

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 708 126**

21 Número de solicitud: 201731181

51 Int. Cl.:

C02F 1/44 (2006.01)

B01D 65/02 (2006.01)

B01D 63/10 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

06.10.2017

43 Fecha de publicación de la solicitud:

08.04.2019

Fecha de concesión:

11.09.2019

45 Fecha de publicación de la concesión:

18.09.2019

73 Titular/es:

BERGAZ MORO, Maria Teresa (100.0%)
Avda. Juan XXIII nº 5 Torre A piso 11 puerta 1
35004 LAS PALMAS DE GRAN CANARIA
(Las Palmas) ES

72 Inventor/es:

BERGAZ MORO, Maria Teresa

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

54 Título: **MÉTODO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA SALOBRE O DE MAR MEDIANTE OSMOSIS INVERSA**

57 Resumen:

Método para el tratamiento de agua salobre o de mar mediante ósmosis inversa.

Es objeto de la invención un proceso para el tratamiento de agua salobre o de mar que comprende someter la corriente a una etapa de filtración, obteniéndose una corriente de permeado y una corriente de salmuera que es enviada a una etapa adicional de filtración, obteniéndose una segunda corriente de permeado y una segunda corriente de salmuera donde, continuamente, se lleva a cabo un control de presión de modo que una vez se observen muestras de ensuciamiento en la primera membrana se procede a detener su operación, siendo sometida a continuación a una etapa de limpieza durante la cual la alimentación de la corriente se somete a una primera etapa de filtración a través de una membrana de ósmosis inversa operando en paralelo respecto a la primera membrana de ósmosis inversa y donde el proceso se repite continuamente de manera alterna. Es asimismo objeto de la invención el sistema para llevarlo a cabo.

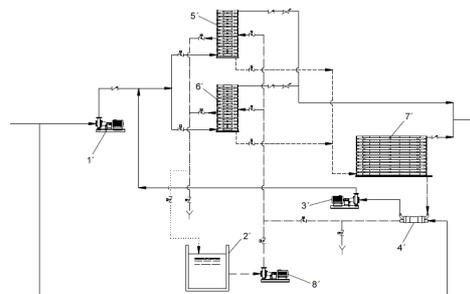


FIG. 5

ES 2 708 126 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015. Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

**MÉTODO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA SALOBRE O DE MAR MEDIANTE
ÓSMOSIS INVERSA**

DESCRIPCIÓN

5

Campo técnico

La presente invención pertenece al campo técnico de la industria química y, más en particular, se refiere a un método mejorado para el tratamiento de agua salobre o de mar mediante ósmosis inversa, así como a la instalación para llevarlo a cabo.

10

Antecedentes

El principal problema de operación al que se enfrentan las plantas de tratamiento de agua de mar y salobre mediante la tecnología de ósmosis inversa en la actualidad es el “*biofouling*” o ensuciamiento biológico de las membranas de ósmosis inversa, lo que provoca una pérdida de eficiencia en las instalaciones al requerir un mayor consumo energético en operación debido a dicho ensuciamiento. Este ensuciamiento biológico constituye uno de los mayores problemas de operación en determinadas áreas geográficas como Oriente Medio, mar Mediterráneo, océano Índico y mar de la China, donde se producen frecuentes episodios de “*red tide*” (marea roja) y “*algae bloom*” (floración de algas) que son provocadas por altas concentraciones de materia orgánica (NOM, del inglés *Natural Organic Material*) en disolución en el agua de alimentación a las plantas desaladoras de agua de mar. También es un tipo de ensuciamiento que suele producirse en el sector industrial, como por ejemplo en papeleras y plantas de tratamiento terciario de aguas depuradas.

Una de las características principales del ensuciamiento biológico es que se produce fundamentalmente en las membranas de ósmosis inversa localizadas en las primeras posiciones de los tubos de presión en las que se instalan, lo que dificulta el paso del agua a las siguientes membranas conectadas en serie a continuación. Ello provoca una reducción en la capacidad de producción de dichas membranas, lo que obliga a incrementar la presión de operación para lograr el paso del agua a las últimas membranas colocadas en el interior de los tubos de presión.

El esquema básico de una instalación de membranas de ósmosis inversa es el que se muestra en la Figura 1. En esta figura se muestran 7 membranas de ósmosis inversa conectadas en serie en el interior de un tubo de presión. El número habitual de membranas en los tubos de presión es de 6 o 7. Las referencias numéricas 1 a 7 se refieren a cada una

de las membranas de la instalación, siendo (1) la primera membrana, (2) la segunda membrana y así consecutivamente. AR1 es la corriente correspondiente al agua de rechazo.

Los problemas asociados al ensuciamiento biológico en plantas de agua de mar y salobre quedan reflejados en el gráfico que se muestra en la Figura 2, donde se puede observar que la materia orgánica se deposita preferentemente en las primeras membranas (posiciones 1 y 2), impidiendo el paso del agua a las siguientes membranas (posiciones 3, 4, 5, 6 y 7). Ello provoca una reducción en la capacidad de producción y afecta al consumo energético de la instalación. Todo ello sin citar los problemas originados en las plantas de ósmosis inversa motivados por las paradas forzadas de producción con objeto de realizar la limpieza de las membranas para recuperar su producción. Cabe destacar que el incremento de la salinidad del agua de alimentación a las membranas permite reducir el problema del ensuciamiento biológico a lo largo de las membranas conectadas en serie, debido al choque osmótico que se genera como resultado de dicho incremento de salinidad, el cual hace imposible al *biofouling* o ensuciamiento biológico desarrollarse en dichas condiciones. De este modo, a medida que el agua va atravesando las membranas, el contenido de salmuera se va incrementando, reduciéndose el impacto del *biofouling*. Es por ello por lo que las últimas membranas apenas se encuentran contaminadas.

Los principales problemas derivados de este tipo de ensuciamiento biológico se resumen en la Tabla 1. Las corrientes (Q) y presiones (P) son las correspondientes a las corrientes que se muestran en la Figura 2, siendo:

- . P1: La presión de la corriente de agua de mar o salobre alimentada al sistema;
- . Q1: El caudal de la corriente de agua de mar o salobre alimentada al sistema;
- . P2: La presión de la corriente de agua de rechazo (correspondiente a la corriente de salmuera);
- . Q2: El caudal de la corriente de agua de rechazo (correspondiente a la corriente de salmuera);
- . Q3: El caudal de la corriente de agua correspondiente al producto final.

En particular, el esquema situado en la parte superior de la Figura 2 es el correspondiente a la instalación sin problema de *biofouling*, con 7 membranas numeradas correlativamente del 1 al 7, mientras que el esquema situado en la parte inferior de la Figura 2 es el de una planta afectada por dicho problema (las presiones y caudales se han identificado de la misma manera que se ha descrito anteriormente para el caso de la instalación sin problemas de ensuciamiento, con la adición del subíndice "b" para su diferenciación):

Tabla 1. Principales problemas derivados del ensuciamiento biológico

Problema	Observaciones	Consecuencias
$P1 < P1b$	La presión de alimentación a las membranas es mayor cuando se produce <i>biofouling</i> debido al taponamiento originado en las primeras membranas.	Mayor consumo energético y necesidad de reposición de membranas.
$P1-P2 < P1b-P2b$	La caída de presión debido al paso del agua a través de las membranas es mayor cuando se produce <i>biofouling</i> debido al taponamiento originado en las primeras membranas.	Mayor consumo energético y limpieza de membranas más frecuentes. Incremento en coste de productos químicos y pérdida de producción por limpieza de las membranas.
$Q3/Q1 > Q3b/Q1b$	Recobro menor cuando se produce ensuciamiento biológico.	Menor producción
$Q3 > Q3b$	La producción es menor en las plantas que sufren ensuciamiento biológico debido a que el taponamiento de las primeras membranas reduce su eficiencia.	Menor producción

A continuación se explican con mayor detalle los problemas resumidos en la Tabla 1, asociados al ensuciamiento biológico en plantas de agua de mar y salobre:

a) Mayor presión de operación y, en consecuencia, mayor consumo energético.

La presente invención tiene como origen el diseño real de una planta de agua de mar mediante ósmosis inversa en Oriente Medio. Para el diseño de la misma se llevaron a cabo una serie de proyecciones para una producción por bastidor de 1 MLD (1000 m³/día). Las diferencias observadas entre su diseño y los resultados reales de operación fueron la base justificativa de la presente invención, debido a que dicha planta en cuestión estaba sometida a un problema de *biofouling* por *red tides*, *algae bloom* y materia orgánica presente en el agua de mar (NOM, Natural Organic Material), algo extremadamente común en el agua de mar que baña los países de Oriente Medio y otras zonas geográficas del mundo.

En la fase de simulación de la planta de agua de mar diseñada para la operación de desalación resultó imposible determinar el efecto del *biofouling* durante el funcionamiento real de la planta. De este modo, como puede observarse en la Tabla 2, la presión de operación esperada tras tres años de operación era de 61.4 bar, considerando un ensuciamiento (*biofouling*) severo de las membranas por tratarse de una toma de mar abierta. A su vez, el recobro de diseño era de un 42% y la producción de agua desalada de 41.67 m³/h. No obstante, la presencia de materia orgánica en el agua de alimentación, así como el haber sufrido diferentes episodios de *red tide* y *algae bloom* tuvieron como

consecuencia que los resultados reales tras un año de operación no consiguieron alcanzar los valores de diseño, tal y como se muestra en la Tabla 2. En esta Tabla 2 puede observarse una comparativa entre los valores de diseño y los reales de operación. Como se muestra en dicha Tabla 2, la presión de operación fue notablemente superior (69 bar) y la producción y recobros se vieron afectados, provocando un mayor consumo energético (7.21% superior) por metro cúbico producido.

Tabla 2. Comparativa de datos de operación entre diseño y datos reales finalmente obtenidos

	Recobro (%)	Presión de operación (bar)	Producción (m ³ /h)	Consumo (kWh/m ³)
Diseño original	42	61.40	41.67	2.08
Datos reales de operación	38	69.00	37.70	2.23
Total incremento consumo energético (%)				7.21

10 b) Pérdida de producción por membrana instalada en los tubos de presión

En una planta de ósmosis inversa de agua de mar convencional, las membranas que desalan el agua se introducen en un tubo de presión que puede contener entre seis (6) y siete (7) membranas, siendo cada membrana capaz de desalar/producir como máximo el 10% del caudal que la alimenta. La pérdida de eficiencia de producción por membrana a lo largo del tubo es debida a que la salinidad del agua que alimenta a cada membrana va variando en función del agua producida por las anteriores, resultando un agua de alimentación a cada membrana del tubo de mayor contenido salino que su predecesora, lo cual reduce su capacidad de producción.

20 De esta manera, cuando se diseña un bastidor de desalación mediante ósmosis inversa cada membrana del tubo produce un caudal diferente, tal y como se puede observar en la siguiente tabla (Tabla 3). De este modo, la producción final se corresponde con la suma de las producciones individuales de cada una de las membranas conectadas en serie en cada tubo.

25 Tabla 3. Comparativa de producción por membrana dentro de un tubo de presión entre los valores de diseño y los datos reales obtenidos

Posición de la membrana de OI	Producción por membrana (m ³ /h)							Total tubo
	1	2	3	4	5	6	7	
Diseño original	0.9	0.7	0.6	0.5	0.3	0.3	0.2	3.5
Datos reales de operación	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	3.1
Pérdida de producción (%)								12

A la vista de los resultados recogidos en la Tabla 3, se puede observar una pérdida de producción fundamentalmente producida en las primeras membranas instaladas en el tubo de presión. Esta pérdida de producción obliga a subir la presión de operación en el tubo de presión que contiene las membranas de ósmosis inversa con objeto de lograr que permee una mayor cantidad de agua a través de las mismas, produciéndose un incremento en el consumo energético y un empeoramiento del problema debido al *biofouling* en cuanto se deposita mayor cantidad de materia orgánica sobre la superficie de las membranas. Con todo ello, además del incremento en consumo energético de un 7.21% que se describió en el apartado anterior, se produjo igualmente una pérdida de producción de agua desalada de un 12% (ver Tabla 3).

c) Mayor presión diferencial en el bastidor de ósmosis inversa

Se entiende por presión diferencial la diferencia de presión entre la alimentación a las membranas de ósmosis inversa instaladas en el tubo de presión y la presión de salida del concentrado o salmuera, es decir, la diferencia entre P1 y P2 en la Figura 2. Una presión diferencial mayor que la de diseño en un tubo, bastidor o tren de membranas de ósmosis inversa redundaría en una pérdida de eficiencia del sistema recuperador de energía y, también, en un mayor consumo energético. De este modo, debido a que el efecto del ensuciamiento biológico o *biofouling* es imposible de evaluar en la fase de diseño de la planta de ósmosis inversa, en caso de emplear una bomba *booster* en un sistema de recuperación de energía de cámaras isobáricas existirá una mayor dificultad a la hora de determinar si la curva y características de la bomba *booster* permitirán afrontar el efecto impredecible del *biofouling* eficientemente. Una de las ventajas del diseño objeto de la presente invención es que permite resolver este problema, garantizando el valor de presión diferencial de diseño en los bastidores de ósmosis inversa y, con ello, la elección de bombes más eficientes para superar la caída de presión. De esta manera, se consigue evitar un mayor consumo energético derivado de la pérdida de eficiencia de los equipos de bombeo y los recuperadores de energía.

d) Grave deterioro de las membranas de ósmosis inversa colocadas en primera y segunda posición del tubo de presión

Tal y como se ha descrito anteriormente, como consecuencia del ensuciamiento biológico se produce un grave deterioro de las membranas de ósmosis inversa colocadas en la primera y segunda posición del tubo de presión. En dichas membranas se produce un mayor crecimiento biológico o *biofouling*, el cual se deposita sobre la superficie de dichas

membranas y sus espaciadores, obturando el paso de agua de alimentación a las siguientes membranas. De este modo, se ha de incrementar la presión de operación para garantizar el paso de agua a través de las membranas, así como el recobro de diseño.

5 **e) Alto coste de inversión en pre-tratamiento**

Para evitar el problema del *biofouling* o ensuciamiento de las membranas, en el diseño de plantas de tratamiento de agua de mar o salobre se suelen realizar grandes inversiones en pre-tratamientos complejos (físico-químicos convencionales, flotación por aire disuelto o DAF, microfiltración, ultrafiltración, etc.). Estos procesos requieren un gran consumo energético y de químicos, lo que redundará en un mayor coste de inversión y de operación en las plantas desaladoras que sufren este problema.

10 **f) Pérdidas de producción asociadas a la limpieza de las membranas**

El ensuciamiento biológico o *biofouling* provoca las paradas de los trenes de producción de ósmosis inversa más allá de lo considerado en fase de diseño para la limpieza de las membranas, con la consiguiente pérdida de producción. Asimismo, dada la naturaleza orgánica del ensuciamiento, los productos químicos utilizados en su eliminación tienen un elevado coste operativo.

20 Frente a los problemas anteriores, en el estado de la técnica se han descrito distintas soluciones para solventar los inconvenientes derivados del ensuciamiento biológico o *biofouling*.

Así por ejemplo, la invención descrita en WO2013163146 se refiere a un sistema de ósmosis inversa que comprende eliminar la materia orgánica presente en una corriente de alimentación mediante un proceso de pre-tratamiento que a su vez comprende una etapa inicial de ultrafiltración.

Asimismo, en la solicitud WO2008038575 se describe un sistema para evitar la pérdida de presión en un sistema de ósmosis inversa. Para ello, se emplea una unidad de pre-tratamiento mediante el que se consigue eliminar el problema del ensuciamiento biológico o *biofouling*, aumentando la eficacia de la planta de tratamiento.

Como literatura no patente cabe mencionar la publicación de los autores Abdullah Said AL-Sadi y Alaa Elsayed Ali en el Congreso Mundial de la Asociación Internacional de Desalinización sobre Desalinización y Reutilización de Agua celebrado en San Diego

(EE.UU.) en 2015. En este documento se expone la problemática del *biofouling* y cómo, con costosos pre-tratamientos, no se consigue resolver el problema debido a la materia orgánica de bajo peso molecular que atraviesa las membranas. Los autores de esta publicación proponen soluciones de futuro que conllevan una mayor inversión. Frente a estas
5 soluciones, la presente invención ofrece la ventaja de evitar incurrir en dichos sobrecostos.

En general, todas las técnicas preventivas de eliminación del *biofouling* debido a materia orgánica o NOM (del inglés, *Natural Organic Material*) de manera previa a la alimentación del agua a las membranas de ósmosis inversa han demostrado ser, en la mayoría de los
10 casos, ineficientes. El motivo fundamental es debido al enorme coste de inversión y operación que requieren, no siendo capaces en la mayoría de los casos de retener la materia orgánica que genera el *biofouling* debido al escaso peso molecular de la misma y como consecuencia de que la mayor parte de dicha materia orgánica se encuentra en solución, en lugar de en suspensión. Es por ello por lo que la presente invención tiene por
15 objeto solventar de una manera económicamente viable y eficaz el problema de los elevados costes y dificultades tecnológicas asociadas a la producción de agua mediante tecnología de ósmosis inversa en aguas con un alto contenido en materia orgánica soluble y de bajo peso molecular y/o a los problemas de operación debido al *biofouling* o ensuciamiento biológico. El objeto principal es “convivir” con el problema en lugar de
20 eliminarlo mediante costosos pre-tratamientos, reduciendo al máximo el impacto del *biofouling* debido a la materia orgánica de bajo peso molecular la cual, en la mayoría de los casos, es capaz de atravesar cualquier sistema de pre-tratamiento previo convencional.

Descripción general de la invención

25 A efectos de la presente descripción, por simplicidad se ha denominado “membrana” a cada elemento de membrana localizado en el interior de un tubo de presión.

De este modo, es un primer objeto de la invención un método para el tratamiento de agua salobre o de mar mediante tecnología de ósmosis inversa, caracterizado por que
30 comprende:

- (a) alimentar una corriente de agua salobre o de mar a una primera etapa de filtración que tiene lugar a través de al menos una primera membrana de ósmosis inversa localizada en el interior de al menos un primer tubo de presión localizado en un primer bastidor o estructura de soporte. La alimentación de la corriente de agua salobre o de mar se
35 llevará a cabo a una presión superior a la presión osmótica correspondiente a la concentración de sales de dicha corriente de agua bruta alimentada al sistema. De

manera habitual, la presión de la corriente de alimentación dependerá de la salinidad del agua bruta, el recobro de la unidad o la calidad del agua de permeado (cuanto mayor sea la presión, mayor será la calidad del permeado). De manera general, esta presión puede variar entre 57 y 70 bar para agua de mar y entre 6 y 42 bar para agua salobre. Asimismo, el número de membranas de ósmosis inversa localizadas en el o los tubos de presión de la primera etapa de filtración será preferentemente de una o dos, en cuyo caso las membranas se localizarán en serie. A su vez, el número total de tubos de presión será función del caudal del agua a tratar y del que se desee producir. En este sentido, hay que tener en cuenta que las membranas de ósmosis inversa tienen limitada su capacidad individual de producción. Por tanto, en caso de necesitar tratar un volumen mayor de agua de alimentación para obtener más agua producto, será necesario aumentar el número de membranas de la instalación. Sin embargo, como el sistema es eficiente con un número limitado de membranas conectadas en serie, la solución para tratar un mayor caudal conllevará aumentar el número de tubos operando en paralelo. De manera general, el número de tubos operando en paralelo podrá variar entre 2 y 500;

(b) tras el paso del agua de mar o salobre por la primera etapa de desalación se obtiene una primera corriente de permeado y una primera corriente de salmuera (o primer rechazo) que es enviada a una segunda etapa de filtración que preferentemente comprenderá cinco (5) o seis (6) membranas de ósmosis inversa conectadas en serie e instaladas en el interior de al menos un tubo de presión. En esta segunda etapa de filtración se obtiene una segunda corriente de permeado (que puede ser unificado con la primera corriente de permeado, correspondiente a la primera etapa de filtración) y una segunda corriente de salmuera (segundo rechazo);

(c) continuamente, durante todo el proceso, se lleva a cabo un control de la presión, de modo que una vez se observen muestras de ensuciamiento en la(s) membrana(s), como por ejemplo por un incremento de la presión diferencial en la(s) membrana(s) de la primera etapa de filtración y/o de la presión de la corriente de alimentación necesaria para alcanzar una determinada producción, se procede a detener la operación de dicha(s) membrana(s), siendo sometida(s) a continuación a una etapa de limpieza, durante la cual la alimentación de la corriente de agua salobre o de mar a tratar se somete a una primera etapa de filtración a través de al menos una primera membrana de ósmosis inversa situada en el interior de al menos un segundo tubo de presión localizado en un segundo bastidor o estructura de soporte paralelo al primer bastidor. La etapa de limpieza de la(s) primera(s) membrana(s) de ósmosis inversa localizada(s) en el primer bastidor se llevará a cabo de manera preferente empleando

la segunda corriente de salmuera (segundo rechazo), preferentemente tras su paso por al menos un dispositivo recuperador de energía que puede consistir en un intercambiador de presión de tipo centrífugo (como por ejemplo un intercambiador ERI, fabricado por Energy Recovery, Inc.), un intercambiador de pistones (como por ejemplo un DWEER, del inglés, *Double Work Energy Exchanger Recovery*) o un turbocompresor (*Turbocharger*). Esta corriente (denominada también corriente de limpieza) podrá circular en sentido inverso al del flujo de la corriente de agua salobre o de mar a tratar o en el mismo sentido del flujo de dicha corriente, dependiendo de la severidad del ensuciamiento y del tipo de membrana utilizada.

10

El proceso anterior se repetirá continuamente, de modo que cuando la(s) membrana(s) de la primera etapa de filtración por ósmosis inversa en fase de operación presente(n) síntomas de ensuciamiento (por ejemplo, por un incremento de la presión diferencial en dicha(s) membrana(s)), se procederá a detener su funcionamiento, pasando a modo de limpieza, al tiempo que la(s) membrana(s) de la primera etapa de filtración por ósmosis inversa que se encontraba(n) hasta ese momento en modo limpieza volverá(n) a ser o serán alimentada(s) con el agua de mar o salobre a tratar. A este tipo de operación se le denomina tipo "revólver", por la alternancia en las fases de operación y limpieza de las primeras etapas de filtración por ósmosis inversa, que operan en paralelo y alternativamente.

20

A efectos de esta patente, se entiende por agua salobre, agua con un contenido de sal generalmente superior a un 0.05% e inferior a un 3% en volumen. A su vez, se entiende por agua de mar o salina, agua con un contenido en sal generalmente superior a un 3% e inferior a un 5.5 % en volumen.

25

De manera particular, el proceso será adecuado para tratar agua salobre o de mar con un contenido de materia orgánica disuelta de bajo peso molecular (generalmente, inferior a 100.000 g/mol), como por ejemplo ácidos fúlvicos de peso molecular entre 500 y 2.000 g/mol, ácidos húmicos de peso molecular entre 50.000 y 100.000 g/mol o ácidos carboxílicos de peso molecular igual a 5.000 g/mol. Esta capacidad de reducir el impacto del *biofouling* debido al contenido de materia orgánica de bajo peso molecular presente en el agua a tratar es una ventaja especial frente a otros métodos de pre-tratamiento del estado de la técnica, los cuales no consiguen eliminar este tipo de compuestos.

30

Adicionalmente, se entiende por *biofouling* o ensuciamiento biológico el efecto causado por la acumulación de materia orgánica que se adhiere a las membranas del sistema de ósmosis inversa.

5 A su vez, la corriente de permeado del proceso se corresponde con la corriente de agua que atraviesa las membranas y que contiene un contenido de sales inferior al de la corriente de agua alimentada al sistema. Por su parte, la corriente de rechazo se corresponde con el agua con una alta concentración en sales que, o bien puede ser vertida, o bien puede ser reutilizada en el sistema como agua de limpieza.

10

De este modo, el caudal del agua a tratar circula desde el extremo de la alimentación al extremo opuesto de rechazo o salmuera, de modo que la corriente de rechazo de cada una de las membranas se transforma en la alimentación de la membrana sucesiva. A su vez, el permeado de cada membrana se recolecta en una única corriente, correspondiente a la

15 corriente de agua desalada (o producto final del proceso).

15

Gracias al método descrito (basado en una operación tipo “revólver” en la que una serie de membranas se encuentran en operación mientras otras, en paralelo, se encuentran en fase de limpieza y a la inversa) se consigue reducir o incluso eliminar el problema del ensuciamiento biológico (o *biofouling*) que tiene lugar en plantas de tratamiento de aguas mediante ósmosis inversa. De este modo, la(s) membrana(s) localizadas en la primera etapa de filtración (preferentemente una o dos) se consiguen mantener limpias, logrando reducir el consumo energético de la operación, que puede llevarse a cabo de manera automática y en continuo. Esta reducción del consumo energético en comparación con el consumo requerido

20 en las plantas habituales de tratamiento de agua salobre o de mar puede ser de al menos un 7% y, en realizaciones particulares de la invención, de incluso un 15%.

20

25

Por otra parte, al reutilizar parte o la totalidad de la(s) corriente(s) de rechazo (preferentemente de un 80 a un 100% en volumen) en la limpieza de las membranas, se consigue reducir el empleo de los productos químicos habitualmente utilizados en dicha

30 operación de limpieza (que pueden consistir, por ejemplo, en EDTA tetrasódico, NaOH, HCl, ácido cítrico, etc.).

30

Asimismo, una ventaja adicional de la operación de limpieza en aquellos casos en que se lleve a cabo en sentido inverso de la(s) corriente(s) de rechazo (en relación a la corriente de alimentación), es que permite aumentar la eficiencia en la eliminación de los depósitos

35

- (biológicos o no) que pudieran estar taponando los espaciadores de la(s) primera(s) membrana(s). Por otra parte, la limpieza de una o dos membranas (número preferente de membranas en la primera etapa de filtración) permite maximizar el caudal de barrido superficial de las membranas y, con ello, la capacidad de arrastre del material depositado sobre su superficie y en los espaciadores de las membranas, mejorando la eficiencia del proceso de limpieza. Esto es una gran ventaja frente a los sistemas convencionales, los cuales están limitados por la presión de operación de los lavados, habitualmente no superior a 4 bar, así como por la caída de presión que se produce en cada una de las membranas contenidas en los tubos de presión, siendo el número habitual de membranas de 6 o 7. No obstante, la invención no está limitada a que el proceso de lavado se lleve a cabo a contracorriente, pudiéndose también llevar a cabo en el sentido del flujo de alimentación del agua de mar o salobre en modo producción. En dicho caso, serán también de aplicación los conceptos técnicos explicados anteriormente.
- 15 Asimismo, una ventaja adicional del proceso derivada de la eliminación del problema asociado al ensuciamiento biológico de las membranas es la posibilidad de garantizar en la operación real los valores obtenidos en fase de diseño (tanto en cuanto a niveles de producción, como de consumo energético, volumen requerido de químicos, etc.).
- 20 Adicionalmente, es también objeto de la invención el sistema para llevar a cabo el método anteriormente descrito. Dicho sistema se caracteriza por que comprende:
- (a) un primer módulo de membranas que comprende al menos una primera membrana de ósmosis inversa localizada en el interior de al menos un primer tubo de presión localizado en un primer bastidor o estructura de soporte y al menos una primera membrana de ósmosis inversa localizada en el interior de al menos un segundo tubo de presión localizado en un segundo bastidor o estructura de soporte, donde la primera membrana de ósmosis inversa localizada en el primer tubo de presión y la primera membrana de ósmosis inversa localizada en el segundo tubo de presión están configuradas para operar en paralelo. De manera preferente, el número de membranas de ósmosis inversa localizadas en cada uno de los tubos de presión del primer módulo de membranas será de una o dos. Asimismo, en el conducto de alimentación del agua salobre o de mar se localizará al menos una válvula o dispositivo adecuado para discriminar la alimentación a la primera membrana de ósmosis inversa localizada en el primer tubo de presión o a la primera membrana de ósmosis inversa localizada en el segundo tubo de presión, de modo que durante la fase de operación se pueda direccionar el flujo de la corriente de alimentación hacia la

membrana en fase de producción al tiempo que la membrana alternativa se encuentre en fase de limpieza; y

(b) al menos un segundo módulo de membranas que comprende preferentemente entre cinco y seis membranas adicionales de ósmosis inversa conectadas en serie y localizadas en el interior de al menos un tercer tubo de presión situado en un tercer bastidor o estructura de soporte, donde dicho segundo módulo de membranas se encuentra conectado en serie con respecto al primer módulo de membranas a través de al menos un primer conducto de salida del primer módulo de membranas. Este primer conducto de salida del primer módulo de membranas se encuentra situado en el extremo opuesto al de la alimentación de la corriente de entrada y, en particular, es el correspondiente a la corriente de rechazo, siendo un segundo conducto de salida del primer módulo de membranas el correspondiente a la salida del producto final (agua salobre o de mar con un contenido de sales inferior al de la corriente de entrada). De manera preferente, se localizarán sucesivos módulos de membrana en serie respecto al segundo módulo de membranas, siendo preferentemente el número total de módulos de membranas igual a 2 para agua de mar y 3 para agua salobre;

y donde el segundo módulo de membranas o el último módulo en caso de haber sucesivos módulos en serie se caracteriza por que comprende al menos dos conductos de salida, un primer conducto de salida correspondiente a la salida del producto final (agua con un contenido inferior de sales respecto al contenido inicial del agua salobre o de mar) y un segundo conducto de salida correspondiente a la corriente de rechazo. Dicho segundo conducto (correspondiente a la corriente de rechazo) se encuentra preferentemente conectado al primer módulo de membranas (tanto al primer bastidor como al segundo bastidor) por el extremo opuesto al de la alimentación del agua salobre o de mar, en caso que se opte por lavar en sentido contrario al del flujo del agua de alimentación, o en el mismo extremo que el de la alimentación al sistema, en el caso de que se prefiera lavar las membranas en el mismo sentido que el del flujo de agua bruta en modo de producción. Adicionalmente, tanto el primer como el segundo bastidor o estructura de soporte del primer módulo de membranas comprenderá al menos un conducto para la salida del rechazo correspondiente a la corriente de limpieza, estando dicho conducto situado en el extremo opuesto al de la alimentación de la corriente de limpieza, a saber, en el extremo correspondiente a la alimentación del agua salobre o de mar a tratar si se realizara el lavado de membranas a contracorriente o en el extremo correspondiente al primer rechazo en caso que se realizara la limpieza de membranas en el sentido del flujo de agua bruta en fase de producción.

De manera preferente, las membranas empleadas en el proceso serán de poliamida aromática y estarán situadas en el interior de los tubos de presión, enrolladas en forma de espiral.

5 **Breve descripción de las figuras**

Para una mejor comprensión de la presente memoria descriptiva, se acompañan las siguientes figuras, a modo ilustrativo y no limitante de la invención:

- 10 . La **Figura 1** representa un esquema general del estado de la técnica correspondiente a una distribución particular de las membranas de ósmosis inversa en 7 membranas conectadas en serie e instaladas en el interior de un único tubo de presión.
- 15 . La **Figura 2** representa el efecto del *biofouling*. En particular, en la parte superior se muestra un esquema general del estado de la técnica correspondiente a una distribución particular de 7 membranas de ósmosis inversa conectadas en serie e instaladas en el interior de un único tubo de presión. En la parte inferior se representa el mismo esquema afectado por el problema del *biofouling*.
- 20 . La **Figura 3A** representa una primera realización particular de la invención donde el primer módulo de membranas comprende a al menos una primera membrana de ósmosis inversa (1A) en fase de operación localizada en el interior de al menos un primer tubo de presión localizado en un primer bastidor o estructura de soporte y al menos una primera membrana de ósmosis inversa (1B) en fase de limpieza localizada en el interior de al menos un segundo tubo de presión localizado en un segundo bastidor o estructura de soporte.
- 25 . La **Figura 3B** representa una segunda realización particular de la invención. Esta segunda realización se corresponde con la primera realización, con la diferencia de que el primer módulo de membranas comprende al menos dos primeras membranas de ósmosis inversa (1A) y (2A) conectadas en serie y en fase de operación localizadas en el interior de al menos un primer tubo de presión localizado en un primer bastidor o estructura de soporte y al menos dos primeras membranas de ósmosis inversa (1B) y (2B) conectadas en serie y en fase de limpieza localizadas en el interior de al menos un segundo tubo de presión localizado en un segundo bastidor o estructura de soporte.
- 30 . La **Figura 4A** representa una tercera realización particular de la invención donde el primer módulo de membranas comprende al menos una primera membrana de ósmosis inversa (1A) en fase de limpieza localizada en el interior de al menos un primer tubo de presión localizado en un primer bastidor o estructura de soporte y al menos una primera membrana de ósmosis inversa (1B) en fase de operación
- 35 . La **Figura 4B** representa una cuarta realización particular de la invención donde el primer módulo de membranas comprende al menos una primera membrana de ósmosis inversa (1A) en fase de operación localizada en el interior de al menos un primer tubo de presión localizado en un primer bastidor o estructura de soporte y al menos una primera membrana de ósmosis inversa (1B) en fase de limpieza localizada en el interior de al menos un segundo tubo de presión localizado en un segundo bastidor o estructura de soporte.

localizada en el interior de al menos un segundo tubo de presión localizado en un segundo bastidor o estructura de soporte.

- La **Figura 4B** representa una cuarta realización particular de la invención. Esta cuarta realización se corresponde con la tercera realización, con la diferencia de que el primer módulo de membranas comprende al menos dos primeras membranas de ósmosis inversa (1A) y (2A) conectadas en serie y en fase de limpieza localizadas en el interior de al menos un primer tubo de presión situado en un primer bastidor o estructura de soporte y al menos dos primeras membranas de ósmosis inversa (1B) y (2B) conectadas en serie y en fase de operación localizadas en el interior de al menos un segundo tubo de presión situado en un segundo bastidor o estructura de soporte.

- La **Figura 5** representa un diagrama de flujo de una realización particular del sistema que comprende:

- un primer bastidor o estructura de soporte (5') constituido por 14 tubos de presión conectados en paralelo, cada uno de ellos conteniendo en su interior dos membranas de ósmosis inversa;
- un segundo bastidor o estructura de soporte (6'), paralelo al primer bastidor o estructura de soporte (5'), que a su vez está constituido por 14 tubos de presión, cada uno de ellos conteniendo en su interior dos membranas de ósmosis inversa; y
- un tercer bastidor o estructura de soporte (7'), en serie respecto al primer bastidor o estructura de soporte (5') y al segundo bastidor o estructura de soporte (6'), donde dicho tercer bastidor o estructura de soporte (7') comprende 12 tubos de presión que contienen cada uno de ellos, en su interior, cinco membranas de ósmosis inversa conectadas en serie.

Corrientes:

- En las figuras 3A, 3B, 4A y 4B las líneas representadas se corresponden con las siguientes corrientes:

—————▶	Corriente de agua de alimentación (mar o salobre)
—————▶	Corriente de salmuera o rechazo de la primera etapa de filtración (primer rechazo)
-----▶	Corriente de salmuera o rechazo de la última etapa de filtración (segundo rechazo)
-.-.-.-.-▶	Corriente de agua de rechazo de la etapa de limpieza
-----▶	Corriente de permeado (producto final)
.....▶	Línea no operativa

- A su vez, en la figura 5, las líneas representadas se corresponden con las siguientes corrientes:

—————▶	Corriente de agua de alimentación (mar o salobre)
—————▶	Corriente de permeado (agua desalada o producto final)
- - - - -▶	Corriente de salmuera o rechazo correspondiente a la primera etapa de-filtración
- · - · - · -▶	Corriente de salmuera o rechazo correspondiente a la última etapa de filtración
- - - - -▶	Corriente de alimentación de tratamiento químico
·····▶	Corriente de salida de tratamiento químico

5 Listado de referencias numéricas:

1. Primer módulo de membranas
 - 1A. Primera membrana de ósmosis inversa del primer módulo de membranas (correspondiente a la primera etapa de filtración), instalada en un primer tubo de presión situado en un primer bastidor;
 - 10 1B. Primera membrana de ósmosis inversa del primer módulo de membranas (correspondiente a la primera etapa de filtración) instalada en un segundo tubo de presión situado en un segundo bastidor, en paralelo al primer bastidor;
 - 15 2A. Membrana adicional de ósmosis inversa del primer módulo de membranas (correspondiente a la primera etapa de filtración), localizada en el interior del primer tubo de presión, en serie respecto a la primera membrana de ósmosis inversa (1A) situada en el primer bastidor;
 - 20 2B. Membrana adicional de ósmosis inversa del primer módulo de membranas (correspondiente a la primera etapa de filtración), localizada en el interior del segundo tubo de presión, en serie respecto a la primera membrana de ósmosis inversa (1B) situada en el segundo bastidor;
2. Segunda membrana de ósmosis inversa
3. Tercera membrana de ósmosis inversa
4. Cuarta membrana de ósmosis inversa
- 25 5. Quinta membrana de ósmosis inversa
6. Sexta membrana de ósmosis inversa
7. Séptima membrana de ósmosis inversa
- 1'. Primera bomba de presión

- 2'. Tanque de almacenamiento de solución química de limpieza
- 3'. Segunda bomba de presión (bomba *booster*)
- 4'. Dispositivo de recuperación de energía (ERD, por sus siglas en inglés)
- 5'. Primer bastidor o estructura de soporte
- 5 6'. Segundo bastidor o estructura de soporte
- 7'. Tercer bastidor o estructura de soporte
- 8'. Tercera bomba de presión (correspondiente a la corriente de producto químico de limpieza y recirculación de la solución de limpieza)

10 **Descripción detallada de la invención**

A continuación se incluye una descripción detallada de realizaciones particulares de la invención, tal y como se muestran en las Figuras 3A, 3B, 4A, 4B y 5.

De este modo, en la Figura 3A se observa una realización particular de la invención en la que el método para el tratamiento de agua salobre o de mar se caracteriza por que
15 comprende:

- (a) alimentar una corriente de agua salobre o de mar a una primera etapa de filtración que tiene lugar a través de al menos una primera membrana de ósmosis inversa (1A) localizada en el interior de al menos un primer tubo de presión situado en un primer
20 bastidor o estructura de soporte. De manera preferente, el número total de membranas en cada tubo de presión en este primer bastidor será de una o dos. La alimentación de la corriente de agua salobre o de mar se llevará a cabo a una presión superior a la presión osmótica correspondiente a la concentración de sales de dicha corriente de agua bruta alimentada al sistema. Para ello, de manera previa a su alimentación a la
25 primera membrana de ósmosis inversa (1A), dicha corriente de agua salobre o de mar será conducida a través de al menos una primera bomba de presión (1');
 - (b) tras la primera etapa de filtración ocurrida en la primera membrana de ósmosis inversa (1A) se obtiene una primera corriente de permeado (agua de producto) y una primera corriente de salmuera (o primer rechazo) que es enviada a continuación a una
30 segunda etapa de filtración constituida por seis (6) membranas de ósmosis inversa conectadas en serie. Tras esta segunda etapa de filtración, se genera una segunda corriente de permeado o agua de producto, que es unificada con la primera corriente de permeado o agua de producto (correspondiente a la primera etapa de filtración) y una segunda corriente de salmuera (segundo rechazo);
 - (c) las etapas anteriores se llevarán a cabo hasta que se observen las primeras muestras
35 de ensuciamiento en la primera membrana de ósmosis inversa (1A) localizada en el

primer bastidor, por ejemplo al observar un incremento de la presión diferencial en dicha primera membrana de ósmosis inversa (1A). En ese momento se detendrá su operación, siendo sometida a continuación a una etapa de limpieza. Hasta entonces, tal y como se observa en la Figura 3A, será al menos una primera membrana de ósmosis inversa (1B) localizada en el interior de al menos un segundo tubo de presión situado en un segundo bastidor o estructura de soporte, paralelo al primer bastidor, la que esté siendo sometida a un proceso de limpieza. De manera preferente, el número total de membranas en cada tubo de presión en este segundo bastidor será también de una o dos.

10

Como se observa también la Figura 3A, la etapa de limpieza de la(s) primera(s) membrana(s) de ósmosis inversa (1B) localizada(s) en el segundo bastidor se lleva a cabo empleando una parte o la totalidad de la corriente de salmuera o rechazo de la última etapa de filtración, tras su paso por al menos un dispositivo de recuperación de energía (4'). Dicha corriente de salmuera o rechazo de la última etapa de filtración se trata por tanto de la corriente de limpieza, a la cual en esta realización particular se le hace circular en sentido inverso al del flujo de la corriente de agua salobre o de mar a tratar, con objeto de garantizar el máximo flujo y eliminación del contaminante biológico por choque osmótico y, a su vez, poder llevar a cabo un barrido de los sólidos en suspensión que se hubieran podido depositar en el cabezal de primera membrana de ósmosis inversa (1B) localizada en el segundo bastidor. Ello se consigue debido a que, como consecuencia de las características del método objeto de la invención, se logra hacer llegar a las membranas de ósmosis inversa un mayor caudal de la corriente de limpieza que el que se consigue en un proceso de limpieza convencional. Por otro lado, como se ha descrito anteriormente, en otras realizaciones (no mostradas en la Figura 3A) el proceso podrá llevarse a cabo de la misma manera que la descrita en este apartado, con la salvedad de que el flujo de la corriente de salmuera que se emplee en la limpieza tendrá el mismo sentido que el flujo de la corriente de agua bruta de alimentación.

15

20

25

30

35

Adicionalmente, en realizaciones particulares en las que se desee reforzar la operación de limpieza de la primera membrana de ósmosis inversa (1B) localizada en el segundo bastidor, será posible emplear adicionalmente un sistema de lavado de membranas convencional de los habitualmente empleados en el estado de la técnica, consistente por ejemplo en un depósito o tanque de almacenamiento (2'), donde se diluya y almacene una solución de limpieza, y una bomba de recirculación que permita el paso repetidas veces de la solución de limpieza a través de la primera membrana de ósmosis inversa (1B) localizada

en el segundo bastidor. Desde el depósito o tanque de almacenamiento (2') se bombea la corriente de limpieza al segundo bastidor para la limpieza de la primera membrana de ósmosis inversa (1B) localizada en dicho segundo bastidor y, tras el paso de la solución de limpieza por dicha primera membrana de ósmosis inversa (1B), se recoge la misma en parte o en su totalidad en el depósito o tanque de almacenamiento (2') desde donde nuevamente se envía al segundo bastidor, siendo una limpieza en circuito cerrado. La solución de limpieza empleada en el sistema será seleccionada en función del grado de ensuciamiento de las membranas, pudiendo comprender, entre otros ejemplos, EDTA tetrasódico, NaOH, HCl o ácido nítrico. En una realización particular de la invención, dicha solución de limpieza puede comprender 5 ppm de EDTA y 7 ppm de NaOH, en caso de someter a las membranas a una limpieza alcalina, o 6 ppm de HCl y 3 ppm de ácido nítrico, en caso de que la limpieza sea ácida.

En la Figura 3B se observa un método equivalente al descrito anteriormente en relación a la Figura 3A. En este caso, sin embargo, tras la primera etapa de filtración en al menos una primera membrana de ósmosis inversa (1A) se obtiene una primera corriente de permeado (agua de producto) y una primera corriente de salmuera (o primer rechazo) que es enviada a continuación a al menos una primera membrana adicional de ósmosis inversa (2A) localizada también en el primer tubo de presión, en serie respecto a la primera membrana de ósmosis inversa (1A). La corriente de salmuera obtenida en la segunda etapa de filtración que tiene lugar en dicha membrana adicional de ósmosis inversa (2A) es conducida a una tercera etapa de filtración y así consecutivamente hasta una séptima etapa de filtración, de modo que el rechazo de cada etapa de filtración es la alimentación de la siguiente etapa de filtración.

Como se observa en la Figura 3B, durante la operación de la primera membrana de ósmosis inversa (1A) y de la membrana adicional de ósmosis inversa (2A) localizadas en el primer bastidor, al menos una primera membrana de ósmosis inversa (1B) situada en un segundo bastidor y al menos una membrana adicional de ósmosis inversa (2B) localizada asimismo en el segundo bastidor, en serie respecto a la primera membrana de ósmosis inversa (1B), podrán ser sometidas a una etapa de limpieza en caso de presentar muestras de ensuciamiento. Para ello, en la realización particular que se muestra en la Figura 3B se hará circular a través de ellas, en sentido inverso al flujo de la corriente de agua bruta de alimentación, una parte o la totalidad de la corriente de rechazo correspondiente a la última etapa de filtración, preferentemente tras su paso por al menos un dispositivo de recuperación de energía (4'). Como se ha descrito anteriormente, en realizaciones

alternativas de la invención, el proceso podrá llevarse a cabo tal y como se ha descrito, con la salvedad de que la corriente de rechazo correspondiente a la última etapa de filtración, empleada en la limpieza, se hará circular en el mismo sentido que el del flujo de la corriente de agua bruta de alimentación. Por otro lado, en realizaciones particulares en las que no
5 exista un dispositivo de recuperación de energía, la corriente de rechazo de la última etapa de filtración se enviará directamente a la(s) membrana(s) que muestre(n) síntomas de ensuciamiento, para su limpieza, previa reducción de presión preferentemente hasta una presión igual o inferior 4 bar, que es la presión máxima recomendada para limpieza de membranas. En este caso podrán emplearse, preferentemente, válvulas de aguja.

10

Adicionalmente, para reforzar la operación de limpieza de las membranas de ósmosis inversa (1B) y (2B), será posible emplear adicionalmente un sistema de lavado de membranas convencional de los habitualmente empleados en el estado de la técnica. Este sistema de lavado puede comprender un depósito o tanque de almacenamiento (2') donde
15 se diluya y almacene una solución de limpieza y una bomba de recirculación que permite el paso de la solución de limpieza a través de las membranas (1B) y (2B) repetidas veces. De este modo, la solución de limpieza se bombea desde el depósito o tanque de almacenamiento (2') hasta las membranas de ósmosis inversa (1B) y (2B) y, tras el paso de la solución de limpieza por dichas membranas, se recoge la totalidad o parte de la misma en
20 el depósito o tanque de almacenamiento (2'), desde donde nuevamente se enviará a la(s) membrana(s) que requieran ser sometidas a un proceso de limpieza, siendo una limpieza en circuito cerrado.

25

Si bien en las figuras 3A, 3B, 4A y 4B se ha mostrado un circuito cerrado en la operación de limpieza, en otras realizaciones de la invención parte o la totalidad de la corriente de rechazo empleada en la limpieza de las membranas podrá ser vertida como corriente de drenaje.

30

La Figura 4A muestra una realización particular del método objeto de la invención, equivalente a la descrita en relación a la Figura 3A, con la diferencia de que en este caso la primera membrana de ósmosis inversa (1A) correspondiente a la primera etapa de filtración, localizada en el primer bastidor, se encuentra en modo de limpieza haciendo circular la corriente de rechazo procedente de la última etapa de filtración mientras que, al mismo tiempo, la primera membrana de ósmosis inversa (1B) correspondiente a la primera etapa
35 de filtración, localizada en el segundo bastidor operando en paralelo a la primera membrana de ósmosis inversa (1A) del primer bastidor, se encuentra en fase de operación. De este

modo, la corriente de agua bruta alimentada al sistema, tras haber sido sometida a un proceso de aumento de presión a través de al menos una primera bomba de presión (1') hasta alcanzar una presión superior a la presión osmótica correspondiente a la concentración de sales de dicha corriente de agua bruta (agua salobre o de mar) es alimentada a la primera membrana de ósmosis inversa (1B) correspondiente a la primera etapa de filtración, localizada en el segundo bastidor. Como se ha descrito anteriormente, el rechazo de esta primera etapa de filtración es la alimentación de la siguiente etapa de filtración (correspondiente a la segunda etapa de filtración) y así sucesivamente hasta la última etapa de filtración (correspondiente a la séptima etapa de filtración). El proceso de limpieza de la primera membrana de ósmosis inversa (1A) localizada en el primer bastidor será equivalente al descrito en relación a la realización que se muestra en la Figura 3A, empleando una parte o la totalidad de la corriente de rechazo de la última etapa de filtración como corriente de limpieza, la cual es impulsada a través de la la(s) primera(s) membrana(s) de ósmosis inversa (1A) tras su paso por un dispositivo de recuperación de energía (4'), en un flujo contrario al sentido de la corriente de agua bruta alimentada al sistema. Como se ha sido descrito anteriormente, en realizaciones alternativas de la invención el proceso sería el mismo que el que ha sido descrito, con la salvedad de que el flujo del caudal de la última etapa de filtración que se emplea en la limpieza tendría el mismo sentido que el de la corriente del agua bruta alimentada al sistema. Como se ha descrito anteriormente, el empleo del dispositivo de recuperación de energía (4') es opcional por lo que en otras realizaciones particulares de la invención, la corriente de rechazo de la última etapa de filtración será enviada directamente a la(s) membrana(s) que sea necesario limpiar, previa reducción de presión preferentemente hasta una presión igual o inferior a 4 bar, que es la presión máxima recomendada para limpieza de membranas.

25

En la Figura 4B, a su vez, se describe un sistema equivalente al descrito en relación a la Figura 4A, con la diferencia de que tras el filtrado de la corriente de agua bruta (agua salobre o de mar) en al menos una primera membrana de ósmosis inversa (1B) localizada en el segundo bastidor, correspondiente a la primera etapa de filtración, se obtiene una corriente de permeado (agua de producto) y una corriente de salmuera (o primer rechazo) que es enviada a continuación a al menos una membrana adicional de ósmosis inversa (2B) localizada también en el segundo bastidor, en serie respecto a la primera membrana de ósmosis inversa (1B), donde tiene lugar una segunda etapa de filtración. La corriente de salmuera obtenida en la segunda etapa de filtración es conducida a una tercera etapa de filtración y así consecutivamente hasta una séptima etapa de filtración, de modo que el rechazo de cada etapa de filtración es la alimentación de la siguiente etapa de filtración.

35

Asimismo, en la Figura 4B se muestra una realización en la que, al mismo tiempo que la primera membrana de ósmosis inversa (1B) localizada en el segundo bastidor, correspondiente a la primera etapa de filtración y una membrana adicional de ósmosis inversa (2B) se encuentran operando, la primera membrana de ósmosis inversa (1A) localizada en el primer bastidor y una membrana adicional de ósmosis inversa (2A) localizada también en el primer bastidor, en serie respecto a la primera membrana de ósmosis inversa (1A), se encuentran en fase de limpieza, haciendo pasar a contracorriente respecto al flujo de la corriente de agua bruta alimentada al sistema la corriente de rechazo de la última etapa de filtración (correspondiente a la séptima etapa de filtración) tras haber sido sometida a un proceso de recuperación de energía en al menos un dispositivo de recuperación de energía (4'). De nuevo, en realizaciones alternativas de la invención, el proceso puede llevarse a cabo de la misma manera que ha sido descrito, con la salvedad de que el flujo de la corriente de la última etapa de filtración, que se emplea en la limpieza se hará circular en el mismo sentido que el de la corriente de alimentación de la corriente bruta a tratar. De nuevo, en realizaciones particulares en las que no exista un dispositivo de recuperación de energía (4'), la corriente de rechazo de la última etapa de filtración pasará directamente por las membranas que se encuentren en modo limpieza, previa reducción de presión preferentemente hasta una presión igual o inferior a 4 bar, que es la presión máxima recomendada para limpieza de membranas.

Adicionalmente, para reforzar la operación de limpieza de las membranas de ósmosis inversa (1A) y (2A), podrá emplearse adicionalmente un sistema de lavado de membranas convencional de los habitualmente empleados en el estado de la técnica. Dicho sistema de lavado puede consistir en un depósito o tanque de almacenamiento (2'), donde se diluya y almacene la solución de limpieza, y una bomba de recirculación que permita el paso repetidas veces de la solución de limpieza a través de las membranas (1A) y (2A) desde el depósito o tanque de almacenamiento (2'), donde se prepara y almacena la solución limpieza. Tras el paso de la solución de limpieza por dichas membranas (1A) y (2A), se recoge la misma en el depósito o tanque de almacenamiento (2'), desde donde nuevamente se envía a las membranas que requieran un proceso de limpieza, siendo una limpieza en circuito cerrado.

El proceso descrito en las cuatro realizaciones anteriores, según se muestran en las figuras 3A, 3B, 4A y 4B se lleva a cabo de manera continua y puede revertirse tan pronto se observe un incremento de presión diferencial en la(s) primera(s) membranas en fase de

- operación (correspondiente a la primera o primera y segunda etapa de filtración), debido al ensuciamiento biológico de las membranas de ósmosis inversa correspondientes a dichas primeras etapas de filtración. En ese momento, la(s) membrana(s) en fase de operación pasará(n) a modo de limpieza, lavándola(s) con la corriente de rechazo (salmuera) procedente de la última etapa de filtración, haciéndola circular en sentido inverso al flujo de la corriente de alimentación de agua bruta al sistema, o en el mismo sentido de la misma. Al mismo tiempo, comenzarán a operar la(s) membrana(s) de ósmosis inversa localizada(s) en paralelo a la(s) membrana(s) en fase de limpieza y así sucesivamente.
- De este modo, el proceso se irá alternando a medida que la(s) membrana(s) localizadas en la primera o primera y segunda etapa de filtración muestren signos de ensuciamiento, en cuyo momento entrarán en modo limpieza y la(s) membrana(s) que se encontraban en modo limpieza con salmuera entrarán en modo producción. De ahí, el concepto de operación en modo "revólver".
- Si bien en las figuras que acompañan a esta descripción se muestran dos bastidores operando en paralelo en la primera etapa de filtración, en otras realizaciones particulares de la invención el sistema podrá comprender bastidores adicionales (uno o más) operando en paralelo en la primera etapa de filtración. Cada uno de ellos se encontrará en fase de limpieza o en operación (tratando un determinado porcentaje del agua de alimentación), en función de las condiciones del proceso, pudiendo invertirse la operación llegado el momento entre fase de operación o de limpieza, tal y como se ha descrito anteriormente.

Ejemplo

- Para comprobar la eficacia del proceso objeto de la invención se llevó a cabo una simulación de una realización particular de la invención según puede observarse en la Figura 5.

En concreto, la corriente de alimentación objeto de la simulación cumplía las siguientes características técnicas:

Tabla 4. Características de la corriente de alimentación

ión	mg/l	meq/l
Ca	840.0	41.9
Mg	1166.0	96.0
Na	12723.8	553.2
K	440.0	11.3
CO ₃	14.6	0.5
HCO ₃	192.0	3.1

SO ₄	3152.4	65.7
Cl	22463.1	633.7
F	1.1	0.1
NO ₃	0.4	0.0
B	4.90	
SiO ₂	0.5	
CO ₂	1.49	

TDS	40998.8
pH	7.80
CaSO ₄ / kps (producto de solubilidad) * 100	45%
SiO ₂ (saturación)	0%
Índice de Saturación de <i>Stiff & Davis</i>	0.36
Fuerza iónica	0.80
Presión osmótica (bar)	29.9

El proceso simulado, según se muestra en la figura 5, se caracteriza por que comprende someter una corriente de agua salobre o de mar con las características recogidas en la tabla 4 a una primera etapa de aumento de presión en la primera bomba de presión (1') hasta alcanzar una presión de 61.1 bar. A continuación, dicha corriente de agua salobre o de mar es alimentada a una primera membrana de ósmosis inversa localizada en el interior de cada uno de los 14 tubos de presión localizados en un primer bastidor o estructura de soporte (5'). La corriente de rechazo obtenida en dicha primera membrana de ósmosis inversa es enviada a continuación a una segunda membrana de ósmosis inversa localizada en serie respecto a la primera membrana de ósmosis inversa, en el interior de cada uno de los 14 tubos de presión situados en el primer bastidor o estructura de soporte (5'). Tras el filtrado en la segunda etapa de filtración se obtiene una primera corriente de permeado (correspondiente al agua desalada o producto final) y una corriente de salmuera (o segundo rechazo) que es enviada a continuación a una tercera etapa de filtración, situada en serie respecto a la anterior y así sucesivamente, de modo que la corriente de rechazo de cada etapa de filtración es la alimentación de la siguiente etapa de filtración. El número total de etapas de filtración es de 7, contando las dos primeras etapas mencionadas anteriormente. En particular, la tercera a la séptima etapas de filtración tienen lugar en el tercer bastidor o estructura de soporte (7'), el cual comprende 12 tubos de presión que contienen cada uno de ellos, en su interior, 5 membranas de ósmosis inversa. Tras estas etapas de filtración, se genera una segunda corriente de permeado (que es unificado con la primera corriente de permeado, correspondiente a la primera etapa de filtración) y una corriente de salmuera correspondiente al rechazo de la última etapa de filtración.

Continuamente, durante todo el proceso, se lleva a cabo un control de la presión, de modo que una vez se observe un incremento de la presión diferencial en la(s) primera(s) membrana(s) y/o se requiera aumentar la presión de alimentación a las membranas de la primera y/o segunda etapa de filtración para mantener la producción, se procederá a detener su operación, siendo sometidas a continuación a una etapa de limpieza. En esta etapa de limpieza, la alimentación de la corriente de agua salobre o de mar a tratar se somete a una primera etapa de filtración a través de una primera membrana de ósmosis inversa localizada en el interior de cada uno de los 14 tubos de presión situados en un segundo bastidor o estructura de soporte (6'), paralelo al primer bastidor (5'). Como en el caso anterior, la corriente de rechazo obtenida en dicha primera membrana de ósmosis inversa localizada en el segundo bastidor (6') es enviada a continuación a una membrana adicional de ósmosis inversa localizada en serie respecto a la primera membrana de ósmosis inversa, en el interior de cada uno de los 14 tubos de presión del segundo bastidor o estructura de soporte (6'). Tras el filtrado en la segunda etapa de filtración se obtiene una corriente de permeado (correspondiente al agua desalada o producto final) y una corriente de salmuera (o segundo rechazo) que es enviada a continuación a una tercera etapa de filtración, situada en serie respecto a la anterior y así sucesivamente, de modo que la corriente de rechazo de cada etapa de filtración es la alimentación de la siguiente etapa de filtración. Como se ha descrito anteriormente, el número total de etapas de filtración es de 7, contando las dos primeras etapas mencionadas anteriormente. Durante la operación de estas membranas de ósmosis inversa se llevará a cabo la limpieza de las primeras membranas de ósmosis inversa, preferentemente empleando parte o la totalidad de la corriente de salmuera correspondiente al rechazo de la última etapa de filtración, tras su paso por un dispositivo de recuperación de energía (ERD; Energy Recovery Device, en inglés) (4') donde se despresuriza disminuyendo su presión preferentemente hasta 1.5 bar. Otra parte de la corriente final de salmuera puede ser devuelta al mar, preferentemente en un porcentaje inferior a un 20%, si bien dicho porcentaje podrá variar en función del número de bastidores instalados en la primera etapa de filtración y que operen en paralelo en modo de revólver. En la realización particular que se muestra en la Figura 5, esta corriente de salmuera se hace circular en sentido inverso al del flujo de la corriente de agua salobre o de mar a tratar, si bien en otras realizaciones se podría hacer circular en el mismo sentido del flujo de la corriente de agua de mar o salobre a tratar. Como se ha descrito también anteriormente, con objeto de reforzar la operación de limpieza puede emplearse adicionalmente un sistema de lavado de membranas convencional de los habitualmente empleados en el estado de la técnica, consistente en un depósito o tanque de almacenamiento (2'), donde se diluye la solución de limpieza y una bomba de recirculación (8') que permite el paso repetidas veces de la solución de limpieza a

través de la(s) membrana(s) que se encuentren en modo limpieza. Tras el paso de la solución de limpieza por dichas membranas se recoge la totalidad o parte de la misma de nuevo en el depósito o tanque de almacenamiento (2'), desde donde nuevamente se enviará al bastidor que se encuentre en modo limpieza (5') o (6'), siendo una limpieza en circuito cerrado.

Se ha demostrado que el diseño de la operación según ha sido descrito anteriormente permite resolver los problemas del estado de la técnica que han sido enumerados en el apartado de antecedentes de la invención. A continuación se explicará en detalle la manera en que cada uno de estos problemas han sido resueltos:

(a) Resolución del problema de mayor presión de operación y, con ello, mayor consumo energético asociado a las plantas desaladoras que sufren ensuciamiento biológico

Dado que el diseño propuesto permite mantener permanentemente limpias las membranas ubicadas en primera posición (y, en realizaciones particulares de la invención, también en la segunda) al lavarlas con salmuera, se consiguen evitar los efectos del ensuciamiento biológico o *biofouling*, lo que permite que las condiciones de operación a lo largo del tiempo sean coincidentes con las de diseño.

De este modo, en la siguiente tabla (Tabla 5) se lleva a cabo una comparativa de los resultados obtenidos en fase de diseño en una operación llevada a cabo en un sistema convencional, tal y como se muestra en la Figura 1, con los valores obtenidos durante la operación real del sistema (operando de acuerdo al sistema convencional) y los valores del diseño en una realización según se ha descrito y se muestra en la Figura 5.

Tabla 5. Comparativa resultados de diseño y resultados reales de operación

Etapas de filtración	1	2	3	4	5	6	7
Presión de operación (bar) en diseño original (Figura 1)	61.4	61.1	60.9	60.7	60.5	60.3	60.2
Presión de operación (bar) real	69.0	68.58	68.31	68.03	67.75	67.48	67.34
Presión de operación (bar) en diseño de acuerdo a la Figura 5	61.1	60.9	60.7	60.5	60.3	60.1	60.0

Tal y como se puede observar en la tabla anterior (tabla 5), el hecho que el diseño y modo de operación del sistema objeto de la invención permita mantener bajo control los efectos del *biofouling* hace posible operar bajo las condiciones originales de diseño e incluso

mejorarlas. Se demuestra así que el método y sistema objeto de la invención logra evitar las sobrepresiones producidas en la operación real por los efectos nocivos del ensuciamiento biológico.

5 En la siguiente tabla (Tabla 6) se observa la mejora en el consumo energético del diseño objeto de la invención (según se muestra en la Figura 5), al lograr mantener bajo control el ensuciamiento biológico (*biofouling*). La comparativa se ha realizado con los valores obtenidos en la planta operando de acuerdo al sistema convencional:

10 **Tabla 6.** Comparativa consumos energéticos

	Recobro (%)	Presión de operación (bar)	Producción (m ³ /h)	Consumo (kWh/m ³)
Diseño objeto de la invención	42	61.10	41.67	1.97
Datos reales de operación	38	69.00	37.70	2.23
Mejora consumo energético (%)				13.20%

Tal y como puede observarse en la tabla 6, se produce una mejora en el consumo energético de hasta un 13.20%, motivada fundamentalmente por lograr mantener permanentemente limpias las membranas localizadas en la primera y segunda etapas de filtración.

15

(b) Resolución del problema de pérdida de producción por membrana instalada en los tubos de presión

20 Tal y como se describió anteriormente, en los sistemas convencionales existe una pérdida de producción que, en general, obliga a subir la presión de operación en el tubo o tubos de presión que contiene o contienen las membranas de ósmosis inversa con objeto de lograr que una mayor cantidad de agua permee a través de las membranas. Ello implica, como se ha descrito, un incremento en el consumo energético y un empeoramiento del problema debido al *biofouling*, en cuanto se deposita mayor cantidad de materia orgánica sobre la superficie de las membranas. Con todo ello, además del incremento en consumo energético,

25 se produce igualmente una pérdida de producción de agua desalada de hasta un 12%, lo que afecta a los objetivos de producción.

30 Tal y como se puede observar en la tabla 7, el diseño y operación objeto de la presente invención permite mantener la producción de las membranas de ósmosis inversa en sus valores de diseño, ya que en todo momento se asegura el estado y la limpieza de las

membranas colocadas en las primeras posiciones. Ello garantiza una óptima producción de las mismas y el paso del agua a las membranas instaladas en las siguientes posiciones.

5 **Tabla 7.** Comparativa entre datos de diseño original, datos reales de operación (de acuerdo al diseño convencional) y datos de diseño de acuerdo a la invención según se muestra en la Figura 5 (Producción por membrana, m³/h)

Etapas de filtración	1	2	3	4	5	6	7	Total
Diseño original (Figura 1)	0.9	0.7	0.6	0.5	0.3	0.3	0.2	3.5
Datos reales de operación (Figura 1)	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	3.1
Datos de diseño de acuerdo a la Figura 5	0.9	0.7	0.6	0.5	0.3	0.3	0.2	3.5

(c) Resolución del problema de mayor presión diferencial en el bastidor de ósmosis inversa

10 Como se ha descrito anteriormente, debido a que el efecto del ensuciamiento biológico o *biofouling* es imposible de ser determinado en fase de diseño de la planta de ósmosis inversa, existe una gran dificultad a la hora de evaluar si la curva y características de la bomba *booster* u otros bombeos o sistemas recuperadores de energía instalados en el sistema permitirán afrontar el efecto impredecible del *biofouling* eficientemente. El diseño
15 objeto de la presente invención, sin embargo, permite garantizar el valor de la presión diferencial de diseño en los bastidores de ósmosis inversa y, con ello, la elección de bombeos más eficientes, evitando de esta manera el mayor consumo energético derivado de la pérdida de eficiencia de los equipos de bombeo y los recuperadores de energía.

20 Tal y como puede observarse en la tabla 8, en la que se establece una comparativa entre la caída de presión en las membranas instaladas de acuerdo al diseño original, los datos reales de operación y el diseño y modo de operación objeto de la invención, se puede concluir que el sistema tipo “revolver” de operación permite en todo momento mantener la
25 presión diferencial en cada membrana en sus valores de diseño. Ello es así ya que siempre que se observe un incremento de la caída de presión en las primeras membranas, donde se produce el efecto del ensuciamiento biológico, dichas membranas se pondrán en modo de lavado, entrando en operación las membranas que estaban hasta ese momento en modo lavado, garantizando estas últimas una caída de presión según diseño por encontrarse
30 limpias.

Tabla 8. Comparativa entre datos de diseño original, datos reales de operación (de acuerdo al diseño convencional) y datos de diseño de acuerdo a la invención según se muestra en la Figura 5

Etapas de filtración	1	2	3	4	5	6	7
Presión de operación (bar) en diseño original	61.4	61.1	60.9	60.7	60.5	60.3	60.2
Presión de operación (bar) real	69.0	68.58	68.31	68.3	67.75	67.48	67.34
Presión de operación (bar) en diseño sistema de acuerdo a la Figura 5	61.1	60.9	60.7	60.5	60.30	60.1	60.0
Presión de operación (bar) real en sistema de acuerdo a la Figura 5	62.5	62.3	62.1	61.9	61.70	61.5	61.4

En la tabla anterior (Tabla 8) se muestra una presión real de operación del diseño y operación de acuerdo a la presente invención superior a la de diseño, ya que se ha considerado un factor de envejecimiento de las membranas. No obstante, tal como se describió anteriormente, el poder reemplazar las primeras membranas que comiencen a sufrir problemas de ensuciamiento biológico (*biofouling*) por membranas lavadas garantiza que la caída de presión en las primeras membranas se mantenga constante, no como en los sistemas actuales donde la caída de presión debido al ensuciamiento biológico se concentra en las primeras membranas, afectando al resto de las instaladas en el sistema.

(d) Resolución al problema de grave deterioro de las membranas de ósmosis inversa colocadas en primera o primera y segunda posición del tubo de presión

Tal y como se describió anteriormente, en las membranas de ósmosis inversa de la primera y segunda etapas de filtración es en la(s) que se produce un mayor crecimiento biológico o *biofouling* que se deposita sobre su superficie y en sus espaciadores, obturando el paso de agua de alimentación a las siguientes membranas. Se reduce así el paso de agua a las siguientes membranas y se incrementa la presión de operación con objeto de garantizar el recobro de diseño de las membranas de ósmosis inversa. Así mismo, se reduce la capacidad de producción del sistema, debido a que se reduce el paso de agua a las siguientes membranas conectadas en serie respecto a la(s) primera(s) membrana(s) de ósmosis inversa de la instalación.

Es un hecho también contrastado en la práctica que las plantas que sufren de ensuciamiento biológico severo se ven obligadas a reemplazar las membranas instaladas en las primeras posiciones de los tubos con mayor frecuencia que la normalmente considerada por diseño. Con el diseño y modo de operación objeto de la invención este problema se ve resuelto, ya que al menor indicio de ensuciamiento de las membranas colocadas en las

primeras posiciones se procede a su lavado con salmuera, permitiendo mantener su producción según diseño.

- 5 Cabe destacar que se define el flujo por membrana como la cantidad de agua que atraviesa la membrana por metro cuadrado de superficie de la misma y por hora. Este flujo se determina en unidades l/m^2h (litros por metro cuadrado de superficie de membrana y por hora). Cuanto mayor es su valor, mayor es el esfuerzo de producción al que la membrana está sometida, aumentando el riesgo de ensuciamiento de la misma. Gracias al diseño y modo de operación objeto de la invención, las membranas que ocupan las posiciones 1 o 1
- 10 y 2 tienen un menor flujo por membrana, lo que implica que sufrirán menos ensuciamiento. Por otra parte, el diseño y el modo de operación objeto de la invención permiten mantener los valores de flujo por membrana constantes, según diseño, ya que se asegura que las membranas colocadas en las primeras posiciones permanezcan limpias en todo momento. De este modo, en caso de producirse una disminución del flujo en las membranas situadas
- 15 en las primeras posiciones no se producirá un incremento de la presión de operación del sistema, sino que simplemente entrará en operación el módulo que hasta entonces se encontraba en fase de limpieza con salmuera, restableciéndose de esa manera el flujo por membrana asociado a membranas limpias y/o nuevas.
- 20 En la siguiente tabla (Tabla 9) se observa como varían los flujos por membrana en el diseño original y en el diseño objeto de la presente invención. Los resultados reflejados en dicha tabla permiten concluir que el flujo por membrana en el diseño propuesto es menos agresivo que en el diseño convencional, asegurando una mayor vida a las membranas y un mejor rendimiento de las mismas durante su tiempo de utilización.

25

Tabla 9. Comparativa flujo de agua que atraviesa las membranas de ósmosis inversa

Etapas de filtración	1	2	3	4	5	6	7	Flujo medio
Flujo por membrana (l/m^2h) en el diseño original (Figura 1)	21.6	17.8	14.3	11.2	8.5	6.5	5.0	12.10
Flujo por membrana (l/m^2h) con una primera etapa de filtración con membranas operando en paralelo, de acuerdo al objeto de la invención	21.1	16.9	13.6	10.7	8.10	6.2	4.8	11.9
Flujo por membrana (l/m^2h) con una primera y una segunda etapa de filtración con membranas operando en paralelo, de acuerdo al objeto	20.8	16.6	12.8	10.2	7.70	5.9	4.60	11.60

de la invención								
-----------------	--	--	--	--	--	--	--	--

(e) Resolución del problema del alto coste de inversión en el pre-tratamiento

5 Como se ha descrito anteriormente, la solución objeto de la presente invención permite la instalación de sistemas mucho menos exigentes en operación e inversión que en el caso de un sistema convencional, ya que se basa en convivir con el problema del *biofouling* manteniéndolo controlado en todo momento, en lugar de eliminarlo absolutamente. De este modo, el ahorro en el coste de inversión puede ser de hasta un 30%.

10 **(f) Resolución del problema asociado a las pérdidas de producción debido a la limpieza de las membranas**

15 Como se ha descrito anteriormente, el ensuciamiento biológico al que se somete a las membranas de ósmosis inversa provoca, más allá de mayores consumos energéticos y pérdidas de producción, paradas en la producción de los trenes de ósmosis inversa para realizar la limpieza de las membranas. La frecuencia de estas paradas dependerá de la severidad del ensuciamiento biológico y su frecuencia incrementará el coste de operación de las plantas desaladoras. Así mismo, cuanto mayor sea la severidad del ensuciamiento biológico y, con ella, el número de limpiezas de las membranas, mayor será el coste de los 20 productos químicos utilizados, así como de los gastos asociados a la limpieza (gastos de personal, productos químicos, paradas de producción, logística, etc.).

25 Por otra parte, cuando se realiza una limpieza en un tubo de presión, bastidor o tren de ósmosis inversa, se suelen utilizar productos químicos, los cuales son agresivos contra la totalidad de las membranas instaladas, incluyendo aquellas que están en perfecto estado (las correspondientes a las etapas de filtración 3 a 7). Ello conlleva una menor eficiencia de los reactivos químicos utilizados, que han de atravesar la totalidad de las membranas con la consiguiente caída de presión, así como un mayor tiempo requerido para la limpieza.

30 Con la solución objeto de la presente invención únicamente se someten a limpieza con salmuera procedente del rechazo de la última etapa de filtración las membranas colocadas en primera posición, todo ello sin detener la producción. Se consigue así evitar que se produzca un ensuciamiento severo, así como identificarlo cuando comienza a producirse, momento en el cual se ataja mediante la limpieza en continuo con salmuera. Se ha 35 demostrado que la alta salinidad de la salmuera consigue provocar un choque osmótico en

el *biofouling* depositado sobre la superficie de las membranas, provocando que se desprenda y desaparezca. Adicionalmente, se consigue evitar un aumento en el consumo energético asociado a la limpieza, ya que la salmuera de salida de la ósmosis inversa se encuentra presurizada al emplear preferentemente sistemas de recuperación de energía con cámaras isobáricas que requieren generalmente una contrapresión mínima previa a su vertido de 1.5 bar, energía que en estos momentos se está desaprovechando y que es utilizada por la presente invención para realizar el lavado de las membranas situadas en la(s) primera(s) posiciones con la salmuera de salida de la ósmosis inversa. Al mismo tiempo, se consigue evitar o reducir el empleo de productos químicos, los cuales puedan dañar severamente a las membranas. En caso de no utilizarse sistemas de recuperación de energía, la presión disponible para la limpieza de las membranas con salmuera sería muy superior a 1.5 bar y se debería regular para que no superase, preferentemente, los 4 bar de presión.

15

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para el tratamiento de agua salobre o de mar caracterizado por que comprende:

- 5 (a) someter una corriente de agua salobre o de mar a una primera etapa de filtración a través de al menos una primera membrana de ósmosis inversa (1A) localizada en el interior de al menos un tubo de presión situado en un primer bastidor (5'), obteniéndose una primera corriente de permeado y una primera corriente de salmuera;
- 10 (b) a continuación, dicha primera corriente de salmuera es enviada a al menos una etapa adicional de filtración, la cual tienen lugar a través de al menos una membrana adicional de ósmosis inversa, localizada en serie respecto a la primera membrana de ósmosis inversa (1A) y situada en el interior de al menos un tubo de presión localizado en un tercer bastidor (7'), obteniéndose una segunda corriente de permeado y una segunda corriente de salmuera;
- 15 donde, continuamente a lo largo del proceso se lleva a cabo un control de presión, de modo que una vez se observen muestras de ensuciamiento en la primera membrana de ósmosis inversa (1A) se procede a detener su operación, siendo sometida a continuación a una etapa de limpieza durante la cual la alimentación de la corriente de agua salobre o de mar se somete a la primera etapa de filtración a través de al menos
- 20 una primera membrana de ósmosis inversa (1B) situada en el interior de al menos un tubo de presión localizado en un segundo bastidor (6'), operando en paralelo respecto al primer bastidor (5'), donde dicha etapa de limpieza de la primera membrana de ósmosis inversa (1A) se lleva a cabo empleando la segunda corriente de salmuera, circulando en sentido inverso o en el mismo sentido del flujo de la corriente de agua
- 25 salobre o de mar alimentada al proceso;
- y donde el proceso anterior se repite continuamente de manera alterna, de modo que cuando se observen muestras de ensuciamiento en la primera membrana de ósmosis inversa (1B) localizada en el segundo bastidor (6'), en fase de operación, se procede a detener su funcionamiento, pasando a modo de limpieza, al tiempo que la primera
- 30 membrana de ósmosis inversa (1A) localizada en el primer bastidor (5') vuelve a operar, siendo alimentada con el agua salobre o de mar a tratar.

2. El método de acuerdo a la reivindicación 1, donde la alimentación de la corriente de agua salobre o de mar a la primera etapa de filtración se lleva a cabo a una presión superior

35 a la presión osmótica correspondiente a la concentración de sales de dicha corriente de agua salobre o de mar.

3. El método de acuerdo a una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el número de membranas de ósmosis inversa localizadas en cada tubo de presión de la primera etapa de filtración es de una o dos.

5

4. El método de acuerdo a una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el número total de etapas de filtración en el proceso es de 7.

5. El método de acuerdo a una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la primera corriente de salmuera obtenida en la primera etapa de filtración atraviesa al menos una membrana adicional de ósmosis inversa (2A) situada en el primer bastidor (5'), en serie respecto a la primera membrana de ósmosis inversa (1A), antes de ser enviada a la membrana adicional de ósmosis inversa situada en el tercer bastidor (7'), al tiempo que la primera membrana de ósmosis inversa (1B) situada en el segundo bastidor (6') y al menos una membrana adicional de ósmosis inversa (2B), situada también en el segundo bastidor (6'), en serie respecto a la primera membrana de ósmosis inversa (1B) situada en el segundo bastidor (6'), se encuentran en modo de limpieza.

6. El método de acuerdo a una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde la primera corriente de salmuera obtenida en la primera etapa de filtración atraviesa al menos una membrana adicional de ósmosis inversa (2B) situada en el segundo bastidor (6'), en serie respecto a la primera membrana de ósmosis inversa (1B), antes de ser enviada a la membrana adicional de ósmosis inversa situada en el tercer bastidor (7'), al tiempo que la primera membrana de ósmosis inversa (1A) y al menos una membrana adicional de ósmosis inversa (2A) situada en el primer bastidor (5'), en serie respecto a la primera membrana de ósmosis inversa (1A) situada en el primer bastidor (5'), se encuentran en modo de limpieza.

7. El método de acuerdo a una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la segunda corriente de salmuera, empleada como corriente de limpieza, se hace pasar por un dispositivo recuperador de energía (4') antes de atravesar la(s) membrana(s) de ósmosis inversa sometida(s) a limpieza.

8. Un sistema para llevar a cabo el método de acuerdo a una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que comprende:

(a) un primer módulo de membranas que comprende al menos una primera membrana de ósmosis inversa (1A) localizada en el interior de al menos un tubo de presión situado en un primer bastidor (5') y al menos una primera membrana de ósmosis inversa (1B)

localizada en el interior de al menos un tubo de presión situado en un segundo bastidor (6'), donde la primera membrana de ósmosis inversa (1A) situada en el primer bastidor (5') y la primera membrana de ósmosis inversa (1B) situada en el segundo bastidor (6') están configuradas para operar en paralelo;

- 5 (b) al menos un segundo módulo de membranas que comprende al menos una membrana adicional de ósmosis inversa localizada en el interior de al menos un tubo de presión situado en un tercer bastidor (7'), donde dicho segundo módulo de membranas se encuentra conectado en serie con respecto al primer módulo de membranas a través de al menos un primer conducto de salida del primer módulo de membranas, situado
10 en el extremo opuesto al de la alimentación de la corriente de entrada y, en particular, correspondiendo al conducto de la corriente de rechazo del primer módulo de membranas, siendo un segundo conducto de salida del primer módulo de membranas el correspondiente a la salida del producto final;

y donde el segundo módulo de membranas o el último módulo en caso de haber sucesivos
15 módulos de membrana situados en serie se caracteriza por que comprende al menos dos conductos de salida, un primer conducto de salida correspondiente a la salida del producto final y un segundo conducto de salida correspondiente a la corriente de rechazo, estando dicho segundo conducto conectado al primer módulo de membranas por el extremo opuesto al de la alimentación del agua salobre o de mar o por el mismo
20 extremo de la alimentación del agua salobre o de mar.

9. El sistema de acuerdo a la reivindicación 8, donde el número de membranas de ósmosis inversa localizadas en cada uno de los tubos de presión del primer módulo de membranas es de una o dos.

25

10. El sistema de acuerdo a la reivindicación 8 o 9, donde el número de membranas de ósmosis inversa en cada tubo de presión del segundo módulo de membranas es de 5 a 6.

11. El sistema de acuerdo a una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, donde en el
30 conducto de alimentación al primer módulo de membranas se encuentra situada al menos una válvula para discriminar la alimentación a la primera membrana de ósmosis inversa (1A) situada en el primer bastidor (5') o a la primera membrana de ósmosis inversa (1B) situada en el segundo bastidor (6').

35 12. El sistema de acuerdo a una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, donde el conducto de conexión entre el segundo módulo de membranas o el último módulo en caso

de haber sucesivos módulos de membrana y el primer módulo de membranas comprende al menos un dispositivo recuperador de energía (4').

5 13. El sistema de acuerdo a una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, caracterizado por que comprende al menos un tanque de almacenamiento (2') de una solución de limpieza, donde dicho tanque de almacenamiento (2') se encuentra conectado con el primer bastidor (5') y el segundo bastidor (6') a través de un conducto de unión.

10 14. El sistema de acuerdo a una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, donde adicionalmente al primer bastidor (5') y al segundo bastidor (6'), el primer módulo de membranas comprende al menos un bastidor adicional situado en paralelo respecto a dicho primer bastidor (5') y segundo bastidor (6').

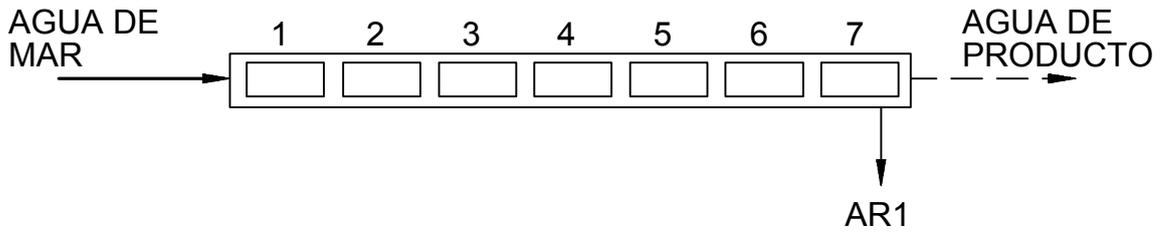


FIG. 1
ESTADO DE LA TÉCNICA

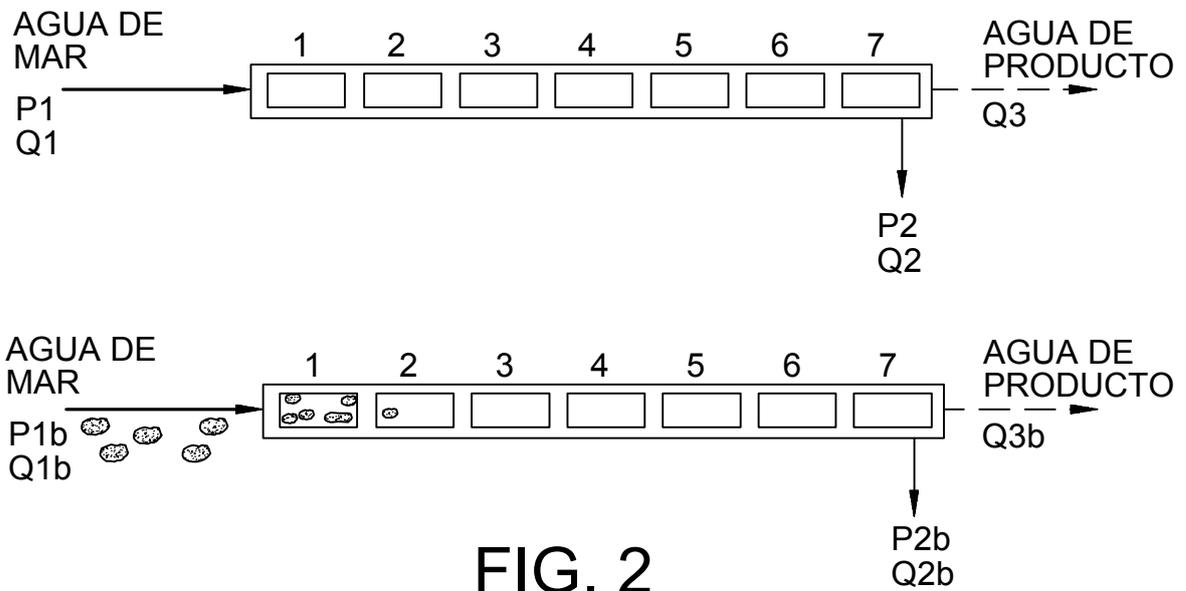


FIG. 2
ESTADO DE LA TÉCNICA

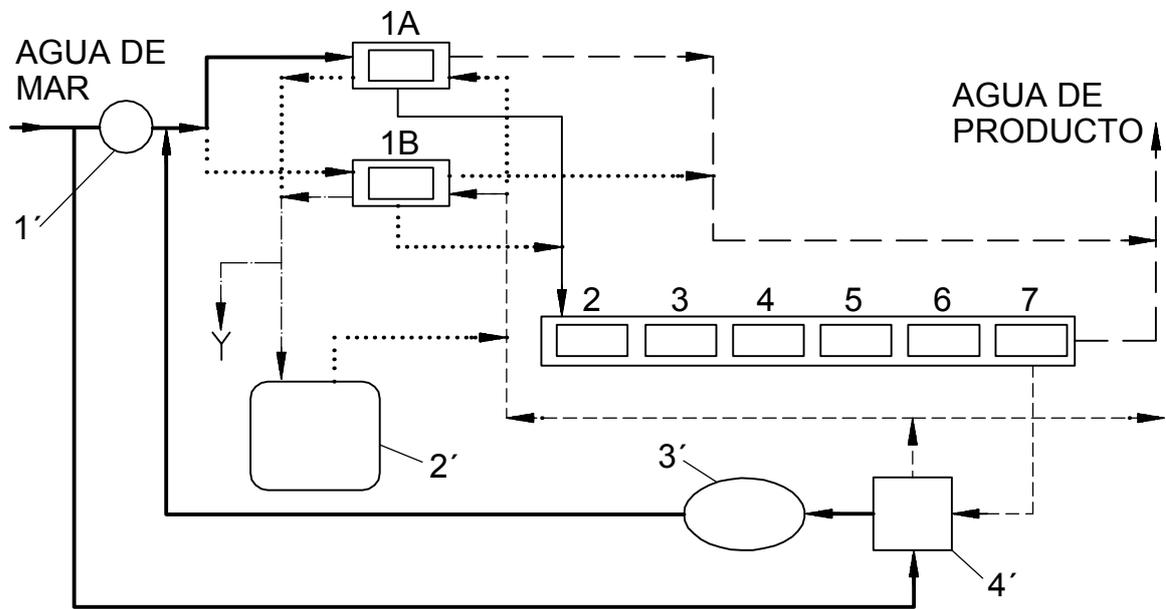


FIG. 3a

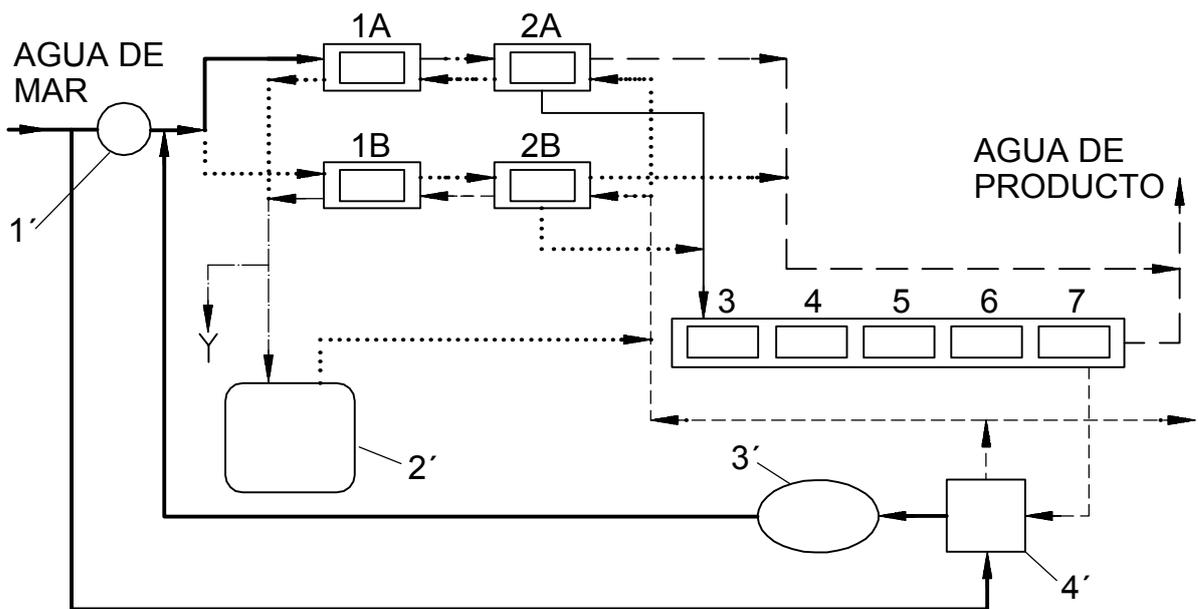


FIG. 3b

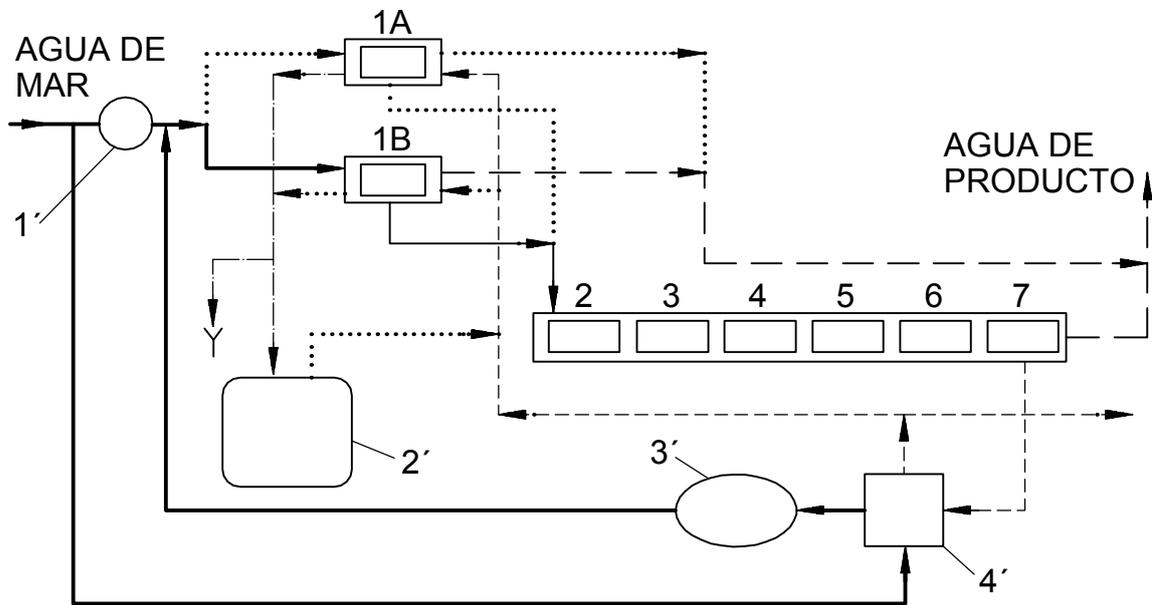


FIG. 4a

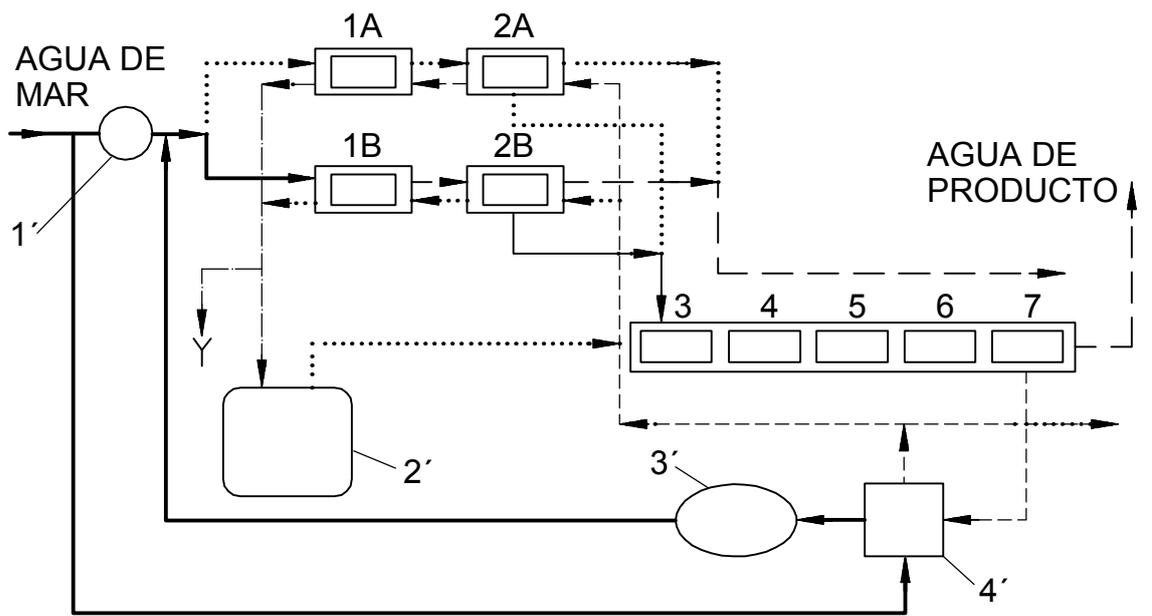


FIG. 4b

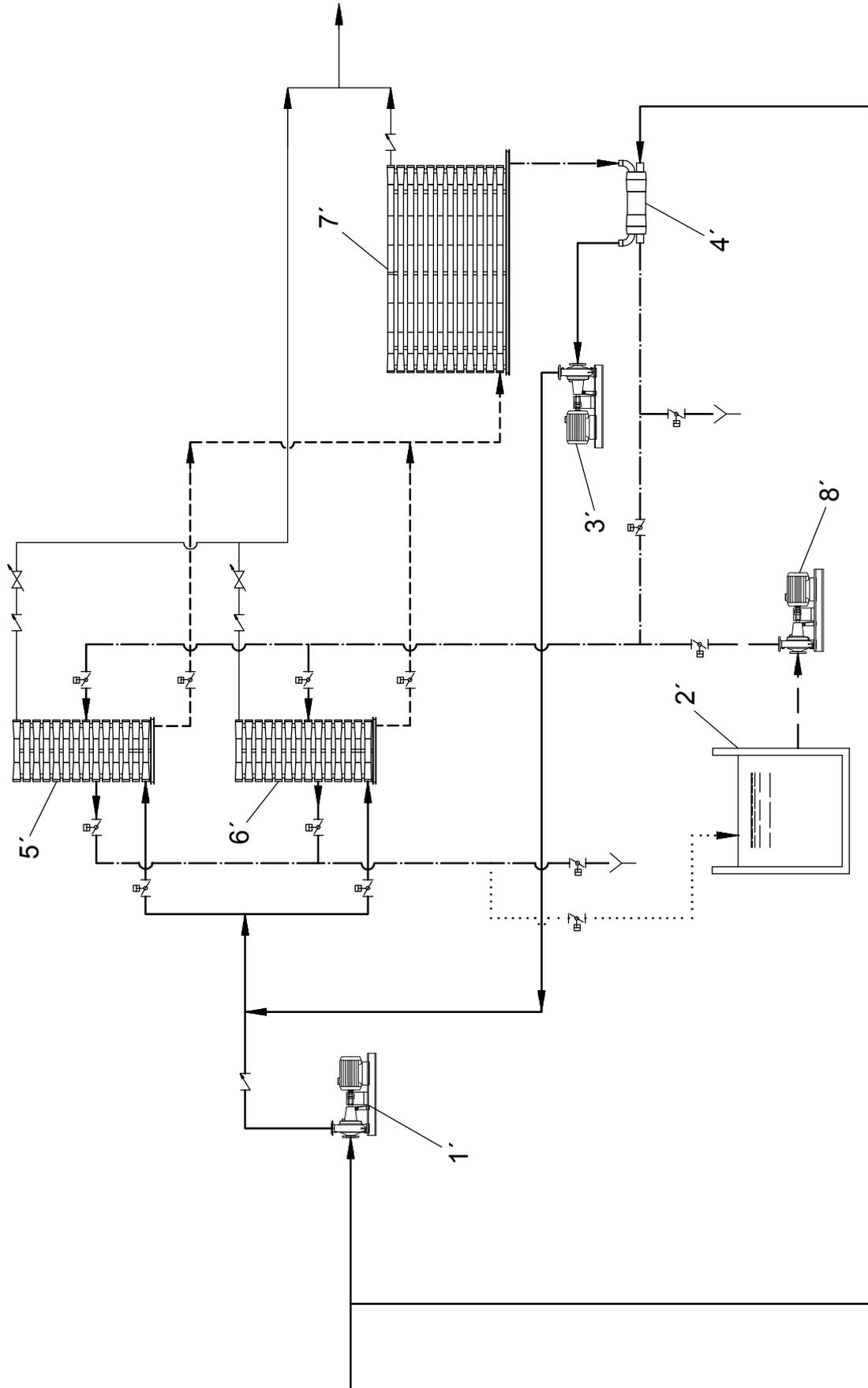


FIG. 5