(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 667 267**

(51) Int. CI.:

C02F 1/44 (2006.01)
C02F 1/22 (2006.01)
C02F 1/08 (2006.01)
B01D 9/00 (2006.01)
B01D 61/02 (2006.01)
C02F 103/10 (2006.01)
C02F 1/00 (2006.01)
C02F 103/08 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.02.2013 PCT/EP2013/052846**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **13.02.2014 WO14023437**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.02.2013 E 13703818 (8)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.01.2018 EP 2861535**

(54) Título: **Aparato, uso del aparato y proceso para la desalinización del agua**

(30) Prioridad:

08.08.2012 EP 12179662

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.05.2018

(73) Titular/es:

SULZER CHEMTECH AG (100.0%)
Sulzer-Allee 48
8404 Winterthur, CH

(72) Inventor/es:

DETTE, SEVERINE;
AHMAD, MANSOUR M.M y
STEPANSKI, MANFRED

(74) Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

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, uso del aparato y proceso para la desalinización del agua

Antecedentes de la invención

La presente invención se refiere a un proceso para la desalinización de solución salina. La presente invención también se refiere a un aparato para llevar a cabo este proceso, y al uso de dicho proceso o aparato para la reducción del volumen de subproducto de solución salina concentrada de una planta de desalinización de membrana de ósmosis inversa, o en un dispositivo o planta o proceso para producir agua desalinizada, para la producción de sal, para la coproducción de energía y agua desalinizada, o para aire acondicionado.

En la presente solicitud, la expresión "solución salina" se refiere a cualquier solución acuosa que contiene al menos una sal disuelta, y la expresión "primer flujo de subproducto" se refiere a un subproducto de solución salina concentrada de una planta de desalinización de membrana de ósmosis inversa (OI). Otros ejemplos de soluciones salinas concentradas incluyen agua de mar, aguas salobres o agua de minería. Cabe destacar que el flujo de alimentación de solución salina y el primer flujo de subproducto de una planta de desalinización de membrana de OI, así como los otros ejemplos anteriores de soluciones salinas concentradas, contienen todos al menos una sal inorgánica disuelta, típicamente NaCl.

Para el consumo público y doméstico de agua, en granjas para el riego y para el ganado, e industrialmente para una variedad de procesos, se requiere agua dulce. En la presente solicitud, la expresión "agua dulce" se refiere de forma general a agua caracterizada por tener bajas concentraciones de sales disueltas y otros sólidos disueltos totales y específicamente excluye el agua de mar y las aguas salobres. En una realización, "agua dulce" se refiere a agua que contiene menos de 3.000, preferentemente menos de 1.000, más preferentemente menos de 500 ppm de sales disueltas. El agua para consumo es un ejemplo de agua dulce. Debido a la ausencia de distribución uniforme de suministros de agua dulce, en muchas regiones es necesario obtener agua dulce mediante desalinización de una solución salina, por ejemplo, del mar. En la presente solicitud, el término "primer flujo de producto de agua" se refiere al agua dulce obtenida mediante el proceso, aparato o uso de la invención.

La ósmosis inversa (OI) es la tecnología más extendida para la desalinización de agua, y un aparato y método de desalinización de ósmosis inversa se desvela, por ejemplo, en los documentos US 4.115.274 o US 4.125.463. Se trata de un proceso de separación de membrana en el que se recupera agua a partir de una solución salina mediante la presurización de la solución más allá de su presión osmótica y que esencialmente usa la membrana para filtrar los iones salinos de la solución presurizada y permitir que pase solamente el agua. El consumo principal de energía en la tecnología de OI proviene de la presurización de la solución salina. Se puede obtener ventajosamente un consumo de energía relativamente bajo con la tecnología de OI cuando la pérdida energética que resulta de la liberación de la presión de la solución salina concentrada se minimiza usando dispositivos para recuperar la energía mecánica de compresión del flujo de solución salina concentrada descargado (primer flujo de subproducto). La tecnología de OI es la tecnología comercial más extendida para la desalinización debido a su economía favorable en gran parte como resultado de su consumo energético relativamente favorable.

Sin embargo, la tecnología de OI tiene sus desventajas. Dado que la presión requerida para recuperar agua dulce adicional aumenta a medida que se concentra la solución salina o el flujo de salmuera, la tasa de recuperación de agua de los sistemas de OI tiende a ser baja. Una gran desventaja adicional relacionada es por tanto el coste y el impacto ambiental de deshacerse de los grandes volúmenes de flujo de subproducto de solución salina concentrada (primer flujo de subproducto) de la planta de OI, en particular, para las plantas de OI interiores. Por ejemplo, el subproducto de solución salina se descarga a menudo al mar o en aguas continentales superficiales o se inyecta en pozos profundos. Tales prácticas no son respetuosas con el medio ambiente, y por lo tanto ya no son aceptables. Por lo tanto, sería deseable tener un proceso y un aparato para aumentar el volumen de agua dulce recuperada, que reduzca el volumen del primer flujo de subproducto (solución salina concentrada) de las plantas de OI, y sin inducir un daño adicional al medio ambiente.

Se conocen métodos de concentración basados en calor para reducir el volumen de los primeros flujos de subproducto de los sistemas de OI, tales como el método de evaporación flash desvelado en el documento US 4.083.781, el método de evaporación forzada desvelado en el documento US 4.434.057; y el método de evaporación por calor de combustión del documento US 5.695.643. Tales métodos de concentración basados en calor tienen la desventaja de que consumen mucha energía y, por lo tanto, son costosos. Además, son susceptibles de formación de incrustaciones y sus problemas térmicos y mecánicos asociados. Como alternativa, los primeros flujos de subproducto se pueden concentrar mediante estanques solares que tienen bajos costes energéticos, pero este método térmico requiere grandes cantidades de suelo y luz solar directa y tiene baja productividad y un mantenimiento costoso y al que hay que dedicar mucho tiempo. Asimismo, los métodos térmicos solares no se pueden aplicar a todas las regiones y/o climas ya que la presencia de polvo puede bloquear la luz del sol y/o el área de superficie para la evaporación, aumentando de este modo el tiempo requerido para la evaporación. Además, el agua evaporada se pierde en el medio ambiente en el caso de un tanque, y no está disponible después como un suministro de agua para consumo. Por último, los compuestos tóxicos, tales como los compuestos azufrados, se

pueden evaporar y transferir al medio ambiente, dando como resultado problemas de salud, seguridad y medio ambiente (SSMA).

También se conocen métodos de electrodiálisis para tratar los primeros flujos de subproducto de los sistemas de OI. Por ejemplo, se conoce un sistema integrado de OI y electrodiálisis del documento EP 2 070 583 A2, y el método del documento US 6.030.535 usa una combinación de una unidad de electrodiálisis y evaporador para tratar el flujo de subproducto de solución salina concentrada de un sistema de OI. Los métodos de electrodiálisis tienen la desventaja de ser sensibles a la suciedad y a las incrustaciones de la membrana, y también requieren grandes cantidades de corriente continua y sus campos eléctricos son solo capaces de eliminar los componentes iónicos. En conclusión, sería deseable tener un proceso y aparato para reducir el volumen de flujos de subproducto de solución salina concentrada de los sistemas de OI que tenga menores requisitos energéticos sin requerir grandes infraestructuras y sin ser susceptible a la suciedad de la membrana y que tenga una menor susceptibilidad a las incrustaciones.

Olaf Flesland informa, en el volumen 13, n.º 8 y 9, 1995, páginas 1713 a 1739 en "Freeze concentration by layer crystallization", sobre los resultados de experimentos de cristalización laminar en películas laminares. Más específicamente, se han ensayado mezclas binarias de agua y sacarosa y se han determinado las tasas promedio de crecimiento de hielo. Aunque se ha descubierto que los datos experimentales demostraron que una cristalización laminar de una etapa tiene un efecto de separación menor que los cristalizadores de suspensión con columnas de lavado, se especula que una cristalización laminar multietapa puede proporcionar un proceso de concentración por congelación favorable.

Sumario de la invención

Partiendo de este estado de la técnica, es un objeto de la invención proporcionar un proceso para reducir el volumen de los primeros flujos de subproducto de las plantas de OI. Los objetos adicionales de la invención incluyen proporcionar un aparato adecuado para su uso en dicho proceso, y el uso de dicho proceso o aparato para la reducción del volumen del primer flujo de subproducto de una planta de desalinización de membrana de ósmosis inversa, o en un dispositivo o planta o proceso para producir agua desalinizada, para la producción de sal, para la coproducción de energía y agua desalinizada, o para aire acondicionado.

De acuerdo con la invención, estos objetos se logran mediante un proceso para desalinizar agua, comprendiendo dicho proceso las etapas de: (i) hacer pasar un flujo de alimentación de solución salina en una primera etapa de desalinización, a través de una planta de desalinización de membrana de ósmosis inversa que comprende al menos una unidad de desalinización de ósmosis inversa para formar un primer flujo de subproducto que tiene una concentración de sal reducida en relación con la del flujo de alimentación de solución salina y un primer flujo de subproducto que tiene una concentración de sal aumentada en relación con la del flujo de alimentación de solución salina, en donde (ii) el primer flujo de subproducto se hace pasar en una segunda etapa de desalinización, a través de una unidad de cristalización de película descendente para formar un segundo flujo de producto de agua que tiene una concentración de sal reducida en relación con la del primer flujo de subproducto y un segundo flujo de subproducto que tiene una concentración de sal aumentada en relación con la del primer flujo de subproducto, en donde el segundo flujo de subproducto se hace pasar en una tercera etapa de desalinización, a través de una unidad de cristalización estática para formar un tercer flujo de producto de agua que tiene una concentración de sal reducida en relación con la del segundo flujo de subproducto y un tercer flujo de subproducto que tiene una concentración de sal aumentada en relación con la del segundo flujo de subproducto. Mediante el proceso de cristalización laminar, se concentrarán todos los iones en solución.

De acuerdo con la invención, estos objetos adicionales se logran en primer lugar mediante un aparato que comprende: una planta de desalinización de membrana de ósmosis inversa (OI) que comprende al menos una unidad de desalinización de ósmosis inversa que tiene una entrada para un flujo de alimentación de solución salina, una salida para un primer flujo de producto de agua, una salida para un primer flujo de subproducto, en donde la salida para el primer flujo de subproducto está en conexión fluida con una entrada de una unidad de cristalización de película descendente que tiene una salida para un segundo flujo de producto de agua y una salida para un segundo flujo de subproducto, adicionalmente comprende una unidad de cristalización estática que tiene una entrada en comunicación fluida con la salida de la unidad de cristalización de película descendente y una salida para un tercer flujo de producto de agua y una salida para un tercer flujo de subproducto. Dicho aparato se usa de acuerdo con la invención para la reducción del volumen del primer flujo de subproducto de una planta de desalinización de membrana de ósmosis inversa, preferentemente en una planta de desalinización de zonas no costeras, o en un dispositivo o planta o proceso para la producción de agua desalinizada, para la producción de sal, para la coproducción de energía y agua desalinizada, o para aire acondicionado.

La presente invención logra estos objetos y proporciona una solución para este problema haciendo pasar el primer flujo de subproducto en una segunda etapa de desalinización, a través de una unidad de cristalización de película descendente para formar un segundo flujo de producto de agua que tiene una concentración de sal reducida en relación con la del primer flujo de subproducto y un segundo flujo de subproducto que tiene una concentración de sal aumentada en relación con la del primer flujo de subproducto. Como resultado, el primer flujo de subproducto de una planta de desalinización de membrana de OI que tiene una concentración de sal relativamente alta, se concentra

fácilmente de manera adicional mediante la cristalización de película descendente para dar un volumen reducido de solución de alta salinidad (aguas salobres concentradas de desecho) mientras el segundo flujo de subproducto y un segundo flujo de producto de agua tienen una concentración de sal reducida y por tanto adecuada para el reciclaje y otras aplicaciones. Por lo tanto, el volumen global de desechos se reduce de manera significativa. Como alternativa, el segundo flujo de producto de agua se puede alimentar de manera ventajosa al flujo de alimentación a la planta de desalinización de membrana de OI para reducir su dureza y, por lo tanto, el riesgo de formación de incrustaciones. Por tanto, la concentración adicional del primer flujo de subproducto de la planta de desalinización de membrana de OI, mediante el método de la presente invención, permite reducir fácilmente el volumen de los primeros flujos de subproducto y mejorarla productividad del proceso de desalinización global. Por ejemplo, el uso de la presente invención permite una reducción en el volumen de los primeros flujos de subproducto en más del 80 %, y el pequeño volumen restante de desechos de solución salina altamente concentrada (segundos o terceros flujos de subproducto) se puede tratar después fácilmente por medios convencionales tales como evaporación.

Por tanto, estos resultados se logran sorprendentemente sin la necesidad de altos consumos energéticos o grandes infraestructuras y con riesgos reducidos de incrustación.

De acuerdo con la presente invención, el proceso comprende la etapa adicional, en donde el segundo flujo de subproducto de la unidad de cristalización de película descendente se hace pasar en una tercera etapa de desalinización a través de una unidad de cristalización estática para formar un tercer flujo de producto de agua que tiene una concentración de sal reducida en relación con la del segundo flujo de subproducto y un tercer flujo de subproducto que tiene una concentración de sal aumentada en relación con la del segundo flujo de subproducto. Esta etapa adicional reduce además el volumen del primer flujo de subproducto y aumenta la productividad del proceso, y el tercer flujo de producto de agua se puede reciclar ventajosamente alimentándolo en el primer flujo de subproducto en una realización particularmente preferida.

Del mismo modo, de acuerdo con la presente invención, el aparato adicionalmente comprende una unidad de cristalización estática que tiene una entrada en comunicación fluida con la salida para el segundo flujo de subproducto de la unidad de cristalización de película descendente y salidas para un tercer flujo de producto de agua y un tercer flujo de subproducto, con el fin de lograr los beneficios tratados anteriormente de la realización del proceso asociado. De manera similar, la salida para un tercer flujo de producto puede estar ventajosamente en comunicación fluida con el primer flujo de subproducto.

De acuerdo con otra realización preferida del proceso, la concentración de sal del primer flujo de subproducto está entre el 3 y el 7 % en peso, preferentemente entre el 4 y el 7, más preferentemente entre el 5 y el 7, lo más preferentemente entre el 6 y el 7. La alimentación de la unidad de cristalización de película descendente con un flujo que tiene tales concentraciones de sales garantiza que la unidad produzca un segundo flujo de producto de agua de calidad suficientemente buena, es decir, para usarla como agua para consumo o para usos industriales, tales como, enfriamiento, mientras que se minimiza el volumen relativo del segundo flujo de subproducto (aguas salobres concentradas de desecho).

Aún en otra realización preferida del proceso, el primer flujo de subproducto se cristaliza en la unidad de cristalización de película descendente a una temperatura de entre -1 a -4 °C, preferentemente de -1,5 a -4, más preferentemente de -2 a -4, lo más preferentemente de -3 a -4. Aún incluso en otra realización preferida del proceso que tiene una tercera etapa de desalinización, el segundo flujo de subproducto se cristaliza a una temperatura de entre -4 a -13, preferentemente de -6 a -10, lo más preferentemente de -9 a -10. La reducción de la temperatura de cristalización aumenta el volumen relativo del segundo o del tercer flujo de producto de agua. Por otro lado, una temperatura demasiado baja se vuelve contraproducente ya que la calidad del segundo flujo de producto de agua se deteriora a medida que disminuye el rendimiento de separación de la unidad de cristalización de la película descendente. Sin embargo, la calidad del segundo flujo de producto de agua permanece lo suficientemente bien como para que se pueda reciclar como un flujo de alimentación de solución salina en una planta de desalinización de membrana de OI o usarlo para una tercera etapa de desalinización. Como alternativa, el tercer flujo de producto de agua se puede realimentar en el primer flujo de subproducto y, por lo tanto, desalinizar en la unidad de cristalización de película descendente. Sin embargo, a temperaturas más bajas hay un mayor riesgo de formación de cristales de sal y de precipitados de carbonato y de sulfato. Por lo tanto, se ha descubierto de manera sorprendente, que los intervalos de temperatura anteriormente mencionados ofrecen el mejor compromiso entre estos diversos factores competitivos para obtener las temperaturas de funcionamiento.

Aún en otra realización preferida del proceso, la concentración de sal del segundo flujo de subproducto está entre el 8 y el 18 % en peso, preferentemente entre el 10 y el 15, más preferentemente entre el 14 y el 15. Mantener una concentración de sal en estos intervalos permite que el proceso funcione con un nivel óptimo de recuperación de agua.

Aún incluso en otra realización preferida del proceso, la segunda etapa de desalinización en la unidad de cristalización de película descendente y/o la tercera etapa de desalinización en la unidad de cristalización estática comprende una etapa de transpiración en la que un subproducto se retira del producto por medio de una fusión parcial de un cristal en la unidad de cristalización de película descendente. Una etapa de transpiración tiene el

beneficio de eliminar cantidades significativas de impurezas y, por lo tanto, de aumentar considerablemente la pureza del flujo de producto.

Un experto en la materia entenderá que la combinación de los temas de las diversas reivindicaciones y realizaciones de la invención es posible sin limitación en la invención en la medida en que tales combinaciones sean técnicamente factibles. En esta combinación, el tema de una reivindicación cualquiera se puede combinar con el tema de una o más de las otras reivindicaciones. En esta combinación de temas, el tema de una reivindicación cualquiera del método se puede combinar con el tema de una o más reivindicaciones del método o el tema de una o más reivindicaciones del aparato o el tema de una mezcla de una o más reivindicaciones del método y de reivindicaciones del aparato. Por analogía, el tema de una reivindicación cualquiera del aparato se puede combinar con el tema de una u otras reivindicaciones más del aparato o el tema de una o más reivindicaciones del método o el tema de una mezcla de una o más reivindicaciones del método y reivindicaciones del aparato. Como ejemplo, el tema de la reivindicación 1 se puede combinar con el tema de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 11. En una realización, el tema de la reivindicación 10 se combina con el tema de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9. En una realización específica, el tema de la reivindicación 10 se combina con el tema de la reivindicación 1. En otra realización específica, el tema de la reivindicación 2 se combina con el tema de la reivindicación 11. A modo de otro ejemplo, el tema de la reivindicación 1 también se puede combinar con el tema de dos de las reivindicaciones 2 a 11 cualquiera. En una realización específica, el tema de la reivindicación 1 se combina con el tema de las reivindicaciones 1 y 10. En otra realización específica, el tema de la reivindicación 7 se combina con los temas de las reivindicaciones 1 y 3. Como ejemplo, el tema de la reivindicación 1 se puede combinar con el tema de tres de las reivindicaciones 2 a 11 cualquiera. En una realización específica, el tema de la reivindicación 1 se combina con los temas de las reivindicaciones 2 y 10. En otra realización específica, el tema de la reivindicación 10 se combina con los temas de las reivindicaciones 1,5 y 10. En otra realización específica más, el tema de la reivindicación 1 se combina con los temas de las reivindicaciones 2 a 6. Como ejemplo, el tema de una reivindicación cualquiera se puede combinar con los temas de cualquier número de las otras reivindicaciones sin limitación en la medida en que tales combinaciones sean técnicamente factibles.

Un experto en la materia entenderá que la combinación de los temas de las diversas realizaciones de la invención también es posible sin limitación en la invención. Por ejemplo, el tema de una de las realizaciones preferidas mencionadas anteriormente se puede combinar sin limitación con el tema de una o más de las realizaciones preferidas mencionadas anteriormente. Como ejemplo, de acuerdo con una realización particularmente preferida del proceso, la concentración de sal del primer flujo de subproducto está entre el 3 y el 7 % en peso, preferentemente entre el 4 y el 7, más preferentemente entre el 5 y el 7, lo más preferentemente entre el 6 y el 7 y la concentración de sal del segundo flujo de subproducto está entre el 8 y el 18 % en peso, preferentemente entre el 10 y el 15, más preferentemente entre el 14 y el 15. Incluso aún como otro ejemplo, tanto la segunda etapa de desalinización como la tercera desalinización comprenden una etapa de transpiración en la que un subproducto se retira del producto por medio de una fusión parcial de un cristal en la unidad de cristalización.

Breve descripción de los dibujos

La invención se explicará con más detalle en lo sucesivo en el presente documento con referencia a diversas realizaciones de la invención así como a los dibujos. Después de un número de referencia se usa una comilla (‘) para indicar las características de la técnica anterior. Los dibujos esquemáticos muestran:

Fig. 1 muestra una visión esquemática de una realización del proceso para desalinizar agua (no de acuerdo con la invención) que tiene una primera y una segunda etapa de desalinización.

Fig. 2 muestra una visión esquemática de una realización preferida de un proceso para desalinizar agua de acuerdo con la invención, en el que una tercera etapa de desalinización tiene lugar en una unidad de cristalización estática.

Fig. 3 muestra una visión esquemática de una realización preferida de un proceso para desalinizar agua (no de acuerdo con la invención), en el que una tercera etapa de desalinización tiene lugar en la misma o en una segunda unidad de cristalización de película descendente.

Fig. 4 muestra una visión esquemática de una realización de un aparato (no de acuerdo con la invención) para llevar a cabo un proceso para desalinizar agua de acuerdo con la invención que tiene una primera y una segunda etapa de desalinización.

Fig. 5 muestra una visión esquemática de una realización preferida de un aparato para llevar a cabo un proceso para desalinizar agua de acuerdo con la invención, en el que una tercera etapa de desalinización tiene lugar en una unidad de cristalización estática.

Fig. 6 muestra una visión esquemática de una realización preferida de un aparato para llevar a cabo un proceso para desalinizar agua (no de acuerdo con la invención), en el que una tercera etapa de desalinización tiene lugar en una segunda unidad de cristalización de película descendente.

Fig. 7 muestra un resumen de los resultados obtenidos en los ejemplos.

Descripción detallada de la invención

La FIG. 1 muestra una vista esquemática de un proceso (no de acuerdo con la invención) que en su totalidad se marca con el número de referencia 100. El proceso 100 puede comprender una primera etapa de desalinización, que se marca como 110'; y una segunda etapa de desalinización, que se marca como 120. En la primera etapa de desalinización 110', se hace pasar un flujo de alimentación de solución salina 2' a través de una planta de desalinización de membrana de ósmosis interna 3', en donde la planta 3' comprende al menos una unidad de desalinización de ósmosis inversa 4', para formar un primer flujo de producto de agua 5' que tiene una concentración de sal reducida en relación con la del flujo de alimentación de solución salina 2' y un primer flujo de subproducto 6' que tiene una concentración de sal aumentada en comparación con la del flujo de alimentación de solución salina 2'. En la segunda etapa de desalinización 120, se hace pasar el primer flujo de subproducto 6' a través de una unidad de cristalización de película descendente 7 para formar un segundo flujo de producto de agua 8 que tiene una concentración de sal reducida en relación con la del primer flujo de subproducto 6' y un segundo flujo de subproducto 9 que tiene una concentración de sal aumentada en relación con la del primer flujo de subproducto 6'.

Tal como se muestra en la Figura 1, así como en las Figuras 2-6, el primer flujo de subproducto 6' de la unidad de desalinización de ósmosis inversa 4' se alimenta directamente a la unidad de cristalización de película descendente 7 sin hacerlo pasar a través de cualquier dispositivo concentrador o evaporador intermedio, tal como una unidad de compresión de vapor o un evaporador dirigido por vapor de agua. Por lo tanto, la concentración de sal del primer flujo de subproducto 6' permanece relativamente inalterada después de que salga de la unidad de desalinización de ósmosis inversa 4' hasta que se alimenta directamente a la unidad de cristalización de película descendente 7, tal como se muestra en estas figuras. La ausencia de tal dispositivo concentrador o evaporador intermedio tiene beneficios para minimizar la complejidad, los costes de inversión y mantenimiento y la huella del aparato y el proceso para desalinizar agua.

En la memoria descriptiva y en las reivindicaciones de la presente solicitud, la concentración de sal de la solución salina se expresa como un % en peso (peso de la sal/peso de la solución salina x 100 %). Existen varios métodos bien conocidos en la materia para medir las concentraciones salinas del agua, e incluyen los sólidos disueltos totales (SDT), normalmente junto con un balance de masas de las sales, una determinación gravimétrica del peso que queda tras la evaporación del agua, una determinación del punto de fusión (o del punto de congelación), una refractometría óptica, una espectrofotometría de UV/Vis para detectar los componentes principales de los componentes iónicos en solución (por ejemplo, usando un espectrómetro de UV-Vis HACH LANGE DR 5000), un análisis químico completo que tiene en cuenta el balance de cargas de los iones y medidas de conductividad eléctrica.

Las medidas de conductividad eléctrica se basan en la medida de la cantidad de corriente eléctrica conducida a lo largo de un centímetro de longitud de columna de agua del área transversal de la unidad. El agua que contiene una mayor cantidad de sales disueltas tiene una mayor conductividad. Tal como se usa en el presente documento, la concentración de sales en % en peso se obtiene dividiendo la concentración de sales en partes por millón entre 10000. La concentración de sales (C) en unidades de partes por millón (ppm), tal como se usa en el presente documento, se determina mediante una medida de conductividad eléctrica, en donde la conductividad eléctrica (U) se expresa en unidades de milisiemens por cm (mS/cm). La relación entre C en ppm y U en mS/cm se proporciona mediante la siguiente ecuación:

$$C = ((0{,}0154009*(U^3))-(2{,}67657*(U^2))+(922{,}071*(U))-(744{,}133))$$

La FIG. 2 muestra una vista esquemática de una realización preferida de la invención que es un proceso 100 que comprende una primera etapa de desalinización 110', una segunda etapa de desalinización 120 y una tercera etapa de desalinización, que tiene lugar en una unidad de cristalización estática 10, que se marca como 130. En la tercera etapa de desalinización 130, se forma un tercer flujo de producto de agua 12 que tiene una concentración de sal reducida en relación con la del segundo flujo de subproducto 9 y un tercer flujo de subproducto 13 que tiene una concentración de sal aumentada en relación con la del segundo flujo de subproducto 9. Tal como se ha tratado anteriormente, esta etapa adicional reduce de manera beneficiosa el volumen del primer flujo de subproducto 6' y aumenta la productividad, y el tercer flujo de producto de agua 12 se puede reciclar de manera ventajosa en una realización alimentándolo en el primer flujo de subproducto 6'.

La FIG. 3 muestra una vista esquemática de una realización no de acuerdo con la invención que es un proceso 100 que comprende una primera etapa de desalinización 110', una segunda etapa de desalinización 120 y una tercera etapa de desalinización, que tiene lugar en la misma 7 o una segunda unidad de cristalización de película descendente 11, que se marca como 135. En la tercera etapa de desalinización 135, se forma un tercer flujo de producto de agua 12 que tiene una concentración de sal reducida en relación con la del segundo flujo de subproducto 9 y un tercer flujo de subproducto 13 que tiene una concentración de sal aumentada en relación con la del segundo flujo de subproducto 9. Esta realización tiene ventajas similares a las de la mostrada en la FIG. 2, y el tercer flujo de producto de agua 12 se puede reciclar de manera ventajosa en una realización alimentándolo en el

primer flujo de subproducto 6'.

La primera etapa de desalinización 110' y su flujo de alimentación de solución salina 2', la planta de desalinización de membrana de ósmosis inversa 3', la unidad de desalinización de ósmosis inversa 4', el primer flujo de producto de agua 5' y el primer flujo de subproducto 6' son todos convencionales y bien conocidos en la materia, por ejemplo, tal como se desvela en el documento US 4.125.463.

Las condiciones del proceso preferidas para la segunda etapa de desalinización 120 son las mismas para el proceso que se muestra en la FIG. 1 y sus realizaciones preferidas mostradas en la FIG. 2, salvo que se indique específicamente lo contrario. Las unidades de cristalización de película descendente 7 y su funcionamiento son bien conocidas en la materia, por ejemplo, tal como se desvela en el documento US Re. 32.241 o en el documento US 3.621.664. Salvo que se indique lo contrario, las unidades de cristalización de película descendente 7 y 11 convencionales se pueden usar y hacer funcionar tal como se conoce en la materia para la segunda etapa de desalinización 120. Las unidades de cristalización estáticas 10 y su funcionamiento son bien conocidas en la materia, por ejemplo, tal como se desvela en Sulzer Technical Review 2/99 págs. 8 - 11, Sulzer Technical Review 1/2006 págs. 4 - 6, o en el documento US 6.145.340. Salvo que se indique lo contrario, una unidad de cristalización estática 10 convencional se puede usar y hacer funcionar tal como se conoce en la materia para la tercera etapa de desalinización 130.

En principio, la tecnología de desalinización por congelación tiene muchas ventajas sobre otros procesos de desalinización convencionales para tratar soluciones salinas altamente concentradas, especialmente sus bajos requisitos energéticos y sus problemas reducidos de incrustación, ensuciamiento y corrosión. Debido a las bajas temperaturas de funcionamiento de la tecnología de desalinización por congelación, no se requieren materiales de construcción especiales (por ejemplo, resistentes a la corrosión).

En realizaciones preferidas del aparato 1, las diversas unidades de cristalización 7 y/o 10 y/u 11 están equipadas con el(los) recipiente(s) recolector(es) y las conexiones fluidas apropiadas para que las etapas de desalinización adicionales se puedan llevar a cabo dentro de la misma unidad.

Los diversos flujos de producto y subproducto de las unidades de cristalización se pueden controlar de manera conveniente por medio del balance de masas en los recipientes de recolección conectados directamente con la unidad de cristalización. Los requisitos de calentamiento y de enfriamiento de las unidades de cristalización varían en función del tiempo y los sistemas de recolección de energía se pueden usar de manera ventajosa con el fin de minimizar las fluctuaciones en los requerimientos de vapor y de refrigeración. En el caso de un funcionamiento por lotes, los flujos se pueden almacenar en recipientes recolectores antes de hacerlos pasar a través de una unidad de cristalización específica. Las unidades de cristalización se pueden controlar de manera conveniente mediante un sistema informático que usa instrumentos de medida de nivel y de temperatura, así como válvulas de control de encendido/apagado.

Se desvela información adicional sobre los cristalizadores y su funcionamiento en Handbook of Industrial Crystallization, 2ª edición, por Allan S. Myerson, publicado el 9 de enero de 2002 por Butterworth-Heinemann, Woburn, MA ISBN: 978-0750670128 y Crystallization Technology Handbook, 2ª edición, editado por A. Mersmann, publicado en 2001 por Marcel Dekker, Basel, ISBN: 0-8247-0528-9.

En una realización, la concentración de sal del primer flujo de subproducto 6' está entre el 3 y el 7 % en peso, preferentemente entre el 4 y el 7, más preferentemente entre el 5 y el 7, lo más preferentemente entre el 6 y el 7. Tal como se ha tratado anteriormente, la alimentación de la unidad de cristalización de película descendente 7 con un flujo 6' que tiene tales concentraciones de sales garantiza que la unidad 7 produzca un segundo flujo de producto de agua 8 de calidad suficientemente buena, mientras que se minimiza simultáneamente el volumen del primer flujo de subproducto 6'.

En otra realización, el primer flujo de subproducto 6' se cristaliza en la unidad de cristalización de película descendente 7 a una temperatura de entre -1 a -4 °C, preferentemente de -1,5 a -4, más preferentemente de -2 a -4, lo más preferentemente de -3 a -4. Tal como se ha tratado anteriormente, tales intervalos de temperatura ofrecen un proceso óptimo en términos de calidad y volumen del segundo flujo de producto de agua 8.

La temperatura de la cristalización en una unidad de cristalización específica tal como a la que se refiere en la memoria descriptiva de la presente solicitud se expresa en grados Celsius (°C) y se mide midiendo el punto de fusión del flujo de producto de agua retirado de la unidad de cristalización específica.

En otra realización más del proceso de la invención que tiene una tercera etapa de desalinización 130 o 135, el segundo flujo de subproducto 9 se cristaliza en la unidad de cristalización estática 10 a una temperatura de entre -4 a -13 °C, preferentemente de -6 a -10, más preferentemente de -9 a -10.

En otra realización más, la concentración de sal del segundo flujo de subproducto 9 está entre el 8 y el 18 % en peso, preferentemente entre el 10 y el 15, más preferentemente entre el 14 y el 15. Tal como se ha tratado

anteriormente, estos intervalos hacen que se optimice la recuperación de agua del proceso.

Un experto en la materia entenderá que el uso de temperaturas de cristalización muy bajas con el fin de lograr concentraciones incluso mayores de sal del flujo de subproducto se limitará en la práctica a una concentración de sal máxima del 23 % en peso debido al punto eutéctico de la solución salina.

En realizaciones del proceso de la invención en el que una segunda etapa de desalinización 120 tiene lugar en una unidad de cristalización de película descendente 7 y en el que una tercera etapa de desalinización 135 tiene lugar en una unidad de cristalización estática 10, por ejemplo, tal como la mostrada en la FIG. 2, en algunas realizaciones específicas adicionales, la segunda etapa de desalinización 110 y/o la tercera etapa de desalinización 130 o 135 comprende una etapa de transpiración en la que se retira un subproducto 18 de un producto 19 por medio de la fusión parcial de un cristal 20 en la unidad de cristalización de película descendente 7 o en la unidad de cristalización estática 10 o en la segunda unidad de cristalización de película descendente 11.

Una etapa de transpiración es una depuración inducida por temperatura sobre una fusión parcial de cristales o de láminas cristalinas calentando la superficie enfriada hasta una temperatura cercana al punto de fusión de la sustancia depurada (agua). Como resultado, las impurezas o inclusiones están en equilibrio cercano a la fase sólida. Un aumento en la temperatura provocará que el material en la fase sólida adyacente se disuelva en tales inclusiones hasta que se reestablezca la fase de equilibrio. El principal resultado de este fenómeno es aumentar la porosidad en la lámina, lo que permite que se drenen las inclusiones. Un efecto secundario es una reducción en la viscosidad, lo que también ayuda al proceso de drenaje. Tal como se ha tratado anteriormente, estas realizaciones específicas adicionales tiene beneficios al mejorar de manera significativa la pureza del flujo de producto obtenido y con solo una pérdida de agua relativamente pequeña.

La FIG. 4 muestra una vista esquemática de un aparato (no de acuerdo con la invención) que en su totalidad se marca con el número de referencia 1. El aparato 1 comprende una planta de desalinización de membrana de ósmosis inversa 3' que comprende al menos una unidad de desalinización de ósmosis inversa 4' que tiene una entrada 21' para un flujo de alimentación de solución salina 2', una salida 51' para un primer flujo de producto de agua 5', una salida 61' para un primer flujo de subproducto 6', en donde la salida 61' está en conexión fluida con una entrada 62 de una unidad de cristalización de película descendente 7 que tiene una salida 81 para un segundo flujo de producto de agua 8, y una salida 91 para un segundo flujo de subproducto 9.

La FIG. 5 muestra una vista esquemática de una realización preferida de la invención que es un aparato 1 tal como se muestra en la FIG. 4, pero en donde el aparato 1 adicionalmente comprende una unidad de cristalización estática 10 que tiene una entrada 92 en comunicación fluida con la salida 91 de la unidad de cristalización de película descendente 7 y una salida 121 para un tercer flujo de producto de agua 12 y una salida 131 para un tercer flujo de subproducto 13.

La FIG. 6 muestra una vista esquemática de una realización no de acuerdo con la invención que es un aparato 1 tal como se muestra en la FIG. 4, pero en donde el aparato 1 adicionalmente comprende una segunda unidad de cristalización de película descendente 11 que tiene una entrada 92 en comunicación fluida con la salida 91 de la unidad de cristalización de película descendente 7 y una salida 121 para un tercer flujo de producto de agua 12 y una salida 131 para un tercer flujo de subproducto 13.

Las configuraciones del aparato para la unidad de cristalización de película descendente 7 son las mismas para el aparato que se muestra en la FIG. 4 y sus realizaciones mostradas en la FIG. 5 y en la FIG. 6 salvo que se indique específicamente lo contrario. Tal como se ha tratado anteriormente, la planta de desalinización de membrana de ósmosis inversa 3', la unidad de desalinización de ósmosis inversa 4', la entrada 21', la salida 51' y la salida 61' son todas convencionales y bien conocidas en la materia, por ejemplo, tal como se desvela en el documento US 4.125.463. Las unidades de cristalización de película descendente 7 y 11 también son bien conocidas, por ejemplo, tal como se desvela en el documento US Re. 32.241 o en el documento US 3.621.664 y se pueden usar y hacer funcionar de manera convencional en la invención tal como se describe en la materia salvo que se indique específicamente lo contrario. Las unidades de cristalización estáticas 11 también son bien conocidas, por ejemplo, tal como se desvela en Sulzer Technical Review 2/99 págs. 8 - 11, Sulzer Technical Review 1/2006 págs. 4 - 6 o en el documento US 6.145.340 y también se pueden usar y hacer funcionar de manera convencional en la invención tal como se describe en la materia salvo que se indique específicamente lo contrario.

En algunas realizaciones específicas preferidas del aparato 1 que comprende una unidad de cristalización estática 10 o una segunda unidad de cristalización de película descendente 11 que tiene una entrada 92 en comunicación fluida con la salida 91 de la unidad de cristalización de película descendente 7 y una salida 121 para un tercer flujo de producto de agua 12 y una salida 131 para un tercer flujo de subproducto 13, tal como las realizaciones mostradas en la FIG. 5 o en la FIG. 6, la salida 121 para un tercer flujo de producto de agua 12 está en comunicación fluida con el primer flujo de subproducto 6' con el fin de reciclar de manera ventajosa el flujo 12 en realizaciones específicas.

En realizaciones preferidas del aparato 1, las diversas unidades de cristalización 7 y/o 10 y/u 11 están equipadas

con el(los) recipiente(s) recolector(es) y las conexiones fluidas apropiadas para que las etapas de desalinización adicionales se puedan llevar a cabo dentro de la misma unidad.

Otro aspecto más de la invención es el uso del proceso o del aparato 1 para la reducción del volumen del primer flujo de subproducto 6' de una planta de desalinización de membrana de ósmosis inversa (OI) 3', preferentemente en una planta de desalinización de zonas no costeras 3', o en un dispositivo o planta o proceso para la producción de agua desalinizada, para la producción de sal, para la coproducción de energía y agua desalinizada, o para aire acondicionado. La incorporación de la invención en una planta de OI permite una reducción de la capacidad requerida de la planta de OI y, por lo tanto, de la inversión para una aplicación en particular. Por ejemplo, la productividad aumenta mediante el uso de la invención en que se requiere menos alimentación de solución salina porque se recupera parte del agua que se perdería de otro modo. Además, estos usos diversos se benefician en una reducción de los costes de mantenimiento debido al uso de unidades de cristalización y tecnologías probadas. Asimismo, los cristalizadores de bomba de calor se pueden usar para reducir costes energéticos y minimizar el equipo.

Ejemplos

Los siguientes ejemplos se exponen para proporcionar a los expertos en la materia una descripción detallada de cómo se evalúan los procesos, aparatos y usos reivindicados en el presente documento, y no pretenden limitar el alcance de lo que los inventores consideran como su invención. Salvo que se indique lo contrario, las partes están en peso y la temperatura está en grados Celsius (°C).

La planta piloto usada en los ejemplos consistió en un único elemento de cristalización de película descendente convencional (longitud de 12 m, diámetro de 70 mm, equipado con el mismo tipo de elementos del cristalizador que se usan para los cristalizadores industriales), un recipiente recolector con ventana de observación y una bomba de circulación de producto. La sección del producto se construyó de DIN 1.4404 (ANSI 316 L).

Una sección de energía proporcionó al proceso con medio de transferencia de calor (MTC) de la temperatura requerida. Esta sección consistió en un calentador eléctrico para calentar y un intercambiador de calor para enfriar mediante agua, que a su vez se enfría mediante una planta de refrigeración. Las temperaturas específicas durante la cristalización, la fusión parcial y la fusión total se mantuvieron mediante un sistema de mezclado alternativo.

La planta piloto estaba equipada con un sistema informático para controlar, mantener y registrar los gradientes de temperatura.

La planta piloto permitió la determinación del comportamiento de la cristalización en condiciones idénticas a las de una planta de cristalización de película descendente a gran escala. Como resultado, los resultados obtenidos de esta unidad coinciden con los que cabría esperar de una planta a gran escala con una serie de elementos de cristalización en paralelo.

Descripción general del ensayo

El ensayo piloto en el cristalizador de película descendente procedió mediante las mismas etapas o fases que se encuentran en una planta a gran escala:

Fase 1

Durante la fase 1 se alimentó un peso predeterminado de residuo fundido en el recipiente recolector y se bombeó a la parte superior del tubo cristalizador mediante la bomba de circulación del producto. La concentración y la composición de la solución salina se seleccionaron para que fuesen representativas del primer flujo de subproducto 6' que viene de una típica unidad de desalinización de ósmosis inversa (OI). En la parte superior del tubo, el producto se distribuyó sobre la pared interna del tubo cristalizador, y fluyó de nuevo como una película descendente al recipiente recolector.

El MTC fluyó como una película descendente en paralelo en el exterior del tubo de cristalización. Durante el trascurso de la cristalización, la temperatura del MTC se redujo de manera gradual. Cuando la temperatura del producto pasó el punto de solidificación, comenzó a crecer una lámina cristalina sobre la pared interna del tubo. La circulación y el enfriamiento del producto continuaron hasta que el licor madre alcanzó un nivel predeterminado en el recipiente recolector.

Al final de la primera fase, el residuo de líquido restante se drenó desde el recipiente recolector y se almacenó en un envase.

Fase 2

En la segunda fase (denominada en el presente documento fase de transpiración o de fusión parcial) se aumentó la

temperatura de manera gradual hasta solo por debajo del punto de fusión de la lámina cristalina. La purificación adicional de la masa cristalina se llevó a cabo en esta etapa, dado que las impurezas atrapadas se fundieron y migraron hacia la superficie interna. Esta fusión parcial es resultado del equilibrio sólido-líquido local alrededor de las cavidades de las impurezas. El producto parcialmente refundido enjuagó la lámina cristalina, eliminando de este modo los residuos adheridos y vaciando las impurezas. La parte de fusión parcial se recolectó y se drenó en un envase y se almacenó para su reutilización. La fase de transpiración proporcionó una purificación adicional muy eficaz de la lámina cristalina.

Fase 3

En la tercera fase, la temperatura del MTC se estableció por encima del punto de fusión de la lámina cristalina. Una vez se había acumulado suficiente producto fundido en el recipiente recolector, se encendió la bomba de circulación para hacer circular el fundido y aumentar la velocidad de fusión. Al final de la fusión total, todo el producto estaba en forma líquida y se pudo retirar del cristalizador.

Si se deseaba una purificación adicional, el producto líquido se recristalizaba en una etapa superior bien en la misma cristalización de película descendente 7 o en una cristalización estática 10.

En el caso de una purificación adicional en un cristalizador estático, la planta piloto usada en estos ejemplos consistió en una unidad de cristalización estática convencional de un cristalizador de 70 litros, equipado con el mismo tipo de elementos del cristalizador como los usados para los cristalizadores industriales. Por lo tanto, evita cualquier riesgo en el diseño de la capacidad final, ya que no es necesario ampliar la escala. Las fases de funcionamiento de la cristalización estática son análogas a las del proceso de película descendente, solo el fundido del producto permanece estancado durante la cristalización y la fusión total

Los pesos de todos los flujos retirados del cristalizador se midieron usando una balanza digital y las mediciones del punto de congelación se llevaron a cabo cuando fue apropiado (a menores purezas, cuando las desviaciones del punto de congelación del producto puro son lo suficientemente significativas como para detectarlas). Durante el funcionamiento del ensayo se tomaron muestras y se analizaron [residuo + partes de fusión parcial (en determinados ejemplos (ejemplo 7 u 8)) + producto de la etapa].

La concentración de sal (C) se determinó mediante una medición de la conductividad eléctrica, en donde la conductividad eléctrica (U) se expresa en unidades de milisiemens por cm (mS/cm). La relación entre C en ppm y U en mS/cm se proporciona mediante la siguiente ecuación:

$$C = ((0{,}0154009*(U^3))-(2{,}67657*(U^2))+(922{,}071*(U))-(744{,}133))$$

La recuperación de agua (RA) en porcentaje (%) en los ejemplos se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$RA = (w_p/w_f) * 100\ \%$$

en donde w_p = peso del producto y w_f = peso de la alimentación.

El rechazo de sal (RS) en porcentaje (%) en los ejemplos se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$RS = (1 - x_p/x_f) * 100\ \%$$

en donde x_p = concentración de sal en el producto y x_f = concentración de sal en la alimentación.

El rendimiento (R) en porcentaje (%) en los ejemplos se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$R = [x_p * (x_f - x_r)] / [x_f * (x_p - x_r)] * 100\ \%$$

en donde x_p y x_f son tal como se definen anteriormente y x_r = concentración de sal en el residuo.

La temperatura del MTC varió entre 15 y -24 °C. La temperatura inicial de la entrada de alimentación fue de 15 °C, y la temperatura se enfrió durante los ejemplos. La temperatura final para la cristalización fue diferente para los distintos ejemplos con el fin de observar el efecto sobre la recuperación de agua, el rechazo de sal y el rendimiento. La temperatura final del MTC durante la cristalización estaba entre -6 y -24 °C.

Ejemplos 1 a 4 (no de acuerdo con la invención)

En estos ejemplos, un primer flujo de subproducto 6', que tiene una concentración de sal del 2,64 al 6,11 % en peso, se trató en una segunda etapa de desalinización 120 mediante cristalización en un única etapa de la unidad de cristalización de película descendente 7 a temperaturas de -0,76 a -2,46 °C y produjo los resultados mostrados en las Tablas 1 a 4. Cabe destacar que los Ejemplos 3 y 4 usaron ambos una etapa de transpiración.

La Fig. 7 resume los resultados obtenidos para la recuperación de agua y el rechazo de sal y la concentración de sal del producto obtenido en una segunda etapa de desalinización 120 en una unidad de cristalización de película descendente 7 a una variedad de temperaturas de funcionamiento (temperatura del medio de transferencia de calor). Se puede ver que al reducir la temperatura de funcionamiento se alcanza un óptimo a -16 °C. Una temperatura de funcionamiento de -16 °C da como resultado un residuo (tercer flujo de subproducto 13) que tiene un punto de fusión de -9 a -10 °C, lo que se corresponde con una concentración de sal del 14 al 15 % en peso, La concentración de sal del producto es del 4 al 5 % en peso, lo que es bastante favorable para el reciclaje en el flujo de alimentación de solución salina 2' alimentado a la planta de desalinización de OI 3'. La reducción adicional de la temperatura de funcionamiento no da como resultado un aumento significativo en la recuperación de agua, y el rechazo de sal y las propiedades de concentración de sal del producto realmente disminuyen cuando la temperatura se reduce adicionalmente. Obviamente, las temperaturas de funcionamiento más bajas también dan como resultado mayores costes energéticos. Por lo tanto, una temperatura de funcionamiento (temperatura del medio de transferencia de calor) de -16 °C proporcionará una compensación óptima para muchas situaciones.

Estos resultados demuestran que la cristalización de película descendente es particularmente eficaz al proporcionar resultados de recuperación de agua, de rechazo de sal y de rendimiento bastante útiles en la amplitud de los intervalos preferidos de concentración de sal y de temperatura desvelados en la presente solicitud. Además, la desalinización de un primer flujo de subproducto 6' de una planta de OI es particularmente eficaz para las concentraciones de sal de entre el 6 y el 7 % en peso cuando se cristaliza a una temperatura de entre -2 a -4 °C. Generalmente se prefiere que tenga la concentración de sal del primer flujo de subproducto 6' superior con el fin de tener un uso más económico de la unidad de desalinización de OI 4'. Sin embargo, un experto en la materia comprenderá como obtener compensaciones apropiadas entre la recuperación de agua, el rechazo de sal y el rendimiento para optimizar el proceso basándose en una situación y en unos requerimientos específicos.

Ejemplos 5 a 6

En estos ejemplos, un segundo flujo de subproducto 9, similar al obtenido como un residuo en el Ejemplo 1, se purificó adicionalmente (tercera etapa de desalinización 135 o 130) mediante cristalización en la misma planta piloto de cristalización de película descendente (Ejemplo 5; no de acuerdo con la invención) o en una planta piloto de cristalización estática (Ejemplo 6; de acuerdo con la invención). La tercera etapa de desalinización 135 en la unidad de cristalización de película descendente 7 se llevó a cabo con una etapa de transpiración.

Estos resultados demuestran que bien una cristalización de película descendente o bien una cristalización estática se pueden usar en el tratamiento del segundo flujo de subproducto de una unidad de cristalización de película descendente usada en una segunda etapa de desalinización 120. Generalmente se preferirá que tenga la concentración de sal del segundo flujo de subproducto 9 de la unidad de cristalización de película descendente 7 en el intervalo del 14 al 15 % en peso para que la segunda etapa de desalinización 120 funcione de la manera más económica. Sin embargo, las altas concentraciones de sal del segundo flujo de subproducto 9 preferentemente usarán bajas temperaturas de cristalización en la tercera etapa de desalinización (130 o 135) y, por lo tanto, aumentarán los costes energéticos. Cabe destacar que el producto de agua obtenido en estos ejemplos (tercer flujo de producto de agua 12) tiene una calidad suficiente para que se alimente en el flujo de alimentación de la unidad de cristalización de película descendente 7 usada en la segunda etapa de desalinización 120.

Ejemplos 7 a 8

En estos ejemplos, el efecto beneficioso de incluir una etapa de transpiración se demuestra en el Ejemplo 7 (no de acuerdo con la invención) para el caso de una segunda etapa de desalinización 120 en una unidad de cristalización de película descendente 7 y en el Ejemplo 8 (de acuerdo con la invención) para el caso de una tercera etapa de desalinización 130 en una unidad de cristalización estática 10. La incorporación de una etapa de transpiración da como resultado una mayor pureza del producto y un mayor rechazo de sal; sin embargo, la recuperación de agua y el rendimiento se reducen de algún modo y se requiere un mayor equipo y un tiempo de procesamiento más largo. Un experto en la materia comprenderá cómo hacer compensaciones en estos aspectos particulares con el fin de obtener un resultado óptimo para una situación y unos requerimientos particulares.

Tabla 1: Ejemplo 1

Parámetro	Unidades	1er flujo de subproducto 6'	2º flujo de producto de agua 8	2º flujo de subproducto 9
Porcentaje en masa	(%)	6,11	4,45	14,78
Punto de fusión	(°C)	-3,24	-2,46	-9,66
Recuperación de agua	(%)	84,17		
Rechazo de sal	(%)	27,15		
Rendimiento	(%)	85,43		

Tabla 2: Ejemplo 2

Parámetro	Unidades	1er flujo de subproducto 6'	2º flujo de producto de agua 8	2º flujo de subproducto 9
Porcentaje en masa	(%)	4,45	3,25	9,53
Punto de fusión	(°C)	-2,46	-1,88	-5,20
Recuperación de agua	(%)	81,86		
Rechazo de sal	(%)	27,10		
Rendimiento	(%)	81,82		

Tabla 3: Ejemplo 3

Parámetro	Unidades	1er flujo de subproducto 6'	2º flujo de producto de agua 8	2º flujo de subproducto 9
Porcentaje en masa	(%)	3,37	1,79	9,79
Punto de fusión	(°C)	-1,94	-1,10	-5,38
Recuperación de agua	(%)	71,79		
Rechazo de sal	(%)	46,85		
Rendimiento	(%)	81,57		

Tabla 4: Ejemplo 4

Parámetro	Unidades	1er flujo de subproducto 6'	2º flujo de producto de agua 8	2º flujo de subproducto 9
Porcentaje en masa	(%)	2,64	1,23	6,28
Punto de fusión	(°C)	-1,57	-0,76	-3,32
Recuperación de agua	(%)	63,48		
Rechazo de sal	(%)	53,53		
Rendimiento	(%)	73,04		

Tabla 5: Ejemplo 5

Parámetro	Unidades	2º flujo de subproducto 9	3er flujo de producto de agua 12	3er flujo de subproducto 13
Porcentaje en masa	(%)	14,20	11,38	21,75
Punto de fusión	(°C)	-9,09	-6,58	-17,51
Recuperación de agua	(%)	69,72		
Rechazo de sal	(%)	19,85		
Rendimiento	(%)	75,21		

Tabla 6: Ejemplo 6

Parámetro	Unidades	2º flujo de subproducto 9	3er flujo de producto de agua 12	3er flujo de subproducto 13
% de masa	(%)	14,78	5,94	22,80
Punto de fusión	(°C)	-9,66	-3,16	-18,82
Recuperación de agua	(%)	41,91		
Rechazo de sal	(%)	59,83		
Rendimiento	(%)	46,67		

Tabla 7: Ejemplo 7

Parámetro	Unidades	Alimentación	Prod.	Residuo	Parte 1	Parte 2	Parte 3	Parte 4
Porcentaje de masa	(%)	6,05	3,37	14,54	13,04	9,35	7,80	6,44
Punto de fusión	(°C)	-3,21	-1,94	-9,42	-8,00	-5,08	-4,12	-3,40
Recuperación de agua	(%)	69,85						

Parámetro	Unidades	Alimentación	Prod.	Residuo	Parte 1	Parte 2	Parte 3	Parte 4
Rechazo de sal	(%)	44,28						
Rendimiento	(%)	78,19						

Tabla 8: Ejemplo 8

Parámetros	Unidades	Alimentación	Antes de la transpiración	Después de la transpiración	
			Producto	Producto	Residuo
Porcentaje de masa	(%)	13,00	10,19	5,25	20,89
Punto de fusión	(°C)	-7,97	-5,67	-2,83	-16,47
Recuperación de agua	(%)		77,29	49,84	
Rechazo de sal	(%)		21,63	61,10	
Rendimiento	(%)		87,13	60,59	

REIVINDICACIONES

1. Un proceso para desalinizar agua que comprende las etapas de:

hacer pasar un flujo de alimentación de solución salina (2') en una primera etapa de desalinización, a través de una planta de desalinización de membrana de ósmosis inversa (3') que comprende al menos una unidad de desalinización de ósmosis inversa (4') para formar un flujo de producto primario de agua (5') que tiene una concentración de sal reducida en relación con la del flujo de alimentación de solución salina (2') y un flujo de subproducto primario (6') que tiene una concentración de sal aumentada en relación con la del flujo de alimentación de solución salina (2')

en donde el primer flujo de subproducto (6') se hace pasar en una segunda etapa de desalinización, a través de una unidad de cristalización de película descendente (7) para formar un segundo flujo de producto de agua (8) que tiene una concentración de sal reducida en relación con la del primer flujo de subproducto (6') y un segundo flujo de subproducto (9) que tiene una concentración de sal aumentada en relación con la del primer flujo de subproducto (6'), y en donde el segundo flujo de subproducto (9) se hace pasar en una tercera etapa de desalinización, a través de una unidad de cristalización estática (10) para formar un tercer flujo de producto de agua (12) que tiene una concentración de sal reducida en relación con la del segundo flujo de subproducto (9) y un tercer flujo de subproducto (13) que tiene una concentración de sal aumentada en relación con la del segundo flujo de subproducto (9).

2. El proceso de la reivindicación 1, en donde el tercer flujo de producto de agua (12) se alimenta en el primer flujo de subproducto (6').

3. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en donde la concentración de sal del primer flujo de subproducto (6') está entre el 3 y el 7 % en peso, preferentemente entre el 4 y el 7, más preferentemente entre el 5 y el 7, lo más preferentemente entre el 6 y el 7.

4. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el primer flujo de subproducto (6') se cristaliza en la unidad de cristalización de película descendente (7) a una temperatura de entre -1 a -4 °C, preferentemente de -1,5 a -4, más preferentemente de -2 a -4, lo más preferentemente de -3 a -4.

5. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde la concentración de sal del segundo flujo de subproducto (9) está entre el 8 y el 18 % en peso, preferentemente entre el 10 y el 15, más preferentemente entre el 14 y el 15.

6. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en donde el segundo flujo de subproducto (9) se cristaliza en la unidad de cristalización estática (10) a una temperatura de entre -4 a -13 °C, preferentemente de -6 a -10, más preferentemente de -9 a -10.

7. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde la segunda etapa de desalinización en la unidad de cristalización de película descendente (7) y/o la tercera etapa de desalinización en la unidad de cristalización estática (10) comprende una etapa de transpiración en la que se retira un subproducto (18) de un producto (19) por medio de la fusión parcial de un cristal (20) en la unidad de cristalización de película descendente (7) o en la unidad de cristalización estática (10) o en la segunda unidad de cristalización de película descendente (11).

8. El proceso de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde el proceso se lleva a cabo en un dispositivo o planta para producir agua desalinizada, para la producción de sal, para la coproducción de energía y agua desalinizada, o para aire acondicionado.

9. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde el proceso reduce el volumen del primer subproducto (6') de una planta de desalinización de membrana de ósmosis inversa (3'), preferentemente una planta de desalinización de zonas no costeras (3').

10. Un aparato (1) para llevar a cabo el proceso de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 que comprende:

una planta de desalinización de membrana de ósmosis inversa (3') que comprende al menos una unidad de desalinización de ósmosis inversa (4') que tiene una entrada (21') para un flujo de alimentación de solución salina (2'), una salida (51') para un primer flujo de producto de agua (5'), una salida (61') para un primer flujo de subproducto (6'),

en donde la salida (61') está en conexión fluida con una entrada (62) de una unidad de cristalización de película descendente (7) que tiene una salida (81) para un segundo flujo de producto de agua (8), y una salida (91) para un segundo flujo de subproducto (9),

y en donde el aparato (1) adicionalmente comprende una unidad de cristalización estática (10) que tiene una entrada

(92) en comunicación fluida con la salida (91) de la unidad de cristalización de película descendente (7) y una salida (121) para un tercer flujo de producto de agua (12) y una salida (131) para un tercer flujo de subproducto (13).

11. El aparato de la reivindicación 10, en donde la salida (121) para un tercer flujo de producto de agua (12) está en comunicación fluida con el primer flujo de subproducto (6').

12. Uso del aparato de cualquiera de las reivindicaciones 10 a 11 para la reducción del volumen del primer flujo de subproducto (6') de una planta de desalinización de membrana de ósmosis inversa (3'), preferentemente una planta de desalinización de zonas no costeras (3'), o en un dispositivo o planta o proceso para la producción de agua desalinizada, para la producción de sal, para la coproducción de energía y agua desalinizada, o para aire acondicionado.

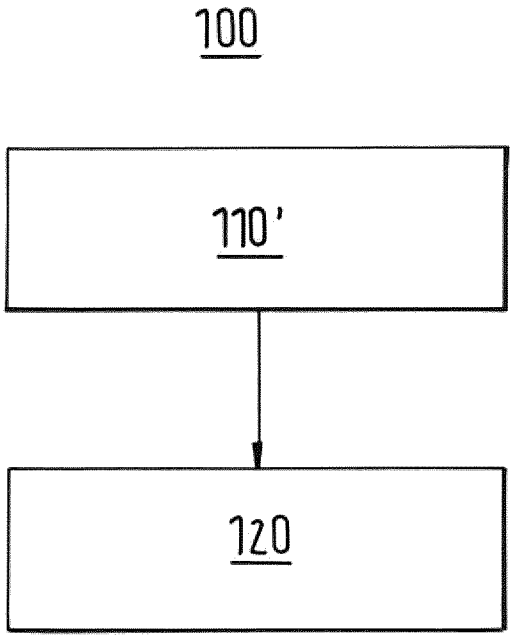

Fig.1

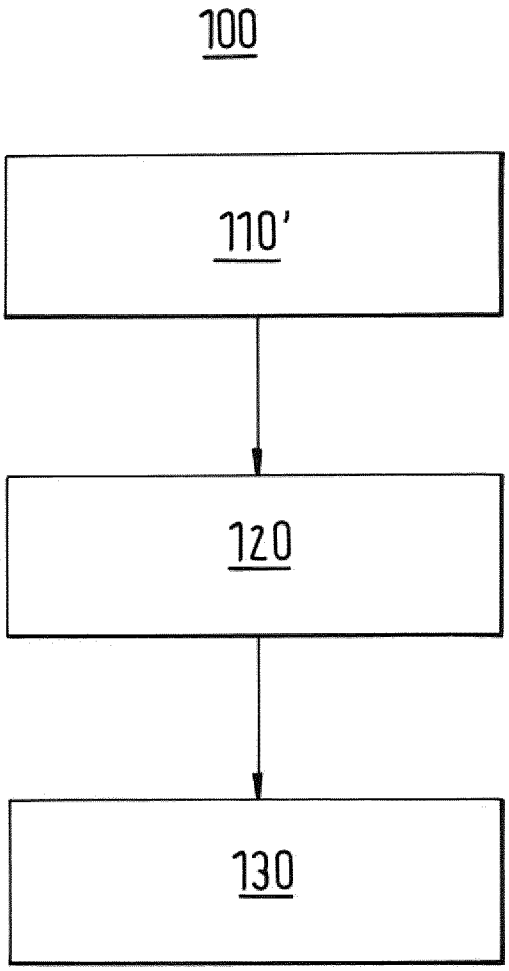

Fig.2

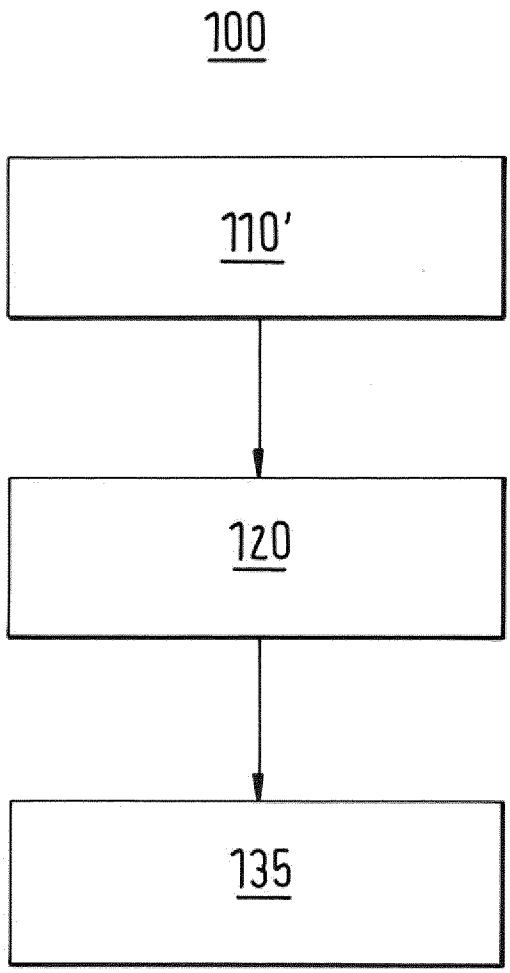

Fig.3

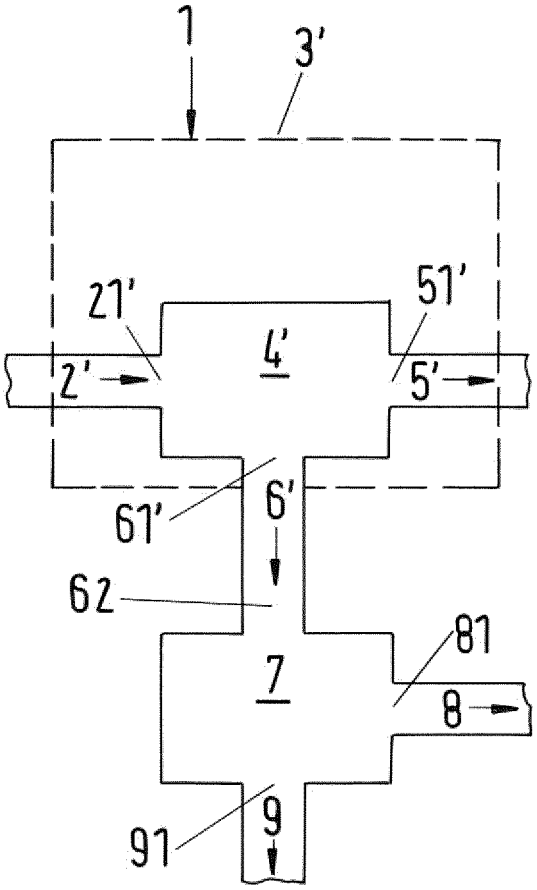

Fig.4

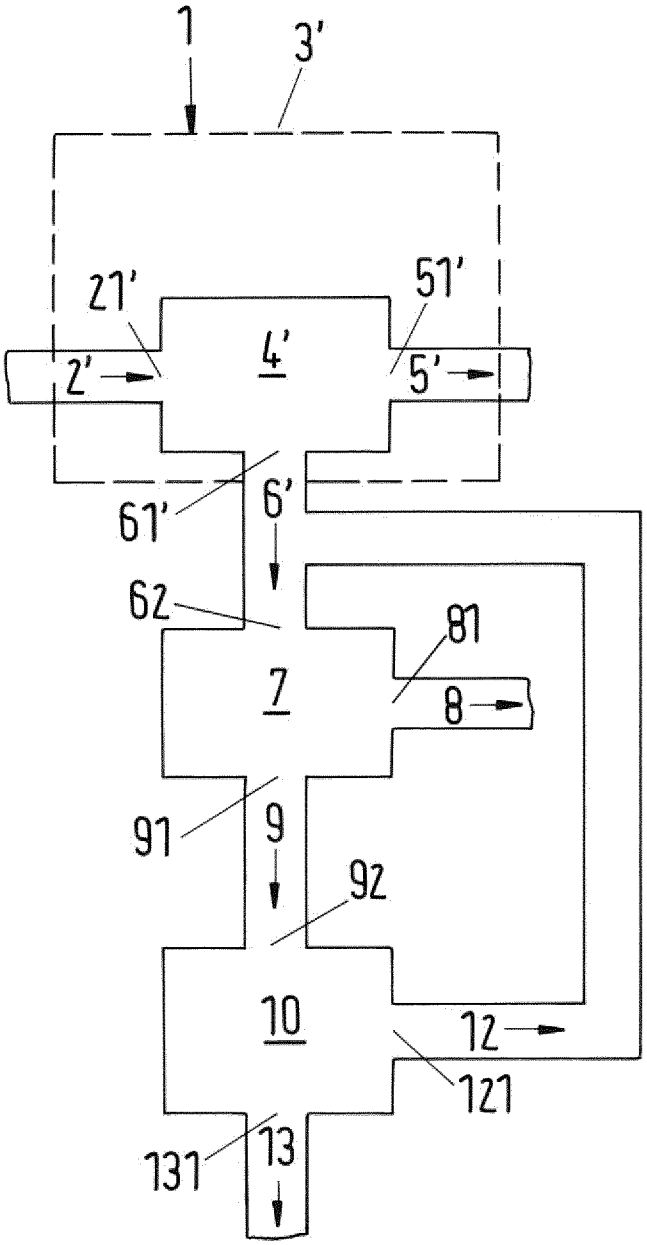

Fig.5

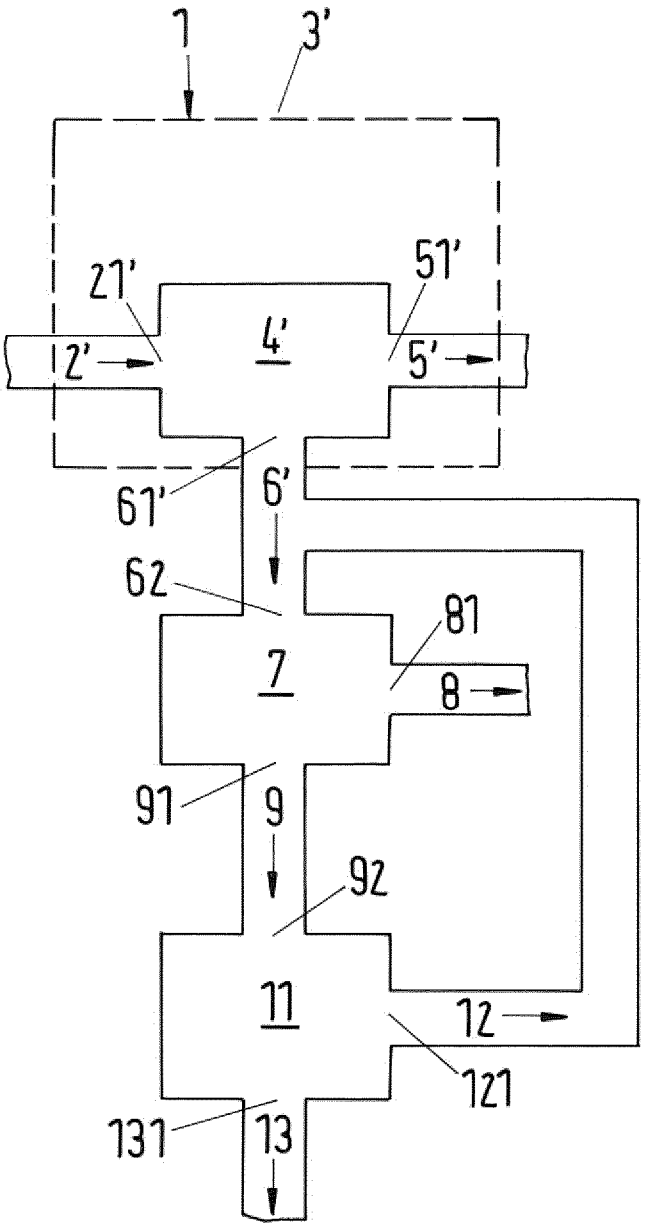

Fig.6

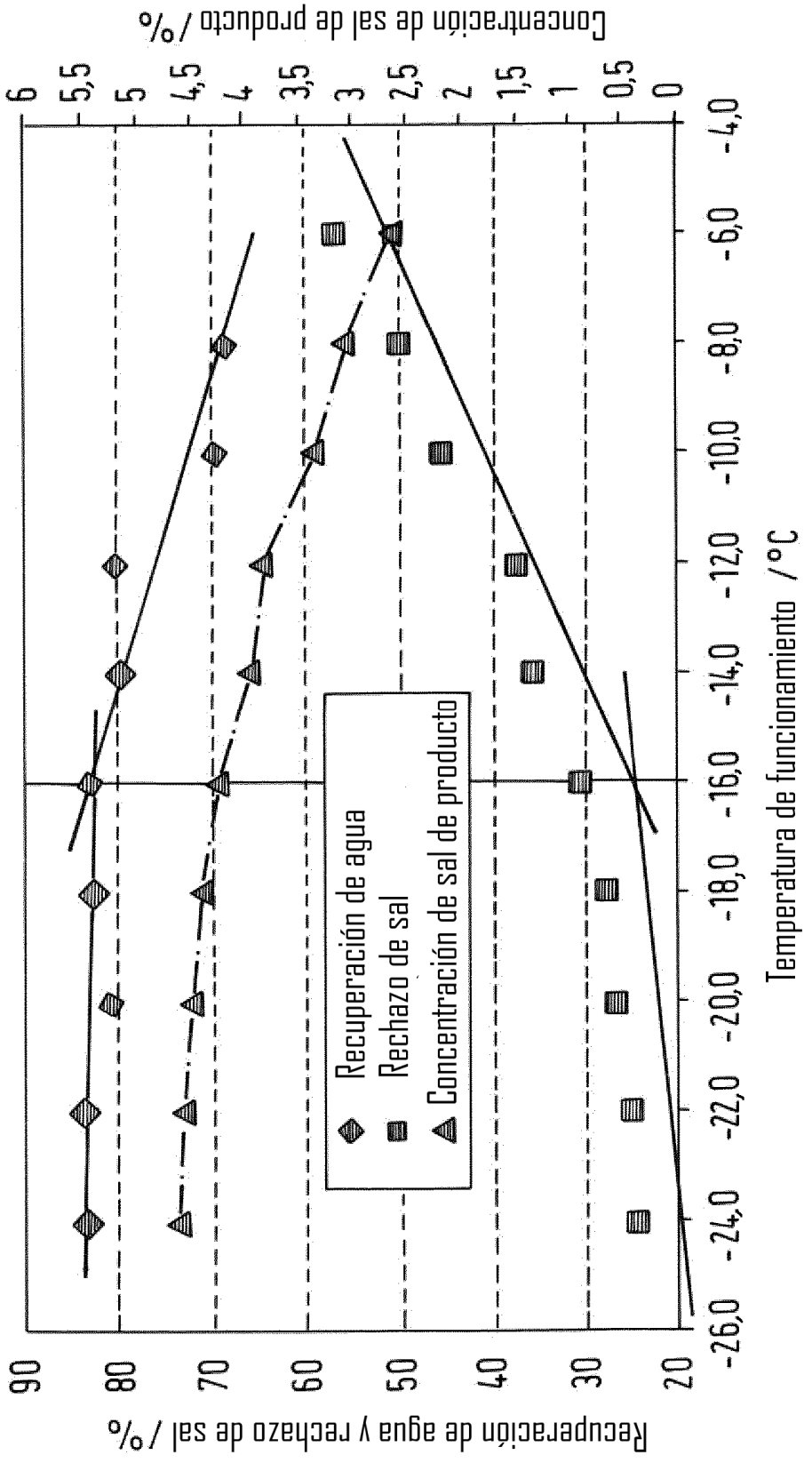
Recuperación de agua y rechazo de sal / %
Concentración de sal de producto / %
Temperatura de funcionamiento / °C
Recuperación de agua
Rechazo de sal
Concentración de sal de producto
90
80
70
60
50
40
30
20
6
5,5
5
4,5
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
-26,0
-24,0
-22,0
-20,0
-18,0
-16,0
-14,0
-12,0
-10,0
-8,0
-6,0
-4,0

Fig.7