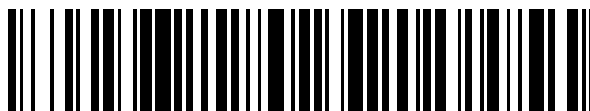


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 785 572**

51 Int. Cl.:

**C02F 1/44** (2006.01)

**B01D 61/12** (2006.01)

**B01D 61/06** (2006.01)

**C02F 103/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.06.2016 PCT/IB2016/053869**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.01.2017 WO17002022**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.06.2016 E 16736248 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.01.2020 EP 3317229**

54 Título: **Procedimiento de pilotaje de una instalación de desalinización alimentada por una fuente de energía renovable e instalación asociada**

30 Prioridad:

**02.07.2015 FR 1556236**

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

**07.10.2020**

73 Titular/es:

**MASCARA NOUVELLES TECHNOLOGIES  
(100.0%)**

**20 Avenue Gustave Eiffel  
28630 Gellainville, FR**

72 Inventor/es:

**VERGNET, MARC y  
HAUDEBOURG, MAXIME**

74 Agente/Representante:

**SUGRAÑES MOLINÉ, Pedro**

ES 2 785 572 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

Procedimiento de pilotaje de una instalación de desalinización alimentada por una fuente de energía renovable e instalación asociada

5 La invención tiene como objeto un procedimiento de pilotaje de una instalación de desalinización de agua de mar por ósmosis inversa, así como la instalación de desalinización asociada, estando dicha instalación alimentada por una fuente de energía renovable.

10 Se conoce que, en una instalación de desalinización de agua por ósmosis inversa, el consumo energético de las bombas de alta presión representa aproximadamente los dos tercios del consumo energético y aproximadamente de un 40 a un 60 % del coste de explotación. La desalinización por ósmosis inversa utiliza la puesta a presión del líquido salino más allá de su presión osmótica, con el fin de permitir la permeación del agua sola (sin las sales disueltas) a través de una membrana semipermeable.

15 Se conoce que se miden los principales parámetros de funcionamiento por medio de sensores de caudal, presión, conductividad, temperatura. Se refieren al agua pretratada que alimenta la instalación, el permeado y el concentrado que salen de la instalación. Se conoce, igualmente, que se integran en estas instalaciones de desalinización unas unidades de recuperación de energía, con el fin de recuperar la energía todavía presente en el concentrado a la salida de las membranas de ósmosis inversa.

El conocimiento del balance energético del procedimiento permite, entonces, elegir los equipos y dimensionar las instalaciones teniendo en cuenta el consumo de energía.

25 Sin embargo, una vez construidas las instalaciones, los parámetros de entrada varían de forma no dominada, que necesita la colocación de bucles de regulación, con el fin de mantener el sistema estable. Por ejemplo, se conoce que se regula el caudal de permeado, con el fin de compensar las fluctuaciones de temperatura, de salinidad, de envejecimiento y de obstrucción de las membranas de ósmosis inversa.

30 No obstante, los puntos de ajuste introducidos sobre la base de hipótesis de salinidad, temperatura y condiciones hidráulicas, están muy a menudo previstos para permitir cumplir las condiciones garantizadas para el volumen de producción y la calidad del agua producida, sin necesariamente tener en cuenta el consumo energético.

35 Sin embargo, una toma de conciencia de la cuestión energética comienza a imponerse con, por ejemplo, el documento FR2933969 que propone integrar el parámetro del consumo energético en el pilotaje de las instalaciones de desalinización, dotando al bucle de alta presión de la instalación de ósmosis inversa de una regulación secundaria que tiene como objetivo la disminución del consumo energético del sistema. De manera más precisa, la regulación secundaria comprende unos medios de cálculo programados para determinar, a partir de las condiciones de funcionamiento de la instalación suministradas por unos sensores, una combinación de valores de punto de ajuste para el caudal de la bomba de alta presión, la tasa de mezcla del recuperador de energía, la tasa de conversión, llegado el caso, la temperatura del agua de alimentación y la salinidad de agua de alimentación. Esta combinación corresponde, entonces, al consumo energético mínimo del sistema y garantiza el mínimo requerido para las cantidades y calidades de agua producida, así como la consistencia de los equipos.

45 No obstante, la gestión del consumo energético ya no puede ser tratada por los modelos citados anteriormente, tan pronto como la alimentación prevista para la instalación de desalinización descansa únicamente en unas fuentes de energía renovable.

50 La técnica anterior pertinente para el objeto de la presente invención está representada por los documentos CN 202 808 493 U, CN 202 358 969 U, CN 203 593 678 U y CN 103 964 549 A.

55 Esto es por lo que, la invención tiene como objeto un procedimiento de pilotaje de una instalación de desalinización de agua por ósmosis inversa y alimentada por una fuente de energía renovable, así como la instalación en sí misma, optimizando el procedimiento y la instalación su consumo energético en función de la potencia suministrada por la fuente de energía renovable. De manera más precisa, la invención consiste en invertir las prioridades del pilotaje de la instalación de desalinización servomando el funcionamiento de la instalación a la potencia suministrada por la fuente de energía renovable.

60 Para ello, la invención tiene como objeto un procedimiento de pilotaje de una instalación de desalinización que comprende al menos:

- una línea de alimentación de agua de mar de una unidad de filtración dotada de membranas de filtración tangencial de ósmosis inversa, estando dicha línea de alimentación dotada sucesivamente, partiendo de su entrada, de una primera bomba de baja presión y de una segunda bomba de alta presión cuyo caudal es proporcional a su velocidad de rotación,
- una línea de evacuación de permeado procedente de las membranas hacia una unidad de tratamiento y de

almacenamiento de agua dulce,

- una línea de evacuación de concentrado,
- un bucle derivado sobre la línea de alimentación aguas arriba y aguas abajo de la bomba de alta presión, atravesando el bucle una unidad de recuperación de energía dotada de un intercambiador de presión y de una bomba denominada "Booster" (de refuerzo), estando dicho bucle conectado, igualmente, a la línea de evacuación de concentrado, atravesando dicha línea de evacuación el intercambiador de presión,
- unos medios de alimentación de corriente procedente de una fuente de energía renovable y que alimentan según unas potencias variables las bombas de baja presión, de alta presión y Booster (de refuerzo), incluyendo los medios de alimentación un generador fotovoltaico que alimenta cada una de las bombas de baja presión, Booster (de refuerzo) y de alta presión por medio de un primer, segundo y tercer convertidor de potencia de frecuencia variable, dedicado cada uno a una sola bomba, estando dichos convertidores de potencia pilotados según un protocolo MPPT (Maximum Power Point Tracking, Seguimiento del Punto de Máxima Potencia),

caracterizado por que el procedimiento de pilotaje comprende al menos un modo de explotación en el que:

- el caudal en línea de evacuación de concentrado se mantiene durante su paso en las unidades de recuperación de energía, a un valor sustancialmente igual (no excediendo la diferencia entre los caudales un 5 %) al del caudal de la bomba Booster (de refuerzo), permaneciendo dichos caudales superiores o iguales al caudal mínimo requerido para el funcionamiento de la unidad de filtración,
- la presión en la salida de la bomba Booster (de refuerzo) es igual a la de la presión en la salida de la bomba de alta presión, ya que se mantiene por medio del intercambiador de presión y de la bomba booster (de refuerzo) que compensa las pérdidas de cargas y el rendimiento del intercambiador,
- el caudal de la bomba de alta presión es función de la frecuencia y de la potencia de la corriente suministrada por los medios de alimentación,

de modo que el caudal de permeado en la salida de la unidad de filtración es sustancialmente igual (no excediendo la diferencia entre los caudales un 5 %) al caudal de la bomba de alta presión.

Unas características opcionales de la invención, complementarias o de sustitución, se exponen a continuación.

El procedimiento de pilotaje puede comprender un primer modo de arranque de la instalación que comprende la puesta en marcha sucesivamente de las bombas de baja presión, Booster (de refuerzo) y de alta presión tan pronto como la potencia suministrada por los medios de alimentación rebasa un valor de punto de ajuste  $P_{HP0}$ .

Ventajosamente, la tasa de conversión, definida por el cociente entre el caudal de permeado y la suma del caudal de la bomba de alta presión y del caudal de la bomba Booster (de refuerzo), permanece inferior a un 40 %, de modo que el rendimiento de las membranas se optimiza y que la salinidad de los concentrados permanece escasa.

En el caso donde la instalación comprende, además, un baipás provisto de una válvula de regulación de presión que permite que la línea de evacuación de concentrado cortocircuite las unidades de recuperación de energía, es preferible pilotar durante el arranque de la bomba de alta presión, el cierre progresivo de la válvula de regulación de presión, de modo que el aumento de la presión que atraviesa las unidades de filtración permanece inferior a 100 kPa/s (1 bar/s) y preferentemente inferior a 50 kPa/s (0,5 bar/s).

Según una primera variante del modo de explotación, el caudal en la salida de la bomba Booster (de refuerzo) se mantiene a un valor constante y suficiente, de modo que, sea el que sea el caudal de permeado, se respetan las condiciones de filtración tangencial recomendadas.

Según una segunda variante del modo de explotación, el caudal en la salida de la bomba Booster (de refuerzo) está servomandado a la potencia que alimenta la bomba de alta presión, pudiendo el servomando del caudal ser una función discreta (por etapa) o bien continua del caudal de la bomba de alta presión.

En todos los casos, es el control del caudal en la unidad de recuperación de energía el que permite asegurar un caudal en la "al menos una" unidad de filtración, superior al caudal mínimo preconizado por los fabricantes de membranas.

El procedimiento de pilotaje puede comprender un modo de parada de la instalación en el que las bombas de alta presión, Booster (de refuerzo) y de baja presión se ponen sucesivamente en parada tan pronto como la potencia suministrada por los medios de alimentación se vuelve inferior a un valor de punto de ajuste  $P_{HP0}$ .

En el caso donde la instalación comprende, además, un baipás provisto de una válvula de regulación de presión que permite que la línea de evacuación de concentrado cortocircuite las unidades de recuperación, es preferible, desde el momento de la parada de la instalación, pilotar la apertura progresiva de la válvula de regulación de presión, de modo que, bajo el efecto de la presión osmótica, permeado procedente de las unidades de tratamiento y de almacenamiento de agua dulce se absorbe en las unidades de filtración para expulsar el concentrado hacia los rechazos mediante el baipás y acondicionar las membranas de agua dulce.

Es ventajoso controlar la apertura progresiva de la válvula de regulación de presión, de modo que la disminución de la presión en las unidades de filtración permanece inferior a 100 kPa/s (1 bar/s), preferentemente inferior a 50 kPa/s (0,5 bar/s).

- 5 Según un perfeccionamiento, la instalación de desalinización comprende, además, un acumulador de presión derivado sobre la línea de alimentación de agua de mar, entre la bomba de alta presión y la unidad de filtración, siendo dicho acumulador adecuado para compensar las variaciones de presión en la salida de la bomba de alta presión, según unas rampas de variación inferiores a 50 kPa/s (0,5 bar/s), para habilitar las membranas de filtración.
- 10 Una de las características de la invención es que el caudal de permeados y la tasa de conversión evolucionan de manera continua y paralela, entre cero y un valor máximo y esto, en función de la potencia suministrada por los medios de alimentación de corriente.

La invención tiene como objeto, igualmente, una instalación de desalinización que comprende al menos:

- 15
- una línea de alimentación de agua de mar de una unidad de filtración dotada de membranas de filtración tangencial de ósmosis inversa, estando dicha línea de alimentación dotada sucesivamente, partiendo de su entrada, de una primera bomba de baja presión y de una segunda bomba de alta presión cuyo caudal es función de la frecuencia y de la potencia de la corriente suministrada por los medios de alimentación y preferentemente proporcional a la frecuencia y a la potencia de la corriente suministrada por los medios de alimentación,
- 20
- una línea de evacuación de permeado procedente de las membranas hacia una unidad de tratamiento y de almacenamiento de agua dulce,
- 25
- una línea de evacuación de concentrado,
- 30
- un bucle derivado sobre la línea de alimentación aguas arriba y aguas abajo de la bomba de alta presión, atravesando el bucle una unidad de recuperación de energía dotada de un intercambiador de presión y de una bomba denominada "Booster" (de refuerzo), estando dicho bucle conectado, igualmente, a la línea de evacuación de concentrado, atravesando dicha línea de evacuación el intercambiador de presión,
- 35
- unos medios de alimentación de corriente procedente de una fuente de energía renovable y según unas frecuencias y unas potencias variables las bombas de baja presión, de alta presión y Booster (de refuerzo),
- incluyendo los medios de alimentación un generador fotovoltaico que alimenta cada una de las bombas de baja presión, Booster (de refuerzo) y de alta presión por medio de un, respectivamente, primer, segundo y tercer convertidores de potencia de frecuencia variable, estando dichos convertidores de potencia pilotados según un protocolo MPPT (Maximum Power Point Tracking, Seguimiento del Punto de Máxima Potencia).

- 40 Unas características opcionales de la invención, complementarias o de sustitución, se exponen a continuación.

La línea de alimentación de agua de mar puede comprender aguas abajo de la bomba de baja presión y aguas arriba de la derivación del bucle situada aguas arriba de la bomba de alta presión, un bloque de pretratamiento seguido de un prefiltro, seguido, él mismo, de un purgador de aire.

- 45 Según un modo preferente, la bomba de alta presión es una bomba volumétrica.

La instalación de desalinización puede comprender un baipás provisto de una válvula de regulación de presión, que permite que la línea de evacuación de concentrado cortocircuite las unidades de recuperación de energía.

- 50 Según un perfeccionamiento, la instalación de desalinización comprende, además, un acumulador de presión derivado sobre la línea de alimentación de agua de mar, entre la bomba de alta presión y la unidad de filtración, siendo dicho acumulador adecuado para compensar las variaciones de presión en la salida de la bomba de alta presión, según unas rampas de variación inferiores a 50 kPa/s (0,5 bar/s), para habilitar las membranas de filtración.

- 55 Según un modo de realización particular, el acumulador de presión es un recinto tubular que se comunica con la línea y que encierra un volumen de nitrógeno contenido en una envoltura a una presión inicial ajustada a la salinidad del agua de mar, por ejemplo, 2.800 kPa (28 bar).

- 60 Otras ventajas y particularidades de la invención aparecerán a la lectura de la descripción detallada de implementaciones y de modos de realización de ninguna manera limitativos y de los siguientes dibujos adjuntos:

- 65
- la FIGURA 1 representa una vista esquemática de una instalación de desalinización de agua de mar conforme con un modo de realización de la invención,
  - la FIGURA 2 representa el esquema de principio de la invención

- la FIGURA 3 es una curva de resultados que dan la tasa de conversión y el caudal de permeado en función de la potencia suministrada por la fuente de energía renovable.

5 - la FIGURA 4 representa el esquema de un perfeccionamiento de la invención

- las FIGURAS 5 y 6 representan unos detalles del perfeccionamiento de la invención

- la FIGURA 7 representa un ejemplo de realización de la invención

10 Siendo los modos de realización descritos a continuación de ninguna manera limitativos, se podrán considerar, en concreto, unas variantes de la invención que no comprenden más que una selección de características descritas, aisladas de las otras características descritas (incluso si esta selección está aislada dentro de una frase que comprende estas otras características), si esta selección de características es suficiente para conferir una ventaja  
15 técnica o para diferenciar la invención con respecto al estado de la técnica anterior. Esta selección puede comprender al menos una característica, preferentemente funcional sin detalles estructurales o con solamente una parte de los detalles estructurales si esta parte únicamente es suficiente para conferir una ventaja técnica o para diferenciar la invención con respecto al estado de la técnica anterior.

20 La figura 1 describe una instalación de desalinización que comprende una línea 21 que alimenta de agua de mar una unidad de filtración 12a y una unidad de filtración 12b dotadas de membranas de filtración tangencial de ósmosis inversa.

25 Se entiende por ósmosis inversa un procedimiento de purificación de agua que contiene unas materias en solución por un sistema de filtrado muy fino que no deja pasar más que las moléculas de agua. El principio se funda en el hecho de que si se colocan dos soluciones de concentraciones diferentes de soluto (en este caso concreto, sal) a cada lado de una membrana de filtro, el agua franqueará la membrana por ósmosis hasta que las concentraciones se equilibren o que la diferencia de presión rebasa la presión osmótica. El desplazamiento de agua hace, entonces, disminuir la  
30 concentración en el compartimiento donde afluye el agua y la hace aumentar en el compartimiento de donde viene. De manera inversa, ejerciendo en uno de los compartimientos una presión hidrostática que rebasa la presión osmótica, se fuerza al agua a abandonar el compartimiento a presión a pesar del aumento de concentración de soluto que se produce ahí y de la dilución que se hace en el otro compartimiento.

35 El marco de la aplicación para la desalinización del agua de mar por ósmosis inversa utiliza, por lo tanto, la puesta a presión del líquido salino más allá de su presión osmótica, con el fin de permitir la permeación del agua sola (sin las sales disueltas) a través de una membrana semipermeable. El compartimiento salino se concentra de sal. El compartimiento de permeado está alimentado de agua liberada de la mayoría de sus sales. La membrana semipermeable está caracterizada por su rechazo de sales (o paso de sal expresado en %) y por su permeabilidad al agua definida a una temperatura dada, generalmente, a 25 °C. El sistema, alimentado en continuo con agua de mar,  
40 permite recoger en continuo agua dulce liberada de sus sales en el lado del permeado de la membrana y una solución concentrada en el lado del concentrado de la membrana.

La tasa de conversión se define como que es la relación del caudal de permeado y el caudal total de alimentación de la membrana y permite caracterizar el funcionamiento hidráulico de la instalación.

45 La membrana de ósmosis inversa se implementa en unos módulos de tipo espiral o capilares o tubulares, estando los módulos dispuestos en unos tubos de presión, en montaje "paralelo" y/o "en serie". El agua de alimentación se pone a presión por una bomba de alta presión o medio equivalente.

50 Este procedimiento natural permite no almacenar los contaminantes, a la inversa de los filtros convencionales. Se dice que el procedimiento es "inverso", ya que necesita una presión suficiente para "forzar" al agua pura a pasar a través de la membrana. Este procedimiento permite, generalmente, eliminar de un 98 % a un 99 % de las partículas sólidas disueltas y un 100 % de los microorganismos.

55 De una manera convencional, una membrana se define por la asociación de un soporte poroso de materia orgánica o inorgánica y de una o varias capas separadoras. El papel de las capas es asegurar la separación de las especies moleculares o particuladas, mientras que el papel del soporte es permitir, por su resistencia mecánica, la realización de capas de escaso espesor.

60 De este modo, el soporte permite asegurar la resistencia mecánica sin participar en la resistencia hidráulica de la membrana, mientras que la capa de separación define la permeabilidad sin participar en la resistencia mecánica. Según el principio de la filtración tangencial, el fluido a tratar circula a gran velocidad sobre la superficie de los canales, con el fin de generar una tensión de cizallado que vuelve a dispersar las materias depositadas sobre esta superficie.

65 De este modo, aparece una fricción del fluido sobre la superficie de los canales que conduce a unas pérdidas de carga que varía linealmente en función de la longitud de los canales. Esta pérdida de carga depende de parámetros

- dimensionales, tales como la longitud de la membrana, de su diámetro hidráulico y de parámetros experimentales, tales como la velocidad de circulación, la viscosidad y densidad del fluido a tratar. Como la fuerza que actúa de la filtración es una presión, aparece una variación decreciente de la presión del fluido a tratar a lo largo de los canales. Un gradiente de presión de este tipo modifica la fluencia transversal del permeado que atraviesa la capa separadora, luego, el cuerpo poroso. La filtración por ósmosis inversa permite eliminar totalmente o casi en la totalidad, los nitratos, pesticidas, bacterias, virus, microbios, amianto, herbicidas, caliza, mercurio, plomo y otros metales pesados, así como todo lo que está disuelto.
- En lo que se refiere, en este momento, a la arquitectura de la instalación de desalinización y, partiendo de su entrada E, la línea de alimentación 21 atraviesa sucesivamente una primera bomba de baja presión 1 cuya función es extraer el agua de mar y una segunda bomba de alta presión 7 cuyo caudal es proporcional a su velocidad de rotación. La línea de alimentación 21 atraviesa, a continuación, al término de la bomba de alta presión las unidades de filtración 12a y 12b.
- Se entiende por bomba de baja presión, una bomba adecuada para trabajar a una presión inferior a 1.000 kPa (10 bar).
- Se entiende por bomba de alta presión cuyo caudal es proporcional a su velocidad de rotación, una bomba en la que la frecuencia y la potencia suministradas al motor de la bomba determina su velocidad de rotación, que, ella misma, determina su caudal. La bomba de alta presión se elige preferentemente en la categoría de las bombas volumétricas, también llamadas "bombas de desplazamiento positivo". Se podrán elegir, por ejemplo, las bombas de lóbulos y las bombas de cavidad progresiva. No obstante, se pueden considerar otros tipos de bombas, su velocidad está servomandada, entonces, a unos medidores de caudal colocados sobre la línea de alimentación.
- En la salida de las unidades de filtración 12a y 12b, una línea 24 permite evacuar el agua dulce filtrada (llamada permeado) hacia, en primer lugar, un tanque de almacenamiento 15. Este último desemboca en una unidad 16 destinada a tratar el agua dulce, con vistas a su consumo. Siempre en la salida de las unidades de filtración, una línea 25 permite evacuar el agua cargada de sal (llamada concentrado) hacia un término 27 de los rechazos R, generalmente, en el mar.
- La instalación comprende, igualmente, un bucle 22 derivado sobre la línea de alimentación 21 aguas arriba y aguas abajo de la bomba de alta presión 7. Este bucle atraviesa una unidad de recuperación de energía dotada, ella misma, de un intercambiador de presión 14 y de una bomba 13 denominada "Booster" (de refuerzo).
- La bomba Booster (de refuerzo), igualmente, se elige preferentemente en la categoría de las bombas volumétricas, también llamadas "bombas de desplazamiento positivo". Se encuentran, por ejemplo, las bombas de pistón, de lóbulos y las bombas de cavidad progresiva. No obstante, se pueden considerar otros tipos de bombas, su frecuencia está servomandada, entonces, a unos medidores de caudal colocados sobre la línea de alimentación.
- La línea de evacuación 25 atraviesa, igualmente, el intercambiador de presión 14. El intercambiador de presión es preferentemente un dispositivo de desplazamiento positivo de tipo DANFOSS ISave ©, ERI PX © o Calder DWEER © o KSB © u otros sistemas similares. Debido a este hecho, el concentrado presurizado que circula en la línea 25 transfiere su presión por puesta en contacto indirecta, al agua de mar que circula en el bucle 22.
- Este bucle 22 está conectado, igualmente, a la línea de evacuación 25 para permitir, en ciertos casos, el baipás de las unidades de filtración y un rechazo directo. La instalación comprende unos medios 23 que alimentan las bombas Booster (de refuerzo), de baja presión y de alta presión, según una potencia variable.
- De conformidad con la invención, la energía suministrada por los medios de alimentación 23 proviene de una fuente de energía renovable.
- Según un primer modo de realización y tal como se representa en la figura 7, los medios de alimentación consisten en un generador fotovoltaico, así como un primer, segundo y tercer convertidor de potencia de frecuencia variable. Cada uno de los convertidores está dedicado a una de las tres bombas de baja presión, Booster (de refuerzo) y de alta presión. Con el fin de distribuir de manera óptima la potencia generada de forma variable por el generador fotovoltaico, los convertidores de potencia están pilotados sucesivamente según un protocolo MPPT (Maximum Power Point Tracking, Seguimiento del Punto de Máxima Potencia).
- De manera ventajosa, la línea de alimentación de agua de mar 21 comprende, aguas arriba de las derivaciones del bucle 22 y de la bomba de baja presión 7, un bloque de pretratamiento seguido de un prefiltro, seguido, él mismo, de un purgador de aire. El bloque de pretratamiento 2 permite bajar significativamente el poder de obstrucción del agua de mar de conformidad con las recomendaciones de los suministradores de membranas filtrando las materias en suspensiones y eliminando las bacterias. El prefiltro 3 es un filtro de seguridad para la bomba de alta presión y la bomba Booster (de refuerzo), permite refinar la filtración para cualesquiera partículas de diámetro superior a 3 micras. El purgador de aire 4 permite evacuar de manera manual o automática el aire bombeado a la entrada y atrapado en la línea de alimentación 21.

## ES 2 785 572 T3

Para controlar el caudal y la presión del agua de mar admitida en la instalación antes de filtración, la línea de alimentación de agua de mar 21 comprende, igualmente, un medidor de caudal 5 y un sensor de presión 6.

5 Para controlar las variaciones de presión al nivel de las unidades de filtración, un sensor de presión 10 y 17 respectivamente está previsto ventajosamente en la entrada de las unidades de filtración 12, así como en la salida al nivel de la línea de evacuación de concentrado 25.

10 Para medir en tiempo real el caudal de permeado  $Q_{24}$ , se habilita un medidor de caudal 19 al nivel de la línea de evacuación de los permeados 24.

Para prohibir el reflujo de agua de mar en dirección de las bombas Booster (de refuerzo) 13 y de alta presión 7, se habilitan unas chapaletas antirretorno referenciadas respectivamente 9 y 8 en la salida de cada una de las bombas.

15 De manera que la línea de evacuación de concentrado 25 pueda reunirse con el término 27 de los rechazos R, sin atravesar el intercambiador de presión 14 de las unidades de recuperación de energía, un baipás 26 provisto de una válvula pilotada 20 se deriva sobre la línea 25 aguas arriba de las unidades de recuperación de energía.

20 En lo que se refiere, en este momento, al procedimiento de pilotaje de una instalación de desalinización de agua de mar del tipo de la descrita anteriormente, el procedimiento de pilotaje comprende al menos un modo de explotación, es decir, un modo en el que se produce agua dulce, que se define como a continuación en correlación con la figura 2.

25 En primer lugar, se mantiene el caudal  $Q_{13}$  de la bomba Booster (de refuerzo) a un valor superior a un umbral  $Q_{13\text{mín}}$ , superior o igual al caudal mínimo  $Q_{12\text{mín}}$  requerido para el funcionamiento de las unidades de filtración. En otros términos, el caudal de agua de mar procedente de la bomba Booster (de refuerzo) y que entra en las unidades de filtración 12, debe ser superior o igual al valor mínimo  $Q_{12\text{mín}}$  de caudal de las unidades de filtración 12, a partir del que se respetan las condiciones de filtración tangencial recomendadas por los suministradores de membranas. En otros términos, también, es el control del caudal en la unidad de recuperación de energía el que permite asegurar un caudal en la "al menos una" unidad de filtración, superior al caudal mínimo preconizado por los fabricantes de membranas.

30 Paralelamente, se mantiene el caudal  $Q_{25}$  en la línea de evacuación de concentrado en la salida de las unidades de filtración, a un valor sustancialmente igual al valor del caudal  $Q_{13}$  producido por la bomba Booster (de refuerzo). Este control de caudal  $Q_{25}$  en línea de evacuación de concentrado se efectúa durante la travesía de las unidades de recuperación de energía constituida por el intercambiador de presión 14 y por la bomba Booster (de refuerzo) 13. Se entiende por "valor sustancialmente igual a", el hecho de que la diferencia entre los caudales no excede un 5 %.

35 Asimismo, se mantiene la presión en la salida de la bomba Booster (de refuerzo) a un valor igual al valor de la presión en la salida de la bomba de alta presión. La ganancia de presión del agua de mar que viene de la bomba de baja presión se efectúa durante su paso en el intercambiador 14 y durante su paso en la bomba booster (de refuerzo). Esta última permite compensar la diferencia de presión entre la presión en la línea de evacuación de los concentrados y la presión en la entrada de las unidades de filtración. También permite compensar las muy escasas pérdidas de cargas debidas al rendimiento del intercambiador de presión. De esta forma, el agua de mar procedente de la bomba Booster (de refuerzo) entra en las unidades de filtración a una presión igual a la que reina en las unidades de filtración y, de este modo, puede filtrarse.

45 De esta forma, teniendo en cuenta el hecho de que la suma de los caudales que entran en las unidades de filtración debe ser igual a la suma de los caudales que salen, el caudal  $Q_{24}$  de permeado en la salida de las unidades de filtración es sustancialmente igual al caudal  $Q_7$  de la bomba de alta presión.

50 Por lo demás, teniendo en cuenta el hecho de que el caudal  $Q_7$  de la bomba de alta presión está servomandado a la frecuencia y a la potencia suministrada por los medios de alimentación 23, frecuencia y potencia que son variables por el hecho de la fuente de energía renovable, el caudal  $Q_{24}$  de permeado en la salida de las unidades de filtración es función de la potencia disponible suministrada por la fuente de energía renovable.

55 Remitiéndose a la figura 2, aparece que la porción de bucle 22 llena de agua de mar que atraviesa las unidades de recuperación de energía, para, a continuación, atravesar las unidades de filtración 12 y reunirse con la línea de evacuación de concentrado 25, que, ella misma, atraviesa las unidades de recuperación de energía, constituye un bucle secundario sobre el que descansa el funcionamiento de los modos de explotación.

60 En efecto, es gracias a la gestión de los caudales y de las presiones en el bucle secundario, como el caudal  $Q_7$  de agua de mar que atraviesa la bomba de alta presión 7 puede dar, después de su paso en las unidades de filtración, el caudal  $Q_{24}$  de permeado, perteneciendo estos caudales  $Q_7$  y  $Q_{24}$  al bucle primario definido por la alimentación de las unidades de filtración, las unidades de filtración y la línea de recuperación de permeado.

65 Considerando, en este momento, la tasa de conversión T, definida como que es la relación del caudal de permeado y el caudal total de alimentación de las unidades de filtración, se ve que:

## ES 2 785 572 T3

$$T = Q_{24} / (Q_{13} + Q_7) = Q_7 / (Q_{13} + Q_7)$$

Sabiendo que el caudal  $Q_7$  de la bomba de alta presión es función de la potencia disponible suministrada por la fuente de energía renovable y sabiendo que el caudal  $Q_{13}$  de la bomba Booster (de refuerzo) se mantiene a un valor de punto de ajuste, aparece que la tasa de conversión es directamente función del caudal de la bomba de alta presión, él mismo, directamente vinculado a la potencia disponible suministrada por la fuente de energía renovable.

De este modo, el caudal de permeado y la tasa de conversión asociada  $T$  (siendo la tasa de conversión igual al cociente del caudal del permeado por la suma de los caudales de la bomba de alta presión y de la bomba Booster (de refuerzo)) varían permanentemente, en paralelo y de forma continua entre cero y su valor máximo.

Según una primera variante de modo de explotación, el caudal de la bomba Booster (de refuerzo) se mantiene a un valor constante, elegido para asegurar un caudal suficiente en las unidades de filtración asegurando al mismo tiempo un consumo razonable en el plano energético. A título ilustrativo, el caudal de la bomba Booster (de refuerzo) se puede fijar a 5 m<sup>3</sup>/hora para una unidad de filtración.

En función de la potencia disponible suministrada por la fuente de energía renovable, el caudal de la bomba de alta presión va a variar, por ejemplo, de 0 a 2,5 m<sup>3</sup>/hora. De este modo, se obtiene un caudal total que varía entre 5 y 7,5 m<sup>3</sup>/hora. La tasa de conversión (relación entre el caudal de permeado y el caudal total de alimentación de las membranas) varía, por lo tanto, entre un 0 % y un 33 %. El caudal de permeado varía, entonces, entre 0 y 2,5 m<sup>3</sup>/hora, de la misma forma que el caudal del agua de mar en la bomba de alta presión.

Según una segunda variante de modo de explotación, el caudal en la salida de la bomba Booster (de refuerzo) puede estar servomandado al caudal de la bomba de alta presión. El servomando del caudal de la bomba Booster (de refuerzo) puede ser una función discreta (por etapa) o bien continua de la potencia que alimenta la bomba de alta presión. En otros términos, en función del caudal suministrado por la bomba de alta presión, la bomba Booster (de refuerzo) ajusta su propio caudal en función de lo que permanece de la potencia disponible suministrada por la fuente de energía renovable.

A título de ejemplo, si se hace variar el caudal de la bomba Booster (de refuerzo) de 7 a 11 m<sup>3</sup>/hora, en función del caudal de la bomba de alta presión que varía, él mismo, de 1 a 5 m<sup>3</sup>/hora, se realiza una tasa de conversión que varía de un 12,5 % a casi un 31 %. Esto da como resultado un caudal de permeado creciente de 1 a 5 m<sup>3</sup>/hora.

En esta configuración, la presión de funcionamiento de las membranas varía de más o menos 2.800 (28) a más o menos 4.800 kPa (48 bar). Las membranas se adaptan perfectamente, entonces, automáticamente a los caudales que les son impuestos, puesto que siempre está comprendido en el rango recomendado por los suministradores. Se adaptan, igualmente, a los otros parámetros físicos del circuito, tales como la salinidad y la temperatura del agua a tratar. Según este modo de realización de la invención, el caudal de la bomba de baja presión se controla para que sea sustancialmente igual a la suma de los caudales de la bomba Booster (de refuerzo) y de la bomba de alta presión. La presión de funcionamiento de las membranas se establece por sí misma y no está controlada de otro modo más que por los caudales de las diferentes bombas. Esto es fundamentalmente diferente de la técnica anterior donde se imponen unas presiones de funcionamiento a las membranas, lo que define unas tasas de conversión fijas.

Esta variante ofrece una gran flexibilidad de funcionamiento y permite obtener unas tasas de conversión proporcionales al caudal de la bomba de alta presión, por lo tanto, variables. Esto permite optimizar los consumos energéticos y el funcionamiento de la instalación, en concreto, asegurar una escasa producción en caso de potencia incidente limitada, garantizando al mismo tiempo las condiciones recomendadas de filtración tangencial.

Antes de alcanzar un modo de explotación, el procedimiento de pilotaje admite un modo de arranque, en el que, las bombas se arrancan sucesivamente, con el fin de llenar los diversos circuitos de agua de mar.

Según un primer modo de arranque de la instalación, no se procede a la puesta en marcha sucesivamente de las bombas de baja presión, Booster (de refuerzo) y de alta presión, más que cuando la potencia suministrada por los medios de alimentación rebasa un valor de punto de ajuste  $P_{HP0}$ . En otros términos, hay que esperar que la potencia disponible suministrada por la fuente de energía renovable alcance un cierto umbral de potencia  $P_{HP0}$ , adecuado para alimentar la bomba de baja presión, la bomba Booster (de refuerzo) y la bomba de alta presión.

De manera más particular, se arranca, en primer lugar, la bomba de baja presión, de modo que agua de mar alimenta la línea 21, luego, una porción del bucle 22 para atravesar, a continuación, las unidades de recuperación de energía y reunirse con el término 27 de los rechazos R.

Luego, la bomba Booster (de refuerzo) se arranca, de modo que el agua de mar, admitida en la línea 21, luego, en una porción del bucle 22, se devuelve hacia las unidades de filtración 12 después de su paso en las unidades de recuperación de energía, en lugar de reunirse con el término 27 de los rechazos R. En la salida de las unidades de filtración 12, el agua de mar no filtrada alimenta la línea de evacuación de concentrado 25, luego, se evacua hacia los rechazos.



Por último, la bomba de alta presión se pone en marcha, de modo que una parte del agua de mar admitida en la línea 21 atraviesa la bomba de alta presión y se envíe a presión en la entrada de las unidades de filtración. La otra parte del agua de mar admitida en la línea 21, se reúne con el bucle 22 para recuperar la presión presente en la línea de evacuación de concentrado por medio del intercambiador de presión 14 y regularse de caudal. Cabe señalar que la bomba Booster (de refuerzo) la vuelve a presurizar para compensar las pérdidas de cargas debidas al paso en las membranas y en el intercambiador cuyo rendimiento no es de un 100 %. Entonces, se alcanza un modo de explotación en el que:

- 10 - el caudal  $Q_{25}$  en la línea de evacuación de concentrado en la salida de las unidades de filtración, se mantiene durante su paso en las unidades de recuperación de energía, a un valor sustancialmente igual al valor del caudal  $Q_{13}$  producido por la bomba Booster (de refuerzo),
  - 15 - la presión en la salida de la bomba Booster (de refuerzo) se mantiene, por medio del intercambiador de presión 14, a un valor igual al valor de la presión en la línea de alimentación 21,
  - el caudal  $Q_{24}$  de permeado en la salida de las unidades de filtración es sustancialmente igual al caudal  $Q_7$  de la bomba de alta presión.
- 20 Ventajosamente, las puestas en marcha de la bomba de baja presión y de la bomba Booster (de refuerzo) están seguidas cada vez por una temporización  $T_0$  comprendida entre 5 y 35 s.

También sería posible considerar otro modo de arranque en el que se procedería a la puesta en marcha sucesivamente de las bombas de baja presión, Booster (de refuerzo) y de alta presión, cuando la potencia suministrada por los medios de alimentación rebasara una primera, una segunda y una tercera etapa que permiten cada vez el arranque de su bomba asociada.

Ventajosamente, la instalación comprende, además, un baipás provisto de una válvula de regulación de presión que permite que la línea de evacuación de concentrado cortocircuite las unidades de recuperación de energía. De esta forma, es posible pilotar durante el arranque de la bomba de alta presión, el cierre progresivo de la válvula de regulación de presión 20, de modo que el aumento de la presión que atraviesa las unidades de filtración permanece inferior a 100 kPa/s (1 bar/s) y preferentemente inferior a 50 kPa/s (0,5 bar/s). La válvula de regulación de presión se mantiene, a continuación, cerrada durante toda la duración de funcionamiento de las unidades de filtración.

Las membranas pueden funcionar, en efecto, a unas presiones que varían de 2.000 a 6.500 kPa (20 a 65 bar), según las configuraciones explotadas (salinidad del agua tratada) y con unas variaciones de presión del orden de 70 kPa (0,7 bar) por segundo según los suministradores. Ahora bien, en el marco de la invención, las membranas funcionan con unas desviaciones de presión que intervienen al arranque de la bomba de alta presión con subida desde la presión atmosférica hasta la presión osmótica (del orden de 3.000 kPa (30 bar)) y a la parada de la instalación con una bajada desde los 3.000 kPa (30 bar) de la presión osmótica hasta la presión atmosférica.

Antes de alcanzar un modo de explotación, la bomba Booster (de refuerzo) funciona sin la bomba de alta presión y con un caudal superior al caudal mínimo de filtración tangencial impuesto por el fabricante de membranas, del orden de 3 a 4 m<sup>3</sup>/h, o sea, por ejemplo, con un caudal de 5 m<sup>3</sup>/h. El bucle primario está en parada. El caudal que entra en las membranas es estrictamente igual al caudal que sale de concentrado de las membranas. No hay producción de permeado. La presión en las unidades de filtración 12 es muy escasa, del orden de 100 kPa (1 bar).

Cuando la potencia de la fuente de energía renovable aumenta, el bucle secundario continúa funcionando al mismo caudal, por ejemplo, de 5 m<sup>3</sup>/h y el bucle primario se pone en marcha con funcionamiento de la bomba de alta presión. El caudal que entra de agua de mar en las unidades de filtración 12 corresponde al caudal del bucle secundario (5 m<sup>3</sup>/hora) aumentado con el caudal del bucle primario, por ejemplo, 0,5 m<sup>3</sup>/h, o sea, un total de 5,5 m<sup>3</sup>/h. El caudal que sale de concentrado es siempre de 5 m<sup>3</sup>/h. La diferencia entre el caudal que entra de 5,5 m<sup>3</sup>/h y el caudal que sale de concentrado de 5 m<sup>3</sup>/h corresponde a la producción de 0,5 m<sup>3</sup>/h de permeado, para equilibrar los caudales que entran y que salen de las membranas. De este modo, se constata que el caudal de la bomba de alta presión produce un caudal sustancialmente igual al caudal de permeado (0,5 m<sup>3</sup>/h). Para que este permeado pueda producirse, la presión en la unidad de filtración 12 debe alcanzar progresivamente, luego, rebasar la presión osmótica.

Al arranque del funcionamiento de la bomba de alta presión, la presión va a aumentar, por lo tanto, en las membranas y en el bucle secundario de recuperación de energía hasta un nivel de presión que permite la producción de 0,5 m<sup>3</sup> de permeado. Esta presión depende principalmente de la salinidad (TDS), pero, igualmente, de las membranas elegidas, de su combinación y de otros parámetros, como la temperatura. Esto es un dato intrínseco a las membranas de filtración tangencial de ósmosis inversa y a su disposición. Según este funcionamiento, incluso para unos escasos caudales de permeado, las membranas siempre están alimentadas con unos caudales mínimos de 4 m<sup>3</sup>/h superiores al caudal mínimo impuesto por los fabricantes para permitir la filtración tangencial de despolarización de las membranas.

Un funcionamiento similar es aplicable para unos caudales de la bomba de alta presión que varían de 0,5 m<sup>3</sup>/h hasta 2,5 m<sup>3</sup>/h. Sistemáticamente, los caudales de permeado corresponderán al caudal de la bomba de alta presión. Para cada caudal de la bomba de alta presión y de concentrado, la tasa de conversión varía pasando en el ejemplo dado de un 11,1 % para un caudal de bomba de alta presión (y, por lo tanto, de permeado) de 0,5 m<sup>3</sup>/h, a un 38,5 % para un caudal de la bomba de alta presión (y, por lo tanto, de permeado) de 2,5 m<sup>3</sup>/h. Para cada caudal de bomba de alta presión, la presión en las unidades de filtración se establece espontáneamente a unos niveles que permiten unas producciones de permeado. Por ejemplo, 2.900 kPa (29 bar) para un caudal de permeado de 0,5 m<sup>3</sup>/h, hasta 4.900 kPa (49 bar) para un caudal de permeado de 2,5 m<sup>3</sup>/h.

A título de ejemplo, la figura 3 y la tabla 1 a continuación ponen en correlación, para un caudal constante de la bomba Booster (de refuerzo), la potencia consumida por la bomba Booster (de refuerzo) y la bomba de alta presión, el caudal de la bomba de alta presión (igual al caudal de permeado) y la presión en las unidades de filtración. Aparece que la tasa de conversión está directamente vinculada a la potencia disponible suministrada por la fuente de energía renovable.

15

Tabla 1

Potencia consumida sin bomba de baja presión (kW)	Q <sub>13</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>7</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Tasa de conversión T (%)	Q <sub>24</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Presión En las unidades de filtración (kPa (bar))
0,3	5	0	0	0	100 (1)
1,5	5	0,5	9,1	0,5	2.900 (29)
2,4	5	1	16,7	1	3.300 (33)
3,6	5	1,5	23,1	1,5	3.800 (38)
4,8	5	2	28,6	2	4.400 (44)
6	5	2,5	33,3	2,5	4.900 (49)

El procedimiento de pilotaje también puede comprender un modo de parada de la instalación en el que las bombas de alta presión, Booster (de refuerzo) y de baja presión se ponen sucesivamente en parada tan pronto como la potencia suministrada por los medios de alimentación se vuelve inferior al valor de punto de ajuste P<sub>HP0</sub>. En otros términos, el conjunto de las bombas se pone en parada tan pronto como la potencia disponible suministrada por la fuente de energía renovable ya no permite producir permeado.

20

En el caso donde la instalación comprende, además, un baipás provisto de una válvula de regulación de presión que permite que la línea de evacuación de concentrado cortocircuite las unidades de recuperación de energía, es ventajoso controlar la apertura progresiva (por ejemplo, a 0,5 l/segundo) de la válvula de regulación de presión 20, de modo que la disminución de la presión osmótica en las unidades de filtración permanece inferior a 100 kPa/s (1 bar/s), preferentemente inferior a 50 kPa/s (0,5 bar/s) y esto, para permanecer en los límites fijados por los fabricantes. En efecto, durante la parada de las bombas, la presión en las unidades de filtración permanece elevada, es decir, del orden de la presión osmótica (3.000 kPa, 30 bar).

30

Durante la apertura progresiva de la válvula de regulación de presión, bajo el efecto de la presión osmótica, permeado procedente de las unidades de tratamiento y de almacenamiento de agua dulce se vuelve a absorber en las unidades de filtración. El permeado vuelto a introducir expulsa, entonces, el concentrado que se evacua a través de la línea de evacuación 25 hacia los rechazos mediante el baipás 26. Gracias a las chapaletas antirretorno 8 y 9, el concentrado no puede volver a subir aguas arriba y se ve tensionado a usar la línea de evacuación 25.

35

Debido a este hecho, el procedimiento de pilotaje según la invención comprende, además, un modo de mantenimiento de la instalación que consiste en un retrolavado por los permeados y que interviene automáticamente desde el momento de la parada de las bombas. Esta circulación espontánea, porque está inducida por la presión osmótica, permite que el permeado llene las membranas de agua dulce con vistas a acondicionarlas durante la parada de la instalación.

40

Tal como se representa en la figura 7 que hace referencia al caso donde los medios de alimentación 23 incluyen un generador fotovoltaico 23g, es necesario recurrir a un primer 23a, segundo 23b y tercer 23c convertidor de potencia de frecuencia variable, dedicados cada uno a una sola bomba y que estarán pilotados sucesivamente según un protocolo MPPT (Maximum Power Point Tracking, Seguimiento del Punto de Máxima Potencia).

45

De este modo, durante el arranque de la bomba de baja presión, esta última está servomandada según el protocolo MPPT para aprovechar la potencia suministrada por la fuente de energía renovable, en la medida donde funciona ella sola. Cuando la potencia suministrada por el generador fotovoltaico es suficiente, la bomba Booster (de refuerzo) se arranca con una búsqueda de tipo MPPT para alcanzar un valor de punto de ajuste de caudal. Durante la puesta en marcha de la bomba de alta presión, las velocidades de funcionamiento de la bomba Booster (de refuerzo) y de la bomba de baja presión se ajustan a la necesidad de la bomba de alta presión. La búsqueda del MPPT se desplaza de la bomba de baja presión a la bomba Booster (de refuerzo), luego, a la bomba de alta presión. También se podrían utilizar otros convertidores siempre que permitan obtener una velocidad variable a partir de la potencia disponible.

50

55

En el caso donde la fuente de energía renovable es de tipo solar, el ciclo de pilotaje de la instalación se desarrolla como sigue y tal como se ilustra en la figura 3. Al comienzo de la jornada, cuando la potencia  $P_{\epsilon}$  es suficiente, la bomba de baja presión y la bomba Booster (de refuerzo) se encienden, asignándose el caudal de la bomba Booster (de refuerzo), por ejemplo, a un valor de 5 m<sup>3</sup>/hora.

5 Cuando la potencia incidente (debida a la intensidad del sol) alcanza un cierto nivel, por ejemplo, de 1,5 kW, la bomba de alta presión arranca y sigue el aumento de la potencia incidente (pasando, por ejemplo, por un valor de 1 m<sup>3</sup>/hora, luego, 2 m<sup>3</sup>/hora, para alcanzar 2,5 m<sup>3</sup>/hora). Debido a este hecho, el caudal de permeado crece pasando por un valor de 1 m<sup>3</sup>/hora, luego, 2 m<sup>3</sup>/hora, para alcanzar 2,5 m<sup>3</sup>/hora. La tasa de conversión T (definida por:  $Q_{24} / (Q_{13} + Q_7)$ ) sigue un aumento pasando por un valor de un 20 %, luego, un 29 % para alcanzar un 38 %.

10 Por la noche, cuando la potencia  $P_{\epsilon}$  decrece, las curvas de los caudales se invierten al igual que la tasa de conversión. Cuando la potencia  $P_{\epsilon}$  se vuelve inferior, por ejemplo, a 1,5 kW, la bomba de alta presión se para, las bombas de baja presión y Booster (de refuerzo) continúan funcionando sobre una duración definida para permitir el reemplazo de los concentrados de fuerte salinidad, por agua de mar de más escasa salinidad. Esta fase permite el lavado de las membranas con concentrado convertido del agua de mar y, por lo tanto, de escasa salinidad.

15 En el caso donde los medios de alimentación 23 incluyen un aerogenerador que alimenta cada una de las bombas de baja presión, Booster (de refuerzo) y de alta presión, el ciclo de pilotaje de la instalación se desarrolla de manera similar en función de la fuerza del viento.

20 Tal como se representa en la figura 4 y según un perfeccionamiento, la instalación de desalinización comprende, además, un acumulador de presión 28 derivado sobre la línea de alimentación de agua de mar 21, entre la bomba de alta presión 7 y las unidades de filtración 12a, 12b. El acumulador es adecuado para compensar las variaciones de presión en la salida de la bomba de alta presión 7.

25 De este modo, el acumulador de presión tiene como función almacenar agua de mar encaminada por la línea 21 y la bomba de alta presión, a una cierta presión y verterla en la línea 21 en dirección de las unidades de filtración a esta misma presión cuando cede el funcionamiento de la bomba de alta presión 7, es decir, cuando la presión del agua de mar procedente de la bomba de alta presión 7 disminuye.

30 Asimismo, cuando la presión aumenta en la línea 21, el establecimiento del equilibrio de las presiones entre la presión en la línea 21 y en el recinto tubular permite atenuar el aumento de la presión en la entrada de las unidades de filtración.

35 Debido a este hecho, el acumulador 28 permite amortiguar y suavizar las variaciones de presión en la línea 21 que alimenta las unidades de filtración. Permite, en concreto, obtener unas rampas de variación inferiores a 50 kPa/s (0,5 bar/s). De este modo, se preserva la consistencia mecánica de las membranas.

40 Según un modo de realización preferente descrito en las figuras 5 y 6, el acumulador de presión 28 es un recinto tubular 282 que se comunica con la línea 21 y que encierra un volumen de nitrógeno contenido en una envoltura a una presión inicial cercana a la presión osmótica correspondiente a la salinidad del agua de mar, por ejemplo, de 2.800 kPa (28 bar).

45 En otros términos, la presión del nitrógeno contenido en la envoltura es la presión osmótica correspondiente a la salinidad del agua de mar.

50 Cuando la presión en la salida de la bomba de alta presión 7 se eleva en la línea 21, el agua de mar penetra en el recinto tubular 282 mediante las dos aberturas 283, 283' y comprime la envoltura 284, de modo que el nitrógeno se comprime a esta misma presión.

55 Cuando la presión en la salida de la bomba de alta presión 7 disminuye en la línea 21 (por ejemplo, por el hecho de una caída de alimentación por parte de la fuente de energía renovable), la envoltura se expande, de modo que el agua de mar acumulada en el recinto tubular se devuelve a una presión superior en la línea 21, que aumenta, de este modo, la presión del agua de mar que penetra en las unidades de filtración.

60 El Experto en la Materia sabrá dimensionar el recinto tubular 28 (de capacidad del orden de 120 l), así como la envoltura 284 y definir la presión inicial de inflado, de manera que la presión en la envoltura varía, por ejemplo, entre 2.800 y 6.000 kPa (28 y 60 bar). Esta última puede presentarse en forma de una envoltura de goma cuyos extremos están acuañados en los dos extremos 285, 285' del recinto tubular por medio de un tapón respectivamente 280, 280' y esto, de manera estanca por medio de juntas tóricas 281, 281'.

65 El acumulador de presión puede ser objeto de otros modos de realización. Puede comprender un tubo de acero o de compuesto y dotado de un pistón deslizante que separa herméticamente un recinto que encierra un volumen de nitrógeno y un recinto conectado a la línea 21.

En conclusión, hay que señalar que la instalación según la invención funciona con unas tasas de conversión de

escasas a medias, globalmente inferiores a un 45 %. Esta característica permite reducir el consumo energético de las membranas y permite, además, rechazar concentrado de escasa salinidad, del orden de 45 g a 50 g/litro, aun cuando las instalaciones conocidas rechazan comúnmente concentrado que tiene una salinidad del orden de 90 g/litro. Por lo tanto, el impacto medioambiental es menor y esto constituye una ventaja real de la invención.

5 Además, la instalación permite, cuando la potencia de la energía incidente es escasa, un funcionamiento a tasa de conversión nula. En estas condiciones, la instalación permite un barrido de la obstrucción formada sobre las membranas con agua de mar de escasa salinidad. En efecto, es agua de mar la que circula, entonces, en las membranas, mediante la bomba Booster (de refuerzo). Estas condiciones operatorias, además del retrolavado  
10 operado durante la parada de la instalación, contribuyen a aumentar la vida útil de las membranas.

Por supuesto, la invención no se limita a los ejemplos que se acaban de describir y se pueden aportar unas numerosas habilitaciones a estos ejemplos sin salirse del marco de la invención. Por lo demás, las diferentes características, formas, variantes y modos de realización de la invención pueden asociarse unos con los otros según diversas  
15 combinaciones en la medida donde no son incompatibles o excluyentes unos de los otros.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de pilotaje de una instalación de desalinización que comprende al menos:

- 5 - una línea de alimentación de agua de mar (21) de al menos una unidad de filtración dotada de membranas de filtración tangencial de ósmosis inversa (12, 12a, 12b), estando dicha línea de alimentación dotada sucesivamente, partiendo de su entrada (E), de una primera bomba de baja presión (1) y de una segunda bomba de alta presión (7) cuyo caudal es proporcional a la velocidad de rotación,
- 10 - una línea de evacuación de permeado (24) procedentes de las membranas hacia una unidad de tratamiento y de almacenamiento de agua dulce (15, 16),
- una línea de evacuación de concentrado (25),
- un bucle (22) derivado sobre la línea de alimentación (21) aguas arriba y aguas abajo de la bomba de alta presión, atravesando el bucle una unidad de recuperación de energía dotada de un intercambiador de presión (14) y de una bomba (13) denominada "Booster" (de refuerzo), estando dicho bucle conectado, igualmente, a la línea de evacuación de concentrado (25), atravesando dicha línea de evacuación el intercambiador de presión (14),
- 15 - unos medios de alimentación de corriente (23) procedente de una fuente de energía renovable y que alimentan según unas potencias variables las bombas de baja presión, de alta presión y Booster (de refuerzo), incluyendo los medios de alimentación (23) un generador fotovoltaico (23g) que alimenta cada una de las bombas de baja presión, Booster (de refuerzo) y de alta presión por medio de un, respectivamente, primer (23a), segundo (23b) y
- 20 - tercer (23c) convertidor de potencia de frecuencia variable (23), estando dichos convertidores de potencia pilotados según un protocolo MPPT (Maximum Power Point Tracking, Seguimiento del Punto de Máxima Potencia),

**caracterizado por que** el procedimiento de pilotaje comprende al menos un modo de explotación en el que:

- 25 - el caudal  $Q_{25}$  en línea de evacuación de concentrado (25) se mantiene durante su paso en la unidad de recuperación de energía, a un valor sustancialmente igual (no excediendo la diferencia entre los caudales un 5 %) al del caudal  $Q_{13}$  de la bomba Booster (de refuerzo), mantenido, él mismo, superior a un umbral  $Q_{13\text{min}}$ , correspondiente al caudal mínimo  $Q_{12\text{min}}$  requerido para el funcionamiento de las unidades de filtración,
- 30 - la presión en la salida de la bomba Booster (de refuerzo) se mantiene a un valor igual al de la presión en la salida de la bomba de alta presión (7),
- el caudal  $Q_7$  de la bomba de alta presión es función de la frecuencia y de la potencia de la corriente suministrada por los medios de alimentación,

35 de modo que el caudal  $Q_{24}$  de permeado en la salida la al menos una unidad de filtración (12, 12a, 12b) es sustancialmente (no excediendo la diferencia entre los caudales un 5 %) igual al caudal  $Q_7$  de la bomba de alta presión.

2. Procedimiento de pilotaje según la reivindicación 1, **caracterizado por que** el procedimiento de pilotaje comprende un primer modo de arranque de la instalación que comprende la puesta en marcha sucesivamente de las bombas de baja presión, Booster (de refuerzo) y de alta presión tan pronto como la potencia suministrada por los medios de alimentación (23) rebasa un valor de punto de ajuste  $P_{HP0}$ .

40

3. Procedimiento de pilotaje según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** la tasa de conversión, definida por el cociente entre el caudal de permeado y la suma del caudal de la bomba de alta presión y del caudal de la bomba Booster (de refuerzo), permanece inferior a un 40 %, de modo que el rendimiento de las membranas se optimiza y que la salinidad de los concentrados permanece escasa.

45

4. Procedimiento de pilotaje según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores y en el que la instalación comprende, además, un baipás (26) provisto de una válvula de regulación de presión (20) que permite cortocircuitar la línea de evacuación de concentrado (25), **caracterizado por que** durante el arranque de la bomba de alta presión, se pilota el cierre progresivo de la válvula de regulación de presión, de modo que el aumento de la presión que atraviesa las unidades de filtración permanece inferior a 100 kPa/s (1 bar/s), preferentemente 50 kPa/s (0,5 bar/s).

50

5. Procedimiento de pilotaje según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que**, en modo de explotación, el caudal en la salida de la bomba Booster (de refuerzo) se mantiene a un valor constante.

55

6. Procedimiento de pilotaje según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que**, en modo de explotación, el caudal en la salida de la bomba Booster (de refuerzo) está servomandado por etapa o en continuo al caudal de la bomba de alta presión.

60 7. Procedimiento de pilotaje según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** comprende al menos un modo de parada de la instalación en el que las bombas de alta presión, Booster (de refuerzo) y de baja presión se ponen sucesivamente en parada tan pronto como la potencia suministrada por los medios de alimentación (23) se vuelve inferior a un valor de punto de ajuste  $P_{HP0}$ .

65 8. Procedimiento de pilotaje según la reivindicación anterior y en el que la instalación comprende, además, un baipás (26) provisto de una válvula de regulación de presión (20) que permite que la línea de evacuación de concentrado (25)

- 5 cortocircuite la línea de evacuación de concentrado (25), **caracterizado por que** el modo de parada de la instalación comprende la apertura progresiva de la válvula de regulación de presión, de modo que, bajo el efecto de la presión osmótica, permeado procedente de las unidades de tratamiento y de almacenamiento de agua dulce (15, 16) se absorbe en las unidades de filtración para expulsar el concentrado hacia los rechazos mediante el baipás (26) y acondicionar las membranas de agua dulce.
- 10 9. Procedimiento de pilotaje según la reivindicación anterior, **caracterizado por que** la apertura progresiva de la válvula de regulación de presión se controla de modo que la disminución de la presión en las unidades de filtración permanece inferior a 100 kPa/s (1 bar/s), preferentemente 50 kPa/s (0,5 bar/s).
- 15 10. Procedimiento de pilotaje según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado por que** el caudal de permeados y la tasa de conversión evolucionan de manera continua y paralela, entre cero y un valor máximo y esto, en función de la potencia suministrada por los medios de alimentación de corriente (23).
- 20 11. Procedimiento de pilotaje según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado por que** la instalación de desalinización comprende, además, un acumulador de presión (28) derivado sobre la línea de alimentación de agua de mar (21), entre la bomba de alta presión (7) y la unidad de filtración (12, 12a, 12b), siendo dicho acumulador adecuado para compensar las variaciones de presión en la salida de la bomba de alta presión (7), según unas rampas de variación inferiores a 50 kPa/s (0,5 bar/s).
- 25 12. Instalación de desalinización que comprende al menos:
- una línea de alimentación de agua de mar (21) de al menos una unidad de filtración dotada de membranas de filtración tangencial de ósmosis inversa (12a), estando dicha línea de alimentación dotada sucesivamente, partiendo de su entrada (E), de una primera bomba de baja presión (1) y de una segunda bomba de alta presión (7) cuyo caudal es función de la frecuencia y de la potencia de la corriente suministrada por los medios de alimentación y preferentemente proporcional a la frecuencia y a la potencia de la corriente suministrada por los medios de alimentación,
  - una línea de evacuación de permeado (24) procedentes de las membranas hacia una unidad de tratamiento y de almacenamiento de agua dulce (15, 16),
  - una línea de evacuación de concentrado (25),
  - un bucle (22) derivado sobre la línea de alimentación (21) aguas arriba y aguas abajo de la bomba de alta presión, atravesando el bucle una unidad de recuperación de energía dotada de un intercambiador de presión (14) y de una bomba (13) denominada "Booster" (de refuerzo), estando dicho bucle conectado, igualmente, a la línea de evacuación de concentrado (25), atravesando dicha línea de evacuación el intercambiador de presión (14),
  - unos medios de alimentación de corriente (23) procedente de una fuente de energía renovable y que alimentan según unas frecuencias y unas potencias variables las bombas de baja presión, de alta presión y Booster (de refuerzo),
- 40 incluyendo los medios de alimentación (23) un generador fotovoltaico que alimenta cada una de las bombas de baja presión, Booster (de refuerzo) y de alta presión por medio de un, respectivamente, primer, segundo y tercer convertidores de potencia de frecuencia variable, estando dichos convertidores de potencia pilotados según un protocolo MPPT (Maximum Power Point Tracking, Seguimiento del Punto de Máxima Potencia).
- 45 13. Instalación de desalinización según la reivindicación 12, **caracterizada por que** la línea de alimentación de agua de mar comprende aguas abajo de la bomba de baja presión (1) y aguas arriba de la derivación del bucle situado aguas arriba de la bomba de alta presión, un bloque de pretratamiento (2) seguido de un prefiltro (3), seguido, él mismo, de un purgador de aire (4).
- 50 14. Instalación de desalinización según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 13, **caracterizada por que** la bomba de alta presión es una bomba volumétrica.
- 55 15. Instalación de desalinización según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, **caracterizada por que** comprende un baipás (26) provisto de una válvula de regulación de presión (20), que permite que la línea de evacuación de concentrado (25) cortocircuite las unidades de recuperación de energía.
- 60 16. Instalación de desalinización según una cualquiera de las reivindicaciones 12 a 15, **caracterizada por que** la instalación de desalinización comprende, además, un acumulador de presión (28) derivado sobre la línea de alimentación de agua de mar (21), entre la bomba de alta presión (7) y la unidad de filtración (12, 12a, 12b), siendo dicho acumulador adecuado para compensar las caídas de presión en la salida de la bomba de alta presión (7).
- 65 17. Instalación de desalinización según la reivindicación 16, **caracterizada por que** el acumulador de presión (28) es un recinto tubular (282) que se comunica con la línea (21) y que encierra un volumen de nitrógeno contenido en una envoltura (284) a una presión inicial cercana a la presión osmótica correspondiente a la salinidad del agua de mar, por ejemplo, 2.800 kPa (28 bar).

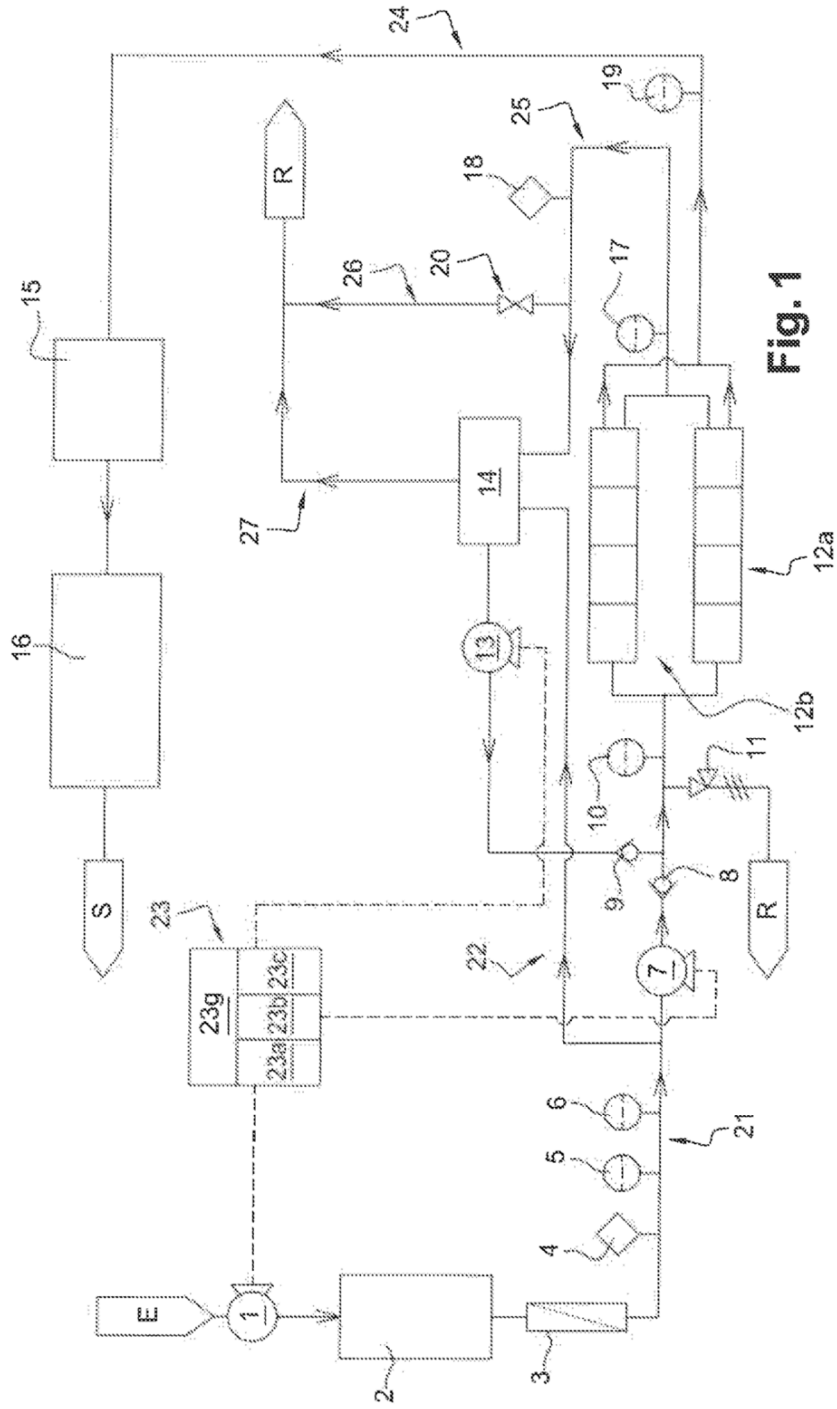


FIG. 1

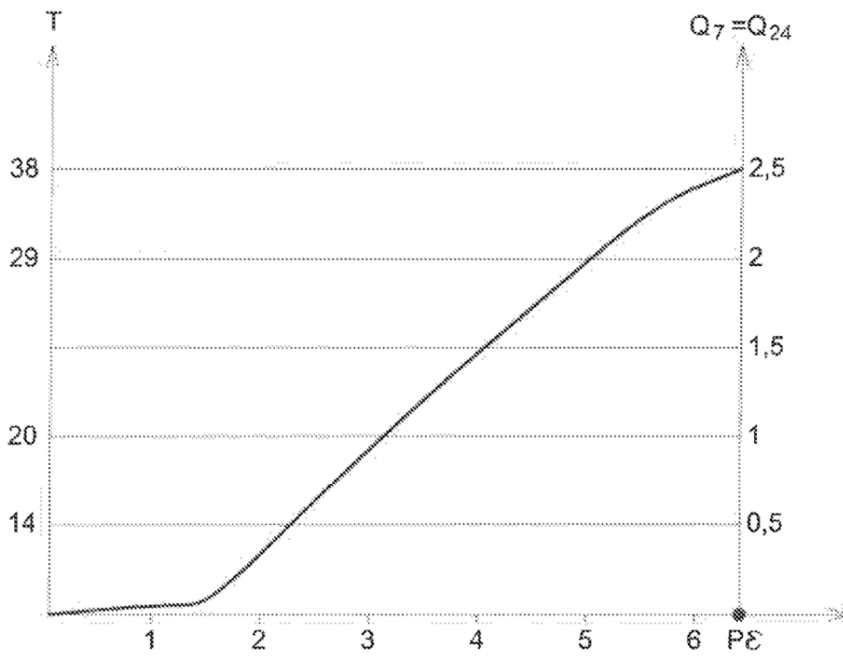
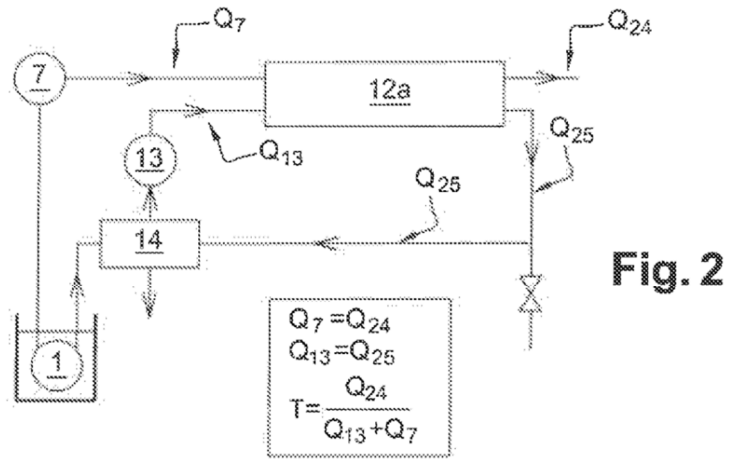


Fig. 3



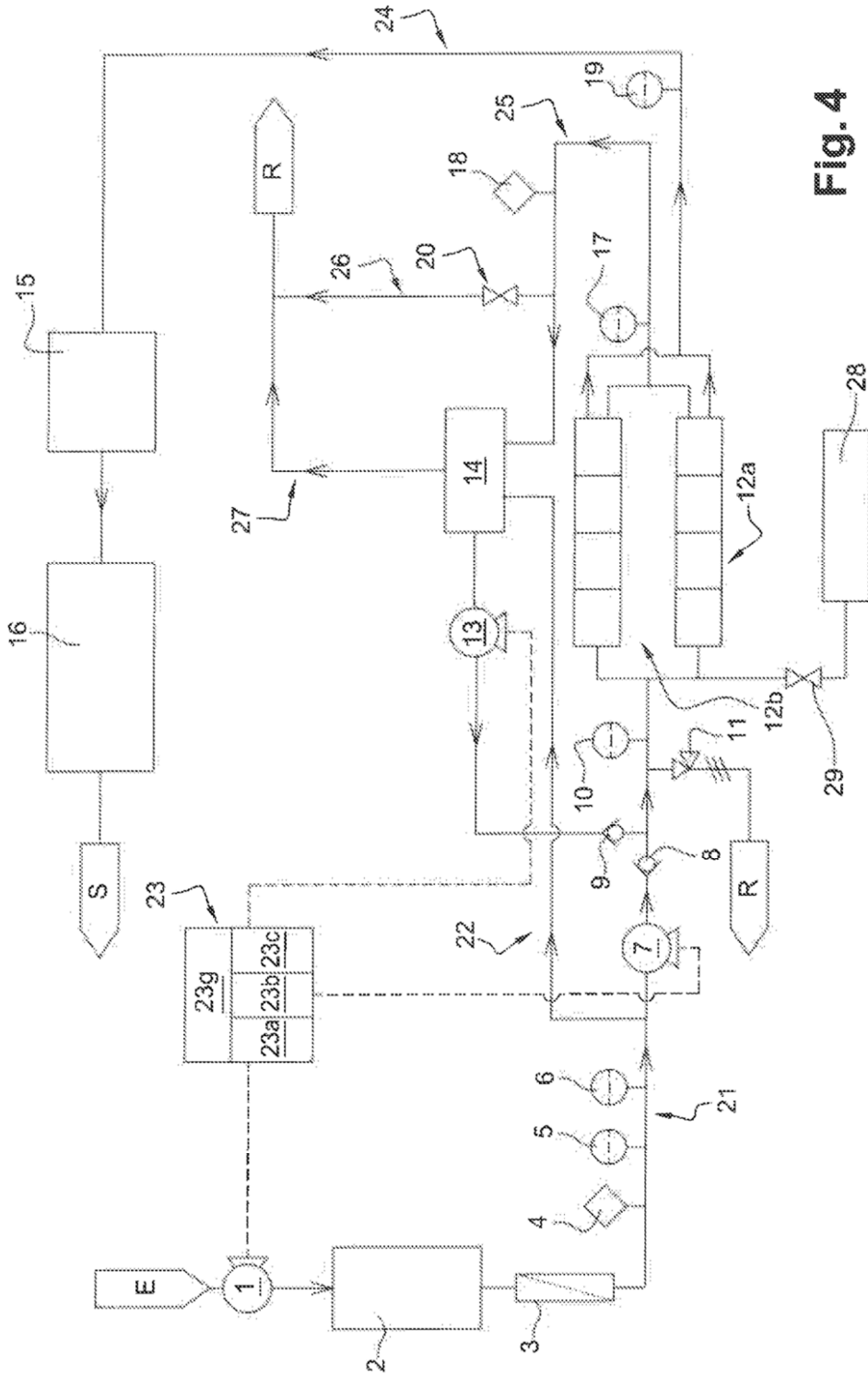
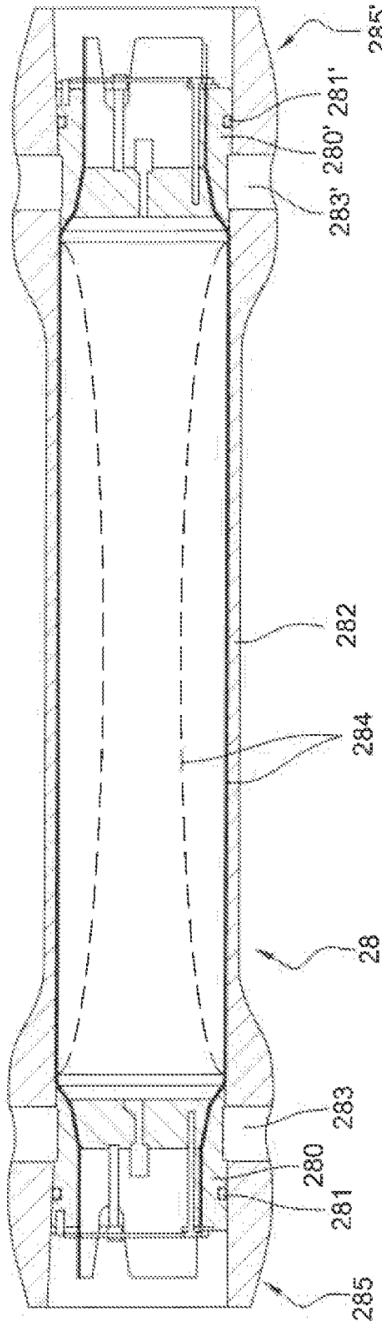
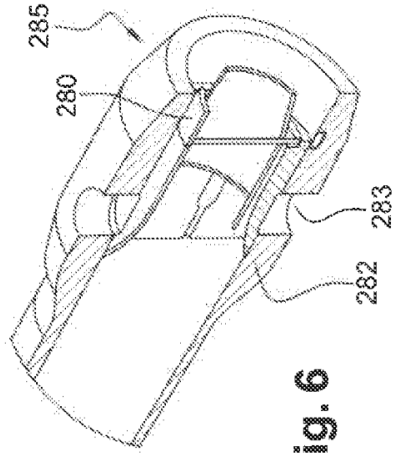


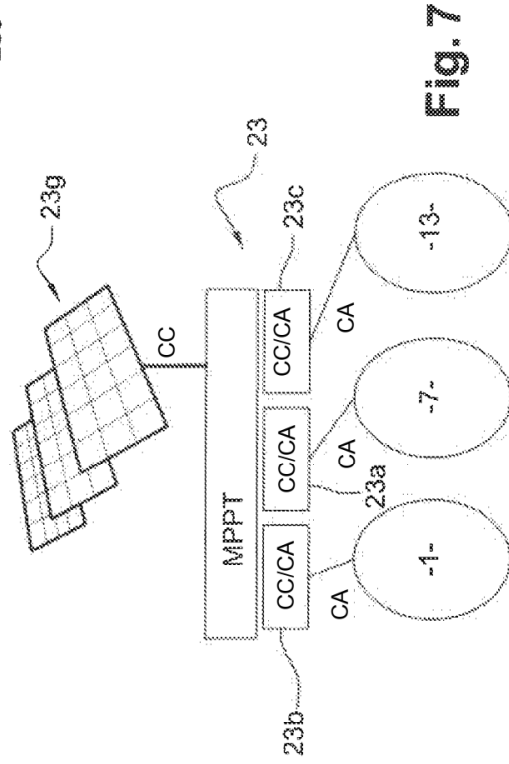
Fig. 4



**Fig. 5**



**Fig. 6**



**Fig. 7**