

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 777 198**

51 Int. Cl.:

C02F 1/44	(2006.01)
B01D 61/06	(2006.01)
B01D 61/02	(2006.01)
B01D 61/00	(2006.01)
B01D 61/58	(2006.01)
C02F 103/08	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.10.2013 PCT/KR2013/009770**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.08.2014 WO14129724**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.10.2013 E 13875732 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.03.2020 EP 2960212**

54 Título: **Aparato de desalinización por membrana con recuperación de energía osmótica y método de desalinización por membrana con recuperación de energía osmótica**

30 Prioridad:

22.02.2013 KR 20130018956
10.10.2013 KR 20130120295

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
04.08.2020

73 Titular/es:

GS ENGINEERING&CONSTRUCTION CORP.
(100.0%)
GS Yeokjeon Tower 537 Namdaemun-ro 5-ga
Joong-gu
Seoul 100-722, KR

72 Inventor/es:

SARP, SARPER;
YEO, IN-HO y
PARK, YONG GYUN

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 777 198 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

Aparato de desalinización por membrana con recuperación de energía osmótica y método de desalinización por membrana con recuperación de energía osmótica

5 Campo de la invención

10 La invención se refiere, en general, al campo del tratamiento del agua y la recuperación de energía. Más en particular, la invención se refiere al tratamiento de agua con alta salinidad, a la desalinización de agua de mar, a la recuperación de presión a partir de procesos de desalinización, a la producción de energía a partir de procesos de desalinización, o a cualquier otro rechazo de solutos a partir de una solución acuosa de alta salinidad y la recuperación de energía y/o presión relacionadas.

15 Antecedentes de la invención

Debido a la constante demanda creciente de agua potable para consumo humano y para riego, la desalinización del agua de mar sigue siendo importante. Adicionalmente, la desalinización de agua de mar a gran escala y económicamente viable resulta específicamente importante debido al crecimiento continuo de la población y al crecimiento relacionado de la industria. Aunque la desalinización por membrana es un proceso que requiere menos energía, en comparación con la desalinización térmica, el consumo de energía sigue siendo alto y debe reducirse el mismo mediante un proceso de desalinización más respetuoso con el medio ambiente y económicamente viable.

20 Se han desarrollado diversos métodos para una desalinización menos intensiva a nivel energético, incluyendo la ósmosis directa y la recolección de energía hidráulica a partir de un proceso de ósmosis directa (PCT/US02/02740, PCT/ES2011/070218). A pesar de su mecanismo teórico sin energía, no se ha dado con aplicaciones factibles para la ósmosis directa. El principal problema de la ósmosis directa es la extracción del agua extraída de una solución de extracción y la recuperación de la solución de extracción con un proceso continuo y factible. Por otro lado, se ha demostrado que la ósmosis por presión retardada (OPR) es un proceso más que prometedor para la producción de energía y el proceso de recuperación (planta piloto de energía osmótica de Statkraft, Noruega). Sin embargo, para la comercialización del proceso OPR se requiere un diseño innovador de ingeniería para una máxima recuperación y/o producción de energía.

25 La fuerza impulsora del proceso osmótico es la diferencia de presión osmótica entre las dos soluciones acuosas en los lados opuestos de la membrana semipermeable. La presión osmótica de una solución acuosa puede calcularse utilizando la relación de Van't Hoff:

$$\pi = \theta \cdot v \cdot c \cdot R \cdot T.$$

30 donde v es el número de iones producidos durante la disociación del soluto, θ es el coeficiente osmótico, c es la concentración de todos los solutos (moles/l), R es la constante de gas universal (0,083145 l·bar/moles·K), y T es la temperatura absoluta (K).

35 El flujo de agua a través de una membrana semipermeable por diferencia de presión osmótica viene dado como (McCutcheon y Elimelech, 2007):

$$J_w = A (\pi_{D,b} - \pi_{F,b})$$

40 donde J_w es el flujo de agua a través de la membrana semipermeable, A es el coeficiente de permeabilidad al agua pura de la membrana semipermeable, $\pi_{D,b}$ y $\pi_{F,b}$ son las presiones osmóticas en masa de las soluciones de extracción y alimentación, respectivamente.

45 La OPR puede utilizarse para generar o recuperar energía (electricidad) utilizando la energía libre de Gibbs de mezclado con respecto a la diferencia de salinidad de dos soluciones acuosas (Sandler, S.I., 1999, Chemical Engineering Thermodynamics, 3ª ed.; Wiley).

$$-\Delta G_{\text{mezclado}} = RT \{ [\sum x_i \ln(\gamma_i x_i)]_M - \theta_A [\sum x_i \ln(\gamma_i x_i)]_A - \theta_B [\sum x_i \ln(\gamma_i x_i)]_B \}$$

50 donde x_i es la fracción molar de la especie i en solución, R es la constante del gas, T es la temperatura y γ es el coeficiente de actividad de la especie.

55 En un sistema de OPR se aplica una presión hidráulica constante en la solución acuosa de alta salinidad, y la permeabilidad del agua a partir de la solución acuosa de baja salinidad continúa mientras que la diferencia de presión osmótica de dos soluciones sea mayor que la presión hidráulica aplicada. La presión de la solución acuosa de alta salinidad se puede conservar con la energía adicional de la energía libre de Gibbs de mezclado mientras aumenta el flujo volumétrico de la solución. Yip y Elimelech (2012) descubrieron que el trabajo extraíble más alto en un proceso de OPR de presión constante es de 0,75 kWh/m3 cuando se usa agua de mar y agua de río para

soluciones de extracción y alimentación, respectivamente. Por lo tanto, en términos de presión y volumen, se puede utilizar la energía libre de Gibbs de mezclado cosechada para producir energía y/o recuperar presión.

5 En caso de producción de energía; se puede utilizar una turbina de agua para generar electricidad utilizando la presión y el flujo volumétrico de la solución acuosa. A pesar de que las turbinas Pelton modernas pueden lograr una eficiencia de hasta el 92 %, la eficiencia promedio generalmente es de aproximadamente el 90 %.

10 En caso de recuperación de presión; no se ha logrado una aplicación de ingeniería para utilizar la energía libre de Gibbs de mezclado cosechada, con un proceso de OPR, para la recuperación de presión de un proceso de desalinización por membrana. Los procesos modernos de ósmosis inversa con agua de mar usan intercambiadores de presión para recuperar presión a partir de la salmuera, y para presurizar previamente el agua de mar antes de pasar al proceso de OR. De esta forma, se puede ahorrar hasta un 60 % de la energía requerida para presurizar el agua de mar para el proceso de OR. Los intercambiadores de presión modernos, tales como los intercambiadores de presión isobáricos, pueden lograr una eficiencia del 97 %. Por lo tanto, la recuperación de presión puede ser una
15 mejor alternativa que la producción de energía para la desalinización de agua de mar por membrana, debido a su mayor eficiencia de recuperación.

20 El documento US 2012/037566 A1 da a conocer un método de desalinización osmóticamente asistida, que utiliza un concentrado presurizado procedente de un proceso de desalinización por presión para presurizar un caudal para el proceso de desalinización.

Sumario de la invención

25 Desde el punto de vista de un aspecto, la presente invención proporciona un método de desalinización por membrana de acuerdo con la reivindicación 1.

Desde el punto de vista de otro aspecto, la presente invención proporciona un aparato de desalinización por membrana de acuerdo con la reivindicación 8.

30 La invención proporciona un método para integrar un proceso osmótico, tal como OPR, en el proceso de desalinización por membrana (o impulsado por presión), tal como SWRO (ósmosis inversa de agua de mar), para reducir el consumo de energía del proceso SWRO mediante la recolección de energía libre de Gibbs de mezclado en términos de conservación de la presión.

35 El método inventivo de recuperación de energía se ilustra mediante una primera realización de la invención en la que una solución acuosa de alta salinidad pretratada de entrada, tal como agua de mar, se expone a dos dispositivos de intercambio de presión diferentes para manipular la presión de la solución. El primero de los dos dispositivos de intercambio de presión está configurado para aumentar la presión de la solución acuosa de entrada a un nivel más bajo que el segundo dispositivo de intercambio de presión. A continuación, se expone la solución acuosa de entrada
40 del primer y segundo dispositivos de intercambio de presión a una manipulación de presión adicional mediante dos dispositivos diferentes, tales como bombas, para elevar la presión de la solución acuosa de entrada final a un nivel adecuado para la desalinización por membrana, tal como SWRO.

45 La solución acuosa de baja salinidad, procedente del proceso de desalinización por membrana, se adopta entonces como un producto y puede utilizarse con fines potables.

50 El producto de alta salinidad y alta presión del proceso de desalinización por membrana, denominado salmuera, se suministra al segundo dispositivo de intercambio de presión, donde el dispositivo de intercambio de presión reduce la presión de la corriente de salmuera. Se suministra entonces la corriente de salmuera a baja presión al tercer dispositivo de manipulación de presión, tal como una bomba, donde se aumenta la presión de la corriente a un nivel moderado.

55 La corriente de salmuera a presión moderada, denominada solución de extracción, se suministra luego a un proceso osmótico por membrana, tal como OPR, donde se expone la misma a la primera superficie de la membrana semipermeable. Se expone a la segunda superficie de la membrana semipermeable una segunda solución acuosa de baja salinidad, denominada solución de alimentación, tal como aguas residuales tratadas, agua salobre o agua superficial. Antes de exponerse a la segunda superficie de la membrana semipermeable, la solución alimentada se suministra a un dispositivo de pretratamiento y/o de manipulación de presión y caudal volumétrico, tal como una
60 bomba de filtración.

65 El gradiente de concentración entre las soluciones de extracción y alimentación extrae entonces el agua de la solución de alimentación a través de la membrana semipermeable, y la lleva a la solución de extracción para aumentar el caudal volumétrico de la solución de extracción. Durante el proceso de extracción de agua desde la solución de alimentación a la solución de extracción se mezcla el agua, que se extrae a través de la membrana semipermeable y tiene una baja salinidad, y la solución de extracción libera la energía libre de Gibbs de mezclado. La energía libre de Gibbs de mezclado liberada se cosecha en términos de conservación de la presión, y mantiene la

presión de la solución de extracción relativamente constante mientras el caudal volumétrico de la solución de extracción aumenta.

5 A continuación, se toma la solución de alimentación concentrada del proceso osmótico por membrana y puede reciclarse de vuelta a su origen, o puede utilizarse en un proceso de tratamiento adicional.

10 Solución de extracción diluida, de presión moderada y de alto caudal volumétrico, que tiene el mismo caudal volumétrico que la solución acuosa de entrada que se suministra al primer dispositivo intercambiador de presión, para presurizar la solución acuosa de alta salinidad de entrada.

Después del intercambio de presión, se toman del proceso las soluciones de extracción de alto caudal volumétrico y baja presión, pudiendo desecharse o pudiendo usarse en un proceso de tratamiento adicional.

15 Los parámetros del proceso anteriormente mencionados deberán ajustarse con respecto a los datos de calidad y cantidad para las soluciones acuosas de entrada y los parámetros deseados del sistema. Los datos se pueden recopilar utilizando diversos métodos que incluyen, sin limitación; revisión de literatura, experimentos de banco y/o experimentos piloto a escala, monitoreo de calidad, etc.

20 A partir de la consideración de la siguiente descripción detallada, dibujos y reivindicaciones pueden establecerse, o resultar aparentes, características, ventajas y realizaciones adicionales de la invención. Además, debe comprenderse que tanto el sumario anterior de la invención como la siguiente descripción detallada son ejemplares y pretenden proporcionar una explicación adicional sin limitar el alcance de la invención, según se reivindica.

25 Breve descripción de los dibujos

Los dibujos adjuntos, que se incluyen para proporcionar una comprensión adicional de la invención y se incorporan en la presente memoria, y constituyen una parte de la misma, ilustran realizaciones preferidas de la invención y sirven, junto con la descripción detallada, para explicar los principios de la invención. En los dibujos:

30 La Figura 1 es un primer diagrama esquemático preferido del método de tratamiento de agua de acuerdo con la invención.

35 La Figura 2 es un diagrama de flujo ejemplar detallado del primer diagrama esquemático preferido del método de tratamiento de agua de acuerdo con la invención.

La Figura 3 es el balance de masa y energía ejemplar del proceso osmótico por membrana detallado que se utiliza en el primer y segundo diagramas esquemáticos preferidos del método de tratamiento de agua de acuerdo con la invención.

40 La Figura 4 es un segundo diagrama esquemático preferido del método de tratamiento de agua de acuerdo con la invención.

45 La Figura 5 es un diagrama de flujo ejemplar detallado del segundo diagrama esquemático preferido del método de tratamiento de agua de acuerdo con la invención.

La Figura 6 es el balance de masa y energía ejemplar del proceso osmótico por membrana detallado que se utiliza en el segundo diagrama esquemático preferido del método de tratamiento de agua de acuerdo con la invención.

50 La Figura 7 es un diagrama esquemático de un método de tratamiento de agua de acuerdo con una tercera disposición, que no es parte de la invención.

La Figura 8 es un diagrama esquemático ejemplar detallado del tercer diagrama esquemático preferido del método de tratamiento de agua de acuerdo con la Figura 7.

55 La Figura 9 es el balance de masa y energía ejemplar del proceso osmótico por membrana detallado que se utiliza en el tercer diagrama esquemático del método de tratamiento de agua de acuerdo con la Figura 7.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

60 La invención está orientada generalmente a un método y un aparato para un proceso de desalinización energéticamente eficiente. Tanto el método como el aparato de la invención, para dos realizaciones preferidas, se muestran y describen con referencia a las Figuras 1, 2, 3, 4, 5, y 6. Con referencia a las Figuras 7, 8 y 9 se describe otra disposición, con fines explicativos. A lo largo de la descripción, se usan números de referencia similares en todas las figuras para describir las mismas características.

65 En cuanto a la primera realización preferida, la Figura 1 es un primer diagrama esquemático preferido del método de

tratamiento de agua de acuerdo con la invención, la Figura 2 es un diagrama de flujo ejemplar detallado del primer diagrama esquemático preferido del método de tratamiento de agua de acuerdo con la invención, y la Figura 3 es el balance de masa y energía ejemplar del proceso osmótico por membrana detallado que se utiliza en el primer y segundo diagramas esquemáticos preferidos del método de tratamiento de agua de acuerdo con la invención.

5 Como se muestra en la Figura 1, se suministra a un primer dispositivo 36 de intercambio de presión una solución de entrada con alta salinidad almacenada en una cámara 1, p. ej. agua de mar pretratada, a modo de primera solución 2 y se presuriza la misma. La primera solución presurizada 57 se divide entonces en una segunda solución 70 y una tercera solución 56 por medio de un dispositivo de separación, p. ej. una válvula de múltiples vías, y luego se expone la tercera solución 56 a un segundo dispositivo 17 de intercambio de presión. La tercera solución presurizada 46 en el segundo dispositivo 17 de intercambio de presión se expone adicionalmente a un primer dispositivo 19 de manipulación de presión, p. ej. una bomba de refuerzo.

15 La segunda solución 70 se expone a un segundo dispositivo 58 de manipulación de presión, p. ej. una bomba de alta presión, y la segunda solución presurizada 10 se mezcla con una tercera solución presurizada adicional 47, y se suministra una cuarta solución, que es la solución mezclada de la segunda solución presurizada 10 y la tercera solución presurizada adicional 47, a una primera cámara 11 de ósmosis que incluye una primera membrana semipermeable para desalinización, por ejemplo, ósmosis inversa.

20 Se toma de la primera cámara 11 de ósmosis una solución 12 de baja salinidad y calidad potable, p. ej. permeado o agua tratada, y se suministra a una cámara 13 para su posterior uso, tal como consumo, riego o uso industrial.

25 Una quinta solución 14, que es la cuarta solución con alta presión que se concentra mediante la exposición a la primera membrana semipermeable de la primera cámara 11 de ósmosis, se expone al segundo dispositivo 17 de intercambio de presión para presurizar la tercera solución 56.

30 La presión de la quinta solución 14 se reduce tras la exposición al segundo dispositivo 17 de intercambio de presión. La quinta solución 50 de baja presión se expone entonces a un tercer dispositivo 51 de manipulación de presión, tal como una bomba de refuerzo, donde se presuriza la quinta solución 50 de baja presión a los niveles deseados.

35 La quinta solución presurizada en el tercer dispositivo 51 de manipulación de presión, a modo de quinta solución 52 de alta salinidad y alta presión, se suministra como solución de extracción a la segunda cámara 25 de ósmosis, donde la quinta solución 52 de alta salinidad y alta presión se expone a la primera superficie de la segunda membrana semipermeable para un proceso osmóticamente impulsado.

40 Mientras tanto, la cámara 62 almacena cualquiera o más de una de las aguas residuales tratadas primarias, las aguas residuales tratadas secundarias, las aguas residuales tratadas terciarias, el agua salobre, el agua subterránea y superficial, y una sexta solución 63, que tiene una salinidad menor que la quinta solución 52 de alta presión y alta salinidad, se suministra a una cámara 28, donde se ajustan la calidad, cantidad, presión y caudal volumétrico de la sexta solución 63 a los niveles deseados para dicha segunda membrana semipermeable. La cámara 28 puede incluir cualquier dispositivo de manipulación para diferenciar la presión y el caudal volumétrico con respecto a la calidad y cantidad deseadas de la solución acuosa.

45 Se suministra entonces una sexta solución manipulada 64 a la segunda cámara 25 de ósmosis a modo de solución de alimentación, y se expone a la segunda superficie de la segunda membrana semipermeable. El gradiente de salinidad entre la quinta solución 52 de alta salinidad y alta presión y la sexta solución manipulada 64 extrae agua de la sexta solución manipulada 64 para pasarla a la quinta solución 52 de alta salinidad y alta presión, aumentando el caudal volumétrico de la quinta solución 52 de alta salinidad y alta presión.

50 Dicha primera y segunda membranas semipermeables pueden elegirse entre una membrana de nano osmosis, una membrana de ósmosis inversa, una membrana de OPR, una membrana de OR, una membrana de NF, etc.

55 El agua extraída de la sexta solución manipulada 64 a través de la segunda membrana semipermeable en la segunda cámara 25 de ósmosis tiene una salinidad muy baja, y cuando dicha agua extraída se mezcla con la quinta solución 52 de alta salinidad y alta presión, el gradiente de salinidad entre las dos soluciones libera energía libre de Gibbs de mezclado. La energía libre de Gibbs de mezclado liberada conserva el nivel moderado de presión en la quinta solución 52 de alta salinidad y alta presión.

60 Se toma de la segunda cámara 25 de ósmosis una quinta solución diluida 59, que tiene un caudal volumétrico mayor y una presión relativamente igual que la quinta solución 52 de alta salinidad y alta presión, y se suministra al primer dispositivo 36 de intercambio de presión para presurizar la primera solución 2. La quinta solución despresurizada 60 se suministra entonces a una cámara 61 para procesos de tratamiento o de eliminación adicionales.

65 Mientras tanto, la sexta solución concentrada 65, que perdió agua al ser expuesta a la segunda membrana semipermeable, se suministra a una cámara 66 para un tratamiento adicional o para su conservación.

La Figura 2 muestra un diagrama ejemplar detallado del balance de masa de la primera realización preferida, que incluye la salinidad, el caudal volumétrico y las especificaciones de presión de las soluciones. Los cálculos del balance de masa se basan en un caudal volumétrico de 100 m³/h de la solución acuosa de alta salinidad de entrada, tal como agua de mar pretratada, una eficiencia de recuperación del 50 % del proceso de primera membrana semipermeable, tal como un proceso de SWRO, de la primera cámara 11 de ósmosis, y un aumento del caudal volumétrico del 100 % del proceso de segunda membrana semipermeable, tal como un proceso de OPR, de la segunda cámara 25 de ósmosis.

La Figura 3 es el balance de masa y energía ejemplar del proceso osmótico por membrana detallado que se utiliza en el primer y segundo diagramas esquemáticos preferidos del método de tratamiento de agua de acuerdo con la invención.

En cuanto a la segunda realización preferida, la Figura 4 es un segundo diagrama esquemático preferido del método de tratamiento de agua de acuerdo con la invención, la Figura 5 es un diagrama de flujo ejemplar detallado del segundo diagrama esquemático preferido del método de tratamiento de agua de acuerdo con la invención, y la Figura 6 es el balance de masa y energía ejemplar del proceso osmótico por membrana detallado que se utiliza en el segundo diagrama esquemático preferido del método de tratamiento de agua de acuerdo con la invención.

Como se muestra en la Figura 4, la solución 2 de entrada con alta salinidad almacenada en la cámara 1, p. ej. agua de mar pretratada, se suministra a la cámara 3, donde la solución 2 de entrada se separa en dos soluciones 43 y 44. La solución 43 se suministra al dispositivo 49 de manipulación de presión que incluye, por ejemplo, una bomba de alta presión, y se presuriza.

La primera solución 44 se suministra al primer dispositivo 36 de intercambio de presión, y se presuriza. La primera solución presurizada 45 se separa entonces en la segunda solución 68 y la tercera solución 67, y la tercera solución 67 se suministra al segundo dispositivo 17 de intercambio de presión, donde se presuriza la tercera solución 67. La tercera solución presurizada 46 se expone adicionalmente al primer dispositivo 19 de manipulación de presión, p. ej. una bomba de refuerzo.

Mientras tanto, la segunda solución 68 se suministra al segundo dispositivo 48 de manipulación de presión, p. ej. una bomba de alta presión.

La solución 43 se expone a la cámara 49 y se presuriza con un medio de presurización, p. ej. una bomba de alta presión. Se mezclan la solución presurizada adicional 43, como la solución 69, la segunda solución presurizada adicional 10 y la tercera solución presurizada adicional 47 en el primer dispositivo 19 de manipulación de presión, para obtener la cuarta solución. La cuarta solución se suministra entonces a la primera cámara 11 de ósmosis, que incluye la primera membrana semipermeable para desalinización, p. ej. ósmosis inversa.

Se toma de la primera cámara 11 de ósmosis la corriente 12 de baja salinidad y calidad potable, p. ej. un permeado o agua tratada, y se suministra a la cámara 13 para su posterior uso, tal como consumo, irrigación o uso industrial.

La quinta solución 14, que es la cuarta solución con alta presión concentrada mediante la exposición a la primera membrana semipermeable de la primera cámara 11 de ósmosis, se expone al segundo dispositivo 17 de intercambio de presión para presurizar la tercera solución 67.

La presión de la quinta solución 14 se reduce tras su exposición al segundo dispositivo 17 de intercambio de presión. La quinta solución 50 de baja presión se expone entonces al tercer dispositivo 51 de manipulación de presión, tal como una bomba de refuerzo, donde se presuriza la quinta solución 50 de baja presión a los niveles deseados.

La quinta solución presurizada en el tercer dispositivo 51 de manipulación de presión, como quinta solución 52 de alta salinidad y alta presión, se suministra como solución de extracción a la segunda cámara 25 de ósmosis, donde la quinta solución 52 de alta salinidad y alta presión se expone a la primera superficie de la segunda membrana semipermeable para el proceso osmóticamente impulsado.

Mientras tanto, la cámara 62 almacena cualquiera o más de una de las aguas residuales tratadas primarias, las aguas residuales tratadas secundarias, las aguas residuales tratadas terciarias, agua salobre, agua subterránea y superficial, y la sexta solución 27, que tiene una menor salinidad que la quinta solución 52 de alta salinidad y alta presión, se suministra a la cámara 28, donde se ajustan la calidad, cantidad, presión y caudal volumétrico de la sexta solución 27 a los niveles deseados para dicha segunda membrana semipermeable. La cámara 28 puede incluir cualquier dispositivo de manipulación para diferenciar la presión y el caudal volumétrico con respecto a la calidad y cantidad deseadas de la solución acuosa.

La sexta solución manipulada 29 se suministra entonces a la segunda cámara 25 de ósmosis como una solución de alimentación, y se expone a la segunda superficie de la segunda membrana semipermeable. El gradiente de salinidad entre la quinta solución 52 de alta salinidad y alta presión y la sexta solución 29 manipulada extrae agua de

la sexta solución 29 manipulada, suministrándolo a la quinta solución 52 de alta salinidad y alta presión para aumentar el caudal volumétrico de la quinta solución 52 de alta salinidad y alta presión.

5 Dichas primera y segunda membranas semipermeables pueden elegirse entre membranas de nano osmosis, membranas de ósmosis inversa, membranas de OPR, membranas de OR, membranas de NF, etc.

10 El agua extraída de la sexta solución manipulada 29 a través de la segunda membrana semipermeable en la segunda cámara 25 de ósmosis tiene una salinidad muy baja, y cuando dicha agua extraída se mezcla con la quinta solución 52 de alta salinidad y alta presión, el gradiente de salinidad entre las dos soluciones libera energía libre de Gibbs de mezclado. La energía libre de Gibbs de mezclado liberada conserva el nivel moderado de presión en la quinta solución 52 de alta salinidad y alta presión.

15 Se toma de la segunda cámara 25 de ósmosis la quinta solución diluida 53, que tiene un caudal volumétrico mayor y relativamente la misma presión que la quinta solución 52 de alta salinidad y alta presión, y se suministra al primer dispositivo 36 de intercambio de presión para presurizar la primera solución 44. La quinta solución despresurizada 54 se suministra entonces a la cámara 55 para procesos de tratamiento o de eliminación adicionales.

20 Mientras tanto, la sexta solución concentrada 30, que perdió agua al ser expuesta a la segunda membrana semipermeable, se suministra a la cámara 31 para un tratamiento adicional o para su conservación.

25 La Figura 5 muestra un diagrama ejemplar detallado del balance de masa de la segunda realización preferida, que incluye la salinidad, el caudal volumétrico y las especificaciones de presión de las corrientes. Los cálculos del balance de masa se basan en un caudal volumétrico de 100 m³/h de solución acuosa de alta salinidad de entrada, tal como agua de mar pretratada, una eficiencia de recuperación del 50 % del proceso de primera membrana semipermeable, tal como un proceso de SWRO, de la primera cámara 11 de ósmosis, y un aumento del 70 % en el caudal volumétrico del proceso de segunda membrana semipermeable, tal como un proceso de OPR, de la segunda cámara 25 de ósmosis.

30 La Figura 6 es el balance de masa y energía ejemplar del proceso osmótico por membrana detallado que se utiliza en el segundo diagrama esquemático preferido del método de tratamiento de agua de acuerdo con la invención.

35 En cuanto a la tercera realización, la Figura 7 es un tercer diagrama esquemático preferido del método de tratamiento de agua de acuerdo con la invención, la Figura 8 es un diagrama esquemático ejemplar detallado del tercer diagrama esquemático del método de tratamiento de agua de acuerdo con la invención, y la Figura 9 es el balance de masa y energía ejemplar del proceso osmótico por membrana detallado que se utiliza en el tercer diagrama esquemático del método de tratamiento de agua de acuerdo con la Figura 7.

40 Como se muestra en la Figura 7, la solución de entrada con alta salinidad almacenada en la cámara 1, p. ej. agua de mar pretratada, se suministra a la cámara 3 como la primera solución 2. En la cámara 3 la primera solución 2 se separa en dos soluciones 4 y 5 y, a continuación, la solución 5 se suministra a la cámara 6 y se separa en dos soluciones 7 y 8. La corriente de la solución 7 es la corriente de inicio para el proceso de desalinización y, una vez que se ha iniciado el proceso de desalinización, se corta la corriente de solución 7. La solución 8 se suministra al segundo dispositivo 17 de intercambio de presión como la tercera solución, y se presuriza a un nivel predeterminado. La tercera solución presurizada 18 se expone al primer dispositivo 19 de manipulación de presión, p. ej. una bomba de refuerzo.

50 La solución 4 se suministra al primer dispositivo 36 de intercambio de presión, y se presuriza. La solución presurizada 4, como la segunda solución 37, se expone entonces al segundo dispositivo 9 de manipulación de presión, p. ej. una bomba de alta presión, y se presuriza.

55 La segunda solución presurizada 10 se mezcla con una tercera solución presurizada adicional 20 para que sea la cuarta solución, y la cuarta solución se suministra a la primera cámara 11 de ósmosis, que incluye la membrana semipermeable para desalinización, p. ej. ósmosis inversa.

Se toma de la primera cámara 11 de ósmosis la corriente 12 de baja salinidad y calidad potable, p. ej. un permeado o agua tratada, y se suministra a la cámara 13 para su uso posterior, tal como consumo, irrigación o uso industrial.

60 La quinta solución 14, que es la cuarta solución con alta presión que se concentra mediante la exposición a la primera membrana semipermeable de la primera cámara 11 de ósmosis, se suministra a la cámara 15 y se separa en dos soluciones 16 y 22.

65 La solución 16 se suministra al segundo dispositivo 17 de intercambio de presión para presurizar la tercera solución 8.

La solución 16 despresurizada, que se despresuriza después de ser expuesta al segundo dispositivo 17 de

intercambio de presión, se suministra como solución 21 al tercer dispositivo 23 de manipulación de presión, donde la solución 16 se mezcla con la solución 22 y se presuriza. La solución mezclada y presurizada, como la quinta solución 24, se suministra entonces a la segunda cámara 25 de ósmosis. La quinta solución 24, como solución de extracción de alta salinidad y alta presión, se suministra a la segunda cámara 25 de ósmosis donde se expone la quinta solución 24 a la primera superficie de la segunda membrana semipermeable, para un proceso osmóticamente impulsado.

Mientras tanto, la cámara 26 almacena una cualquiera o más de una de aguas residuales tratadas primarias, aguas residuales tratadas secundarias, aguas residuales tratadas terciarias, agua salobre, agua subterránea y superficial, y la sexta solución 27, que tiene una salinidad menor que la quinta solución 24, se suministra a la cámara 28 donde se ajustan la calidad, cantidad, presión y caudal volumétrico de la sexta solución 27 a los niveles deseados para dicha segunda membrana semipermeable. La cámara 28 puede incluir cualquier dispositivo de manipulación para diferenciar la presión y el caudal volumétrico con respecto a la calidad y cantidad deseadas de la solución acuosa.

La sexta solución manipulada 29 se suministra entonces a la segunda cámara 25 de ósmosis como una solución de alimentación, y se expone a la segunda superficie de la segunda membrana semipermeable. El gradiente de salinidad entre la quinta solución 24 y la sexta solución manipulada 29 extrae agua de la sexta solución manipulada 29, añadiéndola a la quinta solución 24 para aumentar el caudal volumétrico de la quinta solución 24.

Dichas primera y segunda membranas semipermeables pueden elegirse de entre membranas de nano ósmosis, membranas de ósmosis inversa, membranas de OPR, membranas de OR, membranas de NF, etc.

El agua extraída de la sexta solución manipulada 29 a través de la segunda membrana semipermeable en la segunda cámara 25 de ósmosis tiene una salinidad muy baja, y, cuando dicha agua extraída se mezcla con la quinta solución 24, el gradiente de salinidad entre dos soluciones libera energía libre de Gibbs de mezclado. La energía libre de Gibbs de mezclado liberada conserva el nivel moderado de presión en la quinta solución 24.

Se toma de la segunda cámara 25 de ósmosis la quinta solución diluida 32, que tiene un caudal volumétrico mayor y relativamente la misma presión que la quinta solución 24, y se suministra a la cámara 33 donde la quinta solución diluida 32 se separa en dos soluciones 34 y 35.

La solución 35 se suministra al primer dispositivo 36 de intercambio de presión para presurizar la solución 4. La solución despresurizada 35 se suministra entonces a la cámara 39 para procesos de tratamiento o de eliminación adicionales.

Mientras tanto, la sexta solución concentrada 65, que perdió agua al ser expuesta a la segunda membrana semipermeable, se suministra a la cámara 66 para un tratamiento adicional o para su conservación.

La solución 34 se suministra al dispositivo 40 de producción de energía, tal como una turbina Pelton, donde la energía potencial y cinética de la solución 34 se convierte en energía. La solución despresurizada 34, como la solución 41, se suministra entonces a la cámara 42 para procesos de tratamiento o de eliminación adicionales.

Mientras tanto, la sexta solución concentrada 30, que perdió agua al ser expuesta a la segunda membrana semipermeable, se suministra a la cámara 31 para un tratamiento adicional o para su conservación.

La Figura 8 muestra un diagrama ejemplar detallado del balance de masa de la tercera disposición, que incluye la salinidad, el caudal volumétrico y las especificaciones de presión de las soluciones. Los cálculos del balance de masa se basan en un caudal volumétrico de 100 m³/h de solución acuosa de alta salinidad de entrada, tal como agua de mar pretratada, una eficiencia de recuperación del 50 % del proceso de primera membrana semipermeable, tal como un proceso de SWRO, de la primera cámara 11 de ósmosis, y un aumento del caudal volumétrico del 100 % del proceso de segunda membrana semipermeable, tal como un proceso de OPR, de la segunda cámara 25 de ósmosis.

La Figura 9 es el balance de masa y energía ejemplar del proceso osmótico por membrana detallado que se utiliza en el tercer diagrama esquemático preferido del método de tratamiento de agua de acuerdo con la Figura 7.

Por consiguiente, debe comprenderse que las realizaciones de la invención descritas en el presente documento son meramente ilustrativas de la aplicación de los principios de la invención. La referencia en el presente documento a detalles de las realizaciones ilustradas no tiene la intención de limitar el alcance de las reivindicaciones, que en sí mismas mencionan esas características. Los expertos en la materia comprenderán que pueden efectuarse diversos cambios y que pueden sustituirse equivalentes sin apartarse del verdadero significado y alcance de la invención. Adicionalmente, pueden efectuarse muchas modificaciones para adaptar al objetivo, significado y alcance de la presente invención una situación, material, composición de materia, proceso, etapa o etapas del proceso particulares. Todas estas modificaciones están destinadas a quedar dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas al presente documento.

REIVINDICACIONES

1. Un método de desalinización por membrana, que comprende:

5 presurizar una primera solución (2; 44), que es agua salina, en un primer dispositivo (36) de intercambio de presión;
 separar la primera solución (57; 45) en una segunda solución (70; 68) y una tercera solución (56; 67);
 presurizar la segunda solución (70; 68);
 10 presurizar la tercera solución (56; 67) en un segundo dispositivo (17) de intercambio de presión;
 mezclar la segunda solución (10) y la tercera solución (47) como una cuarta solución;
 proporcionar la cuarta solución, que incluye la segunda solución presurizada (10) y la tercera solución presurizada (47), a una primera cámara (11) de ósmosis para lograr agua tratada (12);
 proporcionar una quinta solución (14), que es la cuarta solución sin el agua tratada (12), al segundo dispositivo (17) de intercambio de presión para transferir presión de la quinta solución (14) a la tercera solución (56; 67);
 15 proporcionar la quinta solución (52) a una segunda cámara (25) de ósmosis tras presurizar la tercera solución (56; 67);
 y
 proporcionar una sexta solución (64; 29), que tiene una salinidad menor que la quinta solución (52), a la segunda cámara (25) de ósmosis, para extraer agua de la sexta solución (64; 29) y llevarla a la quinta solución (52) por
 20 gradiente de salinidad,
 en donde, después de extraer agua de la sexta solución (64; 29) y llevarla a la quinta solución (52) de manera que se diluya la quinta solución, se suministra la quinta solución diluida (59; 53) al primer dispositivo (36) de intercambio de presión para transferir la presión de la quinta solución diluida (59; 53) a la primera solución (2; 44).

25 2. El método de la reivindicación 1, en donde, antes de proporcionar la sexta solución (64; 29) a la segunda cámara (25) de ósmosis, se ajustan la calidad, cantidad, presión y caudal volumétrico de la sexta solución (63; 27).

30 3. El método de la reivindicación 1 o 2, en donde, tras presurizar la tercera solución (46) mediante el segundo (17) dispositivo de intercambio de presión, se presuriza adicionalmente la misma mediante un primer dispositivo (19) de manipulación de presión, y en donde el primer dispositivo (19) de manipulación de presión es opcionalmente una bomba.

35 4. El método de cualquier reivindicación precedente, en donde, durante dicha presurización de la segunda solución (70; 68), la segunda solución (70; 68) se presuriza mediante un segundo dispositivo (58; 48) de manipulación de presión, y en donde el segundo dispositivo (58; 48) de manipulación de presión es opcionalmente una bomba.

40 5. El método de cualquier reivindicación precedente, en donde la primera cámara (11) de ósmosis y la segunda cámara (25) de ósmosis son una cualquiera de entre una membrana de ósmosis directa, una membrana de ósmosis inversa, una membrana de OPR, una membrana de OR y una membrana de NF.

45 6. El método de cualquier reivindicación precedente, en donde la sexta solución (63, 64; 27, 29) es una cualquiera de entre agua residual tratada primaria, agua residual tratada secundaria, agua residual tratada terciaria, agua salobre y agua subterránea y superficial.

50 7. El método de cualquier reivindicación precedente, en donde, al proporcionar la sexta solución (64; 29), la presión de la quinta solución (52) se mantiene mediante energía libre de Gibbs de mezclado, liberada por el gradiente de salinidad y la expansión volumétrica.

8. Un aparato de desalinización por membrana para llevar a cabo el método de desalinización por membrana de cualquier reivindicación precedente, comprendiendo el aparato:

55 un primer dispositivo (36) de intercambio de presión que presuriza una primera solución (2; 44), que es agua salina;
 un segundo dispositivo (17) de intercambio de presión que presuriza una tercera solución (56; 67), que se separa a partir de la primera solución presurizada (57; 45), en donde la primera solución (57; 45) se separa en una segunda solución (70; 68) y la tercera solución (56; 67);
 un segundo dispositivo (58; 48) de manipulación de presión, conectado con el primer dispositivo (36) de
 60 intercambio de presión, en donde la segunda solución (70; 68) se proporciona al segundo dispositivo (58; 48) de manipulación de presión para su presurización;
 una primera cámara (11) de ósmosis en la que se proporciona una cuarta solución para obtener agua tratada (12), en donde la segunda solución (10) y la tercera solución (47) se mezclan como la cuarta solución;
 una segunda cámara (25) de ósmosis en la que se proporcionan una quinta solución (52) y una sexta
 65 solución (64; 29), para extraer agua de la sexta solución (64; 29) y llevarla a la quinta solución (52) por gradiente de salinidad, de manera que se diluya la quinta solución (52), en donde la quinta solución (52) es la cuarta

solución sin el agua tratada (12) y la sexta solución (64; 29) tiene una salinidad menor que la quinta solución (52),

5 en donde la quinta solución (52) se proporciona a la segunda cámara (25) de ósmosis tras transferir la presión de la quinta solución (52) a la tercera solución (56; 67), en el segundo dispositivo (17) de intercambio de presión, y en donde la presión de la quinta solución diluida (59; 53) se transfiere a la primera solución (2; 44) en el primer dispositivo (36) de intercambio de presión.

10 9. El aparato de la reivindicación 8, que comprende adicionalmente un primer dispositivo (19) de manipulación de presión situado entre el segundo dispositivo (17) de intercambio de presión y la primera cámara (11) de ósmosis, y que presuriza adicionalmente la tercera solución (46) presurizada por el segundo dispositivo (17) de intercambio de presión.

15 10. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 8 o 9, que comprende adicionalmente un tercer dispositivo (51; 23) de manipulación de presión situado entre el segundo dispositivo (17) de intercambio de presión y la segunda cámara (25) de ósmosis, presurizando el tercer dispositivo (51; 23) de manipulación de presión la quinta solución (52) que se descarga desde el segundo dispositivo (17) de intercambio de presión, tras presurizar la tercera solución (56; 67).

20 11. El aparato de la reivindicación 8, en donde una porción de la primera solución (69) se proporciona directamente a la primera cámara (11) de ósmosis tras ser presurizada por un cuarto dispositivo (49) de manipulación de presión, sin proporcionarse al primer dispositivo (36) de intercambio de presión.

FIG. 1

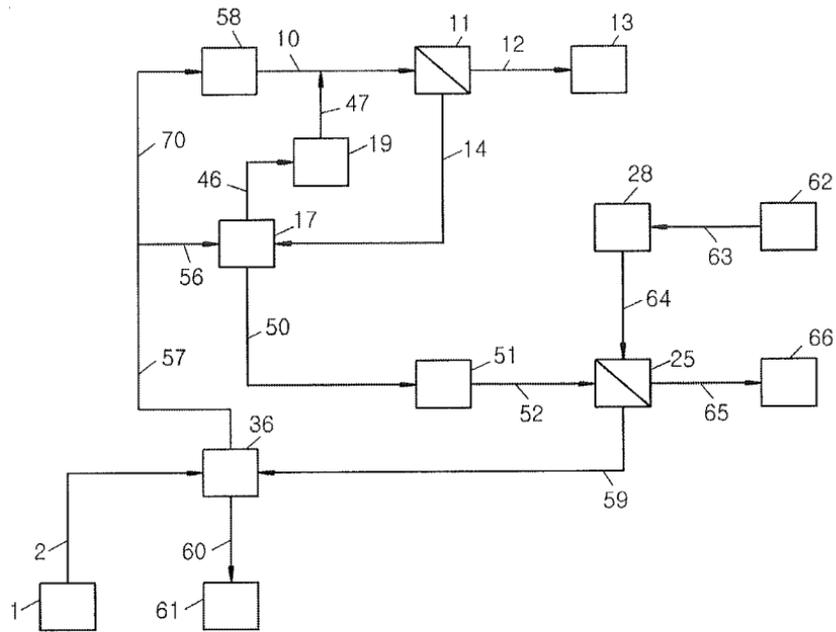


FIG.2

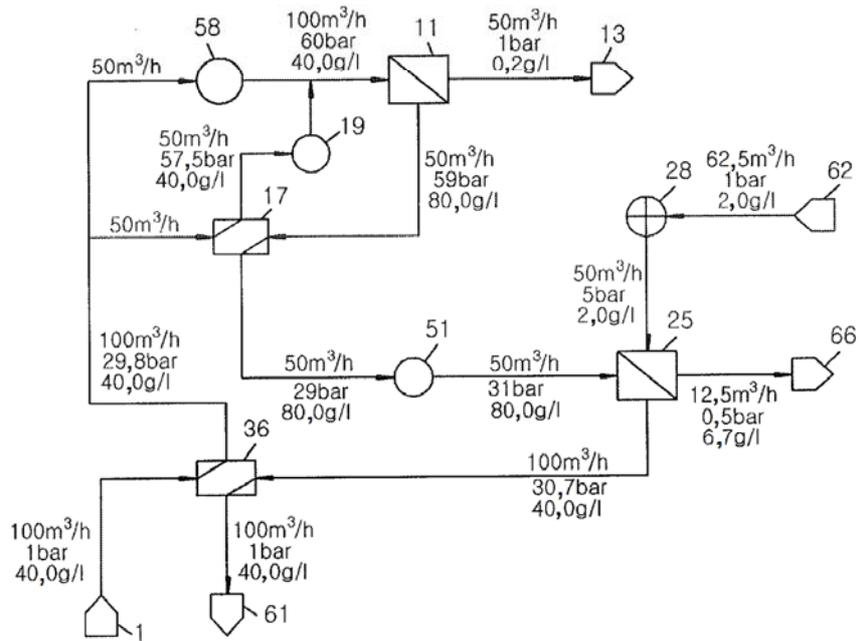


FIG.3

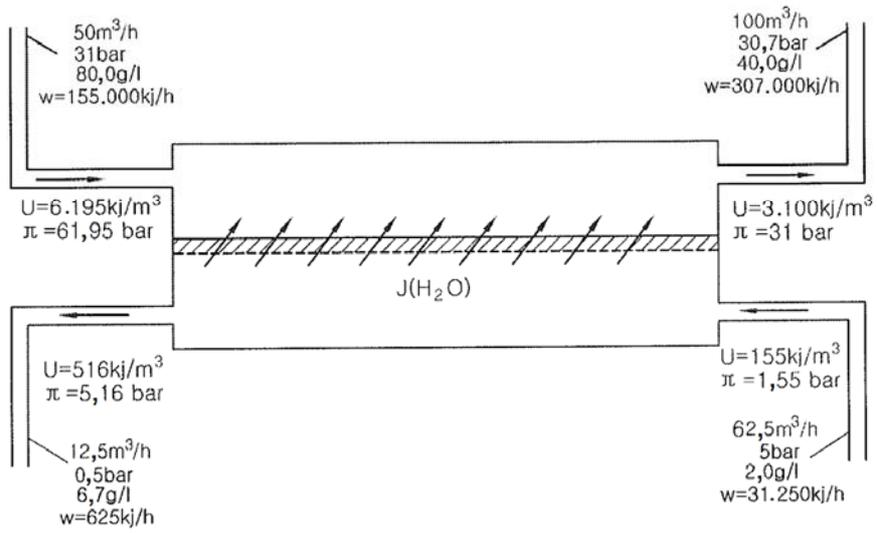


FIG. 4

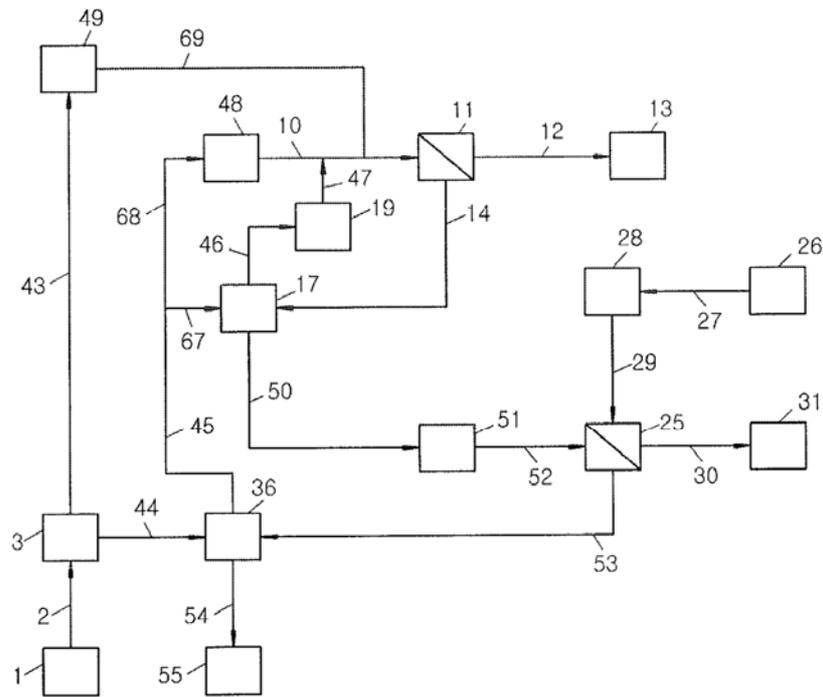


FIG.5

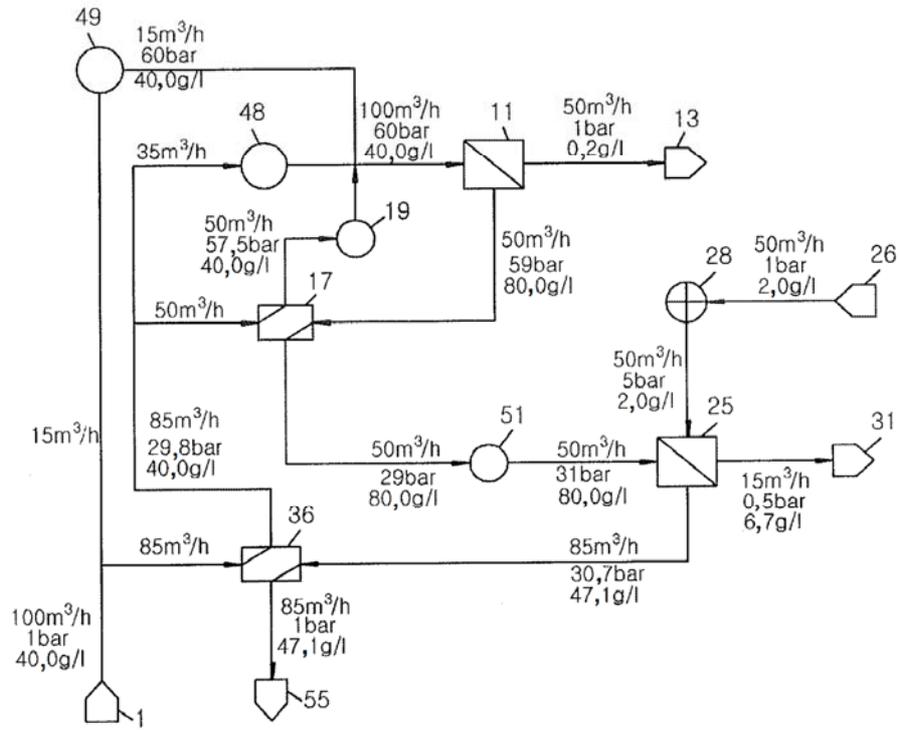


FIG.6

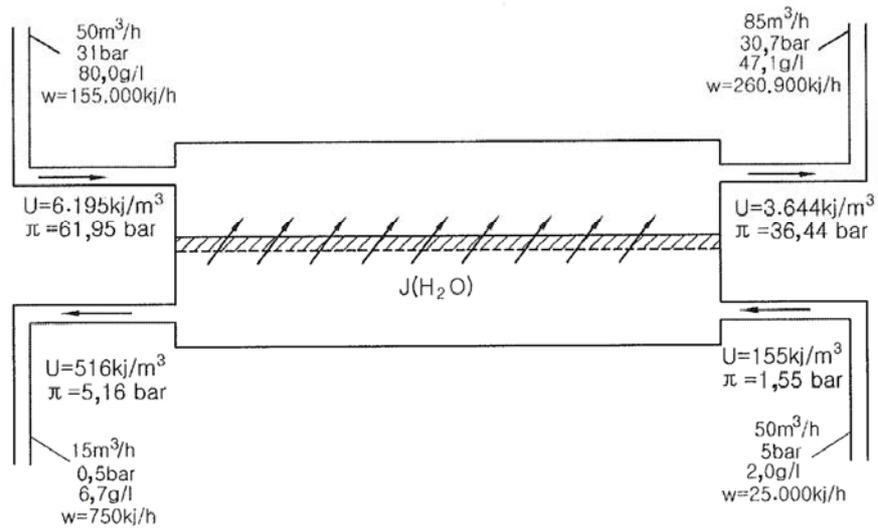


FIG. 7

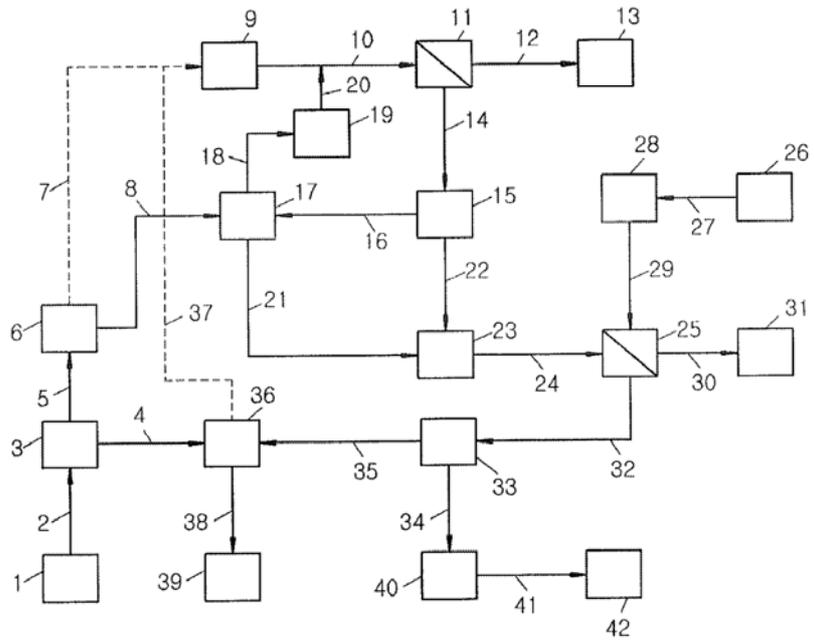


FIG. 8

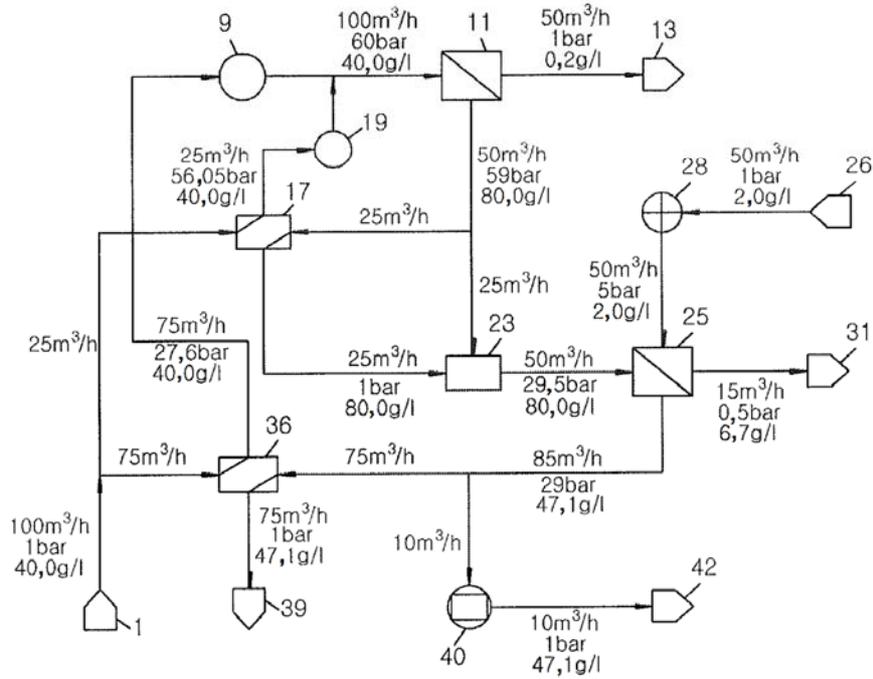


FIG. 9

