicador para el estado de agotamiento del filtro,

en el que

- el filtro comprende una resina de intercambio iónico que se hace funcionar en modo H^+ , y

la resina de intercambio iónico se tampona con por lo menos una sal seleccionada del grupo de una sal potásica (K+), una sal sódica (Na+) y una sal de litio (Li+).

5 Preferentemente, la medición de las propiedades eléctricas de la primera y la segunda corriente se logran simultáneamente o con un retardo definido.

En una forma de realización preferida, el método puede caracterizarse por la siguiente característica adicional:

- 10
- La relación es la relación entre la conductividad eléctrica de la segunda corriente y la conductividad eléctrica de la primera corriente.

15 En la práctica, también sería posible formar una relación entre la conductividad eléctrica de la primera corriente y la conductividad eléctrica de la segunda corriente (y no viceversa, a saber, entre la conductividad eléctrica de la segunda corriente y la conductividad eléctrica de la primera corriente). En realidad, en ambos casos se obtiene una relación que puede utilizarse como indicador para el estado de agotamiento del filtro.

En otras formas de realización preferidas, el método puede caracterizarse por las siguientes características y/o etapas adicionales:

- 20
- Se efectúa una secuencia de mediciones de las conductividades eléctricas de la primera y la segunda corriente.
 - A partir de los resultados de cada una de las mediciones, se determina la relación entre la conductividad eléctrica de la segunda corriente y la conductividad eléctrica de la primera corriente, obteniéndose así una

25

 - secuencia de relaciones.
 - Se determina la relación más baja ratio_min.
 - Se determina un valor de umbral ratio_exhaust en función de ratio_min.

30

El valor de umbral ratio_exhaust se corresponde con un valor de pH en el que es necesario sustituir el filtro. Tal como se mencionado inicialmente, esto suele ser así en un valor de pH de 6.8. De este modo, en este caso ratio_exhaust también podría denominarse ratio_6.8.

35 En otras formas de realización preferidas, el método puede caracterizarse por al menos una de las siguientes etapas adicionales:

- Se calcula un valor de umbral ratio_exhaust según la fórmula

40

$$\text{ratio_exhaust} = a * \text{ratio_min} + b,$$

en donde a y b son variables cuyos valores dependen del tipo, la preparación y la cantidad de la resina de intercambio iónico tamponada y de las propiedades de la primera corriente de agua no tratada.

- 45
- Se calcula un valor de umbral ratio_exhaust según la fórmula

$$\text{ratio_exhaust} = a * (\text{ratio_min})^2 + b * \text{ratio_min} + c,$$

50 en donde a y b y c son variables cuyos valores dependen del tipo, la preparación y la cantidad de la resina de intercambio iónico tamponada y de las propiedades de la primera corriente de agua no tratada.

En otras formas de realización preferidas, el método puede caracterizarse por al menos una de las siguientes características y/o etapas adicionales:

- 55
- El valor de umbral ratio_warning es un valor predeterminado.
 - El valor de umbral ratio_warning se calcula a partir de datos obtenidos mediante las mediciones de las propiedades eléctricas de la primera y la segunda corriente.
- 60
- El valor de umbral ratio_warning se calcula a partir de la relación entre la conductividad eléctrica de la segunda corriente y la conductividad eléctrica de la primera corriente.
 - El valor de umbral ratio_warning se determina en función de ratio_exhaust.

Descripción más detallada de la invención / ejemplo de funcionamiento

A partir de las figuras y de la siguiente descripción detallada de formas de realización preferidas pueden deducirse otras características y ventajas de la invención. Las formas de realización preferidas descritas tienen meramente fines ilustrativos y están destinadas a proporcionar una mejor comprensión de la invención sin imponer en modo alguno limitaciones.

La figura 1 ilustra el proceso general de intercambio iónico durante el funcionamiento de un dispositivo de ablandamiento de agua que contiene un filtro que comprende una resina WAC no tamponada.

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

La figura 3 ilustra el cambio de concentración de las especies iónicas Ca^{2+} , Na^+ y HCO_3^- en una corriente de agua que se hace pasar a través de un filtro que contiene una resina WAC tamponada con una sal sódica en función del volumen que se hace pasar a través del filtro.

La figura 4 ilustra el cambio de pH de agua que se hace pasar a través de un filtro que contiene una resina WAC tamponada con una sal sódica en función del volumen que se hace pasar a través del filtro.

La figura 5 ilustra el cambio de la conductividad eléctrica de agua que se hace pasar a través de un filtro que contiene una resina WAC tamponada con una sal sódica en función del volumen que se hace pasar a través del filtro.

La figura 6 ilustra los cambios de ratio_min y de ratio_6.8 en función de la relación TH / Alk.

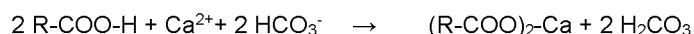
La figura 7 ilustra la relación lineal entre la ratio_min y la ratio_6.8.

La figura 8 ilustra la relación entre la ratio_min, la ratio_warning y la ratio_6.8.

La figura 9 es una sección transversal de otra forma de realización preferida de un dispositivo de ablandamiento de agua según la invención (ilustración esquemática).

(1) Proceso general de intercambio iónico con una resina WAC

Para la mayoría de las aguas naturales que se encuentran, la dureza total TH (TH se corresponde con la suma de las concentraciones de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} en el agua: $\text{TH} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$) es superior a la alcalinidad Alk. (la alcalinidad es proporcional a la concentración de iones HCO_3^- : $\text{Alk.} \sim [\text{HCO}_3^-]$), de manera que la relación TH / Alcalinidad > 1. Esta agua tratada sobre un lecho de resina WAC que se hace funcionar en modalidad H^+ , reaccionaría de la siguiente manera:



Los iones H^+ fijados en la resina WAC se intercambian por dureza (Ca^{2+} y Mg^{2+}). Los iones H^+ aportados por la resina reaccionarán a continuación con la alcalinidad (HCO_3^-) para transformarse en CO_2 (H_2CO_3). En otras palabras, la dureza se intercambiará hasta la concentración de alcalinidad.

El proceso, también conocido como proceso de desalcalinización, se ilustra cuantitativamente en la figura 1. Está gobernado por la relación de TH con respecto a Alk. Para evitar que el pH del agua tratada caiga a un valor demasiado bajo, es posible, en ocasiones incluso aconsejable, mezclar el agua tratada con un porcentaje definido del agua no tratada (por ejemplo, del 10 al 70 %). El ajuste de la derivación suele ser una consecuencia de la composición del agua no tratada que gobierna la reacción de la resina WAC y la composición del agua tratada.

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

El dispositivo 100 mostrado en la figura 2 comprende una línea de entrada 101 para una primera corriente de agua no tratada. En la unión 102, la primera corriente de agua no tratada se divide en dos corrientes parciales. Una de las corrientes parciales se conduce mediante la línea 104 al filtro 105. La otra corriente parcial fluye a través de la línea de derivación 103. La relación entre las dos corrientes parciales se regula por medio de la válvula 112.

El filtro 105 contiene un lecho de resina WAC que se hace funcionar en modalidad H^+ . Cuando fluye agua a través del filtro 105, iones H^+ fijados en la resina WAC se intercambian por dureza. En la unión 106, agua que ha salido del filtro 105 se puede mezclar con agua no tratada de la línea de derivación 103. Mediante la línea de salida 107 el agua puede salir del dispositivo 100.

El dispositivo 100 comprende dos sensores 109 y 110 para medir la conductividad eléctrica del agua que fluye a

través del dispositivo. El sensor 109 está posicionado en la línea de entrada 101. El sensor 110 está posicionado en la línea de salida 107. Además de esto, el dispositivo 100 comprende un sensor 108 para detectar un flujo de agua a través del filtro 105. El sensor 108 proporciona información sobre la presencia de un flujo de agua a través del filtro 105. Los sensores 108 a 110 están conectados a la unidad de control electrónica 111.

Con la ayuda de los sensores 109 y 110, es posible determinar una relación entre la conductividad eléctrica de agua ablandada que se ha tratado al menos parcialmente en el filtro 105 y la conductividad eléctrica del agua no tratada. Después de cada cambio del filtro 105, se requiere un cierto tiempo para estabilizar las mediciones de conductividad. A continuación se determina la relación. Se ha observado (véase más adelante) que, monitorizando esta relación, es posible identificar un valor de la relación de conductividad que se corresponde con un cierto valor del pH. Habitualmente, un filtro que contiene una resina WAC debería sustituirse cuando el valor del pH del agua tratada llega a 6.8.

En el comienzo de la vida útil del filtro 105, la relación de conductividad se reducirá hasta llegar a un mínimo, si el filtro 105 contiene una resina WAC tamponada. Después de este mínimo, la relación de conductividad comenzará a aumentar hasta el final de la vida útil del filtro 105.

(3) Ejemplo de una determinación de una relación entre la conductividad eléctrica del agua no tratada y la conductividad eléctrica de agua ablandada

En la figura 1, se ilustró el principio de funcionamiento de un lecho de resina WAC que se hace funcionar en modalidad H⁺. Para evitar que el pH del agua tratada caiga a un valor demasiado bajo especialmente en el comienzo del ciclo, además de la derivación, la resina de intercambio iónico se puede tamponar con una sal adicional que podría ser cualquier ion que presentase una selectividad inferior a la de los iones que se van a intercambiar. Habitualmente, se prefieren K⁺, Na⁺ y/o Li⁺. En el presente caso se utiliza preferentemente una resina de intercambio iónico tamponada con Na⁺. La cantidad de sodio para esta aplicación podría situarse en el intervalo de 0.1 mol a 1.0 mol de sodio por litro de resina de intercambio iónico.

La resina de intercambio iónico presenta diferentes selectividades para los diferentes iones presentes en la solución. Para una resina WAC, la selectividad suele ser la siguiente:



Esto significa que para una resina WAC regenerada en modalidad H⁺ y tamponada con cualquier sal adicional con una selectividad inferior a la de los iones que se van a intercambiar (por ejemplo: tampón de Na⁺ para la eliminación de Ca²⁺ y Mg²⁺), la dureza se intercambiaría preferentemente por el ion de tamponamiento Na⁺, debido a la selectividad de la resina. Cuando se intercambian los iones de tamponamiento disponibles Na⁺, se produce el proceso de desalcalinización convencional. Los Ca²⁺ y Mg²⁺ se intercambian por H⁺ que reaccionará con la alcalinidad para transformarse en CO₂. La liberación de los iones de tamponamiento (ej.: Na⁺) conduce a una liberación de H⁺ más suave en el comienzo del ciclo lo que contribuye a evitar que el pH caiga a un valor inferior.

En el comienzo del ciclo, la resina WAC intercambiará en su mayor parte el ion de tamponamiento (ej.: Na⁺) por Ca²⁺ y Mg²⁺ aunque también por H⁺ como se ha descrito anteriormente. En la medida en la que aumente la cantidad de agua que se hace pasar a través del filtro, se reducirá la cantidad de iones de tamponamiento (ej.: Na⁺) intercambiados por Ca²⁺ y Mg²⁺, mientras que la cantidad de H⁺ aumentará. Esto conducirá a una reducción del pH en el comienzo del ciclo, limitada por la liberación de los iones del tampón. Puesto que una parte de la alcalinidad se transformará en CO₂, también se reducirá la concentración de HCO₃⁻. Al mismo tiempo, la dureza por fugas comenzará a aumentar de manera correspondiente.

Una vez que se han liberado todos los iones del tampón cargado, se produce una inflexión de las curvas. El pH comenzará a aumentar hasta el agotamiento completo del filtro. Esto significa que, en el comienzo del ciclo, el pH pasará por un valor mínimo (ratio_min) y a continuación aumentará hasta llegar a la relación correspondiente a un pH de 6.8 (ratio_6.8 ó ratio_exchange, compárese con lo visto anteriormente), es decir los criterios de sustitución del filtro.

Se han llevado a cabo experimentos con un filtro que contenía una resina WAC tamponada con Na⁺ de 0.1 a 1.0 mol por litro de resina. Se ha hecho pasar una corriente de agua no tratada a través del filtro. Se analizó la composición del agua no tratada en la entrada del filtro:

T	=	20 °C
pH	=	7.68
Alcalinidad	=	4.77 meq/l
Ca ²⁺	=	4.70 meq/l
Mg ²⁺	=	0.41 meq/l
Na ⁺	=	0.17 meq/l
K ⁺	=	0.05 meq/l

NO_3^-	=	0.25	meq/l
Cl^-	=	0.25	meq/l
SO_4^{2-}	=	0.36	meq/l

5 En el experimento el filtro se llevó hasta el agotamiento completo. Se hizo pasar una corriente de agua a través del filtro hasta que la composición del agua de salida resultó similar a la composición de entrada. La conductividad eléctrica de la corriente de agua se monitorizó de manera continua en la entrada del filtro y en la salida.

10 La figura 3 ilustra el cambio de concentración de las especies iónicas Ca^{2+} , Na^+ y HCO_3^- en la corriente de agua que se hizo pasar a través del filtro. La figura 4 ilustra el cambio del pH del agua que se hizo pasar a través del filtro. La figura 5 ilustra el cambio de la relación de la conductividad eléctrica del agua que se hizo pasar a través del filtro y la conductividad eléctrica del agua no tratada.

15 A partir de las tres curvas de las figuras 3 a 5 se pone de manifiesto que la concentración de HCO_3^- , el pH y la relación de las conductividades eléctricas siguen la misma evolución. De hecho, la concentración de HCO_3^- , el pH y la relación están vinculados entre sí. En el experimento, la conductividad del agua no tratada fue estable. Como consecuencia, la relación sigue la evolución de la conductividad de salida. La conductividad eléctrica es proporcional a la concentración de HCO_3^- la cual está vinculada directamente con el pH y la alcalinidad según el equilibrio calcicarbónico.

20 Según la curva de la figura 4, el volumen correspondiente a un pH de 6.8 es aproximadamente 750 litros. Según la curva de la figura 5, la relación correspondiente a un volumen de 750 litros es aproximadamente 0.85. La combinación de esta información conduce a la conclusión de que un pH de 6.8 se corresponde con una relación de 0.85. Por este motivo a esta relación se le denomina ratio_6.8. Además, a partir de la curva de la figura 5 es posible extraer la relación más baja, ratio_min, que en este caso tiene un valor de 0.64.

25 Existe una vinculación directa entre la ratio_min y la ratio_6.8. Para demostrar la relación entre ambas, un filtro se sometió a prueba con diferentes composiciones de agua (relación TH / Alk.). El filtro utilizado para las pruebas presentaba una cantidad dada fija de resina de intercambio iónico WAC. La resina se acondicionó siempre de la misma manera, utilizando Na^+ como tampón, siempre con la misma cantidad situada entre 0.1 y 1.0 mol de Na^+ por litro de resina. La derivación se ajustó del 10 al 70 % según la alcalinidad del agua.

30 Los resultados se ilustran en la figura 6 con los valores de ratio_min y ratio_6.8 para las diferentes composiciones de agua, proporcionados en función de la relación TH / Alk. Para las diferentes composiciones de agua sometidas a prueba, la ratio_min y la ratio_6.8 fueron lineales en función de la relación TH/Alk. Ratio_min y ratio_6.8 dependen de la resina de intercambio iónico WAC utilizada, de su capacidad y de la cantidad de tampón cargado (en este caso Na^+), así como de la composición del agua no tratada, especialmente de la relación TH / Alk.

35 Esto significa que, para un tipo dado de resina WAC, la misma cantidad de un tampón cargado en la resina en comparación con el regenerante principal H^+ y la misma composición de agua, la ratio_min y la ratio_6.8 siempre pasarán por los mismos valores.

40 El hecho de que tanto la ratio_min como la ratio_6.8 sean lineales con respecto a la relación TH / Alk. en el intervalo considerado conduce a la conclusión de que existe también una relación lineal entre la ratio_min y la ratio_6.8. Esto se ilustra con la curva mostrada en la figura 7.

45 Conclusión: Para un tamaño de filtro dado, en donde se utilice siempre la misma cantidad de resina de intercambio iónico WAC acondicionada de la misma manera, la ratio_6.8 correspondiente al punto de agotamiento es lineal con respecto al ratio_min. Esta curva es característica para un tipo de filtro definido y se puede usar como criterios de agotamiento. En el presente caso, los criterios de agotamiento son:

$$\text{Ratio}_{6.8} = 0.6839 * \text{ratio}_{\text{min}} + 0.4157$$

50 Por tanto, una vez que se conoce la ratio_min, es posible calcular el valor de la ratio_6.8 a partir de esta ecuación, que se corresponde con el punto en el que será necesario sustituir el filtro. Los criterios de agotamiento permiten obtener la correlación entre el pH de salida en el que es necesario sustituir el filtro y la relación de conductividad en la salida con respecto a la entrada.

55 Considerando el ejemplo descrito, en la curva de la figura 5 la relación llega a su mínimo en un valor de 0.64, con lo que ratio_min = 0.64. Ratio_6.8 se puede determinar como:

$$\text{Ratio}_{6.8} = 0.6839 * 0.64 + 0.4157 = 0.85$$

60 En este ejemplo esto significa que, cuando la relación de conductividad llegue a un valor de 0.85, el pH de salida será 6.8 y es necesario sustituir el filtro.

(4) Emisión de una señal de aviso

Una vez que se conocen la ratio_min y la ratio_6.8, un dispositivo según la invención puede configurarse para determinar una relación de aviso (ratio_warning) con el fin de proporcionar información a un usuario del dispositivo de que el filtro está llegando al final de su vida útil y será necesario sustituirlo pronto. La ratio_warning se calcula de la siguiente manera a partir del Δ de relación entre la ratio_6.8 y la ratio_min:

$$\Delta \text{ de relación de 6.8 a min} = \text{ratio_6.8} - \text{ratio_min}$$

$$\text{Ratio_warning} = \text{ratio_6.8} - 0.1 * \Delta \text{ de relación de 6.8 a min}$$

Considerando el ejemplo antes descrito, la ratio_warning es:

$$\text{Ratio_warning} = 0.85 - 0.2 * (0.85 - 0.64) = 0.81$$

En formas de realización preferidas el dispositivo según la invención comprende tres LED (verde, naranja y rojo) como dispositivos de señalización óptica. La iluminación de los LEDs se controla de la siguiente manera:

- Verde encendido: ratio_actual < ratio_warning
- Naranja encendido: ratio_warning < ratio_actual < ratio_6.8
- Rojo encendido: ratio_actual > ratio_6.8

Con los LEDs es posible proporcionar un aviso antes del agotamiento del filtro para informar al usuario de que el filtro se encuentra en el final de su vida útil.

En la figura 8 se ilustra la relación entre la ratio_min, la ratio_warning y la ratio_6.8.

(5) Otra forma de realización preferida de un dispositivo de ablandamiento de agua según la invención.

El dispositivo 100 mostrado en la figura 9 comprende una unidad de base 115 y un filtro recambiable 105. La unidad de base 115 y el filtro 105 están conectados mediante una conexión roscada. Con esta finalidad el filtro comprende una rosca externa 117 y la unidad de base comprende una rosca interna 118. Para proporcionar impenetrabilidad ante fugas, las juntas tóricas 113 y 114 están dispuestas en una interfaz entre el filtro 105 y la unidad de base 115.

La unidad de base comprende una línea de entrada 101 para una primera corriente de agua no tratada, una línea de salida 107 para una segunda corriente de agua con dureza reducida que sale del filtro 105 y una línea de derivación 103. En la unión 102, la primera corriente de agua no tratada se divide en dos corrientes parciales. Una de las corrientes parciales se conduce mediante la línea 104 al filtro 105. La otra corriente parcial fluye a través de la línea de derivación 103. La relación entre las dos corrientes parciales se puede regular por medio de la válvula 112. En la unión 106, agua que ha salido del filtro 105 se puede mezclar con agua no tratada de la línea de derivación 103. Mediante la línea de salida 107, el agua puede salir del dispositivo 100. Se utilizan flechas para ilustrar las direcciones en las que fluyen las corrientes de agua dentro del dispositivo.

El filtro 105 comprende una entrada 105a para la primera corriente de agua no tratada y una salida 105b para la segunda corriente de agua con dureza reducida. La línea de entrada 101 de la unidad de base 115 está acoplada a la entrada 105a del filtro 105 y la línea de salida 107 de la unidad de base 115 está acoplada a la salida 105b del filtro 105.

El filtro 105 contiene una resina WAC 105d que se hace funcionar en modalidad H^+ y tamponada con Na^+ . La resina WAC 105d está contenida en un cartucho 105c. Cuando fluye agua a través del filtro 105, iones Na^+ e iones H^+ fijados en la resina WAC 105d se intercambian por dureza. En un inicio, se intercambian principalmente iones Na^+ . Posteriormente, la salida de iones H^+ aumenta y la salida de iones Na^+ se reduce.

El dispositivo 100 comprende dos sensores 109 y 110 para medir la conductividad eléctrica del agua que fluye a través del dispositivo. El sensor 109 está posicionado en la línea de salida 107. El sensor 110 está posicionado en la línea de entrada 101. Además de esto, el dispositivo 100 comprende un sensor 108 para detectar un flujo de agua a través del filtro 105. El sensor 108 proporciona información sobre la presencia de un flujo de agua a través del filtro 105. Los sensores 108 a 110 están conectados a una unidad de control electrónica 111, como se muestra en la figura 2. La unidad de control electrónica no es visible en la sección transversal mostrada en la figura 9.

El dispositivo 100 comprende, además, 3 LEDs 116 como indicador de sustitución de filtro. Con la ayuda de los LEDs 116 es posible proporcionar un primer aviso antes del agotamiento del filtro para informar al usuario de que el filtro se encuentra en el final de su vida útil y un segundo aviso cuando el filtro se ha gastado, como ya se ha descrito anteriormente.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de ablandamiento de agua (100), que comprende

- a. un filtro (105) que está configurado para reducir la dureza de una primera corriente de agua no tratada para producir una segunda corriente de agua con dureza reducida,
- b. un primer sensor (109) configurado para medir una conductividad eléctrica y/o una resistencia eléctrica de la primera corriente,
- c. un segundo sensor (110) configurado para medir una conductividad eléctrica y/o una resistencia eléctrica de la segunda corriente, y
- d. opcionalmente un tercer sensor (108) para detectar un flujo de agua a través del filtro (105),
en el que
- e. el filtro (105) comprende una resina de intercambio iónico (105d), que se hace funcionar en modo H^+ , y que está tamponada con por lo menos una sal seleccionada de entre el grupo de una sal potásica (K^+), una sal sódica (Na^+) y una sal de litio (Li^+),
- f. el dispositivo (100) comprende una unidad de control electrónica (111) que está conectada al primer sensor (109), al segundo sensor (110) y, opcionalmente, si el dispositivo comprende el tercer sensor, al tercer sensor (108), y que comprende una memoria de datos interna y una unidad de procesamiento de datos, y
- g. el dispositivo está configurado para determinar una relación entre la conductividad y/o resistencia eléctricas medidas de la segunda corriente y la conductividad y/o resistencia eléctricas medidas de la primera corriente y usar la relación como indicador para el estado de agotamiento del filtro (105).

2. Dispositivo de ablandamiento de agua según la reivindicación 1 con las siguientes características adicionales:

- a. El dispositivo (100) comprende una unidad de base (115).
- b. El primer sensor (109), el segundo sensor (110) y el tercer sensor (108) son partes integrantes de la unidad de base (115).
- c. El filtro (105) está configurado como filtro recambiable que es conectable de manera separable a la unidad de base (115).

3. Dispositivo de ablandamiento de agua según la reivindicación 2 con las siguientes características adicionales:

- a. La unidad de base (115) y el filtro (105) están conectados mediante una conexión roscada.
- b. El filtro (105) comprende una entrada (105a) para la primera corriente y una salida (105b) para la segunda corriente.
- c. La unidad de base (115) comprende una línea de entrada (101) para la primera corriente y una línea de salida (107) para la segunda corriente.
- d. La línea de entrada (101) de la unidad de base (115) está acoplada a la entrada (105a) del filtro (105) y la línea de salida (107) de la unidad de base (115) está acoplada a la salida (105b) del filtro (105).

4. Dispositivo de ablandamiento de agua según la reivindicación 2 o la reivindicación 3 con las siguientes características adicionales:

- a. El primer sensor (109) está configurado como una celda electrolítica capaz de aplicar una corriente eléctrica a la primera corriente.
- c. El segundo sensor (110) está configurado como una celda electrolítica capaz de aplicar una corriente eléctrica a la segunda corriente.
- d. El primer sensor (109) está posicionado dentro de la línea de entrada (101) de la unidad de base (115) o en una entrada de la línea de entrada (101) de la unidad de base (115).
- d. El segundo sensor (110) está posicionado dentro de la línea de salida (107) de la unidad de base (115) o en una entrada de la línea de salida (107) de la unidad de base (115).

5. Dispositivo de ablandamiento de agua según una de las reivindicaciones 2 a 4 con la siguiente característica adicional:

- 5 a. La unidad de control electrónica (111) es parte integrante de la unidad de base (115).

6. Dispositivo de ablandamiento de agua según una de las reivindicaciones anteriores con las siguientes características adicionales:

- 10 a. La resina de intercambio iónico (105d) está contenida en un cartucho (105c).
b. La resina de intercambio iónico (105d) es una resina de intercambio iónico catiónica de ácido débil (resina WAC).

15 7. Dispositivo de ablandamiento de agua según una de las reivindicaciones 2 a 6 con las siguientes características adicionales:

- 20 a. El dispositivo (100) comprende una línea de derivación (103) para mezclar la segunda corriente con agua de la primera corriente.
b. La línea de derivación (103) conecta la línea de entrada (101) de la unidad de base (115) con la línea de salida (107) de la unidad de base (115).
c. La línea de derivación (103) comprende una válvula (112) para regular la cantidad de agua de la primera corriente mezclada en la segunda corriente.
25 d. La línea de derivación (103) está integrada en la unidad de base (115).

30 8. Dispositivo de ablandamiento de agua según una de las reivindicaciones 2 a 7 con las siguientes características adicionales:

- a. El dispositivo (100) comprende un indicador de sustitución de filtro (116) configurado para indicar que el filtro (105) ha llegado al final de su vida útil o está cerca del final de su vida útil.
35 b. El indicador de sustitución (116) es un dispositivo de señalización óptica y/o un dispositivo acústico.
c. El indicador de sustitución de filtro (116) es parte integrante de la unidad de base (115).
d. El indicador de sustitución de filtro (116) está conectado a la unidad de control electrónica (111).
40 e. La unidad de control electrónica (111) está configurada para activar el indicador de sustitución (116) para que emita una señal de aviso en función de propiedades eléctricas de la primera y la segunda corriente medidas por el primer sensor (109) y el segundo sensor (110).

45 9. Dispositivo de ablandamiento de agua según una de las reivindicaciones 2 a 8 con las siguientes características adicionales:

- a. El dispositivo (100) comprende una montura para la instalación estacionaria de la unidad de base (115).
50 b. La montura comprende uno o más orificios y está conectada o es conectable a la unidad de base (115).

10. Método para hacer funcionar un dispositivo de ablandamiento de agua, en particular un dispositivo (100) según la reivindicación 1, que comprende las etapas de

- 55 a. hacer pasar una primera corriente de agua no tratada a través de un filtro (105) que está configurado para reducir la dureza de la corriente para producir una segunda corriente de agua con dureza reducida,
b. medir una conductividad eléctrica o una resistencia eléctrica de la primera corriente con un primer sensor (109),
60 c. medir una conductividad eléctrica o una resistencia eléctrica de la segunda corriente con un segundo sensor (110),
d. determinar una relación entre la conductividad eléctrica o resistencia eléctrica medidas de la segunda corriente y la conductividad eléctrica o resistencia eléctrica medidas de la primera corriente y
65

- e. utilizar la relación como un indicador para el estado de agotamiento del filtro (105),
en el que
- 5 f. el filtro (105) comprende una resina de intercambio iónico (105d), que se hace funcionar en modo H^+ , y
- g. el filtro (105) se tampona con por lo menos una sal seleccionada de entre el grupo de una sal potásica (K^+), una sal sódica (Na^+) y una sal de litio (Li^+),
- 10 11. Método según la reivindicación 10 con la siguiente etapa o característica adicional:
- a. La relación es la relación entre la conductividad eléctrica de la segunda corriente y la conductividad eléctrica de la primera corriente.
- 15 12. Método según la reivindicación 10 ó la reivindicación 11 con las siguientes etapas o características adicionales:
- a. Se efectúa una secuencia de mediciones de las conductividades eléctricas de la primera y la segunda corriente.
- 20 b. A partir de los resultados de cada una de las mediciones se determina la relación entre la conductividad eléctrica de la segunda corriente y la conductividad eléctrica de la primera corriente, obteniéndose así una secuencia de relaciones.
- c. Se determina la relación más baja ratio_min.
- 25 d. Se determina un valor de umbral ratio_exhaust en función de ratio_min.
13. Método según la reivindicación 12 con las siguientes etapas adicionales:
- 30 a. Se calcula un valor de umbral ratio_exhaust según la fórmula
- $$\text{ratio_exhaust} = a * \text{ratio_min} + b,$$
- en la que a y b son variables cuyos valores dependen del tipo, la preparación y la cantidad de la resina de intercambio iónico tamponada y de las propiedades de la primera corriente de agua no tratada.
- 35 b. Se calcula un valor de umbral ratio_exhaust según la fórmula
- $$\text{ratio_exhaust} = a * (\text{ratio_min})^2 + b * \text{ratio_min} + c,$$
- 40 en la que a y b y c son variables cuyos valores dependen del tipo, la preparación y la cantidad de la resina de intercambio iónico tamponada y de las propiedades de la primera corriente de agua no tratada.
- 45 14. Método según una de las reivindicaciones 10 a 13 con las siguientes etapas o características adicionales:
- a. Se emite una señal de aviso cuando la relación cruza un valor de umbral ratio_warning.
- b. El valor de umbral ratio_warning es un valor predeterminado.
- 50 c. El valor de umbral ratio_warning se calcula a partir de datos obtenidos mediante las mediciones de las propiedades eléctricas de la primera y la segunda corriente.
- d. El valor de umbral ratio_warning se calcula a partir de la relación entre la conductividad eléctrica de la segunda corriente y la conductividad eléctrica de la primera corriente.
- 55 e. El valor de umbral ratio_warning se determina en función de ratio_exhaust.

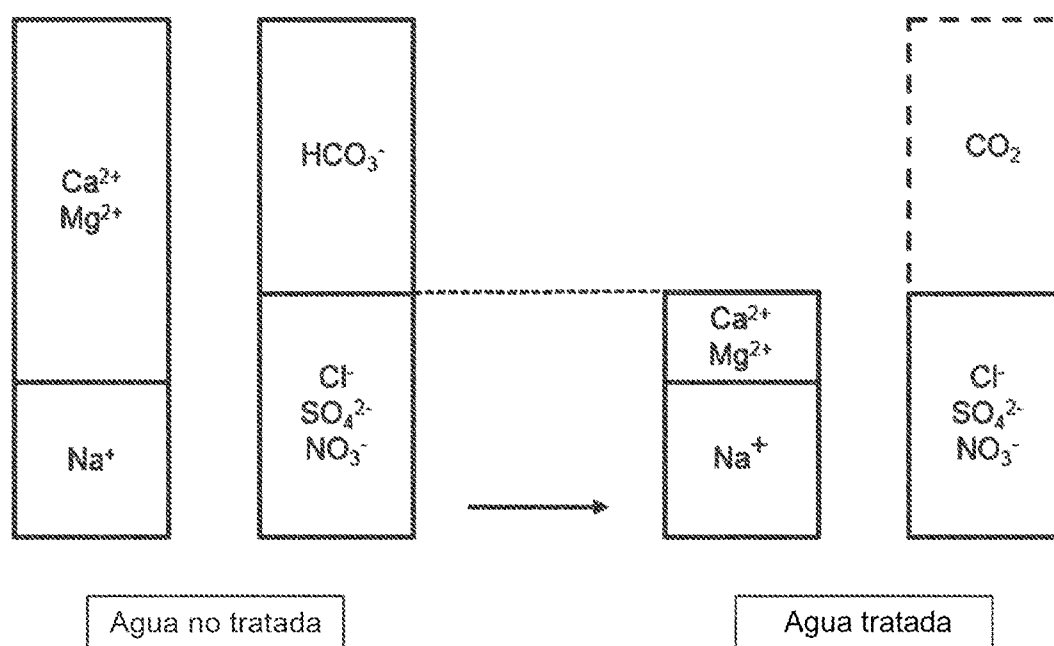


Fig. 1

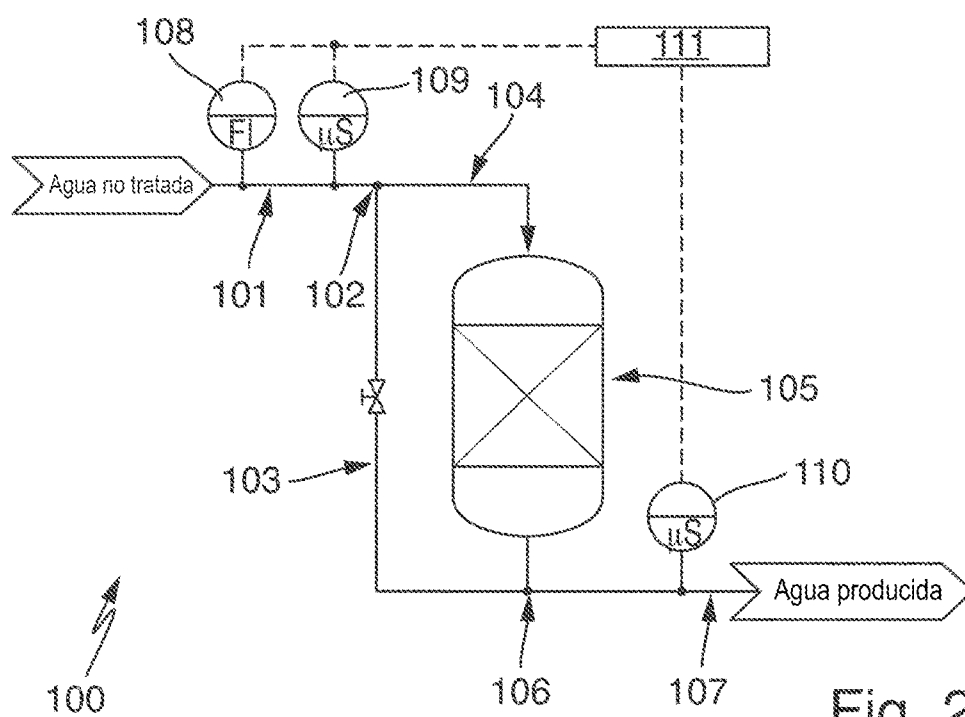


Fig. 2

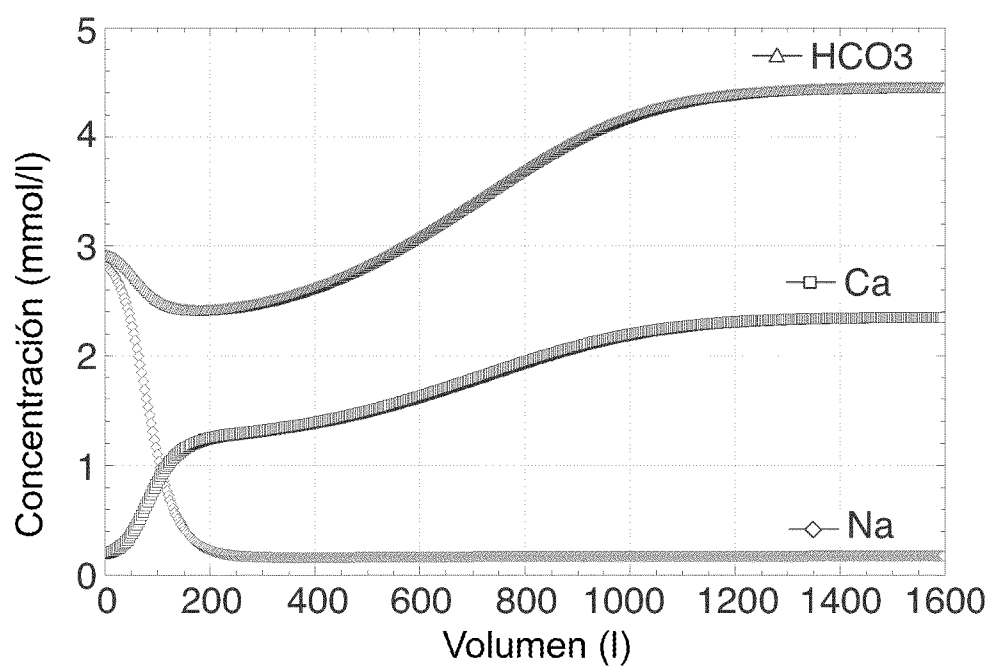


Fig. 3

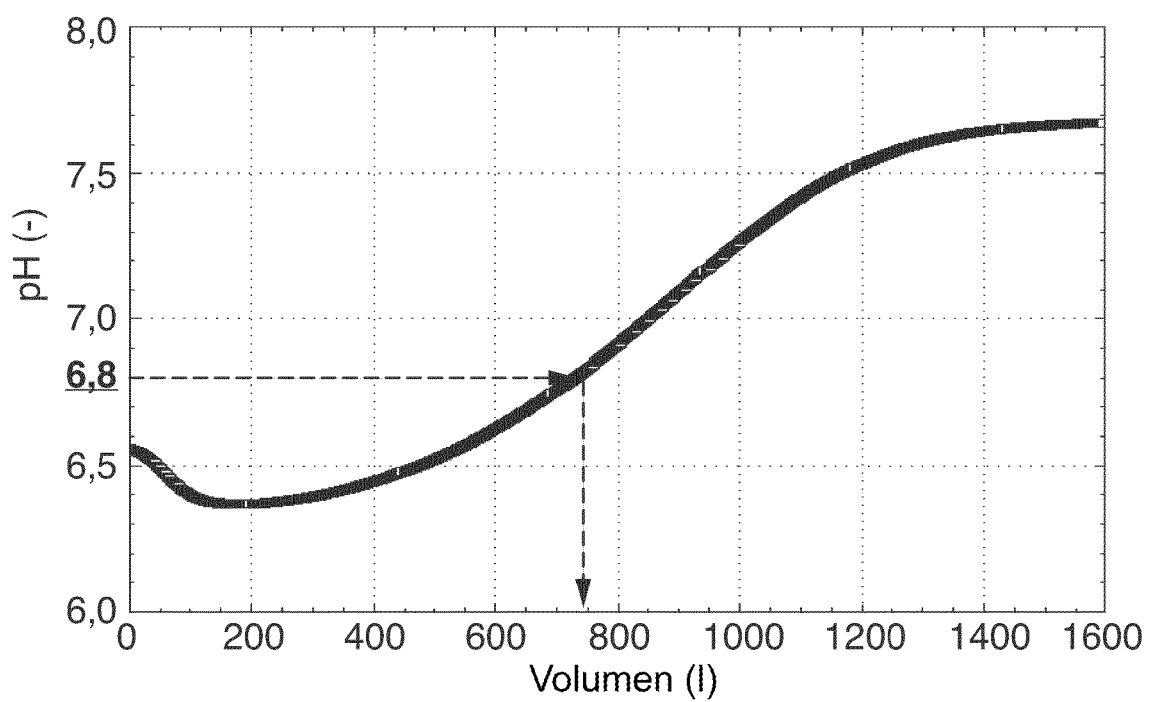


Fig. 4

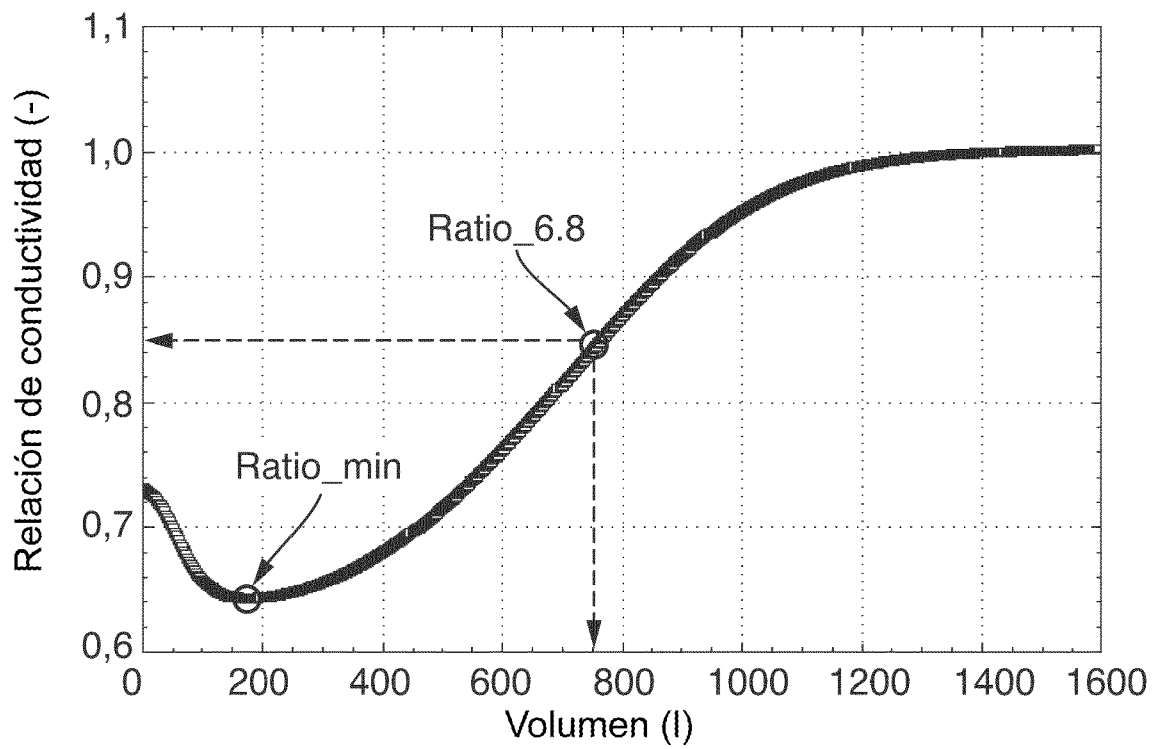


Fig. 5

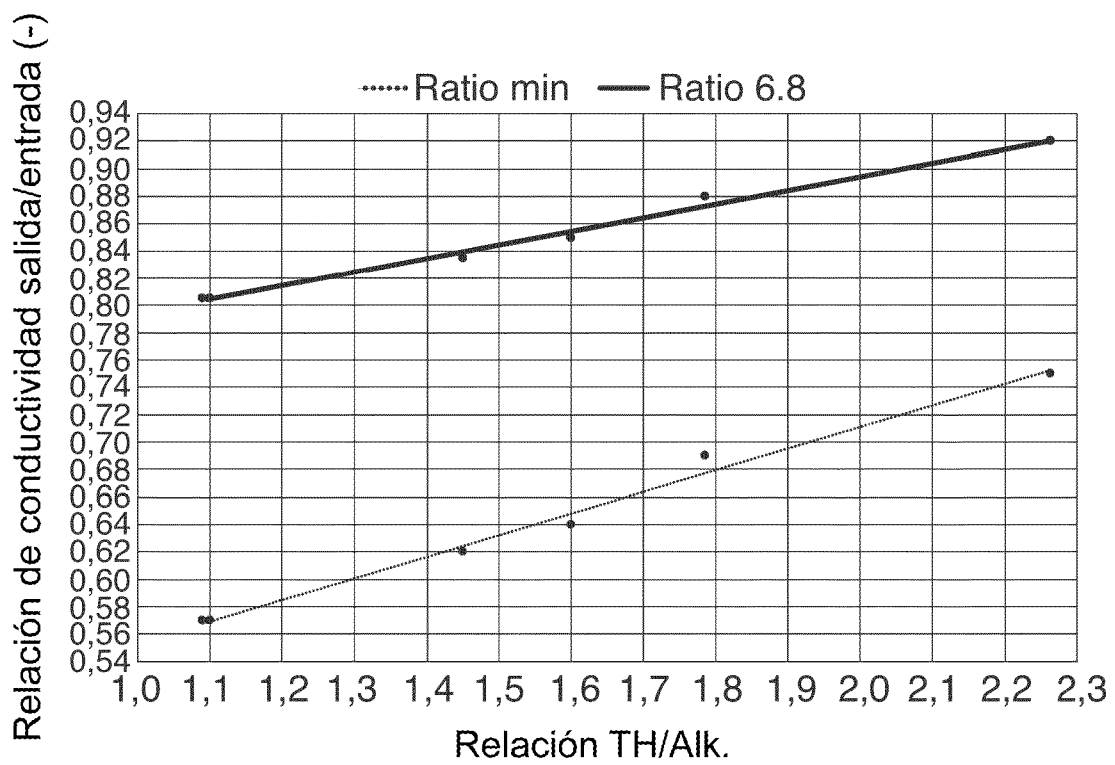


Fig. 6

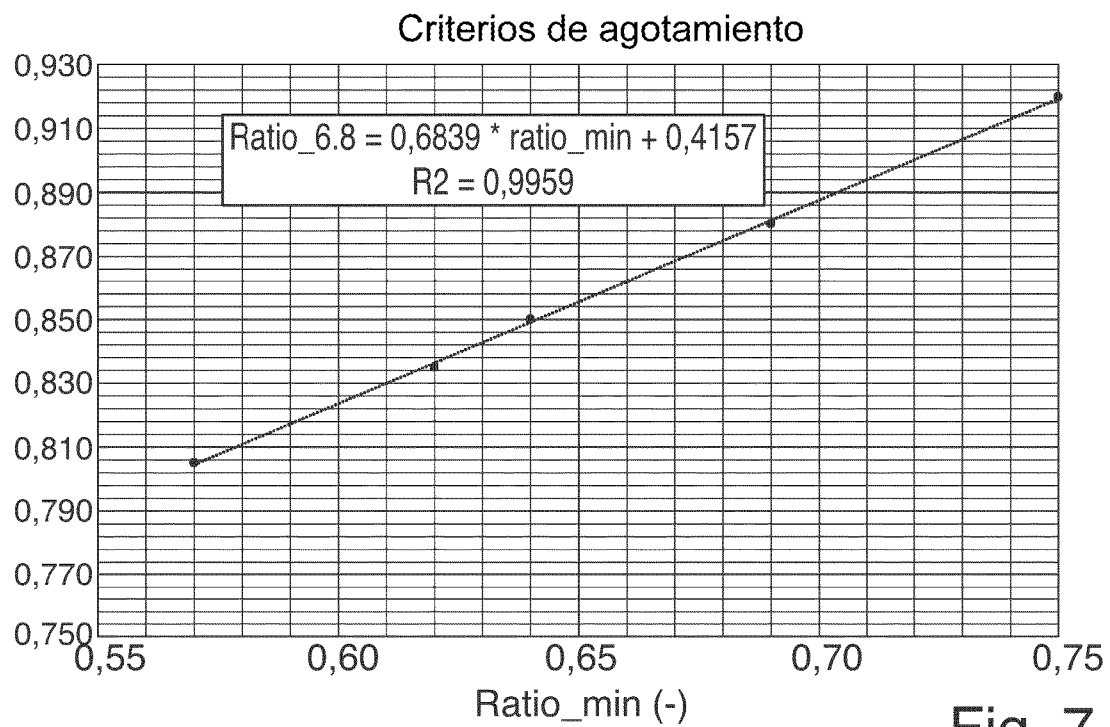


Fig. 7

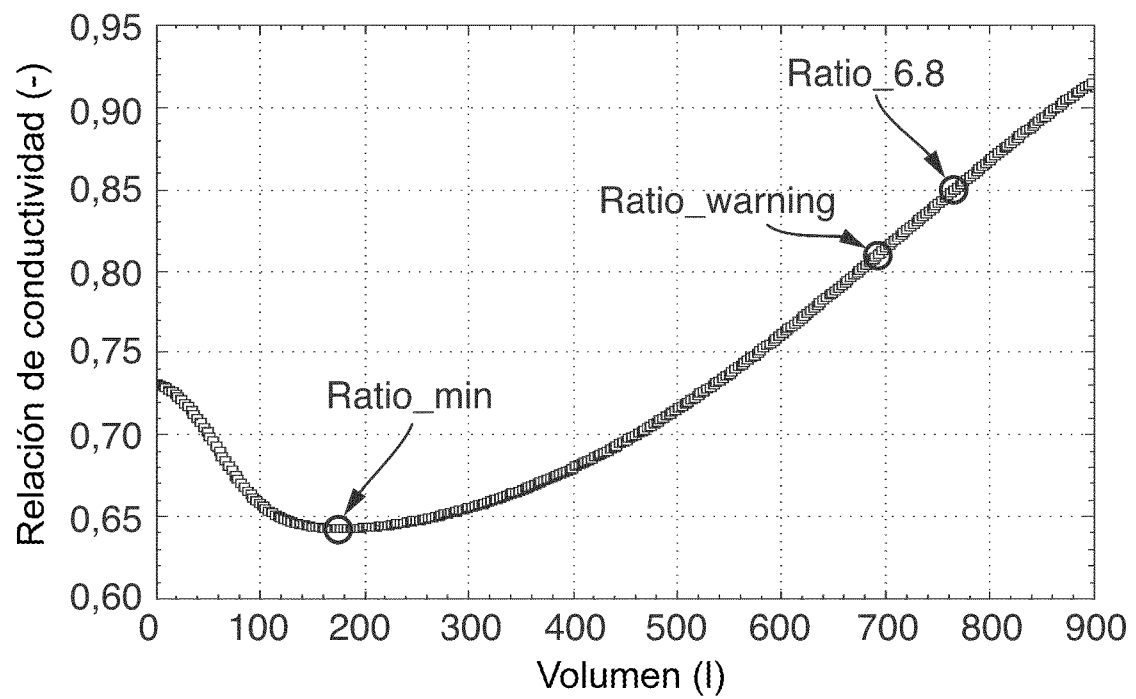


Fig. 8

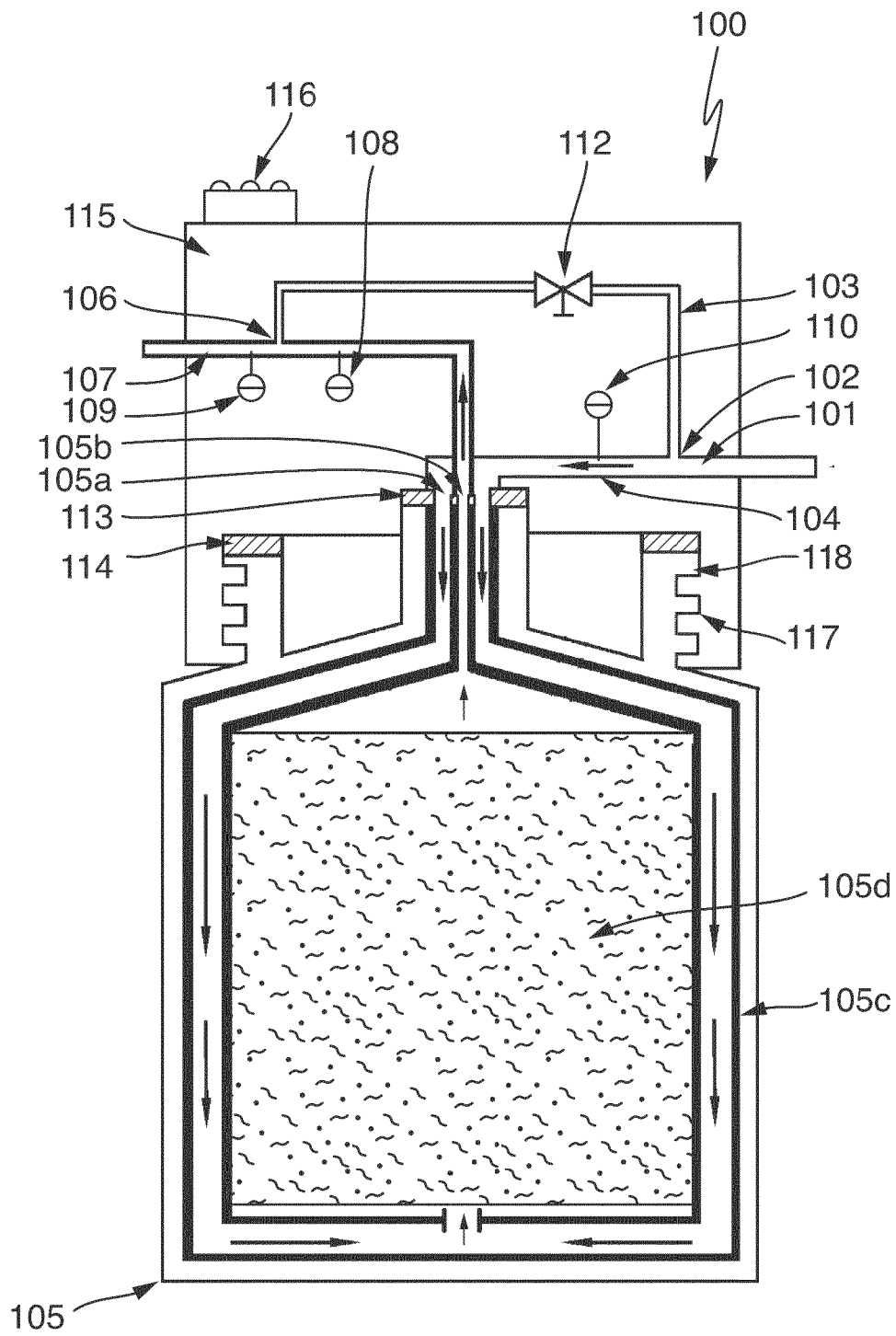


Fig. 9