

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 422 883**

51 Int. Cl.:

C02F 1/44 (2006.01)

B01D 61/12 (2006.01)

B01D 61/10 (2006.01)

B01D 61/08 (2006.01)

B01D 61/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.08.2004 E 04745085 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.05.2013 EP 1680363**

54 Título: **Aparato de desalinización en circuito cerrado continuo con un solo depósito**

30 Prioridad:

17.08.2003 IL 15743003

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

16.09.2013

73 Titular/es:

**DESALITECH LTD. (100.0%)
4 MEVO SHAKED ST
90836 HAR ADAR, IL**

72 Inventor/es:

EFRATY, AVI

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 422 883 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 en circuito cerrado continuo con un solo depósito

Antecedentes de la invención

5 La presente invención se refiere a un procedimiento y un aparato para la desalinización de Agua de Mar (AM) o Agua Salobre (AS) por Ósmosis Inversa (OIAM u OIAS) en un circuito cerrado.

10 La desalinización por ósmosis inversa (OI) ocurre cuando una solución de agua con sal se comprime contra membranas semi-permeables a una presión mayor que su presión osmótica. El procedimiento de "Desalinización de Flujo Pistón" (en lo sucesivo "DFP") implica el paso de un flujo de aporte presurizado a través de depósitos (módulos) de presión con elementos de membrana semi-permeables, donde se separa continuamente en un flujo no presurizado de permeado desalado y un flujo presurizado de efluente de salmuera. La recuperación por OIAM u OIAS de la DFP se refiere a la concentración de aporte, la presión aplicada, el número de elementos por módulo, las etapas de los módulos y las especificaciones de los elementos. El flujo de aporte presurizado en la DFP siempre es mayor que el flujo de permeado y una recuperación del 50 % implica que el flujo de aporte presurizado es dos veces el del permeado. La DFP también puede implicar un reciclado parcial para potenciar la recuperación y este procedimiento se caracteriza por el flujo continuo de sus tres componentes; el aporte presurizado, el efluente de salmuera presurizado y el permeado.

20 En contraste con la DFP, la Desalinización de Circuito Cerrado (por sus siglas "DCC") en un procedimiento discontinuo realizado con reciclado de la solución bajo presión hidrostática con la misma velocidad de suministro de aporte presurizada y suministro de permeado. El flujo interno en la DCC se crea por medio de circulación para minimizar los efectos de polarización de la concentración. La tecnología DCC se presentó por primera vez a finales de los años ochenta por Szuz y col. en la Patente de Estados Unidos Nº 4.983.301 y Bartt en la Patente de Estados Unidos Nº 4.814.086 y la conversión de tal procedimiento discontinuo en continuo fue propuesta mediante "... dos tanques de capacidad relativamente grande ..." que se acoplan alternativamente en el circuito cerrado, de manera que permiten la recarga del circuito cerrado con aporte nuevo sin detener la desalinización. Se describe un enfoque similar en la publicación internacional WO03013704. Publicaciones anteriores, tales como los documentos DE 26 22 461 A (1977), DE19941349A1 y JP 54 128985 A (1979), describen una DFP con recirculación parcial que es fundamentalmente diferente de la DCC a pesar de la similitud de ciertas características (por ejemplo, circuito con un módulo o módulos de membranas, tuberías para aporte y para reciclado, medios de circulación, medios de presurización, medios para descargar el efluente, medios de monitorización, etc.). La distinción entre DCC y DFP es clara e inequívoca, puesto que solo el primer procedimiento implica la sustitución a presión atmosférica del efluente de salmuera por un aporte nuevo, evitando de esta manera la necesidad de recuperación de energía del efluente de salmuera presurizado, que es esencial en el último procedimiento.

30 En comparación con la DFP, la DCC requiere medios mucho más pequeños para la presurización de alimentaciones nuevas y transcurre con una menor energía específica sin necesidad de recuperar la energía. La tecnología CCD de acuerdo con dichas patentes es un procedimiento discontinuo que se hace funcionar de manera continua mediante etapas secuenciales consecutivas que implican dos depósitos con capacidad relativamente grande, y este enfoque no se ha considerado económicamente favorecido para el diseño de plantas de desalinización.

40 La presente invención describe tanto aparatos como procedimientos con los que una Desalinización de Circuito Cerrado (DCC) podría realizarse continuamente mediante un solo depósito relativamente pequeño, de esta manera, la consecución de esta tecnología sería económicamente factible para diversas aplicaciones que implican desalinización tanto de agua de mar como de agua salobre.

Sumario de la invención

45 La presente invención propone un aparato y procedimientos como se expone en la reivindicación 1 para desalinización de agua de mar o agua salobre, basados en ósmosis inversa usando un circuito cerrado, en el que el aporte se recicla a través de módulos de desalinización paralelos mediante un medio impulsor de la circulación y se crea contrapresión entre un medio de presurización que también reemplaza el permeado liberado por un suministro de aporte nuevo. El volumen de aporte presurizado en el circuito cerrado durante la secuencia de desalinización se controla mediante un caudalímetro, siendo igual este volumen en cualquier momento dado al volumen de permeado liberado. El medio impulsor de la circulación se hace funcionar a una baja diferencia de presión de entrada-salida a especificaciones de los elementos de recuperación máxima del elemento y proporción de flujo de concentrado a permeado, y se puede hacer que los medios de presurización suministren una presión variable como una función de la recuperación según se controla por el flujo del permeado y/o el flujo de aporte presurizado y/o las concentraciones cambiantes durante el transcurso de la secuencia de desalinización. La contrapresión de desalinización en las entradas del módulo se mantiene a un nivel fijo por encima de la presión osmótica durante toda la secuencia de desalinización.

55 El aparato de desalinización en circuito cerrado con presión variable puede hacerse funcionar continuamente añadiendo un solo depósito que se acciona intermitentemente para recargar el circuito cerrado con aporte nuevo y, al mismo tiempo, retirar el efluente de salmuera consumido del sistema. Aunque el depósito presurizado con un

aporte nuevo está conectado al circuito cerrado, el procedimiento de desalinización continúa y los módulos pueden funcionar sin detenerse a su salida de permeado especificada.

5 El procedimiento y el aparato de la invención de desalinización en circuito cerrado con presión variable por ósmosis inversa puede implementarse mediante un aparato sencillo fabricado a partir de componentes disponibles fácilmente en el mercado y permite una desalinización a bajo coste con ahorros muy significativos en componentes, incluyendo componentes eléctricos y energía.

El aparato de la invención puede funcionar a presión constante, de manera que los costes de los medios de presurización se reducen considerablemente mientras el gasto energético aún se mantiene menor que en los procedimientos de la técnica anterior.

10 **Breve descripción de los dibujos**

15 La Figura IA es un dibujo esquemático de un aparato con seis módulos, cada uno de tres elementos, y un solo depósito para Desalinización de Circuito Cerrado continua de agua de mar, o agua salobre, que describe las posiciones de las válvulas durante la desalinización en circuito cerrado mientras el depósito se está recargando con un aporte nuevo de agua de mar, de acuerdo con una realización preferida de la presente invención.

20 La Figura IB es un dibujo esquemático de un aparato con seis módulos, cada uno de tres elementos, y un solo depósito para Desalinización de Circuito Cerrado continua de agua de mar, o agua salobre, que describe las posiciones de las válvulas durante la desalinización del circuito cerrado y la presurización del depósito que se ha recargado con un aporte nuevo de agua de mar, de acuerdo con una realización preferida de la presente invención.

25 La Figura IC es un dibujo esquemático de un aparato con seis módulos, cada uno de tres elementos, y un solo depósito para Desalinización de Circuito Cerrado continua de agua de mar, o agua salobre, que describe las posiciones de las válvulas durante la recarga del circuito cerrado con un aporte nuevo y la retirada simultánea del efluente de salmuera a través del depósito, de acuerdo con una realización preferida de la presente invención.

Descripción detallada de la invención

30 La presente invención proporciona una solución al problema del considerable consumo de energía y los altos costes implicados en los procedimientos de desalinización por ósmosis inversa de la técnica anterior proponiendo un aparato y un procedimiento para la desalinización secuencial consecutiva de agua de mar, o agua salobre, por ósmosis inversa, compuesto por un circuito cerrado, en el que el aporte se recicla a través de módulos de desalinización paralelos mediante una bomba de circulación, se usa un solo depósito intermitentemente para recargar el circuito cerrado con aporte nuevo y retirar el efluente de salmuera, y se crea contrapresión mediante una bomba de presurización que también reemplaza el permeado liberado por el suministro de aporte nuevo.

35 De acuerdo con el procedimiento de la invención, el volumen del aporte presurizado en el circuito cerrado durante la secuencia de desalinización se controla mediante un caudalímetro, siendo este volumen en cualquier caso dado igual al volumen de permeado liberado. El volumen de permeado liberado es directamente proporcional a la elevación de la presión osmótica, el control de este volumen proporciona el medio para controlar la contrapresión de la desalinización en las entradas de los módulos, de manera que se mantiene un nivel fijo por encima de la presión osmótica a lo largo de la secuencia de desalinización.

40 De acuerdo con el nuevo aparato y procedimiento de la invención, los módulos pueden comprender uno, dos, tres o más elementos de membrana cada uno, y este número dicta la recuperación del módulo por cada pasada de reciclado individual, mientras que la recuperación final de todo el procedimiento secuencial depende únicamente del número total de pasadas de reciclado realizadas en el circuito cerrado en condiciones de presión variable para una presión de activación neta fija. En un fuerte contraste, la desalinización mediante una sola pasada de agua de mar por el procedimiento CFD de la técnica anterior requiere módulos de siete u ocho elementos y la recuperación global permanece baja (40 %-42 %) si no se supera la recuperación máxima del elemento especificada por los fabricantes de los elementos de membrana en las condiciones de ensayo (por ejemplo el 10 %). En términos sencillos, la nueva invención permite alcanzar cualquier recuperación de desalinización deseada sin exceder la recuperación máxima del elemento especificada en las condiciones de ensayo, mientras que los límites de recuperación del procedimiento CFD de la técnica anterior en tales condiciones están en el intervalo del 40 %-42 %.

50 El procedimiento de la invención permite conseguir una alta recuperación promedio por cada elemento sin exceder las especificaciones de recuperación máxima del elemento en las condiciones de ensayo, y esto no es posible por el procedimiento CFD de la técnica anterior.

55 La recuperación de los módulos con 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 elementos con una recuperación máxima del elemento especificada del 10 % en las condiciones de ensayo es del 10,0(10) %, 18,1(9,05) %, 24,5(8,1) %, 29,7(7,4) %, 33,9(6,8) %, 37,3(6,2) %, 40,0(5,7) %, 42,1 (5,3) %, respectivamente, dándose entre paréntesis un valor de

recuperación promedio por elemento. La recuperación promedio por elemento mucho mayor que la esperada por el procedimiento de la invención en comparación con el procedimiento CFD de la técnica anterior implica ahorros significativos de elementos de membrana con el nuevo procedimiento.

5 El flujo promedio por elemento en las condiciones de ensayo especificadas por los fabricantes está relacionado directamente con la recuperación promedio por elemento y, por lo tanto, una mayor recuperación del elemento implica también un flujo de permeado más rápido. El paso de la sal por el elemento de membrana semi-permeable está relacionado inversamente con el flujo del elemento promedio y, por lo tanto, se espera que el procedimiento de la invención de permeados de menor contenido de sal y mayor calidad en comparación con el procedimiento CFD de la técnica anterior. A la luz de lo mencionado anteriormente, se espera que el paso de la sal por el procedimiento de la invención disminuya como función de un menor número de elementos por módulo. Por consiguiente, los permeados de mejor calidad por el procedimiento de la invención son recibidos con módulos de menos elementos.

10 Otra ventaja de la invención es que mediante el aumento gradual de la contrapresión de la desalinización, de manera que se mantiene a un valor fijo por debajo de la presión osmótica del concentrado en las entradas de los módulos, la contrapresión media de tal procedimiento es significativamente menor que la contrapresión constante requerida por el procedimiento CFD de la técnica anterior, y esto implica ahorros significativos en potencia y energía por el procedimiento de la invención.

15 De acuerdo con otra ventaja de la invención, el flujo en el circuito cerrado creado por los medios de circulación puede crearse y ajustarse para minimizar el efecto de polarización de la concentración alterando la capa fina de concentrado sobre las superficies de las membranas.

20 El procedimiento de la invención evita completamente la necesidad de medios de recuperación de energía caros que son los componentes más tediosos y problemáticos en un aparato de CFD de la técnica anterior.

El nuevo aparato y procedimiento de la invención elimina la necesidad de aplicación de una gran sobre-potencia, así como la necesidad de un exceso en la práctica de recuperación de potencia característica de los procedimientos CFD existentes.

25 De acuerdo con otra ventaja de la invención, la huella ambiental de las unidades de desalinización se reduce bruscamente en comparación con los procedimientos CFD existentes debido a los ahorros significativos en los componentes energéticos, elementos de membrana y energía, así como por la eliminación completa de la necesidad de recuperación de energía del efluente de salmuera.

30 La Figura IA es un dibujo esquemático de un aparato que es una de las realizaciones preferidas del aparato de la invención. Como se ve en la Figura IA, el aparato de desalinización de la invención comprende un circuito de agua de mar presurizada que se alimenta en paralelo a una pluralidad de módulos de desalinización M₁-M₆ con dicho circuito y los módulos constituyen un Circuito Cerrado (en lo sucesivo denominado "CC") en el que tiene lugar la desalinización. Se entenderá que el número de módulos no está limitado a los seis módulos mostrados en la Figura IA y que pueden ser más pequeños o más grandes de acuerdo con los diferentes requisitos de diseño. Una de las ventajas del aparato de la invención es que puede funcionar con módulos comerciales conocidos de la técnica anterior. Se prevé también que puedan diseñarse diferentes clases de módulos para su aplicación en el aparato de la invención, o el aparato puede estar provisto de módulos comerciales no conocidos en el momento de la presente invención. Los módulos a aplicar en el aparato de la invención generalmente comprenden uno o más elementos dentro de la carcasa. El concentrado de las salidas del módulo se recicla de vuelta a las entradas del módulo a través del CC mediante una bomba de circulación BC que funciona a una baja diferencia de presión de entrada-salida. La presión hidrostática deseada en el CC, incluyendo los módulos M₁-M₆, se crea mediante una bomba de presurización BP que alimenta agua de mar al aparato a través de la tubería L, reemplazando el volumen de permeado liberado, designado por una flecha A, por un suministro de agua de mar nuevo designado por la flecha E₁. El volumen del suministro del agua de mar se controla continuamente mediante el caudalímetro FM. La bomba de presurización BP se hace funcionar a presión constante o a una presión que aumenta progresivamente como una función de la recuperación de desalinización manifestada por el volumen controlado en el caudalímetro FM. El aparato comprende también las tuberías L₁ para conducir el suministro en el CC desde la bomba de circulación BC hasta las entradas de los módulos M₁-M₆ a través de las tuberías secundarias L_{1.1}, L_{1.2}, L_{1.3}, L_{1.4}, L_{1.5}, L_{1.6}. El aparato comprende adicionalmente la tubería L₂ para el reciclado del agua de mar parcialmente desalada de la salida del módulo a través de las tuberías de recogida secundarias L_{2.1}, L_{2.2}, L_{2.3}, L_{2.4}, L_{2.5}, L_{2.6} accionadas por la bomba de circulación BC. Todo el CC comprende las tuberías L₁, L₂ y los módulos M₁-M₆ con sus tuberías secundarias de entrada y salida. Se entenderá que el diseño del circuito de desalinización y las tuberías mostradas en la Figura IA son esquemáticos y están simplificados y no se consideran limitantes de la invención. En la práctica, el aparato de desalinización puede comprender cualquier tubería adicional, ramificación, válvula y otras instalaciones o dispositivos según sea necesario de acuerdo con los requisitos específicos mientras aún esté dentro del alcance de las reivindicaciones.

Haciendo referencia de nuevo a la Figura IA, el aparato de desalinización comprende adicionalmente una tubería AA para la recogida del permeado liberado (solución desalada) de las salidas de los módulos A₁, A₂, A₃, A₄, A₅, A₆.

Haciendo referencia de nuevo a la Figura IA, el aparato de desalinización comprende adicionalmente un sistema de Recarga de Aporte (en los sucesivo "RA"), con lo que la salmuera se reemplaza por un aporte nuevo en el CC al final de cada secuencia de desalinización de recuperación deseada. El sistema RA comprende las tuberías E₂, B₁, B₂ y C, las válvulas bidireccionales V₁-V₅, el depósito CN y la bomba de recarga BR. La Figura IA describe la desalinización en progreso en el sistema CC, mientras la recarga en progreso tiene lugar en el sistema RA. Los sistemas CC y RA en la Figura IA están desacoplados puesto que la válvula V₁ está abierta y las válvulas V₂ y V₃ están cerradas. Durante la operación de recarga del sistema RA, se da entrada a nuevo aporte a través de la válvula V₄ (abierta) y la tubería B₂ a la parte superior del depósito CN y, al mismo tiempo, la salmuera se retira del fondo del depósito CN al exterior (flecha C) a través de la tubería B₁, la válvula V₅ (abierta) y la tubería C, mediante la bomba de recarga BR que se acciona a baja presión (~100 kPa (1,0 bar)) en condiciones de flujo casi laminar.

La Figura IB describe las posiciones de las válvulas después de que la operación de recarga del depósito se haya completado y el sistema RA se está presurizando y está listo para proporcionar un suministro de aporte nuevo al sistema CC. Las válvulas del sistema RA en esta fase están cerradas, excepto la válvula V, que es a través de la cual está teniendo lugar la presurización.

La Figura IC describe las posiciones de las válvulas cuando el sistema RA proporciona un suministro de aporte nuevo al sistema CC y retira el efluente de salmuera. Si los sistemas CC y RA son del mismo volumen intrínseco, un depósito RA completo con aporte nuevo es suficiente para completar la recarga de todo el sistema CC. Durante la operación de recarga del aporte, el procedimiento de desalinización continúa sin parar.

La dirección de flujo en el aparato de la invención está indicada por las flechas de color gris claro. Las tuberías no presurizadas están indicadas por líneas discontinuas, las tuberías que están presurizadas parte del tiempo se indican mediante líneas de puntos y las tuberías del sistema CC que están presurizadas continuamente se indican mediante líneas continuas. Se entenderá que las tuberías, válvulas y tuberías mostradas en las Figuras I(A-C) no son sino una manera de implementar la invención y pueden preverse muchas otras instalaciones para las diversas realizaciones de la invención.

Se entenderá que el aparato y el procedimiento de la invención pueden aplicarse como sistemas no modulares o modulares y, en el último caso, el medio de presurización comprende una bomba o bombas de impulsión de presión variable para un aporte ya proporcionado a presión. El aparato de la invención no modular está destinado, fundamentalmente, a unidades de desalinización autónomas mientras que el aparato modular está destinado a bloques de edificación para grandes plantas de desalinización en las que el aporte presurizado se suministra a las unidades centralmente desde una tubería principal y la bomba de impulsión de presión variable de cada unidad en el sistema se usa para ajustar la presión según lo requiera la unidad.

El aparato de acuerdo con la invención puede realizarse usando un gran número de módulos, de manera que los módulos están dispuestos en múltiples tuberías paralelas, estando suministrada cada tubería en paralelo con solución para desalinización desde la tubería principal del aparato y estando suministrado cada módulo dentro de cada tubería también en paralelo. En tal aparato pueden usarse medios de circulación diferentes para cada una de dichas tuberías, respectivamente, o puede usarse un solo medio de circulación para todas estas tuberías.

El medio de presurización o el medio de circulación, o ambos, pueden implementarse mediante dos o más bombas instaladas en paralelo o en cualquier otro diseño de acuerdo con los requisitos específicos.

De acuerdo con el aparato de la invención, no es necesario que el depósito sea un contenedor de gran volumen y puede implementarse como una tubería o sección de un conducto.

El procedimiento de desalinización de la invención implica las siguientes etapas, descritas en el presente documento a continuación con referencia al aparato de las Figuras 1(A-C): (I) todo el aparato se carga con un suministro nuevo de agua de mar o de agua salobre; (II) la bomba o bombas de presurización se ajustan para suministrar un flujo de aporte presurizado constante en las condiciones de presión variable apropiadas; (III) la bomba de circulación BC se acciona a una baja diferencia de presión de entrada-salida de manera que el caudal de concentrado a permeado es consistente con las especificaciones de los módulos; (IV) la desalinización por OI secuencial en el sistema CC se realiza mediante el reciclado del concentrado del procedimiento y su mezcla con un aporte presurizado nuevo suministrado al CC durante el transcurso de la secuencia de desalinización; (V) concomitantemente con la finalización de la recuperación secuencial deseada en el sistema CC, la circulación de flujo se desvía intermitentemente a través del sistema RA hasta que el sistema CC se recarga con un suministro de aporte nuevo y se retira el efluente de salmuera; (VI) concomitantemente con la finalización de la recarga de aporte nuevo del sistema CC, los sistemas CC y RA se desconectan, el primero comienza en una nueva base de desalinización y el último experimenta recarga de aporte nuevo combinado con descarga de salmuera seguido de presurización, de manera que está listo para la siguiente operación de recarga del CC.

Se entenderá que para mantener un flujo de permeado constante desde los módulos del aparato de la invención, la presión variable en el sistema CC debe tener en cuenta una presión de accionamiento neta constante o casi constante (a continuación en este documento "PAN"). Se entenderá adicionalmente que dicha PAN en el contexto del procedimiento de la invención es la diferencia de presión entre la presión aplicada, también denominada

contrapresión, y la presión osmótica de la solución reciclada en la entrada a los módulos durante el procedimiento de desalinización continuo.

5 Será obvio para los expertos en la materia que el procedimiento de desalinización de la invención puede funcionar en un aparato de desalinización de diferentes diseños como se ha explicado anteriormente con respecto al aparato de la invención siempre y cuando cada aparato comprenda un circuito cerrado de tuberías de conducción con un depósito, uno o más módulos de desalinización de uno o más elementos de membrana cada uno suministrados en paralelo, un medio de presurización, un medio de circulación, un medio para controlar el flujo y un medio para controlar la conductancia.

10 Adicionalmente, será obvio para los expertos en la materia que los aparatos de la invención individuales de dicho diseño modular de cualquier capacidad de producción preferida pueden unirse juntos y forma una planta de desalinización de una capacidad de producción ampliada en la que el aporte presurizado se genera centralmente y se suministra en las unidades individuales de la planta a través de las extensiones desde una tubería de suministro de alta presión individual de aporte nuevo.

Ejemplo-I

15 La aplicación de la nueva tecnología se ejemplifica en la TABLA-I mediante desalinización de agua de mar en condiciones de aumento progresivo de presión de la presión de activación neta constante usando un aparato del diseño esquemático mostrado en las Figuras 1(A-C) con seis módulos de tres elementos cada uno y un solo depósito de 394 litros, que es del mismo volumen intrínseco que el circuito cerrado. Los elementos en este ejemplo son de tipo comercial o similares y sus especificaciones supuestas en las condiciones de ensayo se muestran en la
 20 TABLA-I. La recuperación máxima del elemento especificada del 10 % de la de los elementos superiores en los módulos no se supera durante toda la operación de desalinización secuencial, o secuencial consecutiva, descrita por el ejemplo. La recuperación de los módulos especificada del 24,5 % citada en la TABLA-I es aquella de un módulo de tres elementos en condiciones de ensayo con una recuperación máxima del elemento del 10 %. El flujo de permeado en el ejemplo que se está revisando se supone constante puesto que el procedimiento de desalinización
 25 se analiza a una presión de activación neta constante o casi constante (PAN) de ~3,04 MPa (30,4 bar), que es la PAN especificada en las condiciones de ensayo de los elementos. En las condiciones de PAN constante aplicadas en el ejemplo, el flujo de aporte presurizado por módulo (37,4 litros/min.) y el flujo de concentrado reciclado por módulo (115,3 litros/min.) permanecen constantes, siendo el primero idéntico al flujo de permeado por módulo (37,4 litros/min.). Los parámetros de flujo constante para el aparato ejemplificado de seis módulos es seis veces el citado en la TABLA-I para cada módulo individual.
 30

Los factores de eficacia presupuestos (f) de las bombas en este ejemplo son $f_{BP}=0,88$, $f_{BC}=0,85$ y $f_{BR}=0,80$; en las que f_{BP} , f_{BC} y f_{BR} son los factores de eficacia de la bomba de presurización (BP), la bomba de circulación (BC) y la bomba de recarga de aporte (BR) respectivamente. En este ejemplo, el suministro de presión variable supuesto de BP está en el intervalo de 5,49-7,08 MPa (54,9-70,8 bar) (presión media de 6,28 MPa (62,8 bar)), la BR opera a 50
 35 kPa (0,5 bar) y la BC opera a una diferencia de presión de entrada-salida (Δp) de 100 kPa (1,0 bar) (~15 psi).

El ejemplo que se revisa en la TABLA-I contiene datos de flujo constante por módulo como era de esperar para un sistema que funciona a la presión aplicada variable citada (AP) de la presión de activación neta constante (PAN). El flujo constante se deduce de la ecuación (1) de flujo de permeado y los requisitos de presión aplicada expresados mediante (2); en la que Q_p significa el flujo de permeado por elemento, A es el coeficiente de permeabilidad, S es el
 40 área superficial de las membranas, FCT es el factor de corrección de temperatura, FE es el factor de ensuciamiento, PAN es la presión de activación neta, PA es la presión aplicada y PO es la presión osmótica. La recuperación en el procedimiento de desalinización secuencial que se está revisando se expresa mediante (3) y el periodo de tiempo secuencial requerido para conseguir una recuperación deseada se expresa mediante (4); en la que Rec significa porcentaje de recuperación, V es el volumen intrínseco de circuito cerrado, v es el volumen del aporte presurizado
 45 añadido al sistema o el volumen de permeado recibido, T es el periodo secuencial para una recuperación especificada, Q es el flujo de permeado por módulo y n es el número de módulos por aparato. Los datos de potencia en el ejemplo que se está revisando se obtienen a partir de la expresión de flujo (5); en la que P significa potencia en kW, Q es un flujo en litros por minuto, p es la presión o diferencia de presión en MPa (bar), y f es el coeficiente de eficacia de los componentes de potencia.

50 Los datos de energía específica media en la TABLA-I se deducen a partir de los datos de potencia, el tiempo transcurrido (t) en el periodo secuencial (T) para la recuperación deseada y teniendo en cuenta el volumen de permeado liberado.

$$(1) \quad Q_p = A * S * (FCT) * (FE) * (PAN)$$

$$(2) \quad PA = (PO) + (PAN)$$

$$(3) \quad R_{ec} (\%) = 100 * v / (V + v)$$

$$(4) \quad T = \{ 1 / (n * Q) \} * \{ (R_{ec} * V) / (100 - R_{ec}) \}$$

$$(5) \quad P (kW) = (Q * p) / (592 * f)$$

Otra información específica desvelada en la TABLA-I en las coordenadas de tiempo (t, min.) del procedimiento secuencial incluyen; la recuperación de módulo (REC. 24,5 %), la acumulación de recuperación (DESL. REC.) durante el procedimiento; la proporción de flujo de concentrado a permeado (PROPORCIÓN FLUJO CONCEN. PERM.); el número de circuitos salados reciclados (Número CCR); las concentraciones de entrada a los módulos [CONC (%). t-0,25, entrada]; las concentraciones promedio del circuito cerrado [CONC (%), t], la demanda de potencia por módulo; la presión osmótica (PO), la presión aplicada (PA) y la presión de activación neta (PAN) en las entradas de los módulos; y la Energía Específica media (E.E. Media kWhm³).

La combinación de etapas de desalinización secuenciales en un procedimiento continuo de secuencias consecutivas para desalinización continua se realiza mediante un sistema controlado que acciona las válvulas y otros componentes de acuerdo con la información controlada en línea de las concentraciones y/o presiones y/o flujo de permeado y/o de aporte presurizado. El seguimiento de la conductividad de la solución en el circuito cerrado es uno de los varios medios mediante el cual tal procedimiento de desalinización puede gestionarse y controlarse eficazmente.

De acuerdo con los datos en la TABLA-I, el aparato en este ejemplo funciona con un periodo secuencial (T) para una recuperación del 50 % en 107 segundos (1,75 minutos) de los cuales unos 34 segundos se consumen para la recarga de circuito cerrado con aporte nuevo a través de un depósito de 395 litros, el mismo volumen que el del propio circuito cerrado. Por lo tanto, la diferencia de tiempo de 73 segundos (107-34) entre actuaciones sucesivas del depósito de recarga es el periodo máximo disponible para su recarga y presurización.

En resumen, la realización preferida del procedimiento de la invención y el aparato se ejemplifica (Ejemplo-I) mediante las unidades para una capacidad de 323 m³/día de agua de mar desalada basado en el 100 % de disponibilidad y una recuperación del 50 % que requiere una energía específica media de 2,18 kWh/m³ en condiciones de contrapresión variable (5,49-7,08 MPa (54,9-70,8 bar)) o de 2,38 kWh/m³ en condiciones de presión aplicada constante (7,08 MPa (70,8 bar)).

TABLA-II

| El rendimiento de la unidad de desalinización no modular en el Ejemplo-1 en comparación con una planta compuesta por diez de tales unidades modulares. | | | |
|--|------|---------|-------------|
| Elementos Comparados | M1E3 | 6[M1E3] | 10{6[M1E3]} |
| Producción de permeado diaria (m ³ /día) | 53,9 | 323,3 | 3.233 |
| Suministro de aporte presurizado diario (m ³ /día) | 53,9 | 323,3 | 3.233 |
| Suministro de aporte no presurizado diario (m ³ /día) | 53,9 | 323,3 | 3.233 |
| Salmuera retirada diaria (m ³ /día) | 53,9 | 323,3 | 3.233 |
| Recuperación máxima del elemento (%) | 10 | 10 | 10 |

El rendimiento de la unidad de desalinización no modular en el Ejemplo-1 en comparación con una planta compuesta por diez de tales unidades modulares.

| Elementos Comparados | M1E3 | 6[M1E3] | 10{6[M1E3]} |
|--|-------------|-------------|-------------|
| Recuperación de módulo (%) | 24,5 | 24,5 | 24,5 |
| Presión secuencial mínima (MPa (bar)) | 5,49 (54,9) | 5,49 (54,9) | 5,49 (54,9) |
| Presión secuencial máxima (MPa (bar)) | 7,08 (70,8) | 7,08 (70,8) | 7,08 (70,8) |
| Presión secuencial promedio (MPa (bar)) | 6,28 (62,8) | 6,28 (62,8) | 6,28 (62,8) |
| Demanda de potencia mínima (kW) | 4,17 | 25,0 | 250 |
| Demanda de potencia máxima (kW) | 5,77 | 34,6 | 346 |
| Demanda de potencia promedio (kW) | 4,97 | 29,8 | 298 |
| Duración de la secuencia (segundos) | 107 | 107 | 107 |
| Recuperación (%) | 50 | 50 | 50 |
| Energía específica media (kWh/m ³) | 2,18 | 2,18 | 2,18 |
| Huella estimada (m ²) | 6 | 6 | 60 |

M1E3: El módulo de tres elementos usado en el Ejemplo-I y aquí también.
 6[M1E3]: La unidad de desalinización no modular de seis módulos del Ejemplo-I.
 10{6[M1E3]}: La unión de 10 unidades modulares del tipo de las del Ejemplo-I.

Ejemplo-II

5 La conexión de las 10 unidades de desalinización de un diseño modular análogo al del Ejemplo-I a una tubería de suministro de aporte presurizado central, con cada unidad equipada con un generador de presión variable en lugar de con una bomba de presión variable, ejemplifica la aplicación del aparato modular del nuevo procedimiento de la invención. En la TABLA-II se ejemplifican algunos datos de rendimientos de módulos de desalinización de tres elementos, una unidad modular con un diseño análogo a la del Ejemplo-I con 6 módulos de 18 elementos y una planta de desalinización que contiene diez de tales unidades modulares.

10

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para desalinización secuencial consecutiva continua de una solución de agua salada por ósmosis inversa que comprende:
- 5 al menos un circuito cerrado que comprende uno o más módulos de desalinización (M_1 - M_6) con sus entradas ($L_{1,1}$ - $L_{1,6}$) y salidas ($L_{2,1}$ - $L_{2,6}$) respectivas conectadas en paralelo mediante las tuberías de conducción (L_1 - L_2), comprendiendo cada uno de dichos módulos de desalinización uno o más elementos de membrana;
- al menos un medio de presurización (BP) para crear una contrapresión suficiente para permitir la desalinización por ósmosis inversa y la sustitución del permeado liberado por aporte nuevo en dicho circuito cerrado;
- 10 al menos un medio de circulación (BC) para reciclar el concentrado a través de dicho uno o más módulos de desalinización de dicho circuito cerrado;
- al menos un medio de tubería de conducción (A) para la recogida permeado (A_1 - A_6) desde dicho uno o más módulos de desalinización de dicho circuito cerrado;
- un medio de un solo depósito (CN) para posibilitar la sustitución de la salmuera por aporte nuevo en dicho circuito cerrado mientras continua la desalinización;
- 15 al menos una tubería (B_1) para llevar el concentrado desde dicho circuito cerrado hasta dicho depósito individual;
- al menos una tubería (B_2) para llevar la solución de aporte nuevo a desalinizar desde dicho depósito individual hasta dicho circuito cerrado;
- al menos una tubería (E_2) para recargar dicho depósito individual con solución de aporte nuevo a desalinizar;
- 20 al menos una tubería (C) para retirar el efluente de salmuera de dicho depósito individual;
- al menos un medio de válvula (V_1 - V_5) configurado para posibilitar la conexión y desconexión de dicho depósito individual de dicho circuito cerrado mientras la desalinización continúa en dicho circuito cerrado, la sustitución de la salmuera por aporte nuevo desde dicho depósito individual y la compresión y descompresión de dicho depósito individual; y
- 25 medios de control para posibilitar que la desalinización en circuito cerrado continuo con la recuperación deseada transcurra en etapas secuenciales consecutivas en condiciones de presión variable o de presión constante.
2. Un aparato para desalinización en circuito cerrado de una solución de agua salada por ósmosis inversa de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, con un medio para controlar el progreso de la
- 30 desalinización que es un medio para controlar el flujo de aporte de agua salada nueva a dicho circuito cerrado y/o el flujo de solución desalada desde dicho circuito cerrado.
3. Un aparato para desalinización en circuito cerrado de una solución de agua salada por ósmosis inversa de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende adicionalmente un medio para controlar el progreso de la desalinización que comprende un medio para controlar la concentración.
- 35 4. Un aparato para desalinización en circuito cerrado de una solución de agua salada por ósmosis inversa de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que dichos módulos comprenden uno o más elementos de membrana semi-permeable dentro de una carcasa.
5. Un aparato para desalinización en circuito cerrado de una solución de agua salada por ósmosis inversa de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que dichos módulos están agrupados en baterías en
- 40 paralelo, comprendiendo cada una de dichas baterías en paralelo una pluralidad de módulos.
6. Un aparato para desalinización en circuito cerrado de una solución de agua salada por ósmosis inversa de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichos medios de un solo depósito son secciones de conducto cilíndricas.
7. Un aparato para desalinización en circuito cerrado de una solución de agua salada por ósmosis inversa de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que dicho medio de presurización comprende una o
- 45 más bombas de presurización, accionadas en paralelo o en línea.
8. Un aparato para desalinización en circuito cerrado de una solución de agua salada por ósmosis inversa de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que dicho medio de circulación son una o más bombas de circulación accionadas en paralelo o en línea.
- 50 9. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores para desalinización en circuito cerrado de una solución de agua salada por ósmosis inversa en donde dicha solución es agua de mar.
10. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores para desalinización en circuito cerrado de una solución de agua salada por ósmosis inversa en donde dicha solución es agua salobre.
- 55 11. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores para desalinización en circuito cerrado de una solución de agua salada por ósmosis inversa en donde dicha solución es un efluente doméstico tratado.

12. Un aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores para desalinización en circuito cerrado de una solución de agua salada por ósmosis inversa en donde dicha solución es un efluente industrial.
13. Un procedimiento para desalinización en circuito cerrado secuencial consecutiva de una solución de agua salada por ósmosis inversa en un sistema que comprende un circuito cerrado con uno o más módulos de desalinización (M_1, \dots, M_6) conectados en paralelo y un solo depósito (CN), mediante las siguientes etapas:
- a. llenar a presión atmosférica dicho circuito cerrado y dicho depósito individual con una solución de agua salada nueva, sellar dicho circuito cerrado y dicho depósito individual y presurizar dicha solución de agua salada nueva dentro de dichos circuito cerrado y depósito individual;
 - b. suministrar continuamente un aporte nuevo presurizado de solución de agua salada a dicho al menos un circuito cerrado a una presión suficiente para posibilitar la desalinización por ósmosis inversa eficaz y la sustitución del permeado liberado por un aporte nuevo;
 - c. reciclar la solución presurizada de las salidas a las entradas de concentrado de dichos uno o más módulos de desalinización a un caudal predefinido mediante un medio de circulación;
 - d. recoger continuamente permeado de dichos módulos;
 - e. controlar el progreso de la desalinización en dicho circuito cerrado;
 - f. al detectar un nivel de recuperación de desalinización deseado en dicho circuito cerrado, conectar dicho depósito individual cargado con el aporte nuevo presurizado con dicho circuito cerrado y desviar el flujo de circulación a través de dicho depósito individual para retirar la salmuera de dicho circuito cerrado en dicho depósito individual y recargar dicho circuito cerrado con un aporte nuevo desde dicho depósito individual sin detener el proceso de desalinización;
 - g. al completarse la recarga de aporte nuevo en el circuito cerrado, desconectar dicho depósito individual de dicho circuito cerrado, despresurizar dicho depósito individual desconectado cargado con el efluente de salmuera, reemplazar sustancialmente a presión atmosférica el efluente de salmuera en dicho depósito individual con una solución de agua salada nueva, sellar dicho depósito individual, y presurizar el aporte nuevo en dicho depósito individual para facilitar la siguiente conexión con dicho circuito cerrado.
14. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 13 en el que la salida de presión aplicada de dicho medio de presurización se aumenta gradualmente durante la secuencia de desalinización como una función del aumento de la recuperación de la desalinización controlado por dicho medio de control, de manera que la proporción de presión aplicada a presión osmótica se mantiene por encima de un valor mínimo predeterminado a lo largo de la secuencia de desalinización.
15. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 13 en el que se aplica una contrapresión constante a lo largo de la secuencia de desalinización de manera que dicha contrapresión constante se mantiene a una proporción mínima predeterminada por encima de la presión osmótica de la solución de efluente descargado al final de cada secuencia de desalinización.
16. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15 en el que dicho medio de control es un caudalímetro que controla el volumen del agua desalada o el volumen del aporte de solución de agua salada nueva que se presuriza en el sistema de circuito cerrado.
17. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15 en el que dicho medio de control es un medio de control de concentración.
18. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 17 en donde dicha solución es agua de mar.
19. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 17 en donde dicha solución es agua salobre.
20. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 17 en donde dicha solución es un efluente doméstico tratado.
21. Un procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 17 en donde dicha solución es un efluente industrial.

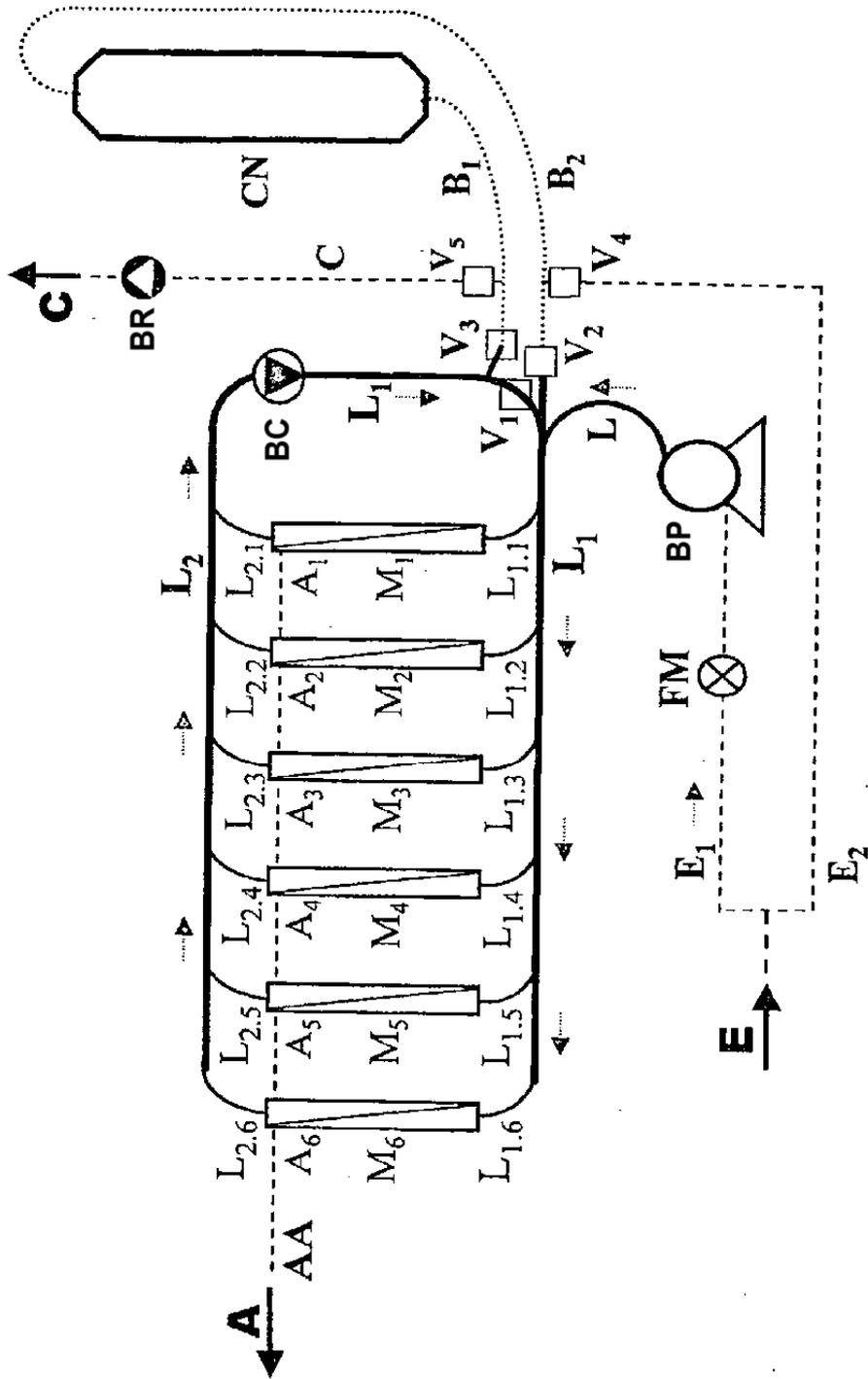


Fig. 1B

