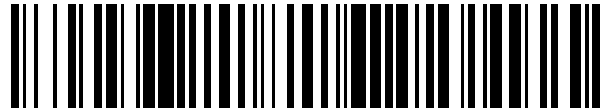


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 904 295**

51 Int. Cl.:

C02F 1/00 (2006.01)
C02F 1/469 (2006.01)
C02F 1/44 (2006.01)
C02F 9/00 (2006.01)
B01D 61/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.10.2015 PCT/EP2015/002137**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **19.05.2016 WO16074763**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.10.2015 E 15790832 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.12.2021 EP 3218309**

54 Título: **Sistema y método de purificación de agua**

30 Prioridad:

11.11.2014 EP 14290342

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.04.2022

73 Titular/es:

**MERCK PATENT GMBH (100.0%)
Frankfurter Strasse 250
64293 Darmstadt, DE**

72 Inventor/es:

**ROITEL, PASCAL;
PARAGOT, CHRISTOPHE;
FEUILLAS, EMMANUEL y
DUPONT, STEPHANE**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 904 295 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

Sistema y método de purificación de agua

5 La presente invención se refiere a un sistema de purificación de agua y a un método de purificación de agua, ambos a escala de laboratorio que implican la producción de hasta 300 l/h de agua pura desionizada tipo 2 a partir de agua corriente. El sistema y el método se dirigen además particularmente a una situación donde el agua corriente de alimentación se trata mediante una combinación de una etapa de ósmosis inversa (RO) y una etapa de electrodesionización (EDI).

10

Antecedentes técnicos

15 El agua desionizada también se conoce como agua pura tipo 2. Las propiedades físicas convencionales del agua pura tipo 2 son una resistividad de más de 5 M Ω -cm y una cantidad de carbono orgánico total (COT) (carbono unido en un compuesto orgánico) por debajo de 30 ppb. Esta agua pura se usa ampliamente en laboratorios en el ámbito académico, clínico y de investigación y las aplicaciones convencionales para el agua desionizada en estos ámbitos son la preparación de tampones, preparación de solución de pH, alimentación en analizadores clínicos o meteorómetros (dispositivos de laboratorio que utilizan fuentes de luz de alta potencia y agua para simular una exposición exterior prolongada) o lavadoras o autoclaves de acero inoxidable, y la preparación de reactivos para análisis o síntesis química. El consumo diario en un laboratorio de agua pura tipo 2 es de hasta 3000 litros. El agua pura tipo 2 se produce a partir del agua corriente. El proceso más popular para obtener agua desionizada ha sido pasar el agua a través de resina de intercambio aniónico y catiónico. Este proceso todavía se utiliza ampliamente en la actualidad. La resina de intercambio iónico se agota después de que se ha tratado un volumen de agua, por lo tanto, se requiere la regeneración química periódica del medio de intercambio iónico. Esta regeneración química del medio es uno de los principales inconvenientes de este proceso de purificación.

30 La electrodesionización (EDI), identificada también como electrodesionización continua, se basa en la corriente eléctrica para transportar las especies iónicas desde un compartimento diluido a un compartimento concentrado. De ello se desprende que del módulo EDI salen dos corrientes: el producto - agua pura tipo 2 - y el concentrado que va al desagüe. La tecnología EDI no es apropiada para eliminar la mayor parte de los contaminantes contenidos en el agua corriente. Por lo tanto, se requiere un primero paso de purificación. La ósmosis inversa (RO) es el primer paso de purificación que elimina del 97 al 99 % de los iones contenidos en el agua corriente. El principal beneficio de la combinación de RO/EDI es que no se requiere regeneración química periódica a lo largo del tiempo, ya que no se agota ningún medio. Por otro lado, las etapas de purificación de RO y EDI eliminan los iones a expensas de que una fracción del agua de alimentación se vierte al desagüe. Normalmente, la recuperación para la etapa de RO está entre el 30 % y el 70 % y para la etapa de EDI del 75 %. Resulta que la tasa de recuperación para la combinación RO/EDI varía del 25 % al 50 %, en otras palabras, la cantidad de agua de alimentación necesaria para producir 100 litros de agua pura de tipo 2 oscila entre 177 litros y 400 litros. Considerando una instalación convencional que se opera para producir 1000 litros de agua pura tipo 2 al día, 300 días al año, la cantidad de agua de alimentación requerida por año variará de 620 metros cúbicos a 1200 metros cúbicos, lo que es un factor de costo considerable y creciente.

45 El proceso de ósmosis inversa requiere agua libre de compuestos de cloro y partículas. Suponiendo que los costos operativos de la etapa de desinfección son del mismo orden de magnitud que los costos operativos del agua de alimentación, los costos operativos totales del agua de alimentación pretratada serán considerables. El módulo EDI es un dispositivo electroquímico que requiere que las características de la corriente de agua de alimentación estén dentro de límites específicos para funcionar correctamente. El módulo EDI debe ejecutarse entre dos límites operativos:

50 1) corriente de desionización insuficiente: el agua del producto no cumple con la calidad esperada expresada como resistividad eléctrica, lo que significa que la concentración de iones del agua purificada es demasiado alta.
2) demasiada corriente de desionización: la impedancia eléctrica del módulo EDI vista por la fuente de alimentación aumenta demasiado con el tiempo, lo que significa que el módulo está sujeto a incrustaciones, el resultado final es que la vida útil del módulo se acorta drásticamente.

55 La corriente de desionización es el parámetro clave que debe configurarse correctamente para evitar que ocurra cualquiera de estas dos fallas. La tendencia a la formación de incrustaciones también depende del ion calcio y magnesio (Ca²⁺ y Mg²⁺) contenido del agua de alimentación EDI: cuanto mayor es la concentración de calcio, mayor es el riesgo de incrustaciones. En este punto, la estrategia de control de la combinación RO/EDI consiste en asegurar que la carga iónica del agua de alimentación de EDI y la concentración de Ca²⁺ y Mg²⁺ no exceda los límites específicos. Se espera que la etapa de RO proporcione el agua de alimentación de EDI cuyas características se encuentran dentro de los requisitos de EDI.

65 La ósmosis inversa (RO) es un proceso de purificación conocido como proceso de purificación tangencial. La bomba de RO empuja la corriente de alimentación contra la membrana de RO donde la corriente de alimentación se divide en el concentrado y la corriente de permeado. La eficiencia del proceso de ósmosis inversa se denomina "rechazo" y una tasa de rechazo convencional es del 97 al 99 %, lo que significa que del 97 al 99 % de las sales disueltas se

eliminan del agua de alimentación de RO. Durante el proceso de purificación, los contaminantes se concentran a lo largo de la membrana, requiriendo una velocidad tangencial mínima para evitar que los contaminantes se acumulen en la membrana de la superficie de RO. Una recuperación de membrana convencional que se caracteriza porque la relación entre la corriente de alimentación y la corriente de permeado es del 15 %, de forma que el flujo de concentrado representa efectivamente el 85 % de la corriente de alimentación de RO. En un intento por ahorrar agua, parte de la corriente de concentrado se recircula, la otra parte se rechaza al desagüe. La parte recirculada se mezcla con el agua corriente entrante en una proporción calculada para tener una recuperación de la etapa de RO entre el 30 y el 70 % como se ha mencionado anteriormente.

10 Se deben tener en cuenta varias consideraciones para calcular la recuperación óptima de la etapa de RO:

1. el modo de falla de la membrana RO
2. los requisitos del módulo EDI,

- 15 2.1. la carga iónica permeada máxima
- 2.2. la concentración máxima de Ca permeado.

1. Modo de falla de la membrana RO:

20 SDI (índice de densidad de sedimentos), TDS (sólidos disueltos totales), LSI (índice de saturación de Langelier) y la concentración de cloro son los parámetros clave a considerar para proteger la membrana de ósmosis inversa. De estos parámetros, solo el LSI se analiza con más detalle. El aumento de la recuperación de la etapa de RO concentrará todo el contenido de minerales en el agua de alimentación de RO. En algún momento, el calcio se precipitará en la corriente de concentrado del proceso de ósmosis inversa. Esto debe evitarse ya que hace que la membrana de RO se obstruya. El modelo de Langelier cuantifica el riesgo de escalado. Algunas propiedades del agua de alimentación deben conocerse para calcular el LSI: alcalinidad, pH, concentración y temperatura del CO_2 . El uso de ese modelo permitirá calcular la recuperación máxima permitida de la etapa de RO para evitar incrustaciones.

2. Requisitos del módulo EDI

- 30 2.1. Carga iónica de permeado de RO máxima:

La carga iónica está mejor representada por la conductividad del permeado. La conductividad del permeado se puede monitorear usando una celda de conductividad y los circuitos electrónicos apropiados. La conductividad del permeado depende del rechazo de la membrana de RO y de la conductividad del agua de alimentación de RO. Cuanto mayor sea el rechazo de la membrana RO, menor es el paso de la sal y menor es la conductividad del permeado. Por lo tanto, la recuperación máxima de la etapa de RO puede calcularse de manera que nunca exceda la carga iónica permeada máxima.

- 40 2.2. Concentración máxima de iones de $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ permeados:

Ca/Mg es bien rechazado por la membrana de RO, generalmente aproximadamente el 99,5%. Los módulos EDI de MerckMillipore® pasaron por numerosas mejoras a lo largo de los años para mejorar la resistencia a la formación de incrustaciones. La resistencia convencional de un módulo EDI de MerckMillipore® es de 3 ppm como CaCO_3 . Con un 99,5 % de rechazo, esto hace que la concentración máxima de Ca de la alimentación de RO sea de 600 ppm. La recuperación máxima de RO también tendrá en cuenta esta tercera restricción.

Un segundo requisito del módulo EDI es el caudal de alimentación. Un módulo EDI es un dispositivo electroquímico que depende completamente de la etapa de RO para que se le proporcione un caudal constante. La electrodesionización es un proceso que requiere tiempo para alcanzar el estado estable, que es una condición deseable para funcionar correctamente. Aumentar el caudal aumentaría la carga iónica, disminuir el caudal disminuiría la carga iónica. Por lo tanto, el módulo EDI mostraría la falla asociada con una carga iónica demasiado alta o con una carga iónica demasiado baja (mala calidad del agua y riesgo de incrustaciones). La presión de RO, la permeabilidad de la membrana RO, la temperatura del agua y la presión osmótica son los cuatro parámetros clave para controlar el caudal de RO.

Por tanto, los parámetros clave que se controlarán en una combinación de RO/EDI en función de las características del agua corriente son el caudal de permeado, recuperación de RO y corriente de electrodesionización. Considerando además que las necesidades diarias de agua purificada de tipo 2 en aplicaciones a escala de laboratorio a las que pertenece la presente invención son de 300 a 3000 litros, la combinación RO/EDI requiere una bomba que pueda proporcionar una capacidad de 700 litros por hora (l/h) a una presión de operación de hasta 15 bar (porque, dependiendo de las características del agua corriente, principalmente temperatura y conductividad, la presión de RO puede variar de 3,5 bares hasta 15 bares). Una tecnología de bomba adecuada para 700 l/h y una presión de 15 bar (15 kPa) es una bomba de paletas rotativas como ejemplo de bomba de desplazamiento positivo.

El análisis del agua corriente se realiza en el momento de la instalación del sistema y normalmente se calcula una

recuperación óptima de la etapa de ósmosis inversa para evitar la formación de incrustaciones y minimizar la cantidad de agua enviada al desagüe. Después, la presión de RO y la recuperación de RO se establecen en un sitio de instalación de acuerdo con la filosofía mencionada anteriormente. El mayor inconveniente de este proceso es que requiere frecuentes ajustes manuales. Puesto que el caudal de RO depende en gran medida de la temperatura del agua de alimentación, los cambios de temperatura del agua de alimentación a lo largo de las estaciones del año provocarán variaciones en el caudal de permeado que reducirán la calidad del agua y la vida útil de la cadena de purificación. Para evitar ajustes frecuentes, la recuperación de la etapa de RO normalmente se estableció y se mantuvo en el valor bajo del 33 % para adaptarse a los cambios de la calidad del agua corriente sin comprometer la calidad del agua pura.

El documento EP 1457460 A2 describe un sistema y método de purificación de agua que permite controlar el caudal de RO sea cual sea la temperatura del agua de alimentación. El sistema tiene un dispositivo de ósmosis inversa para producir un flujo de permeado y un flujo de concentrado a partir de un flujo de agua de alimentación, un medio de electrodesionización que tiene su entrada en comunicación fluida con la salida de permeado del dispositivo de ósmosis inversa y una salida de agua purificada. Se conecta una bomba a la trayectoria del flujo de agua de alimentación para elevar la presión del medio de alimentación y suministrar el agua de alimentación a presión a la entrada de alimentación del dispositivo de ósmosis inversa. Se proporciona una trayectoria de flujo del material retenido en comunicación fluida con la salida del material retenido del dispositivo de ósmosis inversa para eliminar el material retenido del sistema. El caudal se puede controlar mediante un regulador de caudal con restricción variable. Se proporciona una trayectoria de flujo de retenido adicional en comunicación fluida con la salida de retención del dispositivo de ósmosis inversa para recircular el retenido hacia la trayectoria de flujo de alimentación en una posición aguas arriba de la bomba y la trayectoria de flujo de recirculación incluye un regulador de presión ajustable. La tecnología incluye el suministro de un módulo EDI con un caudal constante colocando un regulador de caudal en el flujo de permeado aguas abajo de la etapa de RO. El regulador de flujo es un ojal elástico que forma un orificio variable - cuanto mayor es la presión hacia arriba, más pequeño es el orificio y mayor es la caída de presión a través del ojal. La solución de ojales elásticos tiene algunas limitaciones porque solo funciona en el intervalo de 1 a 10 bar. La bomba funciona a su carga máxima (15 bar) que corresponde a un supuesto peor caso de agua de alimentación a baja temperatura, por ejemplo, la permeabilidad de RO. Además, como parte de la potencia hidráulica máxima de la bomba se pierde en el mecanismo de control del caudal (aproximadamente el 7 %), este sistema conocido tiene un consumo de energía relativamente alto y podría causar un desgaste prematuro de la bomba. Además, la precisión es limitada (+/- 15 %). Por lo tanto, una recuperación media de la etapa de RO del sistema en funcionamiento es cercana al 50 %.

El documento EP 1466656 A2 desvela un sistema de purificación de agua en el que el módulo de electrodesionización comprende tres etapas en serie en donde la corriente de desionización se puede controlar de forma independiente en cada etapa. Se sabe que las especies ionizadas se pueden diferenciar en tres categorías: especies altamente disociadas, dióxido de carbono (CO₂) y especies poco ionizadas como sílice y boro. Es deseable evitar la formación de incrustaciones para eliminar de manera secuencial primero las especies altamente disociadas, en segundo lugar, el dióxido de carbono y, en tercer lugar, las especies poco ionizadas. Se calculan y aplican tres corrientes de desionización diferentes a cada etapa de desionización. Este sistema depende de una solución técnica específica para regular los parámetros operativos: un ojal que forma un orificio variable para proporcionar un caudal constante, una combinación de contrapresión y válvula de aguja para proporcionar una recuperación constante de RO, y una corriente continua regulada de tres vías para proporcionar una corriente constante. La filosofía de control del sistema de EP 1466656 A2 es la siguiente: tras la instalación en una ubicación geográfica específica, se realiza un análisis de agua corriente (conductividad de alimentación, dureza, concentración de dióxido de carbono, temperatura), la recuperación de RO y las corrientes de desionización de CC se calculan para minimizar el agua al desagüe, y las corrientes de recuperación y desionización de RO se establecen manualmente en el sistema.

Como las propiedades del agua de alimentación (concentración de contaminantes, temperatura), así como el rechazo de sal de la membrana RO cambia con el tiempo, se deben realizar análisis periódicos del agua de alimentación y ajustes manuales de los parámetros operativos. En el mundo real, para evitar intervenciones periódicas en el lugar de instalación, un ingeniero de servicio aplicará por adelantado algunos factores de seguridad con la configuración de los parámetros operativos esperados. Este enfoque es perjudicial para el consumo de agua y la integridad a largo plazo del módulo EDI.

El documento WO 2004/054691 A1 desvela un sistema de ósmosis inversa para la desalinización de agua de mar con el fin de producir agua apta para su uso en la industria, como agua para humidificación o como agua potable.

El documento WO 2006/128730 A1 desvela un proceso para tratar un medio acuoso usando ósmosis inversa para la desalinización de agua de mar con el fin de producir agua potable. Este proceso se basa en el uso de un agente secuestrante de calcio para aumentar la concentración del circuito de recirculación y, por lo tanto, aumentar la recuperación de la etapa de RO.

Por lo tanto, un objetivo de la presente invención es proporcionar un sistema de purificación de agua y un método de purificación de agua que se basan en una combinación de una etapa de ósmosis inversa (RO) y una etapa de electrodesionización (EDI), ambos diseñados para escala de laboratorio que implican la producción de hasta 300 l/h de agua pura desionizada tipo 2 a partir de agua corriente, y que están mejorados con respecto al consumo de agua

al reducir la cantidad de agua vertida al desagüe, que puedan mantener la integridad de la membrana del dispositivo de ósmosis inversa y la integridad del dispositivo EDI durante mucho tiempo, y que requieren menos intervención de servicio manual.

- 5 Otro aspecto de la presente invención es proporcionar un sistema y método del tipo mencionado anteriormente que puedan supervisar, preferiblemente en tiempo real, también, los contaminantes clave del agua de alimentación (corriente) sin tener que recurrir a herramientas costosas y sensores dedicados.

- 10 Para resolver el problema, la invención proporciona un sistema de purificación de agua a escala de laboratorio para producir hasta 300 l/h de agua pura desionizada tipo 2 a partir de agua corriente como se define en la reivindicación 1 y un método de acuerdo con la reivindicación 13 de purificación de agua corriente para producir agua desionizada tipo 2 agua pura a escala de laboratorio con un volumen de hasta 300 l/h mediante un sistema de purificación de agua.

- 15 Las realizaciones preferidas del sistema y método se definen en las reivindicaciones dependientes y resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción.

De acuerdo con un primer aspecto, la invención proporciona un sistema de purificación de agua a escala de laboratorio para producir hasta 300 l/h de agua pura desionizada tipo 2 a partir de agua corriente, comprendiendo dicho sistema:

- 20 una trayectoria de flujo (C, E) del medio de alimentación que incluye una bomba para elevar la presión del medio de alimentación y suministrar el medio de alimentación a presión a una entrada de alimentación de un dispositivo de ósmosis inversa, en donde el dispositivo de ósmosis inversa está adaptado para producir un flujo de permeado y un flujo de concentrado desde el medio de alimentación y tiene una salida de permeado y una salida de retenido;
- 25 un dispositivo de electrodesionización que tiene una entrada en comunicación fluida con la salida de permeado del dispositivo de ósmosis inversa (2) y una salida de agua purificada; una primera trayectoria de flujo de retenido (A) en comunicación fluida con la salida de retenido del dispositivo de ósmosis inversa, para eliminar el retenido del sistema, incluyendo dicha primera trayectoria de flujo de retenido (A) un primer regulador de caudal adaptado para ser controlado a distancia;
- 30 una segunda trayectoria de flujo de retenido (B) en comunicación fluida con la salida de retenido del dispositivo de ósmosis inversa para recircular el retenido a la trayectoria de flujo del medio de alimentación en una posición aguas arriba de la bomba, incluyendo dicha segunda trayectoria de flujo de retenido (B) un segundo regulador de caudal adaptado para ser controlado a distancia;
- un primer caudalímetro aguas abajo de la salida de permeado del dispositivo de ósmosis inversa para detectar el caudal de permeado producido por el dispositivo de ósmosis inversa;
- 35 una primera celda de conductividad provista en la primera trayectoria de flujo de retenido (A) para detectar la conductividad (concentración de iones) del flujo de retenido;
- una segunda celda de conductividad provista en la trayectoria de flujo del medio de alimentación (E) para detectar la conductividad (concentración de iones) del flujo del medio de alimentación; y un controlador automático para controlar el primer y segundo reguladores de caudal basándose en los resultados de detección del primer caudalímetro y la primera y segunda celdas de conductividad, de tal forma que una tasa de recuperación objetivo predeterminada y un caudal de permeado objetivo predeterminada se controlan para el dispositivo de ósmosis inversa.
- 40

- 45 De acuerdo con una realización preferida de la invención, para controlar el caudal de permeado objetivo predeterminado, el controlador está adaptado para cerrar simultáneamente el primer y segundo reguladores de caudal para aumentar el caudal de permeado y/o para abrir simultáneamente el primer y segundo reguladores de caudal para disminuir el caudal de permeado.

- 50 De acuerdo con otra realización preferida de la invención, para controlar la tasa de recuperación objetivo predeterminada y mantener el caudal de permeado sustancialmente constante, el controlador está adaptado para cerrar el segundo regulador de caudal y abrir el primer regulador de caudal para disminuir la tasa de recuperación del dispositivo de ósmosis inversa, y/o para abrir el segundo regulador de caudal y cerrar el primer regulador de caudal para aumentar la tasa de recuperación para el dispositivo de ósmosis inversa.

- 55 De acuerdo con otra realización preferida de la invención, para controlar una presión mínima objetivo predeterminada, el controlador está adaptado para cerrar simultáneamente el primer y segundo reguladores de caudal para aumentar la presión, y/o, para controlar una presión máxima objetivo predeterminada, el controlador está adaptado para abrir simultáneamente el primer y segundo reguladores de caudal para disminuir la presión, y/o, para controlar una variación de presión objetivo predeterminada, el controlador está adaptado para disminuir simultáneamente las velocidades de cierre o apertura del primer y segundo reguladores de caudal para disminuir la variación de la presión de recuperación.
- 60

De acuerdo con otra realización preferida de la invención, el controlador está adaptado para controlar la tasa de recuperación objetivo predeterminada en un circuito cerrado (control de retroalimentación).

- 65 De acuerdo con otra realización preferida de la invención, se proporciona un sensor de presión para detectar la presión del flujo de retenido en la primera (A) y/o la segunda trayectoria de flujo de retenido (B), y el controlador está adaptado

para determinar una diferencia entre un valor predeterminado de la presión retenida y el valor detectado por el sensor de presión y para emitir una indicación/alarma si la diferencia excede un umbral (lo que significa que la membrana en el dispositivo de ósmosis inversa debe limpiarse/reemplazarse).

- 5 De acuerdo con otra realización preferida de la invención a/el sensor de presión se proporciona para detectar la presión del flujo de retenido en la primera (A) y/o la segunda trayectoria de flujo de retenido (B) y el controlador está adaptado para realizar una prueba de bomba rutina que incluye: cerrar el segundo regulador de caudal; aumentar la presión del retenido cerrando el primer regulador de caudal; supervisar la presión de retención detectada del sensor de presión; y
10 comparar el caudal del flujo de retenido detectado por el segundo caudalímetro con un valor umbral de caudal predeterminado para un valor de presión de retenido específico correspondiente al detectado por el sensor de presión, y emitir una indicación/advertencia si el caudal detectado por el segundo caudalímetro es inferior a dicho valor umbral.

- De acuerdo con otra realización preferida de la invención, el controlador está dispuesto para permitir establecer (preferiblemente de forma manual) una tasa de recuperación objetivo inicial predeterminada del dispositivo de ósmosis
15 inversa y, opcionalmente, de una corriente de desionización inicial del dispositivo de electrodesionización, que están predeterminadas respectivamente basándose en un análisis del medio de alimentación de uno o más de los parámetros de conductividad de alimentación, dureza, concentración de dióxido de carbono y temperatura, y para minimizar la cantidad de medio de alimentación extraído del sistema a través de la primera trayectoria de flujo del retenido (A), y en donde el dispositivo de electrodesionización comprende preferiblemente al menos tres etapas en
20 serie para las que la corriente de desionización puede controlarse independientemente por el controlador.

- De acuerdo con otra realización preferida de la invención, el sistema de purificación de agua a escala de laboratorio comprende además una tercera celda de conductividad provista en la trayectoria de flujo del medio de alimentación
25 (C) para detectar la conductividad (concentración de iones) del flujo del medio de alimentación; una cuarta celda de conductividad provista en una trayectoria de flujo de permeado (D) aguas abajo del dispositivo de ósmosis inversa para detectar la conductividad (concentración de iones) del flujo de permeado; y en donde el controlador está adaptado para determinar el rechazo real del dispositivo de ósmosis inversa basándose en la relación de los resultados de detección de la tercera y cuarta celdas de conductividad, para ajustar la tasa de recuperación objetivo del dispositivo de ósmosis inversa dependiendo del rechazo real determinado del dispositivo de ósmosis inversa a un valor en el que
30 la carga iónica (carga de Ca^{2+} y Mg^{2+}) del flujo de permeado es igual o inferior a un valor admisible predeterminado para el dispositivo de electrodesionización, preferiblemente de la primera etapa del mismo, y, si es necesario, para ajustar la corriente de desionización del dispositivo de electrodesionización, preferiblemente de la primera etapa del mismo, en consecuencia.

- De acuerdo con otra realización preferida de la invención, el sistema de purificación de agua a escala de laboratorio comprende además una quinta celda de conductividad proporcionada aguas abajo de la salida de agua purificada del
35 dispositivo de electrodesionización para detectar la conductividad (concentración de iones) del agua purificada; y en donde el controlador está adaptado para determinar el contenido de CO_2 del agua purificada basándose en los resultados de detección de la quinta celda de conductividad, y para ajustar la corriente de desionización del dispositivo de electrodesionización, preferiblemente de la segunda y, si se proporciona, de la tercera etapa del mismo en
40 consecuencia.

- De acuerdo con otra realización preferida de la invención, el controlador está adaptado para realizar el control del caudal de permeado objetivo y/o de la tasa de recuperación del objetivo y/o del factor de concentración objetivo y/o
45 de la corriente de desionización de la electrodesionización. dispositivo, preferiblemente de etapas individuales del mismo si se proporciona, en un circuito cerrado (por control de retroalimentación), preferiblemente en tiempo real.

- De acuerdo con otra realización preferida de la invención, el primer y/o segundo regulador de caudal es/son una válvula de aguja motorizada controlable a distancia.
50

De acuerdo con un segundo aspecto, la invención proporciona un método de purificación de agua corriente para producir agua pura desionizada tipo 2 a escala de laboratorio con un volumen de hasta 300 l/h utilizando un sistema de purificación de agua que comprende:

- 55 una trayectoria de flujo del medio de alimentación que incluye una bomba para elevar la presión del medio de alimentación y suministrar el medio de alimentación a presión a una entrada de alimentación de un dispositivo de ósmosis inversa, en donde el dispositivo de ósmosis inversa está adaptado para producir un flujo de permeado y un flujo de concentrado desde el medio de alimentación y tiene una salida de permeado y una salida de retenido;
60 un dispositivo de electrodesionización que tiene una entrada en comunicación fluida con la salida de permeado del dispositivo de ósmosis inversa y una salida de agua purificada;
una primera trayectoria de flujo de retenido (A) en comunicación fluida con la salida de retenido del dispositivo de ósmosis inversa, para eliminar el retenido del sistema, incluyendo dicha primera trayectoria de flujo de retenido (A) un primer regulador de caudal adaptado para ser controlado a distancia; y
65 una segunda trayectoria de flujo de retenido (B) en comunicación fluida con la salida de retenido del dispositivo de ósmosis inversa para recircular el retenido a la trayectoria de flujo del medio de alimentación en una posición aguas arriba de la bomba, incluyendo dicha segunda trayectoria de flujo de retenido (B) un segundo regulador de caudal

adaptado para ser controlado a distancia;
en donde el método comprende:

- 5 detectar el caudal de permeado producido por el dispositivo de ósmosis inversa aguas abajo de la salida de permeado;
detectar la conductividad (concentración de iones) del flujo de retenido;
detectar la conductividad (concentración de iones) del flujo del medio de alimentación; y
10 controlar el primer y segundo reguladores de caudal basándose en el caudal de permeado producido por el dispositivo de ósmosis inversa y la conductividad (concentración de iones) del flujo de retenido y la conductividad (concentración de iones) del flujo del medio de alimentación de tal forma que una tasa de recuperación objetivo predeterminada y un caudal de permeado objetivo predeterminado se controlen para el dispositivo de ósmosis inversa.

- 15 De acuerdo con una realización preferida del método de acuerdo con el segundo aspecto de la invención, para controlar el caudal de permeado objetivo predeterminado, el primer y segundo reguladores de caudal se cierran simultáneamente para aumentar el caudal de permeado y/o el primer y segundo reguladores de caudal se abren simultáneamente para disminuir el caudal de permeado.

- 20 De acuerdo con otra realización preferida del método según el segundo aspecto de la invención, para controlar la tasa de recuperación objetivo predeterminada y mantener el caudal de permeado sustancialmente constante, el segundo regulador de caudal se cierra y el primer regulador de caudal se abre para disminuir la tasa de recuperación del dispositivo de ósmosis inversa, y/o el segundo regulador de caudal se abre y el primer regulador de caudal se cierra para aumentar la tasa de recuperación para el dispositivo de ósmosis inversa.

- 25 De acuerdo con todavía otra realización preferida del método de acuerdo con el segundo aspecto de la invención, para controlar una presión de recuperación mínima objetivo predeterminada, el primer y segundo reguladores de caudal se cierran simultáneamente para aumentar la presión de recuperación, y/o, para controlar una presión de recuperación máxima objetivo predeterminada, el primer y segundo reguladores de caudal se abren simultáneamente para disminuir la presión de recuperación, y/o, para controlar una variación de presión de recuperación objetivo predeterminada, las velocidades de cierre o apertura del primer y segundo reguladores de caudal se reducen simultáneamente para disminuir la variación de la presión de recuperación.

- 35 De acuerdo con otra realización preferida del método según el segundo aspecto de la invención, la tasa de recuperación del objetivo predeterminada se controla en un circuito cerrado (mediante control de retroalimentación).

- 40 De acuerdo con otra realización preferida del método según el segundo aspecto de la invención, el método comprende detectar la presión del flujo de retenido en la primera (A) y/o la segunda trayectoria de flujo de retenido (B), y determinar una diferencia entre un valor predeterminado de presión de retenido y la presión del flujo de retenido y emitir una indicación/alarma si la diferencia excede un umbral (lo que significa que la membrana en el dispositivo de RO debe limpiarse/reemplazarse).

- 45 De acuerdo con una realización preferida adicional del método de acuerdo con el segundo aspecto de la invención, el método comprende detectar la presión del flujo de retenido en la primera (A) y/o la segunda trayectoria de flujo de retenido (B) y realizar una rutina de prueba de bomba que incluye: cerrar el segundo regulador de caudal; aumentar la presión del retenido cerrando el primer regulador de caudal; supervisar la presión de retenido detectada; y comparar el caudal del flujo de retenido con un valor umbral de caudal predeterminado para un valor de presión de retenido específico correspondiente al valor de presión de retenido detectado, y emitir una indicación/advertencia si el caudal detectado es inferior a dicho valor umbral.

- 50 De acuerdo con otra realización preferida del método según el segundo aspecto de la invención, el método comprende, preferiblemente manualmente, establecer una tasa de recuperación objetivo inicial predeterminada del dispositivo de ósmosis inversa y, opcionalmente, de una corriente de desionización inicial del dispositivo de electrodesionización, que están predeterminadas respectivamente basándose en un análisis del medio de alimentación de uno o más de los parámetros de conductividad de alimentación, dureza, concentración de dióxido de carbono disuelto y temperatura,
55 y minimizar la cantidad de medio de alimentación extraído del sistema a través de la primera trayectoria de flujo de retenido (A), y en donde el dispositivo de electrodesionización comprende preferiblemente al menos tres etapas en serie para las que la corriente de desionización se puede controlar de forma independiente.

- 60 De acuerdo con otra realización preferida del método mencionado anteriormente, el método comprende detectar la conductividad (concentración de iones) del flujo del medio de alimentación; detectar la conductividad (concentración de iones) del flujo de permeado; y determinar el rechazo real del dispositivo de ósmosis inversa basándose en la relación de la conductividad detectada (concentración de iones) del flujo del medio de alimentación y el flujo de permeado, ajustar la tasa de recuperación objetivo del dispositivo de ósmosis inversa dependiendo del rechazo real determinado del dispositivo de ósmosis inversa a un valor en el que la carga iónica (carga de Ca^{2+} y Mg^{2+}) del flujo de permeado es igual o inferior a un valor admisible predeterminado para el dispositivo de electrodesionización,
65 preferiblemente de la primera etapa del mismo, y, si es necesario, ajustar la corriente de desionización del dispositivo

de electrodesionización, preferiblemente de la primera etapa del mismo, en consecuencia.

De acuerdo con otra realización preferida del método mencionado anteriormente, el método comprende detectar la conductividad (concentración de iones) del agua purificada; y determinar el contenido de CO₂ del agua purificada en función del resultado de la detección y ajustar la corriente de desionización del dispositivo de electrodesionización, preferiblemente de la segunda y, si se proporciona, de la tercera etapa del mismo en consecuencia.

De acuerdo con otra realización preferida del método de acuerdo con el segundo aspecto de la invención, el control del caudal de permeado objetivo y/o de la velocidad de recuperación del objetivo y/o del factor de concentración objetivo y/o de la corriente de desionización del dispositivo de electrodesionización, preferiblemente de etapas individuales del mismo si se proporciona, se lleva a cabo en un circuito cerrado (por control de retroalimentación), preferiblemente en tiempo real.

El sistema y el método de la presente invención brindan la oportunidad de reducir el consumo de agua en el proceso de producción de agua pura desionizada de tipo 2 a partir del agua corriente mientras se mantiene la integridad del dispositivo de ósmosis inversa y el dispositivo de EDI en cuanto a que la calidad del agua de alimentación y preferiblemente la se monitorea el rechazo de sal de la etapa de RO y los parámetros operativos críticos, incluida la recuperación de RO y, preferiblemente, la corriente de electrodesionización del sistema/método se controlan y ajustan automáticamente, preferiblemente en tiempo real. Por tanto, un cambio de las condiciones del agua de alimentación no tiene una influencia negativa en el consumo de agua y la vida útil del dispositivo de RO y EDI y las costosas intervenciones de servicio se requieren con menos frecuencia.

En una realización preferida, los principales contaminantes del agua de alimentación (CO₂, Ca²⁺ y Mg²⁺ disueltos) se pueden detectar y supervisar sin recurrir a herramientas costosas y sensores especializados dedicados porque recursos existentes o relativamente menos costosos (sensores de caudal, células de conductividad) del sistema de purificación de agua se utilizan.

La siguiente es una descripción no limitativa y de ejemplo de las realizaciones preferidas de los esquemas de flujo de la invención explicados con referencia al dibujo, en el que:

la Figura 1 es un diagrama de sistema de un ejemplo de un sistema de purificación de agua a escala de laboratorio que sirve para explicar las características de la invención,
la Figura 2 es un diagrama de sistema de una realización preferida de un sistema de purificación de agua a escala de laboratorio, y
la Figura 3 es un diagrama que muestra la entrada y salida de control del controlador del ejemplo.

El ejemplo del sistema de purificación de agua a escala de laboratorio para producir hasta 300 l/h de agua pura desionizada tipo 2 a partir de agua corriente de la invención que se muestra en la Figura 1 usa al menos dos caudalímetros para controlar la tasa de recuperación y/o el caudal de permeado del dispositivo de ósmosis inversa (a continuación "RO") en el sistema. El sistema tiene una trayectoria de flujo C del medio de alimentación que incluye una bomba de desplazamiento positivo 1 para elevar la presión del medio de alimentación (agua corriente) y suministrar el medio de alimentación a presión a una entrada de alimentación de un dispositivo de ósmosis inversa 2 que está adaptado para producir un flujo de permeado y un flujo de concentrado del medio de alimentación y que tiene una salida de permeado y una salida de retenido. Se proporciona un dispositivo de electrodesionización 10 (a continuación "EDI") y tiene una entrada en comunicación fluida con la salida de permeado del dispositivo de ósmosis inversa 2 y una salida de agua purificada. La bomba de desplazamiento positivo 1 está dispuesta para generar una corriente de RO de alimentación presurizada dimensionada para proporcionar el caudal de permeado de RO esperado, así como el caudal de concentrado esperado (el caudal de concentrado está dimensionado para eliminar tangencialmente los contaminantes de la membrana de RO mediante un efecto de barrido). La membrana del dispositivo de RO 2 está dimensionada para generar un flujo de permeado específico para una temperatura de agua de alimentación específica a una presión de RO dada.

Una primera trayectoria de flujo de retenido A está en comunicación fluida con la salida de material retenido del dispositivo de RO 2 y sirve para eliminar el retenido del sistema a un desagüe. La primera trayectoria de flujo de retenido A incluye un primer regulador de caudal 3 adaptado para ser controlado a distancia y una segunda trayectoria de flujo de retenido B en comunicación fluida con la salida de retenido del dispositivo de RO 2 para recircular el retenido a la trayectoria de flujo del medio de alimentación en una posición aguas arriba de la bomba 1. La segunda trayectoria de flujo de retenido B incluye un segundo regulador de caudal 4 adaptado para controlarse a distancia. El primer regulador de caudal 3 tiene por tanto la función de una válvula de desagüe 3 que es preferiblemente una válvula de aguja motorizada que controla el tamaño de un orificio para controlar la corriente de concentrado que va al desagüe, y el segundo regulador de caudal 4 tiene por tanto la función de una válvula de recirculación 4 que es preferiblemente una válvula de aguja motorizada que controla el tamaño de un orificio para controlar la corriente recirculada.

Se proporciona un primer caudalímetro 5 aguas abajo de la salida de permeado para detectar el caudal de filtrado producido por el dispositivo de RO 2 y se proporciona un segundo caudalímetro 6 en la primera trayectoria de flujo de retenido A aguas abajo del primer regulador de caudal 3 para detectar el caudal de retenido que va al desagüe para

ser eliminado del sistema.

Control remoto en tiempo real del caudal de permeado de RO y de la recuperación de RO

5 En el ejemplo, se proporciona un controlador automático 13 para controlar a distancia el primer y segundo reguladores de caudal 3, 4 basándose en los resultados de detección del primer y segundo caudalímetros 5, 6 de tal forma que una tasa de recuperación objetivo predeterminada y un caudal de permeado objetivo predeterminado se controlan para el dispositivo de ósmosis inversa 2.

10 La regulación del caudal de permeado, la recuperación de RO, una presión mínima de RO, una presión de RO máxima y una variación de presión de RO se efectúan por tanto porque la bomba 1 genera un flujo constante al arrancar y durante el funcionamiento. Durante el arranque del sistema, la válvula de desagüe 3 y la válvula de recirculación 4 se mueven simultáneamente con diferentes velocidades variables calculadas por una función de control MI MO (múltiples entradas, múltiples salidas) 13 desde una posición abierta para ajustar simultáneamente la presión de RO y el caudal de desagüe con una variación de caída de presión controlada y las presiones mínima y máxima de RO controladas hasta que el caudalímetro 5 vea el caudal de permeado esperado y hasta que el caudalímetro 6 vea el caudal de desagüe esperado para alcanzar la recuperación de RO esperada. (Recuperación de RO) = (caudal de permeado de RO)/(caudal de permeado de RO + caudal que va al desagüe).

20 Durante el funcionamiento del sistema, si perturbaciones como, por ejemplo, cambios en la temperatura del agua, variaciones de la presión de alimentación del grifo, caídas de conductividad de alimentación, suceso y cambio de los puntos de trabajo nominales, la válvula de desagüe 3 y la válvula de recirculación 4 se mueven simultáneamente con diferente velocidad variable, calculadas por la función de control MIMO (múltiples entradas, múltiples salidas) 13, para ajustar simultáneamente la presión de RO y el caudal de desagüe con una variación de caída de presión controlada y la presión de RO mínima y máxima controlada hasta que el caudalímetro 5 vea el caudal de permeado esperado y hasta que el caudalímetro 6 vea el caudal de desagüe esperado para alcanzar la recuperación de RO esperada.

La función de control MIMO (múltiples entradas, múltiples salidas) 13 está diseñada para garantizar la estabilidad y la solidez del rendimiento del sistema de purificación de agua a escala de laboratorio.

30 En la realización que se muestra en la Figura 2, para controlar y regular el caudal de permeado, se proporciona también un primer caudalímetro 5 aguas abajo de la salida de filtrado para detectar el caudal de filtrado producido por el dispositivo de ósmosis inversa 2 y el proceso para controlar el caudal de filtrado funciona de forma similar al descrito anteriormente para el ejemplo.

35 Sin embargo, la realización difiere del ejemplo en la forma de controlar la recuperación de RO. Se proporciona una primera celda de conductividad (desagüe) 15 para detectar y controlar la conductividad del desagüe de RO que refleja la concentración de iones en el circuito de recirculación. La primera celda de conductividad 15 se proporciona así en la corriente de retenido, ya sea aguas abajo de la membrana del dispositivo de RO 2 o aguas abajo del segundo regulador de caudal o válvula de desagüe 3 como se indica en la Figura 2. Se proporciona una segunda celda de conductividad 16 en una sección E de la trayectoria de flujo del medio de alimentación para detectar la conductividad (concentración de iones) del flujo del medio de alimentación, sección E que está más aguas arriba de un punto donde la segunda trayectoria de flujo de retenido B se une a una línea de alimentación y, por lo tanto, aguas arriba de un sensor de conductividad 7 descrito más adelante para medir la conductividad de la mezcla de la corriente de alimentación con la corriente de la segunda trayectoria de flujo de retenido B.

Una vez que el flujo de permeado de RO esté en un estado estable, el factor de concentración se utiliza como parámetro clave para evitar la formación de incrustaciones en el lado de alimentación de la membrana del dispositivo de ósmosis inversa 2. Un análisis de contaminantes del agua de alimentación permitirá calcular el factor de concentración máximo entre el agua de alimentación y el agua de desagüe (utilizando el modelo de Langelier descrito anteriormente). Existe una relación matemática entre la recuperación de RO (λ) y la concentración de iones del flujo de alimentación y la concentración de iones del flujo de desagüe. El punto de ajuste del factor de concentración se alcanza cerrando simultáneamente la válvula de recirculación 4 y abriendo la válvula de desagüe 3 (para disminuir el factor de concentración) o abriendo simultáneamente la válvula de recirculación 4 y cerrando la válvula de desagüe 3 (para aumentar el factor de concentración). La caudal de permeado de RO, así como el factor de concentración, se regulan luego de una manera de circuito cerrado de manera que se controle una tasa de recuperación objetivo predeterminada y un caudal de permeado objetivo predeterminado para el dispositivo de ósmosis inversa 2.

60 La Figura 3 es un diagrama que muestra la entrada y salida de control del controlador 13 del ejemplo. En esta figura, la abreviatura "PF medido" se refiere a el caudal de permeado medido por el sensor de caudal de permeado 5, "ROP" se refiere a la presión de RO medida por el sensor de presión 14, "SRF medido" se refiere al caudal de desagüe medido por el sensor de flujo de desagüe 6, "CMD1" se refiere a la salida de orden de control a la válvula de aguja motorizada 4, "CMD2" se refiere a la salida de orden de control a la válvula de aguja motorizada 3, "Orden PF" se refiere al caudal de permeado objetivo establecido predeterminado, "Orden R" se refiere a la tasa de recuperación objetivo establecida predeterminada.

- La entrada de control mínima del controlador 13 para implementar la invención son, por tanto, la señal de "PF medido" y el "SRF medido". Aunque no se muestra, el sistema puede incluir una interfaz de usuario que incluya medios de entrada y medios para enviar directamente información al sistema como una pantalla, y/o una interfaz de datos para intercambiar la información relevante entre el sistema y otro dispositivo adaptado para mostrar esta información y comunicarse con el sistema. La información útil de salida/visualización es el caudal de permeado de RO, recuperación de RO (ambos determinados por el sistema), presión de RO (valores mínimo y máximo) y variación de presión de RO. La última información requiere la provisión de un sensor de presión para detectar la presión de RO como se describió anteriormente y una entrada correspondiente en el lado del controlador.
- El sistema también puede incluir una función para detener el funcionamiento del sistema en una situación en la que los valores superen ciertos límites predefinidos o valores umbral para la presión de RO, se detecta el caudal de permeado de RO y/o la recuperación de RO.
- La supervisión de los principales contaminantes del agua de alimentación sin recurrir a costosas herramientas y sensores dedicados
- Otro aspecto del sistema y método de la invención, además de reducir el consumo de agua controlando la tasa de recuperación y/o el caudal de permeado como los principales objetivos de control, es la capacidad de mantener la integridad de la membrana del dispositivo de ósmosis inversa y la integridad del dispositivo EDI durante mucho tiempo.
- La filosofía de control del sistema en el contexto de un conjunto fijo o puntos de destino es la siguiente: tras la instalación en una ubicación geográfica específica, se realiza un análisis de agua corriente (conductividad de alimentación, dureza, concentración de dióxido de carbono disuelto, temperatura). Después, las corrientes de desionización y recuperación de RO para el dispositivo EDI se calculan para minimizar la cantidad de agua enviada al desagüe. Las corrientes de desionización y recuperación de RO se establecen en el sistema, es decir, se introducen preferiblemente en el controlador a través de una interfaz de usuario adecuada. Desde este punto, la recuperación de RO se controla automáticamente a lo largo del tiempo para mantener el valor objetivo controlando los actuadores de válvula de aguja preferiblemente motorizados utilizando la salida de detección de los caudalímetros 5, 6 en las corrientes de permeado y desagüe.
- Considerando que el módulo de electrodesionización 10 comprende preferiblemente al menos tres etapas en serie como se describe en relación con la técnica anterior, el controlador 13 del sistema de la invención preferiblemente también está adaptado para controlar la corriente de desionización independientemente en cada etapa, la primera etapa está dedicada a la mayor parte de la carga iónica, la segunda etapa se dedica a la eliminación de dióxido de carbono (CO₂) y la tercera etapa está dedicada a especies poco ionizadas, por ejemplo, sílice reactiva y boro. Por tanto, el esquema de control de la combinación RO/EDI del sistema de la invención consistirá en controlar la recuperación de RO para ajustar la carga iónica permeada a la carga máxima admisible de la primera etapa de EDI. Por lo tanto, la desionización de la primera etapa será máxima para que la recuperación de RO también sea máxima. El parámetro clave para este cálculo previo es el paso de sal de la membrana del dispositivo de RO o el reverso del paso de sal denominado rechazo de membrana de RO. El rechazo de RO cambia con el tiempo dependiendo principalmente de la edad de la membrana, el rechazo de RO se controla fácilmente mediante dos sensores de conductividad 7 y 8, es decir, una celda de conductividad 7 en la trayectoria de flujo C del medio de alimentación para detectar la conductividad (concentración de iones) de la corriente del medio de alimentación del dispositivo de RO 2 y una segunda celda de conductividad 8 en la trayectoria de flujo de permeado D aguas abajo del dispositivo de RO 2 para detectar la conductividad (concentración de iones) de la corriente de permeado de la membrana de RO. El rechazo es la relación entre la conductividad del permeado y la conductividad del medio de alimentación. Por lo tanto, la recuperación de RO se puede ajustar en tiempo real de acuerdo con el rechazo real de la membrana de RO.
- Por tanto, el controlador 13 está preferiblemente adaptado para determinar el rechazo real del dispositivo de RO 2 basándose en la relación de los resultados de detección de las celdas de conductividad 7 y 8, para ajustar la tasa de recuperación objetivo de la etapa de RO dependiendo del rechazo real determinado del dispositivo de RO 2 a un valor en el que la carga iónica de permeación de RO y el nivel de dureza total estén a o por debajo de su valor admisible predeterminado para el dispositivo de EDI 10, preferiblemente de la primera etapa del mismo, y, si es necesario, para ajustar la corriente de desionización del dispositivo EDI 10, preferiblemente de la primera etapa del mismo, en consecuencia.
- Habiendo determinado la recuperación óptima de RO para minimizar el consumo de agua del dispositivo de RO, los otros requisitos aún deben cumplirse para mantener la integridad de los componentes: el índice de Langelier debe estar por debajo del límite especificado de precipitación de carbonato de calcio y el contenido de Ca²⁺ y Mg²⁺ en el permeado de RO debe estar por debajo del límite especificado por EDI. Si el índice de Langelier está por encima del límite máximo especificado, entonces el índice de Langelier se convertirá en el impulsor del punto de ajuste de recuperación de RO. Si el contenido de Ca²⁺ y Mg²⁺ en el permeado de RO aún excede el requisito máximo del módulo EDI, entonces el contenido de Ca²⁺ y Mg²⁺ en el permeado de RO se convertirá en el impulsor del punto de ajuste de recuperación de RO. Si el índice de Langelier o el Ca²⁺ y Mg²⁺ máximo se convierte en el impulsor de la recuperación de RO, la carga iónica del permeado no será la máxima para el módulo EDI. Por lo tanto, la corriente EDI para la primera etapa del dispositivo EDI debe volver a calcularse y aplicarse en tiempo real.

Los últimos parámetros que deben aplicarse en el dispositivo EDI son las corrientes en las etapas 2 y 3. Como se ha observado anteriormente, la corriente en la etapa 2 depende de la concentración de dióxido de carbono disuelto del agua de alimentación, donde el dióxido de carbono disuelto no es eliminado por la membrana del dispositivo de ósmosis inversa. La concentración de dióxido de carbono disuelto se cuantifica primero mediante un método analítico tras la instalación del sistema. Sin embargo, es deseable controlar la concentración de dióxido de carbono disuelto a lo largo del tiempo. El método en el sistema de la invención es el siguiente: asumiendo que la carga iónica es eliminada por completo tanto por el dispositivo RO como por la primera etapa del módulo EDI, si no se ha aplicado corriente en las etapas 2 y 3 del módulo EDI, la conductividad del agua después del módulo EDI podría atribuirse solo al contenido de dióxido de carbono (de acuerdo con la curva de concentración del CO₂/conductividad del agua aplicable con agua desionizada).

Por lo tanto, una secuencia periódica dedicada a la medición de CO₂ se opera para actualizar la corriente EDI en la etapa 2. La corriente de la última etapa del módulo EDI se ajusta en circuito cerrado de acuerdo con la resistividad del agua purificada producida por el módulo EDI. Por tanto, una quinta celda de conductividad 9 se proporciona preferiblemente aguas abajo de la salida de agua purificada del dispositivo EDI 10 para detectar la conductividad (concentración de iones) del agua purificada, y el controlador 13 está adaptado para determinar el contenido del CO₂ del agua purificada basándose en los resultados de detección de la quinta celda de conductividad 9, y para ajustar la corriente de desionización del dispositivo de electrodesionización 10, preferiblemente de la segunda y, si se proporciona, de la tercera etapa del mismo en consecuencia.

Suponiendo que el dispositivo EDI en el sistema opera correctamente de acuerdo con el esquema de control mencionado anteriormente, la impedancia de cada etapa aumentará lentamente con el tiempo. La tasa de aumento de impedancia proporciona una indicación del contenido de Ca²⁺ y Mg²⁺ en el agua de alimentación a lo largo del tiempo. El controlador 13 puede por tanto incluir una función adicional para detectar y monitorear la tasa de aumento de impedancia de las etapas del dispositivo EDI y para modificar la recuperación de RO objetivo de acuerdo con un cambio detectado o monitoreado del contenido de Ca²⁺ y Mg²⁺ en el agua de alimentación.

Las ventajas del sistema y método de la invención se describen en parte anteriormente y se resumen en parte a continuación. El sistema requiere menos componentes para controlar la recuperación de RO. Las electroválvulas pueden sustituirse por válvulas motorizadas. El consumo de agua se reduce manteniendo la calidad del agua purificada producida a la salida del dispositivo EDI. La integridad del dispositivo de RO y del dispositivo de EDI se mantiene durante un largo período de tiempo, mientras que se puede aceptar un intervalo de temperatura del agua de alimentación mayor.

Comparado específicamente con el sistema de purificación de agua descrito en el documento EP 1457460 A2, que utiliza un dispositivo de ojal para proporcionar un caudal constante por medio de un orificio deformable, de forma que el dispositivo de control de caudal añade una caída de presión adicional en la corriente de permeado de ósmosis inversa debido a que el dispositivo de ojal requiere una presión mínima de 1 bar para funcionar correctamente (lo que da como resultado una presión transmembrana máxima de 14 bar ya que la bomba tiene una presión de derivación máxima de 15 bar), se dispone de una presión transmembrana de 15 bares con el esquema de flujo de la presente invención. Por tanto, la presente invención proporciona un sistema que amplía el intervalo de temperatura operativa en un 10 % manteniendo un caudal constante.

La capacidad del sistema y método de la invención para reaccionar a un cambio de temperatura del agua de alimentación es particularmente ventajosa en vista del hecho de que las siguientes condiciones operativas empujan la combinación RO/EDI al extremo de su intervalo operativo mientras que el esquema de flujo de la presente invención proporciona una solución para permitir automáticamente que el sistema siga produciendo agua pura.

La temperatura del agua de alimentación es demasiado alta: este es un modo de falla conocido de la membrana de RO. A medida que aumenta la temperatura del agua, la permeabilidad de la membrana de RO aumenta, lo que requiere que la presión de RO disminuya también para mantener constante el caudal. Tal como se conoce en la técnica, el rechazo de RO disminuye simultáneamente haciendo que aumente la carga iónica de permeación de RO. Puesto que el módulo EDI no puede hacer frente a una carga iónica del agua de alimentación más alta, se espera que el sistema disminuya la recuperación de RO para mantener constante la carga iónica.

La temperatura del agua de alimentación es demasiado baja: en ese caso, la permeabilidad de la membrana de RO disminuye hasta el punto en que la bomba ya no puede acomodar la presión de RO para mantener un caudal de permeado de RO constante. En algún momento, el sistema ya no proporcionará el caudal de permeado de RO esperado, disminuyendo por lo tanto la carga iónica vista por el módulo EDI. El sistema seguirá produciendo agua y las corrientes de desionización de las etapas 1 y 2 disminuirán en consecuencia.

Además del esquema de control automático básico proporcionado por el ejemplo y la realización y las ventajas resultantes descritas anteriormente, la presente invención proporciona funciones adicionales para supervisar los componentes de purificación esenciales del sistema y para utilizar la información disponible en el sistema, incluida la combinación RO/EDI, para proporcionar información al exterior de que se requiere cierto trabajo de mantenimiento

para mantener o restaurar el rendimiento del sistema.

5 Un modo de falla convencional de la membrana del dispositivo de RO 2 es una pérdida de permeabilidad y una pérdida de rechazo. La permeabilidad de la membrana de RO se caracteriza como el caudal de permeado de RO para una temperatura de agua específica. A medida que envejece la membrana de RO, pueden producirse algunas incrustaciones y la permeabilidad de la membrana de RO disminuye. Para compensar la disminución de la permeabilidad, el sistema normalmente aumentará automáticamente la presión de RO. Dado que se proporciona opcionalmente un sensor de presión 14 para detectar la presión del flujo de retenido en la primera trayectoria de flujo de retenido A y/o en la segunda trayectoria de flujo de retenido B, el controlador 13 puede incluir una función que le permite determinar una diferencia entre un valor de presión retenido predeterminado o teórico y el valor de presión real detectado por el sensor de presión 14. Cuando la diferencia detectada supera un umbral especificado, el controlador puede activar o emitir una indicación/alarma, lo que significa que la membrana en el dispositivo de RO 2 debe limpiarse o reemplazarse.

15 Otro modo de falla convencional de la membrana del dispositivo de ósmosis inversa es la caída en el rechazo. El controlador puede incluir una función para memorizar la pérdida de rechazo en el tiempo con el envejecimiento de los componentes del sistema y en algún momento para activar una alarma o indicación.

20 Utilizando el resultado de detección del sensor de presión 14, el sistema también puede incluir una función de seguimiento del desgaste de la bomba a lo largo del tiempo. Para este fin, un modo de falla convencional de la bomba de desplazamiento positivo 1 es la pérdida de caudal cuando aumenta la presión de RO. El controlador 13 puede incluir una función para realizar una rutina de prueba de la bomba que incluye los pasos de cerrar el segundo regulador de caudal 4, aumentar la presión del retenido de RO a un valor específico cerrando el primer regulador de caudal 3, supervisar la presión de retenido detectada desde el sensor de presión 14, y comparar el caudal del flujo de retenido detectado por el segundo caudalímetro 6 con un valor umbral de caudal predeterminado establecido (valor mínimo teórico) predeterminado para un valor de presión de retenido específico correspondiente a ese detectado por el sensor de presión 14, y emitir una indicación/advertencia si el caudal detectado por el segundo caudalímetro 6 es inferior a dicho valor umbral para que se realice un mantenimiento preventivo de la bomba.

30 Un modo de falla convencional del dispositivo EDI es, por otro lado, el aumento de impedancia con el tiempo a medida que se produce alguna incrustación en los sistemas. El controlador 13 puede incluir, en el contexto de sus capacidades para controlar la fuente de alimentación de las etapas del dispositivo EDI, una función adicional de supervisar la impedancia del sistema a lo largo del tiempo y activar una alarma o indicación cuando la impedancia del módulo alcanza el punto de ajuste especificado.

35 Aunque no se muestra explícitamente en las Figuras, el dispositivo de RO puede estar formado por uno o una pluralidad de cartuchos dispuestos en serie o en paralelo. Puede proporcionarse un sensor adicional para detectar parámetros adicionales del flujo en las respectivas posiciones del sistema. Estos sensores adicionales pueden incluir sensores de temperatura, por ejemplo. El pretratamiento del agua corriente arriba de la bomba 1 se describe en la sección de antecedentes como potencialmente necesario para acondicionar el agua corriente adecuada para el tratamiento en el dispositivo de ósmosis inversa. Por consiguiente, el sistema puede incluir tal dispositivo de pretratamiento si se desea. Aunque el controlador 13 se muestra esquemáticamente como un bloque, se puede implementar en un solo componente o en forma de circuito o en forma de un ordenador universal en el que se carga un programa de software que hace que el ordenador universal sea apto para realizar los procesos de control. Además, el término "controlador" debe abarcar cualquier circuito adicional requerido para efectuar el control.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de purificación de agua a escala de laboratorio para producir hasta 300 l/h de agua pura desionizada tipo 2 a partir de agua corriente, comprendiendo dicho sistema:

5 una trayectoria de flujo (C, E) del medio de alimentación que incluye una bomba (1) para elevar la presión del medio de alimentación y suministrar el medio de alimentación a presión a una entrada de alimentación de un dispositivo de ósmosis inversa (2), en donde el dispositivo de ósmosis inversa (2) está adaptado para producir un flujo de permeado y un flujo de concentrado desde el medio de alimentación y tiene una salida de permeado y una salida de retenido;

10 un dispositivo de electrodesionización (10) que tiene una entrada en comunicación fluida con la salida de permeado del dispositivo de ósmosis inversa (2) y una salida de agua purificada;

una primera trayectoria de flujo de retenido (A) en comunicación fluida con la salida de retenido del dispositivo de ósmosis inversa (2), para eliminar el retenido del sistema, incluyendo dicha primera trayectoria de flujo de retenido (A) un primer regulador de caudal (3) adaptado para ser controlado a distancia;

15 una segunda trayectoria de flujo de retenido (B) en comunicación fluida con la salida de retenido del dispositivo de ósmosis inversa (2) para recircular el retenido a la trayectoria de flujo del medio de alimentación en una posición aguas arriba de la bomba (1), incluyendo dicha segunda trayectoria de flujo de retenido (B) un segundo regulador de caudal (4) adaptado para ser controlado a distancia;

20 un primer caudalímetro (5) aguas abajo de la salida de permeado para detectar el caudal de permeado producido por el dispositivo de ósmosis inversa (2);

una primera celda de conductividad (15) provista en la primera trayectoria de flujo de retenido (A) para detectar la conductividad (concentración de iones) del flujo de retenido;

25 una segunda celda de conductividad (16) provista en la trayectoria de flujo del medio de alimentación (E) para detectar la conductividad (concentración de iones) del flujo del medio de alimentación; y

un controlador automático (13) para controlar el primer y el segundo reguladores de caudal (3, 4) basándose en los resultados de detección del primer caudalímetro (5) y la primera y la segunda celdas de conductividad (15, 16), de tal forma que una tasa de recuperación objetivo predeterminada y un caudal de permeado objetivo predeterminada se controlan para el dispositivo de ósmosis inversa (2).

2. El sistema de purificación de agua a escala de laboratorio de acuerdo con la reivindicación 1, en donde, para controlar el caudal de permeado objetivo predeterminado, dicho controlador (13) está adaptado para cerrar simultáneamente el primer y el segundo reguladores de caudal (3, 4) para aumentar el caudal de permeado y/o para abrir simultáneamente el primer y el segundo reguladores de caudal (3, 4) para disminuir el caudal de permeado.

3. El sistema de purificación de agua a escala de laboratorio de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en donde, para controlar la tasa de recuperación objetivo predeterminada y mantener el caudal de permeado sustancialmente constante, dicho controlador (13) está adaptado para cerrar el segundo regulador de caudal (4) y abrir el primer regulador de caudal (3) para disminuir la tasa de recuperación del dispositivo de ósmosis inversa (2) y/o para abrir el segundo regulador de velocidad (4) y cerrar el primer regulador de velocidad de flujo (3) para aumentar la velocidad de recuperación del dispositivo de ósmosis inversa (2).

4. El sistema de purificación de agua a escala de laboratorio de acuerdo con las reivindicaciones 1, 2 o 3, en donde,

45 para controlar una presión de recuperación mínima objetivo predeterminada, dicho controlador (13) está adaptado para cerrar simultáneamente el primer y el segundo reguladores de caudal (3, 4) para aumentar la presión de recuperación; y/o

50 para controlar una presión de recuperación máxima objetivo predeterminada, dicho controlador (13) está adaptado para abrir simultáneamente el primer y el segundo reguladores de caudal (3, 4) para disminuir la presión de recuperación; y/o

para controlar una variación de presión de recuperación objetivo predeterminada, dicho controlador (13) está adaptado para disminuir simultáneamente las velocidades de cierre o de apertura del primer y del segundo reguladores de caudal (3, 4) para disminuir la variación de la presión de recuperación.

55 5. El sistema de purificación de agua a escala de laboratorio de acuerdo con las reivindicaciones 3 o 4, en donde dicho controlador (13) está adaptado para controlar la tasa de recuperación objetivo predeterminada en un circuito cerrado (control de retroalimentación).

60 6. El sistema de purificación de agua a escala de laboratorio de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde se proporciona un sensor de presión (14) para detectar la presión del flujo de retenido en la primera (A) y/o la segunda trayectoria de flujo de retenido (B), y el controlador (13) está adaptado para determinar una diferencia entre un valor predeterminado de la presión retenida y el valor detectado por el sensor de presión (14) y para emitir una indicación/alarma si la diferencia excede un umbral (lo que significa que la membrana en el dispositivo de ósmosis inversa debe limpiarse/reemplazarse).

65 7. El sistema de purificación de agua a escala de laboratorio de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1

a 6, en donde se proporciona un/el sensor de presión (14) para detectar la presión del flujo de retenido en la primera (A) y/o la segunda trayectoria de flujo de retenido (B) y el controlador (13) está adaptado para realizar una rutina de prueba de la bomba que incluye:

- 5 cerrar el segundo regulador de caudal (4); aumentar la presión del retenido cerrando el primer regulador de caudal (3);
 supervisar la presión de retenido detectada del sensor de presión (14); y
 y comparar el caudal del flujo de retenido detectado por el segundo caudalímetro (6) con un valor umbral de caudal
 10 predeterminado para un valor de presión de retenido específico correspondiente al detectado por el sensor de presión (14), y emitir una indicación/advertencia si el caudal detectado por el segundo caudalímetro (6) es inferior a dicho valor umbral.

8. El sistema de purificación de agua a escala de laboratorio de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde el controlador (13) está dispuesto para permitir el establecimiento de una tasa de recuperación objetivo
 15 inicial predeterminada del dispositivo de ósmosis inversa (2) y, opcionalmente, de una corriente de desionización inicial del dispositivo de electrodesionización (10), que están predeterminadas respectivamente basándose en un análisis del medio de alimentación de uno o más de los parámetros de conductividad de alimentación, dureza, concentración de dióxido de carbono y temperatura, y para minimizar la cantidad de medio de alimentación extraído del sistema a través de la primera trayectoria de flujo del retenido (A), y en donde el dispositivo de electrodesionización (10)
 20 comprende preferiblemente al menos tres etapas en serie para las que la corriente de desionización puede ser controlada independientemente por el controlador (3).

9. El sistema de purificación de agua a escala de laboratorio de acuerdo con la reivindicación 8, que comprende además:

- 25 una tercera celda de conductividad (7) provista en la trayectoria de flujo del medio de alimentación (C) para detectar la conductividad (concentración de iones) del flujo del medio de alimentación;
 una cuarta celda de conductividad (8) provista en una trayectoria de flujo de permeado (D) aguas abajo del dispositivo de ósmosis inversa (2) para detectar la conductividad (concentración de iones) del flujo de permeado;
 30 y
 en donde el controlador (13) está adaptado para determinar el rechazo real del dispositivo de ósmosis inversa (2) basándose en la relación de los resultados de detección de la tercera y la cuarta celdas de conductividad (7, 8), para ajustar la tasa de recuperación objetivo del dispositivo de ósmosis inversa (2) dependiendo del rechazo real determinado del dispositivo de ósmosis inversa (2) a un valor en el que la carga iónica (carga de Ca^{2+} y Mg^{2+}) del
 35 flujo de permeado es igual o inferior a un valor admisible predeterminado para el dispositivo de electrodesionización (10), preferiblemente de la primera etapa del mismo, y, si es necesario, para ajustar de manera correspondiente la corriente de desionización del dispositivo de electrodesionización (10), preferiblemente de la primera etapa del mismo.

- 40 10. El sistema de purificación de agua a escala de laboratorio de acuerdo con la reivindicación 9, que comprende además:

- una quinta celda de conductividad (9) provista aguas abajo de la salida de agua purificada del dispositivo de electrodesionización (10) para detectar la conductividad (concentración de iones) del agua purificada; y
 45 en donde el controlador (13) está adaptado para determinar el contenido de CO_2 del agua purificada basándose en los resultados de detección de la quinta celda de conductividad (9), y para ajustar de manera correspondiente la corriente de desionización del dispositivo de electrodesionización (10), preferiblemente de la segunda y, si se proporciona, de la tercera etapa del mismo.

- 50 11. El sistema de purificación de agua a escala de laboratorio de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en donde el controlador (13) está adaptado para realizar el control del caudal de permeado objetivo y/o de la tasa de recuperación objetivo y/o del factor de concentración objetivo y/o de la corriente de desionización del dispositivo de electrodesionización (10), preferiblemente de etapas individuales del mismo si se proporciona, en un circuito cerrado (por control de retroalimentación), preferiblemente en tiempo real.

- 55 12. El sistema de purificación de agua a escala de laboratorio de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en donde el primer y/o el segundo regulador de caudal (3, 4) es/son una válvula de aguja motorizada controlable remota.

- 60 13. Un método de purificación de agua corriente para producir agua pura desionizada tipo 2 a escala de laboratorio con un volumen de hasta 300 l/h utilizando un sistema de purificación de agua que comprende:

- una trayectoria de flujo (C, E) del medio de alimentación que incluye una bomba (1) para elevar la presión del medio de alimentación y suministrar el medio de alimentación a presión a una entrada de alimentación de un
 65 dispositivo de ósmosis inversa (2), en donde el dispositivo de ósmosis inversa (2) está adaptado para producir un flujo de permeado y un flujo de concentrado desde el medio de alimentación y tiene una salida de permeado y una

salida de retenido;

un dispositivo de electrodesionización (10) que tiene una entrada en comunicación fluida con la salida de permeado del dispositivo de ósmosis inversa (2) y una salida de agua purificada;

5 una primera trayectoria de flujo de retenido (A) en comunicación fluida con la salida de retenido del dispositivo de ósmosis inversa (2), para eliminar el retenido del sistema, incluyendo dicha primera trayectoria de flujo de retenido (A) un primer regulador de caudal (3) adaptado para ser controlado a distancia; y

10 una segunda trayectoria de flujo de retenido (B) en comunicación fluida con la salida de retenido del dispositivo de ósmosis inversa (2) para recircular el retenido a la trayectoria de flujo del medio de alimentación en una posición aguas arriba de la bomba (1), incluyendo dicha segunda trayectoria de flujo de retenido (B) un segundo regulador de caudal (4) adaptado para ser controlado a distancia;
en donde dicho método comprende:

15 detectar el caudal de permeado producido por el dispositivo de ósmosis inversa (2) aguas abajo de la salida de permeado;

detectar la conductividad (concentración de iones) del flujo de retenido;

detectar la conductividad (concentración de iones) del flujo del medio de alimentación; y

20 controlar el primer y el segundo reguladores de caudal (3, 4) basándose en el caudal de permeado producido por el dispositivo de ósmosis inversa (2) y la conductividad (concentración de iones) del flujo de retenido y la conductividad (concentración de iones) del flujo del medio de alimentación de tal forma que una tasa de recuperación objetivo predeterminada y un caudal de permeado objetivo predeterminado sean controlados para el dispositivo de ósmosis inversa (2).

Fig. 1

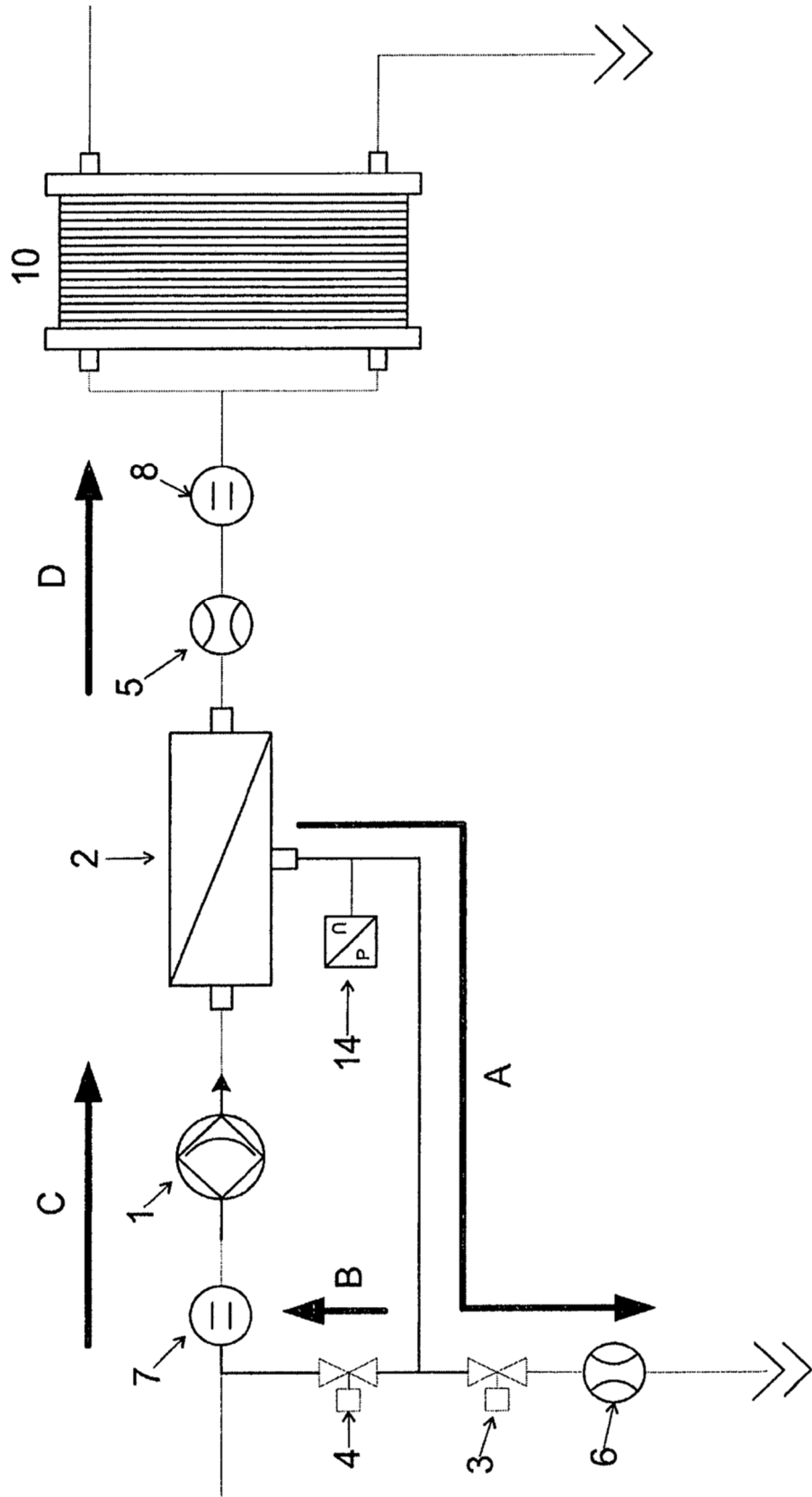


Fig. 2

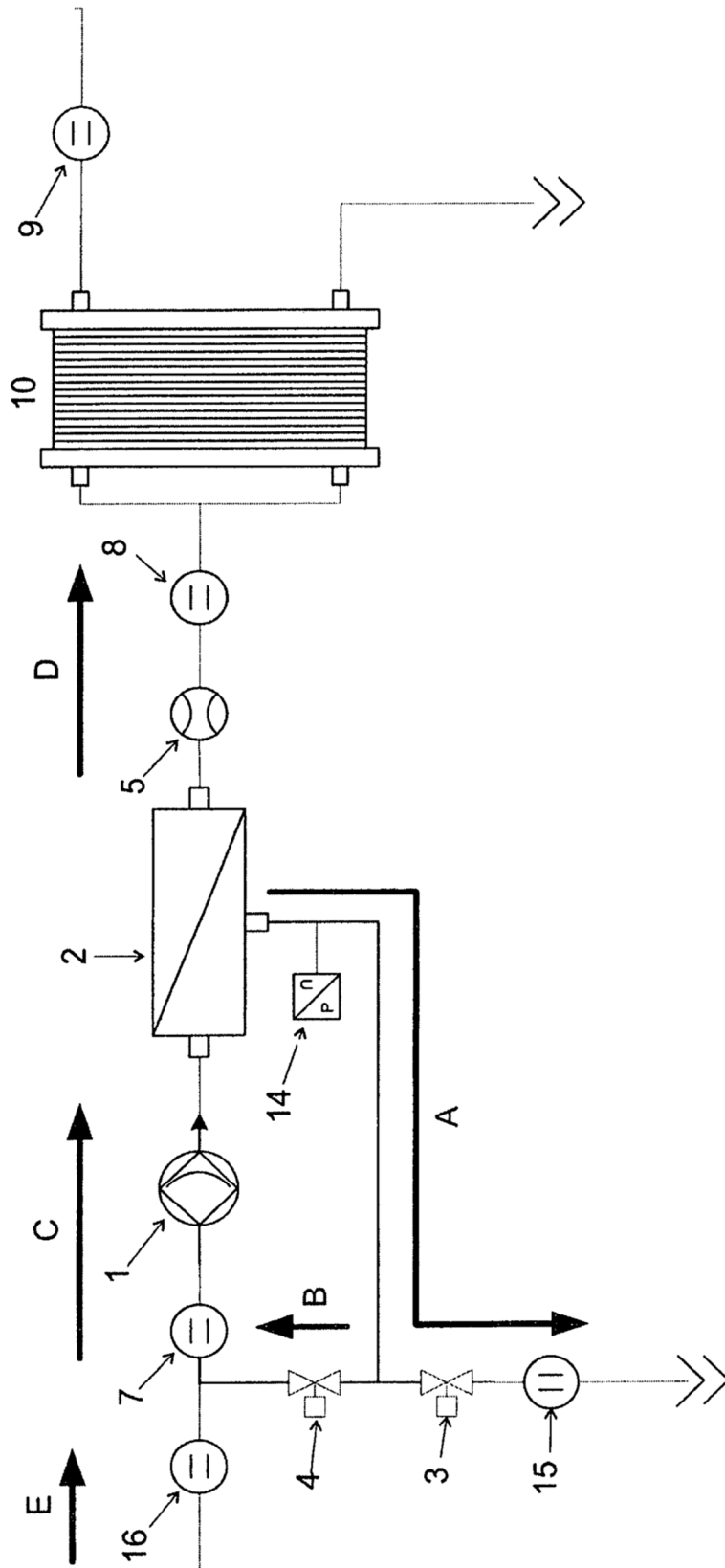


Fig. 3

