

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 566 065**

51 Int. Cl.:

B01D 3/10 (2006.01)

C02F 1/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.06.2011** **E 11382198 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.12.2015** **EP 2535096**

54 Título: **Sistema y procedimiento para desalinizar agua de mar**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.04.2016

73 Titular/es:

**CENTRE INTERNACIONAL DE MÉTODES
NUMÉRICS EN ENGINYERIA (100.0%)
C/ Gran Capita, s/n Edifici C-1, Campus Nord UPC
08034 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

**ARNAU DEL AMO, PEDRO ANTONIO;
OÑATE IBÁÑEZ DE NAVARRA, EUGENIO y
HANGANU, DAN ALEXANDRU**

74 Agente/Representante:

ZEA CHECA, Bernabé

ES 2 566 065 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

Sistema y procedimiento para desalinizar agua de mar

5

La invención se refiere a un sistema para desalinizar agua de mar provisto de una parte de evaporación que comprende una cámara de evaporación en la que el agua de mar hierve a una presión subatmosférica. La invención también se refiere a un procedimiento para desalinizar agua de mar con dicho sistema.

10 ESTADO DE LA TÉCNICA

La mayoría de las plantas desalinizadoras son grandes consumidoras de energía y tienen una baja eficiencia energética. Además, las zonas necesitadas de agua pueden estar en el interior, lejos de la costa, y a menudo no es factible transportar el agua desalinizada a grandes distancias.

15

El artículo "Feasibility study of desalination technology utilizing the temperature difference between seawater and inland atmosphere", de Inoue et al., Desalination 197 (2006), se refiere a estos problemas y describe una instalación de desalinización que comprende una parte de evaporación en la que tiene lugar la evaporación a baja presión del agua de mar no tratada, una parte de condensación en la que condensa el vapor y se produce agua destilada, y una parte de transporte entre la parte de evaporación y la parte de condensación en la que el vapor es transportado a baja presión. La parte de transporte (que es una tubería) está provista de aislamiento térmico. La parte de evaporación está emplazada cerca del mar, donde la variación térmica diaria es pequeña, y la parte de condensación está emplazada en una zona interior donde la temperatura desciende rápidamente por la noche debido al enfriamiento radiante. El aire se extrae de la parte de transporte y ésta se llena de vapor de agua, que entonces fluye hacia la parte de condensación porque su temperatura es menor que la temperatura de la parte de evaporación.

20

25

Pero el propio artículo señala que "hay un número de dificultades técnicas relacionadas con el posible efecto negativo del escalado del sistema a tamaño real", como por ejemplo "la dificultad de obtener el vacío inicial en una tubería muy larga". Además, como el agua de mar no tratada contiene gases incondensables (aire), la contaminación creciente del sistema con gases incondensables reduce la tasa de condensación en el condensador, lo cual disminuye la eficiencia energética del sistema.

30

35

Otro inconveniente es que el aislamiento de la parte de transporte es muy caro, ya que la tubería puede ser muy larga.

El documento US3630854 describe un sistema desalinizador que comprende un desgasificador barométrico seguido de un evaporador.

40 EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

Es un objetivo de la presente invención proporcionar un sistema y un procedimiento que superen dichos inconvenientes.

45

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, la parte de evaporación además comprende un depósito de agua de mar desaireada, a sustancialmente la misma presión subatmosférica que la cámara de evaporación, que suministra agua de mar desaireada a dicha cámara de evaporación. Como sólo se evapora agua de mar desaireada, únicamente llegará vapor puro al condensador y nada perjudicará la condensación. Y como el depósito de agua desaireada está a la misma presión que la cámara de evaporación, apenas habrá que consumir energía para la circulación de agua entre ellos.

50

La parte de evaporación preferiblemente comprende un primer circuito hidráulico de agua desaireada a dicha presión subatmosférica, al que pertenecen el depósito de agua de mar desaireada y la cámara de evaporación, un segundo circuito hidráulico de agua de mar no tratada a presión atmosférica que comienza y termina en el mar, y un intercambiador de calor entre dicho circuito primario y dicho circuito secundario, de manera que el circuito secundario entrega al circuito primario el calor perdido en la evaporación de agua que tiene lugar en la cámara de evaporación.

55

En una realización, la parte de evaporación comprende al menos dos depósitos tales de agua de mar desaireada, de manera que en cualquier momento uno de dichos depósitos pertenece al circuito primario mientras que el otro está desconectado del mismo para ser rellenado. De este modo la evaporación puede proceder sin interrupciones.

60

En una realización, el depósito o depósitos de agua salada desaireada está situado a sustancialmente a la misma altura que la cámara de evaporación y a al menos diez metros sobre el nivel del mar, de manera que apenas hay que consumir energía para la circulación de agua por el circuito primario.

5 Un tanque de agua salada desaireada a presión atmosférica puede estar situado a una altura menor que el depósito o depósitos de agua salada desaireada, la diferencia en altura siendo tal que la columna de agua de un tubo lleno de agua entre el depósito de agua salada desaireada y el tanque de agua salada desaireada causa la presión subatmosférica en el circuito primario. Ésta es la razón de que el depósito o depósitos superiores agua salada desaireada estén a 10 ó más metros sobre el nivel del mar.

10

En una realización, el circuito secundario comprende un depósito de agua salada no tratada a presión atmosférica situado a sustancialmente a la misma altura que el tanque de agua salada desaireada, que se usa para la producción de agua salada desaireada.

15 El circuito secundario puede también comprender un depósito de salmuera a presión atmosférica que recibe el agua salina del depósito de agua de mar desaireada que está temporalmente desconectado del circuito primario y la entrega de vuelta al mar, diluida continuamente en el flujo de retorno al mar del circuito secundario.

Ventajosamente, el depósito de agua salada no tratada y el depósito de salmuera están situados a sustancialmente
20 la misma altura, de manera que apenas hay que consumir energía para la circulación de agua por el circuito secundario.

El sistema comprende un condensador y una tubería que conecta la cámara de evaporación a dicho condensador, estando el condensador y la tubería también a presión subatmosférica, siendo la salida del condensador un cierre de
25 columna de agua (es decir, una columna de agua de unos 10 metros de altura).

El sistema preferiblemente comprende un generador de energía eléctrica hidráulica que está situado después y por debajo del condensador y es impulsado por el agua entregada por éste después de una caída gravitatoria. De este modo el sistema puede producir más energía de la que consume, tomándola del calor del mar.

30

En una realización, la tubería comprende una pluralidad de trampas de vapor para recoger el agua líquida que puede condensar en el interior de la tubería, estando cada trampa de vapor formada como un cierre de columna de agua. La tubería no necesita aislamiento porque el agua posiblemente condensada en su interior es simplemente recogida gravitatoriamente.

35

En una realización, la parte de evaporación comprende una caldera para producir vapor a presión atmosférica o más alta, con el fin de que dicho vapor arrastre y evacue el aire presente inicialmente en la tubería. Dicha caldera puede situarse en la cámara de evaporación.

40 El sistema puede comprender un conjunto de partes de evaporación, o un conjunto de condensadores. Cada uno de estos conjuntos o formaciones puede tener una, dos o tres dimensiones (en sentido topológico). Estas distribuciones hacen el sistema más robusto frente a disrupciones y mejoran la coordinación entre la oferta y la demanda de agua dulce.

45 De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, en un procedimiento para desalinizar agua de mar con un sistema como el definido en este apartado, el rellenado del depósito de agua de mar desaireada temporalmente desconectado del circuito primario comprende las etapas de:

(i) llenar dicho depósito de agua de mar desaireada con agua del depósito de agua de mar no tratada y dejar que el aire salga por una válvula superior del depósito de agua de mar desaireada;

50 (ii) con dicha válvula superior cerrada, vaciar gravitatoriamente un volumen de agua del depósito de agua de mar desaireada en el depósito de agua de mar no tratada, creando así un vacío en aquél;

(iii) dejar un tiempo para la desgasificación del agua de mar del depósito de agua salada desaireada;

(iv) con la conexión entre el depósito de agua de mar no tratada y el depósito de agua de mar desaireada cerrada, rellenar éste con agua del tanque de agua salada desaireada y dejar que el aire salga por la válvula superior;

55 (v) con la válvula superior cerrada, transferir, preferiblemente por vaciado gravitatorio, un volumen de agua de mar desaireada del depósito de agua de mar desaireada en el tanque de agua de mar desaireada, creando así un vacío en aquél;

(vi) repetir varias veces las etapas (iii) a (v).

60 Este procedimiento de desaireación consume mucha menos energía que los procedimientos de desaireación que incluyen el calentamiento del líquido. En cualquier caso, y gracias a la ausencia de aire en el agua de mar que hay que evaporar, el vapor de agua transportado por la tubería está sustancialmente desprovisto de gases incondensables.

Preferiblemente, las etapas (iii) a (v) se repiten al menos ocho veces.

Ventajosamente, el nivel de la presión subatmosférica en el circuito primario se selecciona para permitir que el agua de mar desaireada en la cámara de evaporación hierva a temperatura ambiente.

En una realización, el aire es evacuado inicialmente de la tubería a base de inyectar el vapor producido por la caldera hasta que sólo hay vapor caliente en la tubería, dejar que se enfríe el vapor y recoger el agua condensada mediante las trampas de vapor de la tubería. Esta ebullición en la caldera sólo se efectúa una vez, antes de comenzar fehacientemente el proceso de evaporación y condensación.

Por consiguiente, el sistema transfiere calor de una fuente caliente (el mar) a un sumidero frío (por ejemplo una montaña). Este calor es parcialmente convertido en la energía potencial del agua almacenada a una cierta altura. Por tanto el sistema es un motor térmico cuyo agente térmico es el vapor de agua. La energía transportada por el vapor es entregada cuando el vapor condensa. La tasa de condensación define la potencia del sistema. La potencia entregada viene dada por la ganancia de energía potencial del condensado y es más que suficiente para el funcionamiento del sistema, que consiste pues en la producción de agua dulce y energía. El subsistema formado por el circuito primario, la tubería y el condensador está en vacío (a unos 30 mb), es estanco y está desprovisto de aire porque el agua de mar del circuito primario ha sido desaireada. El circuito secundario, que contiene agua de mar no tratada a presión atmosférica, entrega el calor perdido en la evaporación, a fin de que la temperatura en la cámara de evaporación no caiga por debajo de la temperatura de ebullición a 30 mb. El vacío en el circuito primario es una consecuencia de estar situado a más altura que el tanque de agua de mar desaireada y el depósito de agua de mar no tratada.

25 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

A continuación se describirá, a título de ejemplo no limitativo, algunas realizaciones particulares de la invención, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

la figura 1 es un diagrama esquemático de la parte de evaporación del sistema; la figura 2 es una vista esquemática de la parte de transporte del sistema; y la figura 3 es una vista esquemática de la parte de condensación del sistema.

DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES PREFERIDAS

Una realización del sistema para desalinizar agua de mar de la presente invención comprende una parte de evaporación EP, un condensador C y una tubería P que conecta el condensador a la parte de evaporación, más específicamente, a una cámara de evaporación EC de la parte de evaporación EP. Además de la cámara de evaporación EC, la parte de evaporación del sistema (donde el agua de mar se evapora y se transforma en vapor de agua que es subsiguientemente transportado al condensador C por la tubería P) comprende dos depósitos superiores D11 y D12 para agua de mar desaireada, un tanque inferior D02 para agua de mar desaireada, un depósito de salmuera D03 y un depósito de agua de mar no tratada D01.

La cámara de evaporación EC trabaja en vacío, es decir, a una presión inferior a la presión atmosférica, también llamada presión subatmosférica, específicamente a una presión no mayor que la presión de vapor del agua a la temperatura ambiente, de manera el agua de mar hierva a temperatura ambiente en la cámara de evaporación.

En funcionamiento, uno de los depósitos superiores D11 ó D12 forma un circuito hidráulico cerrado con la cámara de evaporación EC, mientras que el otro depósito, primero se vacía (y quizá se limpia) y después se rellena de un modo que se explicará más adelante; en una etapa subsiguiente, éste depósito forma el circuito hidráulico cerrado con la cámara de evaporación EC mientras que aquél se vacía y rellena. Así, el agua que se evapora en la cámara de evaporación EC es el agua de mar desaireada procedente del depósito superior D11 ó del depósito superior D12. El circuito hidráulico cerrado formado por la cámara de evaporación EC y el depósito superior D11 ó el depósito superior D12 se llama circuito primario.

El depósito de agua de mar no tratada D01 y el depósito de salmuera D03 forman otro circuito hidráulico, que es cerrado por el propio mar S; éste circuito se llama circuito secundario. En funcionamiento, el agua es bombeada del mar al depósito de agua de mar no tratada D01, es bombeada de éste al depósito de salmuera D02, y desde allí es entregada de regreso al mar.

A medida que el agua de mar del depósito superior D11 ó D12 se evapora en la cámara de evaporación EC, su salinidad aumenta. Cuando la salinidad del agua en, por ejemplo, D11 rebasa un cierto valor, D11 es desconectado (o desactivado) del circuito primario y D12 es conectado al circuito primario. Entonces D11 es vaciado en el depósito

de salmuera D03, puede ser limpiado y es rellenado con agua de mar desaireada procedente en parte del tanque D02; el agua de mar es desaireada según un procedimiento que se explicará más adelante. El depósito D03 es para salmuera porque recibe el agua salina procedente de D11 ó D12.

5 El agua del circuito primario pierde calor en la evaporación que tiene lugar en la cámara de evaporación EC. Pero, como se explicará más adelante, para el correcto funcionamiento del sistema la temperatura en la cámara de evaporación EC debe ser más alta que la temperatura en el condensador C. Para compensar el calor perdido en la cámara de evaporación, se interpone un intercambiador de calor H entre el circuito primario y el circuito secundario, con lo cual el agua de mar no tratada entrega calor al agua de mar desaireada del circuito primario.

10

La figura 1 también muestra los tubos entre todos los elementos de la parte de evaporación EP; las flechas indican el sentido del flujo. Las bombas y las válvulas requeridas no están representadas.

15 El modo más sencillo y barato de captar el agua de mar caliente es usar un dispositivo de succión sumergido en una zona donde el agua esté a la temperatura deseada y en cantidad suficiente. Una tubería llevará el agua de mar a la costa por bombeo

20 La parte de evaporación EP es el corazón del sistema de desalinización y está situada preferiblemente en la orilla del mar en un complejo de instalaciones emplazado en 3 elevaciones: +0, +5 m y + 10 m, siendo el nivel cero una pequeña altura sobre el nivel del mar.

En el nivel inferior, el nivel 0, puede haber:

- El depósito D01 a presión normal para el agua de mar no tratada y caliente suministrada por la parte de captación, con su bomba.
- 25 • El tanque D02 a presión normal para agua de mar desaireada con su bomba.
- Una bomba de impulsión para el circuito secundario después del depósito D01.
- El depósito de salmuera D03 a presión normal con drenaje al mar abierto.

30 En el nivel intermedio, altura + 5, puede estar el intercambiador de calor H entre el circuito primario y el circuito secundario.

En el nivel superior, + 10, puede haber:

- La cámara de evaporación EC.
- Los dos depósitos superiores despresurizados D11 y D12 para agua de mar desaireada, conectados en paralelo al 35 circuito primario, situados detrás de EC y conectados a los depósitos D01 y D03 y al tanque D02 a través de un tubo de una vía reversible y común.

40 En aras de la claridad, en la figura 1 los depósitos D11 y D12 se muestran conectados a los depósitos D01 y D02 y al tanque D02 por tres tubos diferentes, y ésta es desde luego una posible disposición, pero, como se ha explicado, estos tres tubos pueden reducirse a un tubo común de una vía reversible porque en cualquier momento dado sólo hay una conexión operativa entre un depósito del nivel superior y un depósito o tanque del nivel inferior.

45 El circuito primario funciona en vacío. Este vacío se efectúa a base de una altura de columna de agua de unos 10 metros entre el depósito superior D11 ó D12 y el tanque D02, el cual está a presión atmosférica, mientras que los anteriores presentan estanqueidad frente a la atmósfera. Es decir, los depósitos superiores D11 y D12 están 10 metros más altos que el tanque D02 y, en consecuencia, la presión en el depósito superior D11 ó D12 es casi cero.

50 El circuito primario es pues un circuito hidráulico cerrado y despresurizado formado por tubos en los que circula continuamente agua de mar desaireada. El circuito primario recibe continuamente calor a través del intercambiador de calor H, al que llega agua de mar caliente desde la parte de captación, siendo dicha agua devuelta al mar por medio del depósito D03. Con el fin de optimizar el coste del bombeo, la intensidad de la transferencia de calor puede controlarse variando los caudales de los dos circuitos, primario y secundario, mediante un sistema activo de control.

55 Cada uno de los depósitos superiores D11 y D12 puede contener alrededor del 80% del volumen de agua del circuito primario. Sólo uno de ellos estará conectado al circuito primario en cualquier momento dado, y pueden tener un volumen suficiente para asegurar el funcionamiento de la cámara de evaporación durante, por ejemplo, una hora antes de conmutar entre ellos. Cuando están desconectados del circuito primario, descargarán la salmuera en el depósito de salmuera D03, empezarán a desgasificar (desairear) agua de mar del depósito de agua de mar no tratada D01, y mantendrán el tanque inferior de agua de mar desaireada D02 lleno. En menos de por ejemplo, una 60 hora, pueden haberse llenado de nuevo con agua de mar desaireada para tomar el relevo y ser reconectados al circuito primario.

Mientras el circuito primario está despresurizado, el circuito secundario trabaja a presión normal (atmosférica). Como el circuito secundario empieza y termina en el mar, el coste de bombear agua a través suyo es minimizado.

Al descargarse en el depósito D03, la salmuera es disuelta en el flujo de circuito secundario y es devuelta al mar casi imperceptiblemente, ya que la salinidad resultante es apenas mayor que la original. Esto evita cualquier impacto medioambiental.

El procedimiento de desaireación se basa en poner repetidamente el agua en ebullición a baja presión en un compartimento separado y evacuar los gases producidos. La desgasificación se lleva a cabo en los depósitos superiores D11 y D12 durante sus desconexiones del circuito primario. El procedimiento es el siguiente:

- a) se abre una válvula superior del depósito superior D11 ó D12;
 - b) se llena el depósito superior con agua de mar no tratada del depósito D01;
 - c) se cierra la válvula superior cuando todo el aire ha sido evacuado;
 - d) se descarga gravitatoriamente el depósito superior en el depósito inferior D01, que está a presión atmosférica 10 m más abajo, con lo cual la presión en el depósito superior desciende hasta casi cero y se aspira más gas en su interior (aire disuelto asciende al volumen vacío debido al diferencial de presión y deviene no disuelto);
 - e) se llena parcialmente el depósito superior con agua del tanque de agua salada desaireada D02;
 - f) se abre la válvula superior y se bombea más agua del tanque D02 al depósito superior;
 - g) se cierra la válvula superior cuando todo el aire ha sido evacuado;
 - h) se descarga gravitatoriamente el depósito superior en el tanque D02, que está a presión atmosférica 10 m más abajo;
 - i) se repiten varias veces las etapas (f) a (h), hasta que el agua del depósito superior resulte suficientemente desaireada.
- 25 El volumen de agua descargada del depósito superior D11 ó D12 puede ser sustancialmente igual al volumen del tubo dispuesto entre dicho depósito superior y el depósito D01 ó el tanque D02.

El vapor de agua generado en la cámara de evaporación EC se desplaza por la tubería P para encontrar las condiciones propicias para condensar en el condensador C. La temperatura del vapor de agua es la misma que la del agua que lo ha originado y sólo puede condensar a temperaturas inferiores si la presión permanece constante. Si la presión disminuye porque la tubería asciende por una montaña, la temperatura del vapor también disminuye. En este caso, la temperatura en el condensador debe ser inferior a la temperatura del vapor reducida por la pérdida de presión debida a la gravedad.

La eventual condensación en el interior de la tubería P transferirá calor latente de las paredes a la tubería y las mantendrá a la misma temperatura que el vapor de agua. No obstante, que el sol caliente la tubería no supone ningún problema. La tubería no requiere ningún aislamiento térmico, ya que el propósito del sistema es condensar el vapor de agua extraído del agua de mar por cualquier medio. La tubería busca la fuente fría necesaria para condensar su contenido de vapor de agua, pero si la encuentra antes de llegar al condensador, en la propia tubería, entonces se alcanza antes el objetivo.

La condensación en el interior de la tubería puede causar problemas de integridad, debido a que la formación de grandes gotas de agua líquida, desplazándose a Mach 1, puede punzar y perforar cualquier material, incluso el acero endurecido. Para evitar este problema y recoger el agua condensada se pueden instalar unas 'trampas de vapor' S (fig. 2), más o menos una cada 100 metros, para recoger el agua acumulada en depresiones especialmente diseñadas para este propósito. El agua sería descargada por medio de unos pequeños tubos cuyos extremos están unos 11 m por debajo del nivel de la correspondiente trampa de vapor. Estos tubos podrían llenarse de agua, que permanecería allí hasta que el tubo estuviese en su condición operativa normal, lleno de una columna de agua de 10 metros de altura, cuando se abriría una válvula inferior. Los 10 metros de columna de agua actúan como una trampa pasiva, compensando la presión casi nula del interior de la tubería, y dejando salir solamente el exceso de agua que entre en la trampa de vapor, No es necesaria ninguna intervención, y esta configuración funciona como un automatismo pasivo.

La evacuación inicial del aire del interior de la tubería se efectúa inyectando vapor a alta velocidad en condiciones de presión normal. Esto se consigue conectando la tubería a una caldera de suficiente potencia que produce un caudal suficiente de vapor. La velocidad de salida del vapor en el extremo de la tubería debe ser mayor que la velocidad de descenso del aire en el vapor. La densidad del aire es de 1,2 kg/m³, mientras que la densidad del vapor de agua es de 0,8 kg/m³, lo cual resulta en el hundimiento del aire en el vapor de agua. El tiempo de funcionamiento viene dado por la longitud de la tubería y la velocidad relativa del aire ascendente por la tubería (que cae respecto al vapor ascendente). Cuando la tubería contiene sólo vapor de agua, las válvulas en sus dos extremos (que pueden estar situados a decenas o centenares de km uno de otro) se cierran simultáneamente y la tubería se deja enfriar. El vapor condensará sobre las paredes (de donde es evacuado por las trampas de vapor) y en el interior de la tubería sólo quedará vapor de agua saturado, según la temperatura de la tubería, pero no gases incondensables.

El proceso de condensación es el más flexible y adaptable de todo el sistema, y depende de la geografía física y el clima locales. La fuente fría puede aprovechar fuentes naturales como agua de mar a gran profundidad, pozos, viento, aire frío de alta montaña, etc. Hay que entender que el condensador C representado en la figura 3 es sólo una representación esquemática que no excluye ninguna disposición particular. La figura 3 muestra esquemáticamente un intercambiador de calor R que transfiere calor del interior del condensador al frío entorno.

El depósito de agua fresca se sitúa a gran altura y desde ahí el agua puede descender por una compuerta hasta una planta de energía G (figura 3), en la que se puede producir considerablemente más electricidad que la gastada en todo el proceso; la energía se toma del calor almacenado en el mar. Finalmente, el agua puede mineralizarse y distribuirse a los clientes.

El dimensionado de los tubos del condensador se hace teniendo en cuenta la diferencia de temperatura esperada, la conductividad térmica de los tubos, el coeficiente de convección entre el metal y el aire y, por último, la velocidad estimada del viento. Todos estos parámetros llevan a obtener la superficie de tubos necesaria para disipar el calor latente del vapor. Es esencial asegurar que todo el vapor que llega condensa instantáneamente, a fin de mantener toda la instalación a máxima capacidad.

En principio, este sistema funciona siempre y cuando la temperatura de la fuente de calor sea mayor que la de la fuente fría, aunque la diferencia sea pequeña. Como la instalación contiene sólo vapor de agua, la presión interna adopta espontáneamente el valor de la presión de vapor asociado con la temperatura local. Esto significa que la tendencia del sistema es a estar saturado de vapor de agua. Ésta es la posición de equilibrio estable del sistema y responde a cualquier perturbación intentando regresar a la configuración estable.

Si la temperatura baja o la presión sube, el exceso de vapor condensa de inmediato, permitiendo el ajuste a la baja de la presión según el estado de equilibrio. Si la temperatura sube o la presión baja, el vapor resulta insaturado e intentará aumentar la presión a expensas del agua líquida que se evapora, si puede, o capturar moléculas de vapor hasta alcanzar la densidad (presión) que corresponde a su nuevo estado.

En conclusión, la temperatura de funcionamiento se ajusta automáticamente en todas las partes de la instalación, lo cual simplifica en gran medida las cosas y reduce los costes.

El sistema de acuerdo con la invención obtiene agua dulce a partir de agua de mar por destilación a temperatura ambiente, utilizando las propiedades del agua y el vapor y sin necesidad de ningún aporte de energía. El procedimiento de funcionamiento requiere una fuente caliente de agua de mar y un sumidero frío para condensar el vapor obtenido. La configuración ideal sería una zona costera montañosa, pero el sistema puede desplegarse en cualquier sitio.

En resumen, el proceso de desalinización propuesto puede ser como sigue:

1. El agua de mar es captada y bombeada a una planta costera (parte de evaporación EP) situada en un acantilado a 10 m sobre el nivel del mar.
2. El agua salada es desaireada y despresurizada hasta casi el vacío utilizando solamente bombas y válvulas.
3. El agua desaireada es introducida en un cámara de evaporación EC en vacío donde hierve a temperatura ambiente.
4. La tubería P para el transporte del vapor es llenada de vapor saturado tras conectarse a la cámara de evaporación EC.
5. El condensador C es conectado en el otro extremo de la tubería para el vapor. El condensador está en las mismas condiciones de vacío y está en contacto directo con el sumidero frío.
6. El agua dulce condensada es recogida gravitatoriamente en un depósito situado más de 10 m por debajo del condensador.
7. El potencial gravitatorio del agua dulce es empleado para producir energía eléctrica o mecánica.

El motor de todo el proceso es el calor acumulado en los océanos. Transportar este calor hasta la fuente fría genera trabajo mecánico del mismo modo que lo hace un motor térmico. Dicho trabajo se emplea para llevar el vapor hasta el generador y está incluido en el potencial hidroeléctrico del agua obtenida.

El rendimiento del sistema está gobernado por su capacidad de transporte de vapor. El objetivo es maximizar el caudal de agua fría producida y, por tanto, deben cumplirse las condiciones adecuadas, principalmente estanqueidad y ausencia de gases incondensables (aire) en el subsistema despresurizado.

ES 2 566 065 T3

El vapor fluye de la cámara de evaporación al condensador, impulsado por la condensación implosiva del vapor de agua, que se produce en el condensador a la velocidad molecular del vapor de agua, unos 650 m/s. Esta violenta implosión del vapor de agua es debida a un cambio en el volumen de unas 1500 veces, asociado al cambio de fase.

- 5 En ausencia de otros gases, el vapor de agua tiende a mantener su densidad uniforme y esto provoca una redistribución de las moléculas de gas cuando se perturba el estado de equilibrio. La condensación de un gas en un dominio de frontera corresponde a la súbita desaparición (implosión instantánea) del gas en esa zona, lo cual crea un intenso vacío local. El gas de las otras zonas se trasladará para corregir el desequilibrio y, en ausencia de otros gases, lo hará a la mayor velocidad posible.
- 10 La velocidad del vapor en la tubería es la velocidad del sonido es ese gas, alrededor de 445 m/s a temperatura normal. Ésta es la velocidad de "flujo crítico" ("choked flow"), es decir, la velocidad por encima de la cual reducir la presión en el condensador deja de aumentar el caudal de gas. Para hacer que el sistema funcione con esta eficiencia, el condensador debe dimensionarse adecuadamente para ser capaz de absorber el calor latente asociado
- 15 al máximo caudal de vapor.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Sistema para desalinizar agua de mar provisto de una parte de evaporación (EP) que comprende una cámara de evaporación (EC) y dos depósitos (D11, D12) para agua desaireada para la cámara de evaporación, caracterizado por comprender también un tanque para agua salada desaireada (D02) que está situado a un nivel diez metros más bajo que los depósitos para agua desaireada (D11, D12) y está conectado a uno de ellos, estando el otro depósito para agua desaireada conectado a la cámara de evaporación para formar con ella un circuito hidráulico cerrado,
- 10 comprendiendo los depósitos para agua desaireada una válvula superior y estando dispuestos en paralelo en el circuito hidráulico cerrado y situados a sustancialmente a la misma altura que dicha cámara de evaporación y al menos diez metros por encima del nivel del mar, comprendiendo asimismo la parte de evaporación un circuito hidráulico abierto de agua salada no tratada que empieza y termina en el mar y comprende un depósito para agua salada no tratada (D01), situado a sustancialmente el mismo nivel que el tanque para agua salada desaireada (D02),
- 15 y un depósito para salmuera (D03) que está conectado a uno de los depósitos para agua salada desaireada y está situado a sustancialmente el mismo nivel que el depósito para agua salada no tratada (D01), y un intercambiador de calor (H) dispuesto entre dichos dos circuitos hidráulicos y situado a un nivel cinco metros más bajo que los depósitos para agua salada desaireada.
- 20 2. Sistema según la reivindicación 1, que comprende un condensador (C) y una tubería (P) que conecta la cámara de evaporación (EC) a dicho condensador, siendo la salida del condensador un cierre de columna de agua.
3. Sistema según la reivindicación 2, en el que la tubería (P) comprende una pluralidad de trampas de vapor (S) para recoger el agua líquida que puede condensar en el interior de la tubería, estando cada trampa de vapor formada
- 25 como un cierre de columna de agua.
4. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la parte de evaporación (EP) comprende una caldera para producir vapor a presión atmosférica o más alta.
- 30 5. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un conjunto de partes de evaporación (EP).
6. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un conjunto de condensadores (C).
- 35 7. Uso del sistema de la reivindicación 1 para desalinizar agua de mar, donde se hace circular el agua salada desaireada en circuito cerrado entre uno de los depósitos para agua salada desaireada (D11, D12) y la cámara de evaporación (EC), de manera que la presión en dicho un depósito y dicha cámara no sea mayor que la presión de vapor del agua a la temperatura ambiente.
- 40 8. Uso del sistema de la reivindicación 1 según la reivindicación 7, donde el circuito hidráulico abierto entrega al circuito hidráulico cerrado el calor perdido en la evaporación de agua que tiene lugar en la cámara de evaporación (EC).
9. Uso del sistema de la reivindicación 1 para desalinizar agua de mar, comprendiendo el procedimiento las etapas
- 45 de:
- (a) desconectar uno de los depósitos para agua salada desaireada (D11, D12) del circuito hidráulico cerrado y conectar el otro depósito para agua salada desaireada al circuito hidráulico cerrado;
- (b) rellenar con agua salada desaireada el depósito para agua salada desaireada que está desconectado del circuito hidráulico cerrado;
- 50 (c) conectar el depósito para agua salada desaireada rellenado al circuito hidráulico cerrado y desconectar de éste el otro depósito para agua salada desaireada.
10. Uso del sistema de la reivindicación 1 para desalinizar agua de mar, comprendiendo el procedimiento las etapas de:
- 55 (i) llenar un depósito para agua salada desaireada (D11; D12) con agua del depósito para agua salada no tratada (D01) y dejar que el aire salga por la válvula superior del depósito de agua salada desaireada;
- (ii) con dicha válvula superior cerrada, vaciar gravitatoriamente un volumen de agua de dicho depósito para agua salada desaireada en el depósito para agua salada no tratada, creando así un vacío en aquél;
- (iii) dejar un tiempo para la desgasificación del agua salada en el depósito para agua salada desaireada;
- 60 (iv) con la conexión entre el depósito para agua salada no tratada y el depósito para agua salada desaireada cerrada, rellenar éste con agua del tanque para agua salada desaireada (D02) y dejar que el aire salga por la válvula superior;

ES 2 566 065 T3

(v) con la válvula superior cerrada, vaciar gravitatoriamente un volumen de agua salada desaireada del depósito para agua salada desaireada en el tanque para agua salada desaireada, creando así un vacío en aquél;
(vi) repetir varias veces las etapas (iii) a (v).

5

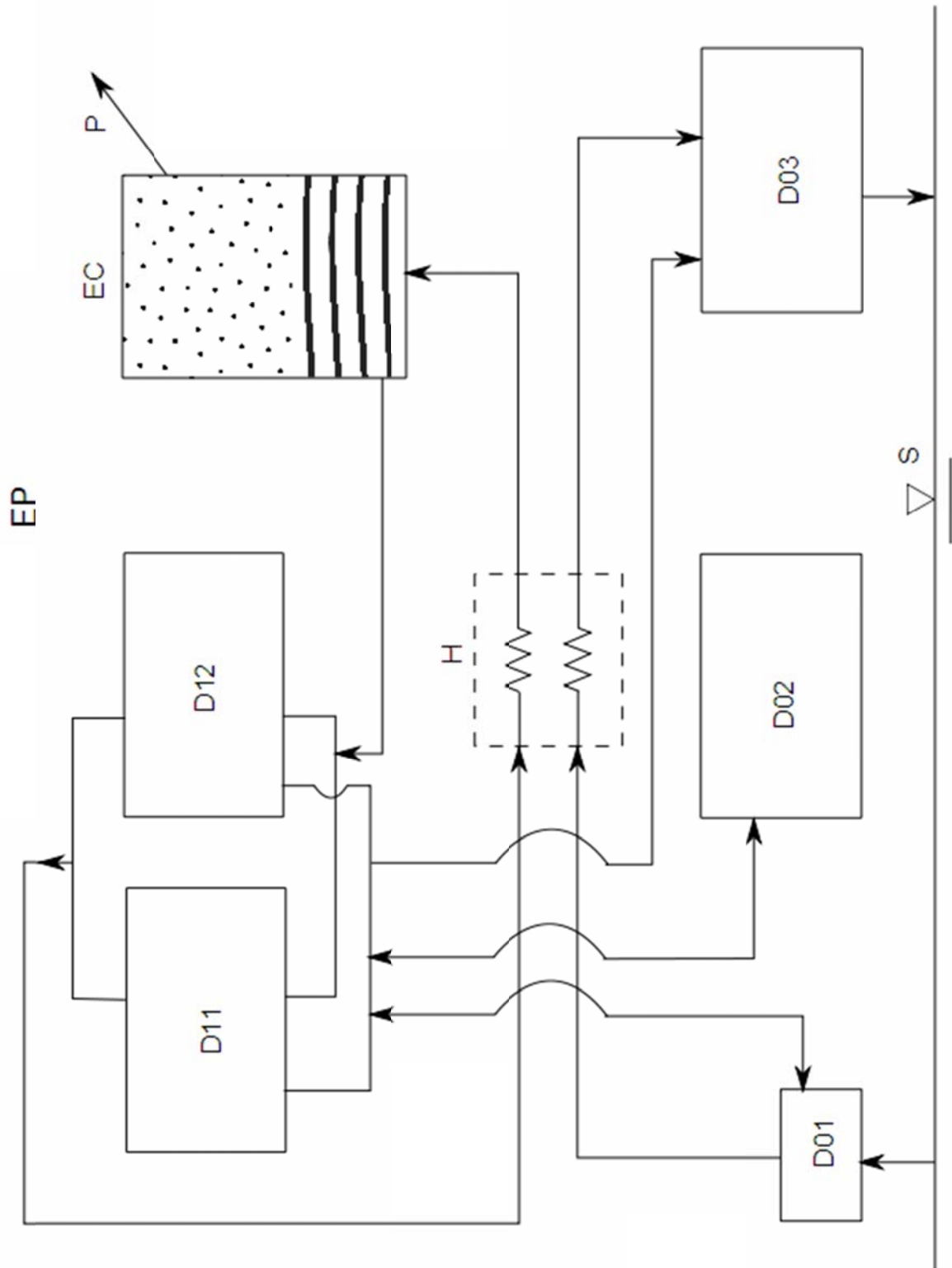


FIG. 1

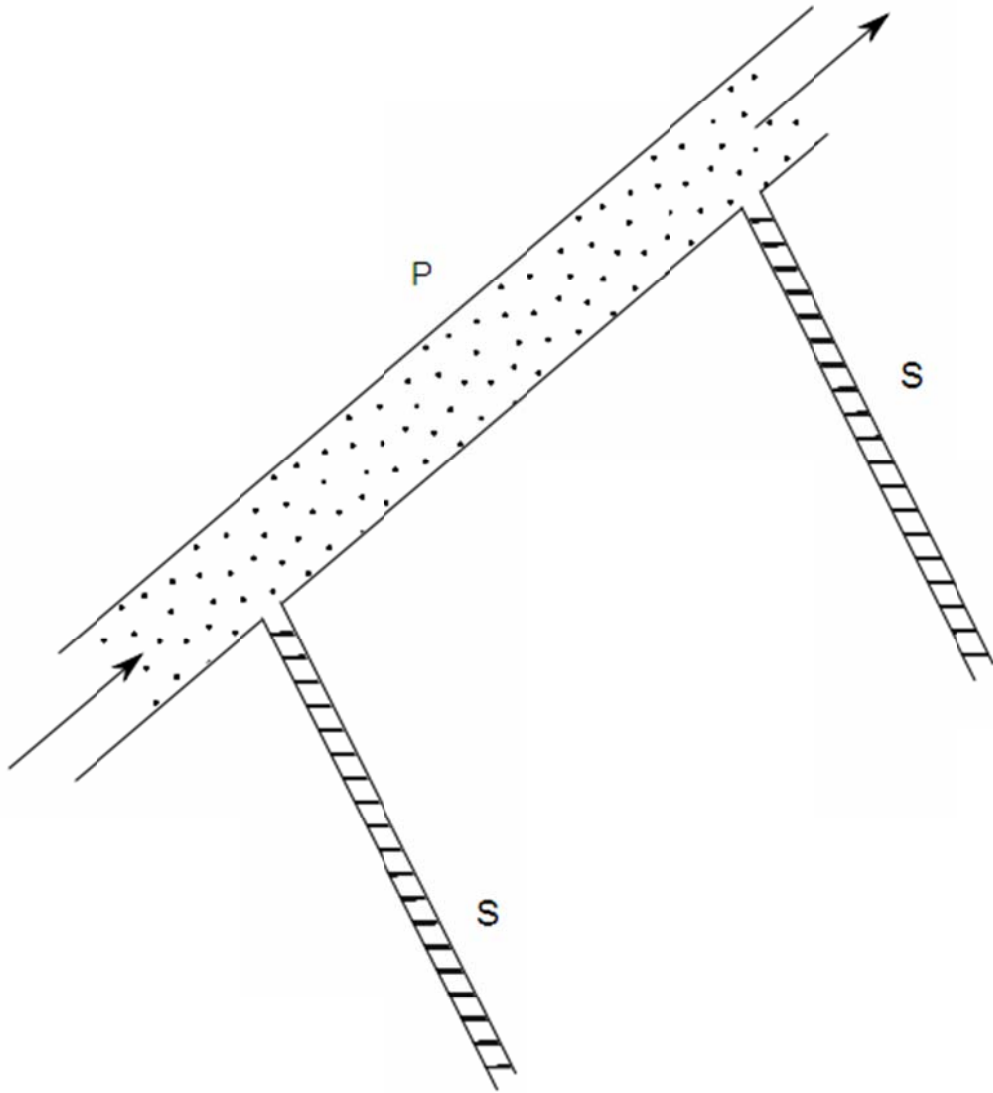


FIG. 2

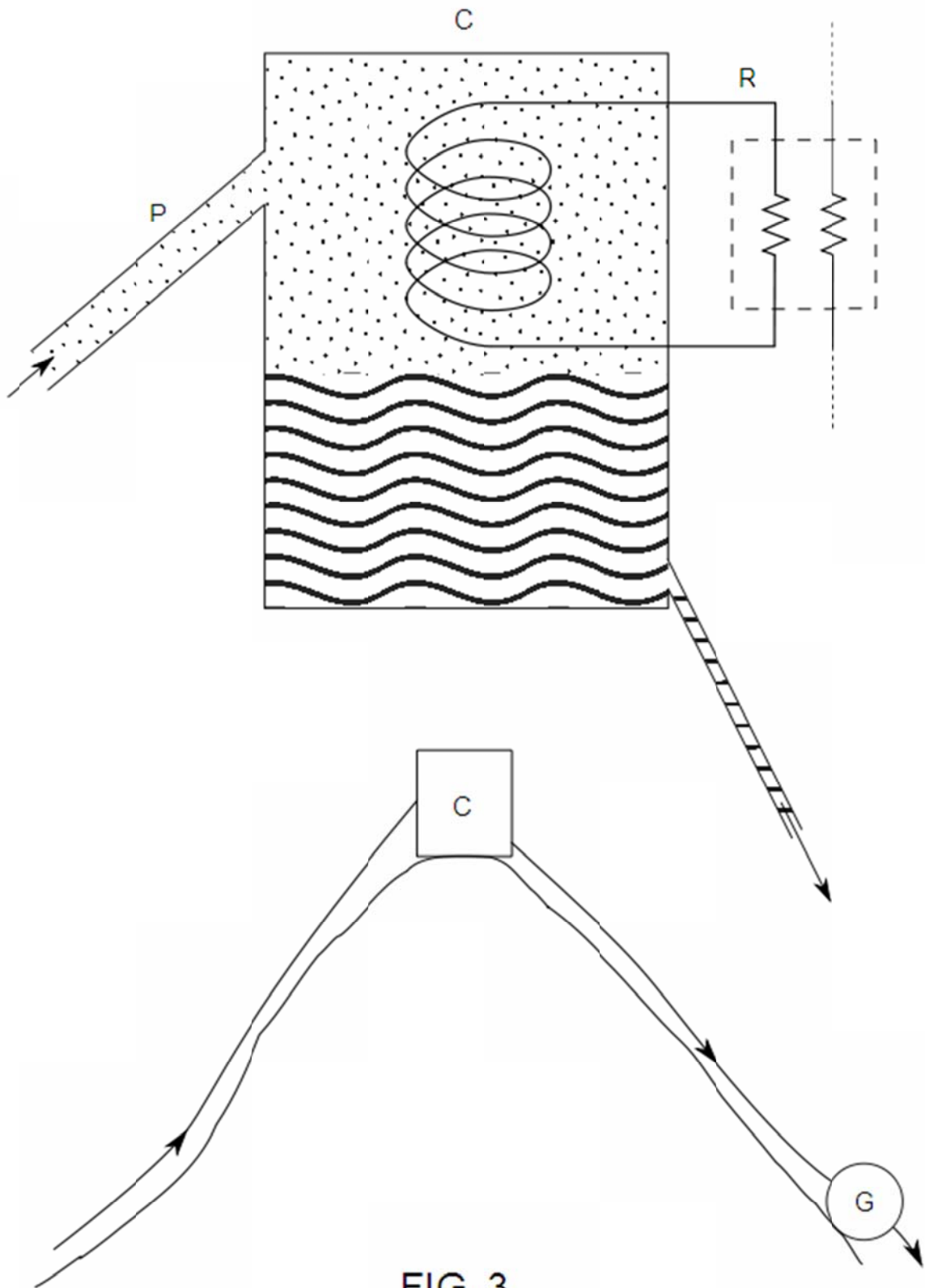


FIG. 3