

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 644 465**

51 Int. Cl.:

**B01D 1/28** (2006.01)

**B01D 3/10** (2006.01)

**C02F 1/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.07.2014 PCT/EP2014/066278**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.02.2015 WO15014840**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.07.2014 E 14747350 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.07.2017 EP 3027288**

54 Título: **Métodos e instalaciones para destilación térmica con compresión mecánica de vapor**

30 Prioridad:

**29.07.2013 WO PCT/EP2013/065933**

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

**29.11.2017**

73 Titular/es:

**INDUSTRIAL ADVANCED SERVICES FZ-LLC  
(100.0%)  
P.O. Box 31291 Al-Jazeera Al-Hamra  
Ras Al Khaimah, AE**

72 Inventor/es:

**WINANDY, FRANCOIS-MATHIEU**

74 Agente/Representante:

**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

ES 2 644 465 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

Métodos e instalaciones para destilación térmica con compresión mecánica de vapor

### 5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a instalaciones de destilación que funcionan de acuerdo con el principio de la destilación térmica por compresión mecánica de vapor (MVC, del inglés "Mechanical Vapour Compression"), en particular para la desalinización o desmineralización de agua con el propósito de producir agua potable o producir agua desmineralizada.

### Estado de la técnica

La invención se refiere al uso de diversas innovaciones relativas a métodos e instalaciones para la destilación de agua por MVC, el propósito de las cuales es reducir el consumo de energía eléctrica y los costes de fabricación y operación de las unidades o plantas de desmineralización o desalinización de agua (DWP, del inglés "Desalination Water Plant") con base en este método. Todas las innovaciones utilizadas de manera óptima hacen posible reducir el CAPEX de las instalaciones, y en particular reducir su consumo específico de energía eléctrica a valores que apenas alcanzan aproximadamente de 2 a 4 kWh/m<sup>3</sup> de destilado producido.

La técnica anterior con respecto a las DWP que utilizan MVC limita la utilización de este método debido a su muy alto consumo de energía eléctrica (8 a 18 kWh/m<sup>3</sup> de destilado producido) en comparación con otros métodos de desalinización o desmineralización tales como destilaciones térmicas suministradas con vapor utilizadas principalmente de acuerdo con métodos MSF (del inglés "Multi Stage Flash") o MED (del inglés "Multi Effect Distillation"), cuyo consumo de energía eléctrica auxiliar se encuentra entre 2 y 8 kWh/m<sup>3</sup> de destilado, o el método de ósmosis inversa que, en el caso de agua de mar, tiene una salinidad igual a o mayor que 30 g/l de los consumos totales (incluyendo el tratamiento previo y los consumidores auxiliares) de 3 a 7 kWh/m<sup>3</sup> de permeado producido.

El método de MVC es sin embargo muy estable y adquiere una gran facilidad de uso similar, en términos generales, a todos los métodos de desalinización o desmineralización térmicos. Las diversas innovaciones propuestas en esta invención hacen posible que sea competitivo en el mercado, sobre todo vis-à-vis el método de ósmosis inversa que, como él, no requiere un aporte de energía en forma de vapor, pero que, por otra parte utiliza técnicas que son más complejas, menos estables y, a menudo difíciles de operar.

### 35 Generalidades de la técnica anterior

La descripción de las DWP que utilizan MVC de conformidad con la técnica anterior se puede resumir de la siguiente manera, tanto para las unidades de multiefecto (MED-MVC) como para las de simple efecto. Tal como se indica en la figura 1, la unidad está provista de un recinto global (01) generalmente en un vacío parcial con el fin de reducir el punto de ebullición del agua que será evaporada y condensada. Las DWP más simples que utilizan MVC utilizan un baño de agua, cuya superficie proporciona la evaporación, y un intercambiador sumergido en el baño proporciona la condensación; las unidades modernas comprenden un evaporador/condensador (EC) (11) del tipo de tubos o placas, generalmente con la aplicación de una película descendente delgada de agua de alimentación (TFF, del inglés "Thin Falling Film") mantenida por medio de boquillas de pulverización (12) que distribuyen el agua que será evaporada sobre toda la superficie del EC. El EC se construye a partir de un material de transferencia y conductor de calor, una de las caras/zonas del cual proporciona la evaporación (02) y otra la condensación (05). En el caso de las unidades con una pluralidad de efectos, el vapor creado en la cara de evaporación del EC de uno de los efectos se canaliza a la cara de condensación del EC del siguiente efecto, hasta que el último efecto donde el vapor a continuación se transporta y se vuelve a comprimir antes de ser recirculado a la cabeza del primer efecto. La unidad está provista de un sistema para transportar (03) y comprimir (04) vapor, y equipo auxiliar que incluye un sistema de suministro de agua de alimentación [Agua de alimentación o, en inglés, "Feed Water"], un sistema para producir un vacío parcial y para eliminar gases no condensables (NCG, del inglés "Non Condensable Gas") [NGC\_VAC], un sistema para extraer destilado [Destilado] y un sistema para extraer el concentrado [Concentrado o, en inglés, "Brine"]. Los desarrollos recientes utilizan sistemas para recuperar calor de los flujos salientes [Destilado] + [Concentrado] a favor del flujo entrante [agua de alimentación] con el fin de mejorar los rendimientos térmicos globales y ofrecer consumos de energía eléctrica que logran de 8 a 12 kWh/m<sup>3</sup> de destilado.

### Implementaciones actuales

Los líderes mundiales en desalinización por MVC son SIDEM, DOOSAN e IDE-Technologies. Todos ellos operan de conformidad con el mismo método. Las DWP que utilizan MVC enfrentaron la función en un vacío pronunciado, aproximadamente de 10 a 20 kPa (0,10 a 0,20 bar) (a) (a través de todo el documento se hace referencia a presiones absolutas), con el fin de reducir la temperatura de evaporación a valores de aproximadamente 40 a 50 °C. La reducción de la temperatura de evaporación ofrece dos ventajas: en primer lugar una reducción en las pérdidas de calor de toda la planta, y en segundo lugar el aprovechamiento de la ausencia casi total de la formación de precipitados de carbonato de calcio por debajo de la temperatura de umbral de 60 a 65 °C. Los sistemas de

transporte de vapor (03) son internos o externos con respecto al recinto global y están dimensionados para velocidades de vapor de aproximadamente 100 m/s. Los compresores son generalmente uno por unidad, generalmente del tipo centrífugo, y operan, en el caso de unidades de tamaño medio a grande (típicamente hasta aproximadamente 5000 m<sup>3</sup>/día) a velocidades comunes para motores eléctricos industriales, a saber, 1500/1800 rev/min o 3000/3600 rev/min (las velocidades nominales de motores estandarizados con respectivamente 4 polos o 2 polos, a 50/60 Hz).

El diagrama típico de las instalaciones de desalinización actuales de conformidad con el método de MVC tal como se implementa en proyectos industriales y públicos hasta la actualidad (como por ejemplo en el documento WO8401022) se expone en la figura 1 y comprende:

- una cámara hermética (01) bajo un vacío parcial provista de un medio de entrada de agua de alimentación [AGUA DE ALIMENTACIÓN], un medio de descarga de destilado [DESTILADO], un medio de descarga de agua concentrada [CONCENTRADO], y medios para poner bajo presión negativa y extraer los gases no condensables [NCG\_VAC],

- en la cámara hermética, un evaporador/condensador (11) que ofrece zonas/superficies de evaporación (02) y zonas/superficies de condensación (05),

- un sistema para transportar (03) y comprimir (04) vapor, que proporciona el ciclo de transferencia de energía de evaporación y condensación en el evaporador/condensador.

Estas instalaciones actuales se caracterizan por el hecho de que los diversos medios de entrada de agua de alimentación y de descarga de destilado y de concentrado, y los medios para poner bajo presión negativa y extraer los gases no condensables son externos con respecto a la cámara hermética, a saber, la parte externa de su cuerpo de bomba y su motor están sujetos a presión atmosférica. Lo mismo se aplica al compresor, cuyo motor [MOT] está situado en el exterior de la cámara hermética.

## Problemas relacionados con las implementaciones actuales

El principal problema relacionado con las DWP actuales que utilizan MVC es el alto consumo de energía eléctrica. Este último se ha atribuido durante mucho tiempo a una baja eficiencia de los compresores de vapor.

Un análisis exhaustivo de los equipos actuales también revela la importancia de las caídas de presión en los tubos de transporte de vapor. De hecho, las caídas de presión aumentan la temperatura del vapor sin aumentar la presión y por lo tanto constituyen un fenómeno de sobrecalentamiento de vapor que va en contra del proceso de condensación corriente abajo. Por lo tanto, las caídas de presión constituyen un doble detrimento en términos de energía de compresión: uno con respecto a la caída de presión para lo cual es necesario compensar en términos de presión, el otro con respecto a los fenómenos de sobrecalentamiento, que hace una presión aumentada necesaria para permitir la condensación.

Por último, la complejidad de la implementación de todos los equipos auxiliares instalados externamente con respecto a la cámara principal (01) que tienen que operar bajo vacío parcial y que tienen que estar provistos de un aislamiento térmico eficaz a menudo hace que la ejecución sea imperfecta y sujeta a varias fugas de vacío y pérdidas de calor.

## Desarrollos recientes

Aunque las implementaciones actuales no han cambiado en los mercados industriales o públicos, ciertos desarrollos de laboratorio están cambiando de la siguiente manera:

- se observa una tendencia a reducir las longitudes de los circuitos de transporte de vapor,

- algunos están haciendo el perfil de los compresores más complejo con el fin de aumentar la eficiencia de los mismos,

- otros se apartan del contexto conocido y sugieren llevar a cabo la destilación a presiones más altas que la presión atmosférica (y por lo tanto a temperaturas superiores a 100 °C) con el fin de hacer que el vapor sea más consistente y de ese modo aumentar la eficacia de la compresión. Incluso si se aumenta la eficiencia de la compresión, esta última manera parece ser inadecuada para la desalinización de agua de mar debido a que en primer lugar da lugar a la necesidad de utilizar un pretratamiento complejo con el fin de gestionar el fenómeno de la precipitación y la deposición de incrustaciones, y en segundo lugar va en contra de la reducción de pérdidas de calor que se relacionan con la temperatura diferencial entre el proceso y su entorno.

## **Breve descripción de la invención**

El objetivo de la invención es, en particular, remediar estos inconvenientes de la técnica anterior. Más precisamente, la invención se refiere principalmente a la mejora sustancial en la eficiencia del compresor y la eliminación casi total de las caídas de presión en el sistema de transporte de vapor. En este contexto, las instalaciones previstas por la presente invención están sujetas a caídas de presión de menos de 500 Pa, y preferiblemente de menos de 100 Pa.

5 Con este fin, un primer objeto de la invención proporciona una instalación de destilación térmica con compresión mecánica de vapor, que comprende:

10 - una cámara hermética (01) que comprende una entrada para recibir agua de alimentación, una salida para descargar el destilado, una salida para descargar el concentrado y una salida para descargar los gases no condensables;

15 - un evaporador/condensador (11) que comprende una zona de evaporación (02) y una zona de condensación (05) en el interior de dicha cámara hermética (01);

- un compresor (04) conectado a un motor, el compresor es capaz de aumentar la presión del vapor producido en la zona de evaporación (02) y transportarlo a la zona de condensación (05);

20 - la cámara hermética (01) está bajo vacío parcial, la presión en el interior de dicha cámara es menor que la presión atmosférica;

dicha instalación es de tal manera que el compresor (04) y su motor [MOT] están situados en el interior de dicha cámara hermética (01), dicho motor comprende un estator y un rotor, dicho estator y dicho rotor están situados totalmente en el interior de la cámara hermética (01) .

25 De conformidad con una realización ventajosa de la invención, el compresor (04) es un compresor capaz de alcanzar una velocidad de rotación mayor de 7500 rev/min o 15000 rev/min, preferiblemente es capaz de alcanzar una velocidad de rotación por encima de 25000 rev/min.

30 De conformidad con otra realización ventajosa, el compresor (04) es del tipo de flujo axial y el motor del compresor se localiza en el flujo de vapor, que fluye desde las zonas de evaporación (02) hasta las zonas de condensación (05).

35 De conformidad con otra realización preferida, el compresor (04) comprende álabes que son capaces de alcanzar una velocidad periférica por encima de 100 m/s, más preferiblemente por encima de 150 m/s, incluso más preferiblemente por encima de 200 m/s.

40 De conformidad con otra realización preferida, la presión en el interior de la cámara hermética (01) es de menos de 75 kPa (0,75 bar) (a), es preferiblemente de menos de 25 kPa (0,25 bar) (a).

45 De conformidad con otra realización ventajosa, dicha instalación de la invención comprende un compresor de flujo axial y un tubo (13), preferiblemente un tubo del tipo Venturi, dicho tubo (13) comprende una primera parte y una segunda parte, el área de la sección transversal de la segunda parte es mayor que el área de la sección transversal de la primera parte, el compresor (04) está colocado en el interior de dicha primera parte y dicha segunda parte está conectada a las zonas de condensación (05) del evaporador/condensador (11) o dicha segunda parte comprende el colector (29) o está conectada al colector (29) del evaporador/condensador (11) para la admisión del vapor en la zona de condensación. Preferiblemente, dicho tubo (13) comprende un material conductor de calor. Más preferiblemente, el material conductor de calor de dicho tubo (13) es el mismo material que el utilizado para la fabricación del evaporador/condensador.

50 De conformidad con otra realización preferida, dicha instalación de la invención comprende por lo menos un módulo de destilación integrado (14), dicho módulo de destilación integrado (14) comprende un evaporador/condensador, un compresor (04) y un tubo, preferiblemente un tubo del tipo Venturi (13), dicho tubo (13) comprende una primera parte y una segunda parte, el área de la sección transversal de la segunda parte es mayor que el área de la sección transversal de la primera parte, el compresor (04) está colocado en el interior de dicha primera parte y dicha segunda parte está conectada a la zona de condensación (05) del evaporador/condensador (11) o dicha segunda parte comprende el colector (29) o está conectada al colector (29) del evaporador/condensador (11) para la admisión del vapor en la zona de condensación.

60 De conformidad con otra realización preferida, dicha instalación de la invención comprende una bomba de suministro de agua de alimentación (15), una bomba de extracción de destilado (16), una bomba de extracción de concentrado (17), una bomba de vacío (19) para la extracción de gases no condensables, por lo menos una de dichas bombas y su motor están situados completamente en el interior de la cámara hermética.

65 Preferiblemente, dicha instalación de la invención comprende una bomba de recirculación de concentrado (18) para transportar el concentrado en la zona de evaporación del evaporador/condensador. Ventajosamente, dicha bomba

de recirculación de concentrado y su motor están situados completamente en el interior de la cámara hermética (01).

Ventajosamente, la totalidad de dichas bombas de extracción de destilado y de concentrado, y de recirculación (16, 17, 18) y sus motores están situados completamente en el interior de la cámara hermética (01).

5 Preferiblemente, dicha instalación de la invención comprende:

- miembros de regulación (23, 27) para controlar el suministro de agua de alimentación, las velocidades de extracción de destilado y de extracción de concentrado; e/o

10 - intercambiadores de calor entre el flujo entrante de agua de alimentación y los flujos salientes del destilado, concentrado y gases no condensables.

15 De conformidad con otra realización preferida, el evaporador/condensador de dicha instalación de la invención comprende un colector (29) para la admisión de vapor en la zona de condensación, dicho colector (29) tiene una sección transversal total (29) y una sección transversal de admisión compuesta de la suma de las secciones transversales de entrada de las zonas de condensación (05), la relación entre la sección transversal de admisión en las zonas de condensación (05) y la sección transversal total (29) del colector es mayor de 70% u 80%, preferiblemente esta relación es mayor de 90% o 95%.

20 De conformidad con otra realización ventajosa de la invención, el compresor (04), el colector (29) y/u opcionalmente el tubo (preferiblemente un tubo de Venturi) (13) y el evaporador/condensador (11) están alineados, el colector (29) y el tubo son capaces de transportar el vapor al interior de la zona de condensación (05) del evaporador/condensador sobre un eje rectilíneo.

25 De conformidad con otra realización preferida, el área de la sección transversal de la zona de condensación (05) de dicha instalación de destilación de la invención disminuye en la dirección de flujo del vapor.

30 De conformidad con otra realización preferida, dicha instalación de la invención comprende un sistema de relleno térmico para mantener la temperatura en el interior de la cámara hermética a una temperatura constante. Preferiblemente, dicho sistema de relleno térmico comprende un elemento eléctrico o una bomba de calor.

35 De conformidad con una última realización particularmente preferida, la invención proporciona un módulo de destilación integrado (14) para una instalación de destilación térmica, caracterizado porque comprende un evaporador/condensador, un compresor (04) conectado a un motor y un tubo (13), dicho tubo (13) comprende una primera parte y una segunda parte, el área de la sección transversal de la segunda parte es mayor que el área de la sección transversal de la primera parte, el compresor (04) está colocado en el interior de dicha primera parte y dicha segunda parte está conectada a la zona de condensación (05) del evaporador/condensador.

40 Un segundo objeto de la invención proporciona una instalación para destilación térmica por compresión mecánica de vapor, que comprende (i) una cámara hermética (01) que comprende una entrada para recibir agua de alimentación, una salida para descargar el destilado, una salida para descargar el concentrado y una salida para descargar los gases no condensables; (ii) un evaporador/condensador (11) que comprende una zona de evaporación (02) y una zona de condensación (05) en el interior de dicha cámara hermética (01) y (iii) un compresor (04) conectado a un motor; el área de la sección transversal de dicha zona de condensación (05) disminuye, y preferiblemente disminuye continua y linealmente, en la dirección del flujo del vapor. Preferiblemente, la cámara hermética (01) está bajo vacío parcial, la presión en el interior de dicha cámara es menor que la presión atmosférica.

50 La reducción en las caídas de presión en el sistema de transporte de vapor también se puede lograr mediante un dimensionamiento inusualmente grande de las tuberías de vapor (06) y/o la configuración hidráulica (por ejemplo, el compresor).

55 Un último objeto de la invención proporciona una instalación para destilación térmica por compresión mecánica de vapor, que comprende (i) una cámara hermética (01) que comprende una entrada para recibir agua de alimentación, una salida para descargar el destilado, una salida para descargar el concentrado y una salida para descargar los gases no condensables; (ii) un evaporador/condensador (11) que comprende una zona de evaporación (02) y una zona de condensación (05) en el interior de dicha cámara hermética (01); (iii) un compresor (04) conectado a un motor, el compresor es capaz de aumentar la presión del vapor producido en la zona de evaporación (02) y transportarlo a la zona de condensación (05); dicho compresor (04) es del tipo de flujo axial con deflectores o desviadores, que tiene preferiblemente un diámetro o dimensiones mayores de 50 cm, preferiblemente mayores de 100 cm o incluso mayores de 200 cm. Preferiblemente, dicho motor está situado en el interior o el exterior de dicha cámara hermética. Preferiblemente, la cámara hermética (01) está bajo vacío parcial, la presión en el interior de dicha cámara es menor que la presión atmosférica.

65 **Breve descripción de las figuras**

Estos aspectos, así como otros aspectos de la invención se aclararán en la descripción detallada de las realizaciones particulares de la invención, haciendo referencia a los dibujos de las figuras, en los cuales:

5 La Figura 1 representa el diagrama típico de instalaciones de desalinización de la técnica anterior de acuerdo con el método de MVC.

La Figura 2 representa una realización de una instalación de destilación de conformidad con la presente invención en la cual todo el motor [MOT] del compresor (04) está situado en el interior del recinto global bajo vacío parcial.

10 La Figura 3 representa una realización de una instalación de destilación de conformidad con la presente invención en la cual todo el motor [MOT] del compresor (04) está sumergido en el interior de la cámara hermética (01), al mismo tiempo, omitiendo cualquier tubería de transporte de vapor. El compresor puede estar integrado en la estructura que soporta el evaporador/condensador.

15 La Figura 4 representa el diagrama típico de instalaciones de desalinización sobredimensionadas que utilizan el método de MVC que comprende tuberías de vapor grandes (06).

20 La Figura 5 representa una realización de una instalación de destilación sobredimensionada en la cual todo el motor [MOT] del compresor (04) está instalado en el recinto bajo vacío parcial (en el interior de la cámara hermética (01)) y en la cual las tuberías y el compresor tienen un dimensionamiento inusualmente grande.

25 La Figura 6 representa una realización de una instalación de destilación de conformidad con la presente invención en la cual todo el motor [MOT] del compresor (04) está sumergido en el interior de la cámara hermética (01), instalando el compresor (04) y su motor [MOT] a fin de que sean contiguos al evaporador/condensador (11) a la entrada a las zonas de condensación (05).

30 La Figura 7 representa una realización de una instalación de destilación de conformidad con la presente invención en la cual todo el motor [MOT] del compresor (04) está sumergido en el interior de la cámara hermética (01), instalando el compresor (04) y su motor [MOT] en una cámara de compresor (09) de forma contigua al evaporador/condensador (11) en la entrada a las zonas de condensación (05).

La Figura 8 muestra una cámara de compresor en la forma de un tubo de Venturi.

35 La Figura 9 representa un módulo de destilación integrado, que comprende un evaporador/condensador (11) y un compresor (4) y su motor; el compresor está situado en una cámara de compresor en la forma de un tubo de Venturi (13).

40 La Figura 10 representa una realización de una instalación de destilación de conformidad con la presente invención que comprende múltiples módulos de destilación integrados.

45 La Figura 11 representa una realización de una instalación de destilación de conformidad con la presente invención en la cual el equipo auxiliar está integrado en el interior del recinto global bajo vacío parcial, a saber, la bomba de recirculación y su motor (18), la bomba de suministro de agua de alimentación y su motor (15), la bomba de extracción de destilado y su motor (16), la bomba de extracción de concentrado y su motor (17), y la bomba para extracción de gases no condensables y puesta bajo vacío y su motor (19).

50 La Figura 12 representa dos medios de regulación de los caudales entrantes y salientes de conformidad con relaciones fijas. A la izquierda, las tres bombas que suministran y que extraen el destilado y el concentrado (20, 21, 22) son del tipo volumétrico y están acopladas a un mecanismo común accionado por un solo motor; de esta manera los caudales entrantes y salientes están de forma continua en la misma proporción sea cual sea la velocidad de rotación del motor común, dicha proporción define la tasa de conversión de la unidad de destilación. A la derecha, dichas tres bombas de suministro y de extracción de destilado y de concentrado (24, 25, 26) son de cualquier tipo y están subordinadas cada una a un miembro de variación de velocidad, dicho miembro se controla a fin de fijar los caudales entrantes y salientes de conformidad con la tasa de conversión requerida de la unidad de destilación.

55 La Figura 13 representa zonas de condensación de un evaporador/condensador de tal manera que la sección transversal de las zonas de condensación disminuye con la trayectoria del vapor.

60 La Figura 14 muestra una realización del evaporador/condensador que utiliza tubos cónicos, cuyos extremos de diámetro grande están colocados simplemente uno al lado del otro, que ofrece una relación entre la sección transversal de admisión en las zonas de condensación (05) y la sección transversal total (29) del colector mayor de 70%.

65 La Figura 15 muestra realizaciones alternativas del evaporador/condensador que comprende tubos con una sección transversal inicial hexagonal, triangular o cuadrada, que ofrece relaciones entre la sección transversal de admisión en las zonas de condensación (05) y la sección transversal total (29) del colector mayor de 95%.

La Figura 16 muestra una realización alternativa del colector (30) del evaporador/condensador y del evaporador/condensador que utiliza un colector provisto de salidas contiguas y en ángulo/perfiladas que generan muy poca caída de presión, lo que hace que sea posible suministrar un evaporador/condensador diseñado por medio de tubos cilíndricos simples.

Lista de referencias presentes en las figuras

(1) una cámara hermética; (2) una zona de evaporación (del evaporador/condensador); (3) un sistema de transporte de vapor o una tubería de vapor; (4) un compresor (conectado a un motor [MOT]); (5) una zona de condensación (del evaporador/condensador); (6) una tubería de tamaño grande; (7) la entrada de zonas de condensación; (8) una cámara que suministra al evaporador/condensador; (9) una cámara de compresor; (11) un evaporador/condensador; (12) una boquilla de pulverización; (13) un tubo de Venturi o una cámara de compresor en la forma de un tubo de Venturi; (14) un módulo de destilación integrado; (15) una bomba que suministra agua de alimentación; (16) una bomba que extrae destilado; (17) una bomba que extrae concentrado; (18) una bomba que recircula concentrado; (19) una bomba de vacío que extrae gases no condensables; (20) (21) (22) bombas que suministran agua de alimentación y que extraen concentrado y destilado sin sus motores; (23) un medio de accionamiento y motor común para las tres bombas de suministro y extracción que determinan una relación fija entre dichas bombas; (24) (25) (26) bombas que suministran agua de alimentación y que extraen concentrado y destilado; (27) un miembro de regulación (por ejemplo, para controlar la velocidad de los flujos entrantes o salientes); (28) la sección transversal de la entrada de zona de condensación del evaporador/condensador; (29) un colector para la admisión de vapor en la zona de condensación; (30) un colector perfilado para la admisión de vapor en la zona de condensación que hace que sea posible diseñar el evaporador/condensador por medio de tubos cilíndricos simples.

Las figuras no están dibujadas a escala. En general, los elementos similares se indican mediante referencias similares en las figuras.

**Descripción de la invención**

La presente invención se refiere a las instalaciones que funcionan de conformidad con el principio de destilación térmica que utiliza compresión mecánica de vapor. La invención se refiere principalmente a la mejora sustancial de la eficiencia del compresor y a la eliminación casi total de caídas de presión en el sistema de transporte de vapor.

En por lo menos una de sus realizaciones (por ejemplo, la Figura 7), la invención se implementa utilizando un compresor (04) que gira a velocidades de rotación suficientemente altas para ser compatible con la muy baja densidad y la gran elasticidad del vapor mantenido a (por ejemplo) menos de 10 kPa a 50 kPa (0,1 a 0,5 bar) (a) y para mantener de ese modo una eficiencia de compresión ventajosa.

Esta implementación se hace posible, en unidades de todos los tamaños, en virtud de la idea inventiva del inventor de sumergir todo el motor [MOT] (tal como por ejemplo se ilustra en la [Figura 7]) del compresor en el interior de la cámara hermética, o incluso directamente en la corriente de vapor. Preferiblemente, dicho motor es un motor eléctrico compatible con una atmósfera a una humedad relativa del 100%, por ejemplo un motor eléctrico comercialmente disponible en una versión tropicalizada y/o provisto de un orificio que permite salir cualquier condensación desde el estator, y/o cuyas conexiones eléctricas se implementan mediante soldadura sellada por medio de un forro de resina de contracción por calor o mediante extensión de los conductores del estator tan lejos como un alojamiento descentrado, y/o cuyos devanados son sustituidos por cojinetes impermeables al agua. El compresor y su motor, especialmente en el caso de un compresor y su motor de tamaño reducido, pueden de esta manera girar a velocidades de rotación de alrededor de varios miles o decenas o incluso cientos de miles de revoluciones/minuto (rev/min) en virtud de la ausencia de una empaquetadura de sellado al vacío sobre el eje de motor/compresor.

Esta implementación es aún más ventajosa ya que el tamaño de los motores eléctricos disminuye, a igual potencia, con su velocidad de rotación nominal, y esto sustancialmente cuando se alcanzan altas velocidades. El problema de la necesidad de espacio para el motor en una configuración de turbina de alta eficiencia del tipo de flujo axial con deflectores (en inglés, "VANEAXIAL FAN") por lo tanto se vuelve mucho menos restrictivo.

Es, en virtud de esta invención, ahora posible colocar un compresor en cualquier punto ideal en la trayectoria de vapor o en el flujo de vapor desde las zonas de evaporación hasta las zonas de condensación mientras que se reduce la complejidad y la longitud de este circuito en la mayor medida posible.

Ahora también es posible utilizar turbinas razonablemente pequeñas (es decir, preferiblemente con dimensiones de menos de 30 cm o 50 cm), que giran a una velocidad muy alta, provistas de álabes delgados, fáciles de equilibrar y de bajo coste de producir mediante métodos de moldeo/inyección.

Es importante señalar que uno de los campos de la invención se refiere a la producción de plantas de agua potable mediante la desalinización de agua de mar, principalmente plantas grandes con una capacidad de producción diaria

de 10 a 1000 mld (millones de litros por día), o incluso más.

En este campo, las inversiones son altas y se basan necesariamente en las buenas credenciales de las plantas existentes. De esta manera, es usual para las plantas de conformidad con los métodos novedosos que primero que nada sean construidas con tamaños pequeños, y a continuación aumenten de tamaño junto con buenas credenciales y a través de los años. Es prácticamente imposible financiar una planta grande o una gran planta de desalinización por MVC sin plantas o unidades pequeñas que han demostrado su capacidad de producir y sus buenas credenciales, lo cual gradualmente lleva años.

Uno de los objetos de la invención consiste en introducir, de manera general en este contexto, el compresor del tipo de flujo axial (con deflectores; en inglés, "Vane Axial Fan" o "Blower" o "Compressor") en el campo de la desalinización por MVC, lo cual necesariamente implica el uso de unidades pequeñas que involucran turbinas pequeñas que giran a gran velocidad. Este procedimiento se hace posible en virtud de la idea inventiva de introducir el motor del compresor (MOT) en el interior de la cámara hermética (01). El principio general de un primer objeto de la invención se basa en el posicionamiento del compresor (04) y su motor [MOT] en una instalación para destilación térmica por MVC. Por lo tanto, un primer objeto de la invención proporciona una instalación para destilación térmica por MVC que comprende una cámara hermética (01) bajo vacío parcial, un evaporador/compresor (11) que comprende una zona de evaporación (02) y una zona de condensación (05) en el interior de dicha cámara hermética (01), y un compresor conectado a un motor, el compresor es capaz de aumentar la presión del vapor producido en la zona de evaporación y transportarlo a la zona de condensación, en la cual dicho compresor (04) y su motor están situados en el interior de la cámara hermética (01), dicho motor comprende un estator y un rotor, dicho estator y dicho rotor están situados totalmente en el interior de la cámara hermética.

Esta disposición, representada esquemáticamente en, por ejemplo, las Figuras 2, 3, 6, 7, 10 y 11, logra diversas ventajas:

- hace que sea posible lograr un montaje del motor en acoplamiento directo con la turbina del compresor;
- hace que sea posible ya no requerir el uso de una empaquetadura o junta previamente necesaria para el sellado al vacío de la instalación,
- hace que sea posible poder colocar juiciosamente el compresor/motor de una sola pieza más o menos en cualquier lugar en la trayectoria del vapor entre las zonas de evaporación y las zonas de condensación; esto hace que sea posible simplificar considerablemente el circuito de transporte de vapor y reducir las caídas de presión a un valor de casi cero (por ejemplo, en las Figuras 6, 7, 10, 11),
- hace que sea posible efectuar una recuperación directa de la energía térmica disipada por el motor eléctrico del compresor en la cámara hermética, por ejemplo por medio de un circuito de enfriamiento simple en la recirculación de agua o en el suministro de agua de alimentación que tiene lugar sin ninguna restricción de presión diferencial (aquí la presión diferencial existente entre el interior de la cámara hermética (01) y la presión atmosférica en el exterior de la unidad),
- simplifica el recinto externo de la cámara hermética y hace que sea más fácil aislarlo térmicamente.

Esta disposición se hace factible a nivel técnico simplemente utilizando un barniz aislante sobre todas las bobinas del rotor y del estator. También es posible fundir los devanados en bloques trabajados de resina, proporcionando la protección requerida en esta atmósfera de vapor saturado.

De conformidad con una realización preferente, el compresor es un compresor con una velocidad de rotación mayor de 7500 rev/min, preferiblemente mayor de 12000 rev/min o incluso mayor de 15000 rev/min, 20000 rev/min o 25000 rev/min. Esta característica se hace posible en virtud de la característica anterior, puesto que ya no es necesaria una junta sobre el eje de motor/compresor.

Preferiblemente, el compresor y su motor son un compresor y un motor pequeños. El término "compresor/motor pequeños" significa un compresor que tiene un diámetro o dimensiones de menos de 50 cm, 30 cm o incluso menos de 20 cm o 15 cm, el motor tiene un diámetro menor que el de la turbina de compresor, a saber, respectivamente, menos de 40 cm, 20 cm, 15 cm o 10 cm. Dicho compresor pequeño es capaz de lograr u operar a velocidades de rotación por encima de 10000 rev/min, 15000 rev/min o incluso 25000 rev/min, o, expresado alternativamente, es capaz de lograr u operar a velocidades de rotación de entre 10000 rev/min y 200000 rev/min, preferiblemente entre 25000 rev/min y 200000 rev/min. Estas altas velocidades de rotación de este compresor pequeño hacen que sea posible obtener altas velocidades periféricas por encima de 50 m/s, preferiblemente por encima de 75 m/s, más preferiblemente por encima de 100 m/s, tal como, por ejemplo  $\leq 150$  m/s o  $\leq 200$  m/s. La velocidad periférica se define como la velocidad lineal de los extremos de los álabes, es decir, la velocidad de rotación multiplicada por la longitud del radio del compresor o de los álabes del compresor. Adicionalmente, esta alta velocidad periférica hace que sea posible obtener una alta eficiencia de compresión (es decir, una eficiencia de  $> 75\%$ , o incluso  $> 80\%$ , o  $> 85\%$ ) bajo las condiciones de vacío parcial (en las cuales el vapor tiene una muy baja densidad y alta elasticidad).

Igualmente, el tamaño ventajosamente pequeño de los motores de muy alta velocidad (a modo de ejemplo de hasta 0,04 m de diámetro con un motor de 4 kW), cuyo diámetro puede ser similar a aquel del cubo de compresor (por ejemplo, una turbina axial), hace que sea posible no causar ninguna obstrucción adicional para el paso del vapor, o solamente un poco. Adicionalmente, en el caso de un compresor y su motor pequeño hace que sea posible reducir los costes de fabricación.

Una persona experta en la técnica sabe cómo calcular las velocidades de rotación con el fin de generar el caudal de vapor necesario (variable de acuerdo con la temperatura del baño de la instalación).

Esta disposición hace que sea posible mantener rendimientos de los compresores de alta eficiencia en un entorno de vapor con una presión muy baja. Esto se debe a que el vapor con una baja presión de 10 kPa a 50 kPa (0,1 a 0,5 bar) (a), preferiblemente de 10 kPa a 20 kPa (0,1 a 0,2 bar) (a), tiene una densidad proporcionalmente menor que la del aire y una elasticidad aumentada. Si se desea utilizar un compresor de alta eficiencia tal como un compresor de flujo axial con deflectores y obtener una eficiencia de aproximadamente 85% (en la parte de compresión de fluido simple), este estado con una muy baja densidad y una alta elasticidad del fluido que será comprimido hace que sea necesario, entre otras cosas, que la tasa de repetición de los golpes de los álabes del compresor en un espacio definido sea aumentada. Este aumento en la repetición de los golpes de los álabes se obtiene mediante el uso de tanto un número aumentado de álabes como velocidad de rotación aumentada.

En ausencia de esta capacidad de alta velocidad de rotación, particularmente válida en el caso de compresores y motores pequeños, solamente los compresores de efecto centrífugo siguen siendo utilizables, teniendo en cuenta altas velocidades periféricas de más de 50 m/s (y, por tanto, compresores centrífugos grandes, que tienen un diámetro mayor de 50 cm o 1 m), puesto que por la construcción la corriente de vapor que entra al compresor no tiene otra opción más que salir de los álabes de la turbina bajo el efecto de la fuerza centrífuga; no obstante lo anterior, no solamente estos compresores tienen menor eficiencia (en la parte de compresión de fluido simple) sino que además no se integran bien en la trayectoria del vapor si se desea, como es el caso en el campo de la destilación por MVC, para reducir en la mayor medida posible las caídas de presión hidráulicas relacionadas con el transporte del vapor.

El método puede funcionar con una ligera caída en el rendimiento por medio de otros tipos de turbina, a condición de que se hagan funcionar a una alta velocidad de rotación. Una turbina giratoria de flujo radial simple, por ejemplo, hace que sea posible alcanzar eficiencias de hasta aproximadamente 75% (en la parte de compresión simple). Otros tipos de turbina tales como ruedas centrífugas con álabes perfilados o inclinados (en inglés, "Backward Curved or Backward Inclined Fan or Blower or Compressor") tienen rendimientos ventajosos pero son menos adecuados para la configuración en línea de la realización preferida de la invención.

De conformidad con una realización preferida de la invención, el compresor es del tipo de flujo axial con deflectores o desviadores, y el motor del compresor está situado directamente en la corriente de vapor, dicha corriente de vapor fluye desde las zonas de evaporación (02) hasta las zonas de condensación (05). Puesto que el tamaño y el diámetro de los motores eléctricos disminuyen a una potencia nominal igual dependiendo de la velocidad de rotación nominal, la ventaja de considerar motores de alta velocidad hace que sea posible alojar el motor en un espacio cilíndrico adyacente a la turbina, y con un diámetro equivalente a o menor que su cubo. Esto hace que sea posible diseñar fácilmente, para las turbinas pequeñas, un armazón de deflexión central perfilado que se integra al motor, que no interfiere con la corriente de vapor que pasa a través de la turbina y sus partes corriente arriba y corriente abajo.

Preferiblemente, la presión en el interior de la cámara hermética (01) es de menos de 75 kPa (0,75 bar) (a), preferiblemente de menos de 50 kPa (0,5 bar) (a) o incluso menos de 25 kPa (0,25 bar) (a). La destilación del agua mineralizada, en particular de agua de mar, puede tener lugar en principio a todas las presiones, a condición de que la temperatura del método corresponda con el punto de ebullición del fluido a la presión dada. Con la excepción de la varianza ebulloscópica generada por la salinidad del agua de mar, la relación entre el punto de ebullición y la presión se rige por el diagrama de Mollier.

No obstante lo anterior, dependiendo de los intervalos de temperatura elegidos, surgen diversas restricciones; una restricción importante en el contexto de la desalinización del agua de mar es la gestión de los precipitados y el enrasado del equipo interno, especialmente del intercambiador. Teniendo en cuenta la temperatura de umbral crítica de 60 a 65 °C por debajo de la cual la formación de los precipitados, principalmente los carbonatos, es muy reducida, los métodos y las instalaciones de conformidad con las diversas realizaciones de la presente invención funcionan preferiblemente con temperaturas y presiones, respectivamente, por debajo de 70 °C y 31 kPa (0,31 bar) (a), más preferiblemente por debajo de 60 °C y 20 kPa (0,2 bar) (a). Además, es en estos intervalos de baja presión que el tipo de compresor inventado exhibirá sus mejores rendimientos.

De conformidad con una realización preferida de la invención, el compresor, preferiblemente un compresor de flujo axial, está alojado en un tubo, preferiblemente un tubo de Venturi (13) (Figura 8), dicho tubo comprende una primera parte y una segunda parte, el área de la sección transversal de la segunda parte es mayor que el área de la sección

transversal de la primera parte, el compresor (04) se coloca en el interior de dicha primera parte y dicha segunda parte está conectada a las zonas de condensación del evaporador/condensador o al colector o a dicha segunda parte que en sí forma una parte del colector. Preferiblemente, el diámetro de dicho tubo cambia (aumenta) gradualmente con la trayectoria del vapor, de acuerdo con una geometría similar a un tubo de Venturi que permite un flujo laminar de vapor, hasta que alcanza un diámetro que es hidráulicamente compatible con el colector (29) o con la sección de entrada de las zonas de condensación del evaporador/condensador. En el caso del compresor de flujo axial, el tubo de Venturi, que tiene un diámetro más pequeño en una parte de dicho tubo (por ejemplo, en su parte media), logra varias ventajas:

5 - el fluido que será comprimido experimenta un aumento de velocidad que es necesario para el suministro de la turbina, con el fin de aumentar la eficiencia de la misma,

10 - en virtud del incremento en la velocidad del fluido en la turbina, hay una reducción en la presión de acuerdo con el teorema de Bernouilli (el efecto Venturi) que participa en la reducción o incluso la eliminación de la formación de precipitados en los álabes de la turbina, precipitados causados por la condensación generada en los álabes en los puntos de alta presión (cabe señalar que el vapor se satura en la entrada al tubo). El uso de un tubo de este tipo (del tipo de Bernouilli/Venturi) acelera el fluido mientras que disminuye su presión, sin ninguna pérdida de energía entre la entrada al tubo y su salida, en las pérdidas de presiones cercanas. Dichas caídas de presión pueden ser muy pequeñas efectuando un diseño particular para cada configuración de caudales y presiones, y mediante el uso de deflectores en la entrada que impiden la formación de vórtices.

15 De conformidad con otra realización preferida, la cámara de compresor (09), en particular en la forma de un tubo, preferiblemente en la forma de un tubo de Venturi (13), se compone de un material conductor de calor, que es preferiblemente el mismo material que aquel utilizado para la fabricación del evaporador/condensador. Esta opción contribuye al enfriamiento de la parte del tubo directamente en la proximidad de la turbina, que experimenta un aumento en la temperatura relacionada con las altas turbulencias presentes en este punto. Por tanto, esta opción hace que sea posible contribuir, sin embargo ligeramente, a una etapa de compresión que presenta el menor aumento de temperatura posible, sabiendo que cualquier aumento en la temperatura tiene como resultado un sobrecalentamiento del vapor que inhibe el fenómeno de condensación perseguido.

20 De conformidad con otra realización, la presente invención proporciona una instalación para destilación térmica con compresión mecánica de vapor que comprende por lo menos un módulo de destilación integrado (IDM, del inglés "Integrated Distillation Module") [Figura 9], dicho módulo de destilación integrado (14) comprende un evaporador/condensador (11), un compresor (04) y una cámara de compresor (09), preferiblemente en la forma de un tubo de Bernouilli/Venturi (tal como se describió anteriormente) (13). Esta realización de la invención se puede implementar mediante la instalación de o bien solamente uno o una pluralidad de IDM en el recinto hermético [Figura 10]. Mediante la instalación de una pluralidad de IDM en el mismo recinto hermético, todos los servicios auxiliares [agua de alimentación, NCG\_VAC, destilado, concentrado] pueden ser comunes y el resultado es, según las circunstancias, una economía de escala. Esta manera modular de diseñar una DWP hace que sea posible construir plantas con una capacidad muy alta mientras que al mismo tiempo se utilizan numerosos IDM pequeños construidos en serie (por ejemplo, fabricados mediante moldeo e inyección) de una manera menos costosa. A modo de ejemplo, el coste de fabricación marginal de 25 montajes que consisten en una turbina moldeada/inyectada y un tubo prensado, cada uno con una capacidad de 1 m<sup>3</sup>/h de acuerdo con el método descrito en este documento no debería ser superior a unas cuantas centésimas del precio de coste de la parte mecánica de un compresor actual incluido en una unidad de MVC con una capacidad de 25 m<sup>3</sup>/h como se venderían hoy en día.

25 De conformidad con otra realización preferida [Figura 11], dicha instalación de destilación térmica con compresión mecánica de vapor comprende una bomba de suministro de agua de alimentación (15), una bomba de extracción de destilado (16), una bomba de extracción de concentrado (17), y una bomba de vacío para extraer gases no condensables (19), en la cual por lo menos una de dichas bombas y su motor están situados completamente en el interior del recinto hermético. De conformidad con una variante preferida de esta realización, las bombas de extracción de destilado, de extracción de concentrado y de recirculación, así como sus motores, están situadas completamente en el interior del recinto hermético. Esta disposición tiene varias ventajas importantes:

30 - hace que sea posible simplificar la construcción de dichas bombas, puesto que, de la misma manera que se describió anteriormente para el compresor, dichas bombas, una vez sumergidas en la cámara hermética, ya no requieren sellado o una junta resistente al vacío sobre el eje de motor/bomba;

35 - hace que sea posible simplificar la forma y la implementación del aislamiento de calor de la cámara hermética, puesto que ya no es necesario continuar el aislamiento térmico de las tuberías de alimentación y de extracción más allá de las bombas que están instaladas típicamente en el exterior del bloque principal del recinto hermético;

40 - hace que sea posible efectuar una recuperación directa de la energía térmica disipada por las bombas y sus motores a favor de mantener la temperatura del baño de agua que será evaporado.

45 De conformidad con otra realización preferida, dicha instalación de destilación térmica que utiliza compresión

mecánica de vapor comprende una bomba para recircular el concentrado [Figura 11] (18) para transportar/recircular el concentrado a la zona de evaporación del evaporador/condensador. Esta disposición, que es bien conocida para aumentar la tasa de conversión de instalaciones de destilación, se hace fácil de implementar en recintos bajo vacío parcial en virtud de la idea de colocar la totalidad de la bomba de recirculación (es decir, completa con su motor) en el interior de la cámara hermética. De la misma manera que para el compresor y las otras bombas instaladas en el recinto hermético, esta disposición tiene las mismas ventajas:

- hace que sea posible simplificar la construcción de dichas bombas, puesto que, de la misma manera que se describió anteriormente para el compresor, dichas bombas, una vez sumergidas en la cámara hermética, ya no requieren sellado o una junta resistente al vacío sobre el eje de motor/bomba; además de que toda la parte corriente abajo, bajo vacío, de las bombas de extracción y de recirculación que da lugar a diversos problemas de cavitación conocidos es muy reducida;

- hace que sea posible simplificar la forma y la implementación del aislamiento de calor de la cámara hermética, puesto que ya no es necesario continuar el aislamiento térmico de las tuberías de alimentación y de extracción más allá de las bombas que están instaladas típicamente en el exterior del bloque principal del recinto hermético;

- hace que sea posible efectuar una recuperación directa de la energía térmica disipada por las bombas y sus motores en favor de mantener la temperatura del baño de agua que será evaporado.

La recirculación del concentrado hace que sea posible separar el sistema de pulverización (12) del sistema de suministro de agua de alimentación, con las ventajas de permitir la pulverización a una velocidad diferente o mayor que lo que normalmente es impuesta por la tasa de conversión del efecto, y ser capaz de aumentar la tasa de conversión del efecto hasta valores de 50% o incluso superiores.

Preferiblemente, dicha instalación de destilación térmica con compresión mecánica de vapor comprende intercambiadores de calor entre el flujo de agua de alimentación entrante y los flujos salientes de destilado, concentrado y gases no condensables, así como miembros de regulación (23, 27) para controlar los caudales de suministro de agua de alimentación, extracción de destilado y extracción de concentrado. Puesto que la temperatura del método está definida, preferiblemente por debajo de 70 °C o 60 °C, más preferiblemente entre 40 y 60 °C, es conveniente asegurarse de que el calor y la energía contenidos en el recinto hermético no se descargan continuamente al exterior y de esta manera se pierden a medida que el baño que será destilado se renueva con agua de alimentación y el destilado, el concentrado y otros gases no condensables se extraen. Cada pérdida de calor se debe compensar mediante un suministro adicional de energía, ya sea mediante un medio de calentamiento, o un exceso de funcionamiento del compresor. Con el fin de evitar tales pérdidas de calor, es conveniente instalar un intercambiador multiflujo que, en una dirección, calienta el agua de alimentación entrante y, en la otra, recupera la energía térmica de los flujos salientes.

Con el fin de asegurar el funcionamiento óptimo de este intercambiador de calor multiflujo, es esencial que las cantidades de calor intercambiado por unidad de tiempo sean equivalentes, de lo contrario aparecen diferencias de temperatura en las descargas del intercambiador vis-à-vis la temperatura del medio de recepción. Puesto que las temperaturas del método son constantes y las temperaturas externas tienen una baja variabilidad, es necesario que los caudales de los fluidos intercambiados sean estables. En este contexto, una realización muy simple comprende la colocación de los medidores de flujo en cada una de las líneas entrantes y salientes, y subordinar las velocidades de las respectivas bombas de alimentación y de extracción a un valor de caudal fijo.

Sin embargo, una de las tres regulaciones de caudal tendrá que ser adaptable al control del nivel, ya sea del baño de agua que será destilado o del depósito de destilado en función de si el compresor está funcionando a una velocidad fija o regulada, con el fin de compensar a largo plazo las diferencias en la producción que resultarán de las diversas imprecisiones de los caudales y las temperaturas de los fluidos de que se trate.

Otra realización de esta característica es considerar una bomba de extracción de destilado subordinada al nivel de destilado que será extraído, y a continuación subordinar las bombas de suministro de agua de alimentación y de extracción de condensado a la tasa de extracción del destilado de acuerdo con una relación fija que determina la tasa de conversión. Al hacer esto los caudales de los flujos entrantes y salientes se equilibran de forma continua y los intercambiadores de calor entre estos flujos se optimizan. Una realización de esta característica indicada para unidades pequeñas es considerar el uso de bombas volumétricas acopladas entre sí de acuerdo con una relación fija [Figura 12, a la izquierda] que determina la tasa de conversión de la unidad, el montaje es subordinado al nivel de extracción de destilado. Una opción preferente es entonces utilizar la presión absoluta encontrada en el orificio de entrada de la bomba de suministro de agua de alimentación en la forma de energía mecánica con el fin de mover todas las tres bombas (20, 21, 22) a través del mecanismo de accionamiento común (23). Para las unidades más grandes, una realización es considerar bombas centrífugas, provistas cada una de un medidor de flujo y subordinadas a variadores de frecuencia de acuerdo con una regulación que impone dicha relación fija que determina la tasa de conversión de la unidad.

De conformidad con otra realización preferida, dicho evaporador/condensador de dicha instalación de destilación

térmica que utiliza compresión mecánica de vapor comprende un colector (29) para la admisión de vapor en la zona de condensación, dicho colector (29) tiene una sección transversal total (28) y una sección transversal de admisión compuesta por la suma de las secciones transversales de entrada de las zonas de condensación (5), la relación entre la sección transversal de admisión total en las zonas de condensación (05) y la sección transversal total (28) del colector (29) es mayor de 70% u 80%, y de conformidad con una realización preferida mayor de 90% o 95%, lo que reduce considerablemente las caídas de presión del vapor que entra en las zonas de condensación. Esto se debe a que, en una realización del método de MVC tal como se describe en este documento, donde uno de los objetivos principales es reducir el consumo de energía (eléctrica) de la instalación, incluyendo la gran reducción en las caídas de presión, de hecho es necesario tener en cuenta que cada caída de presión hidráulica generada en el vapor se convierte en energía térmica, a saber, confiere un aumento de temperatura en el fluido y/o en el obstáculo que causa dicha caída de presión hidráulica. Este aumento de temperatura, tal como ya se mencionó anteriormente, aplicado al vapor a una presión dada, transformará el vapor en vapor sobrecalentado. Puesto que el vapor sobrecalentado no se condensa bien, este fenómeno, en un nivel de energía, va en contra del método de MVC; esto ofrece, de hecho, una doble sanción:

- requiere más presión con el fin de compensar las caídas de presión, lo cual es lamentable a la luz de los rendimientos limitados de los compresores de vapor, más aún en el campo de vapor a presión reducida,

- también requiere un aumento en la presión de trabajo o de condensación con el fin de iniciar el fenómeno de condensación.

Por esta razón, un objetivo principal es eliminar en la medida de lo posible las caídas de presión a través de toda la trayectoria del vapor. Una manera preferente de implementar este principio es diseñar un intercambiador de modo que su abertura al vapor sea máxima, o, expresado alternativamente, de modo que la sección transversal de admisión del vapor en las zonas de condensación sea de por lo menos 70% u 80%, preferiblemente de por lo menos 90% o 95% de la sección transversal total del colector (29) (28). Esto se puede manifestar de varias maneras, incluyendo las siguientes realizaciones preferidas:

- un montaje de tubos redondos (Figura 14), preferiblemente con una sección transversal decreciente [Figura 13], cuyas partes que aceptan el vapor son contiguas con el fin de lograr una relación de abertura grande (07) mientras que se trabaja con tubos con una sección transversal cilíndrica;

- un montaje de tubos que se pueden instalar de forma conjunta (sección transversal hexagonal, cuadrada o triangular) (Figura 15), preferiblemente con una sección transversal decreciente [Figura 13], cuyas partes que aceptan el vapor son contiguas con el fin de lograr una relación de abertura máxima (07); sin embargo, esta materialización es más costosa debido a la forma más compleja del tubo;

- un montaje de tubos redondos convencionales con una sección transversal constante [Figura 16] precedida por un colector perfilado (30) que distribuye la sección transversal de salida del tubo (13) del compresor en un cierto número de salidas perfiladas con aberturas contiguas y refinadas que desembocan en curvas suaves que generan pocas caídas de presión;

- un montaje de placas en una concertina que tiene una abertura casi total y una sección transversal similar a la Figura 13.

De conformidad con otra realización preferida, dicho compresor (04), dicho colector (29) y, opcionalmente, dicha cámara de compresor (9) o dicho tubo (13) y dicho evaporador/condensador de dicha instalación de destilación térmica que utiliza compresión mecánica de vapor están alineados, dicho colector (29) y dicha cámara de compresor o tubo (13) son capaces de transportar el vapor al interior de la zona de condensación (05) del evaporador/condensador a lo largo de un eje rectilíneo. Esta disposición, tal como la disposición anterior relativa a la relación de abertura del intercambiador, es importante con el propósito de reducir las caídas de presión que tienen un doble efecto perjudicial (tal como ya se explicó y evidenció anteriormente).

De conformidad con otra realización preferida, dicha instalación de destilación térmica que utiliza compresión mecánica de vapor comprende adicionalmente un sistema de relleno térmico para mantener la temperatura en el interior de la cámara hermética a una temperatura constante, de conformidad con una realización preferida por medio de un elemento eléctrico o por medio de una bomba de calor. De hecho, es necesario evitar que la compensación de las pérdidas de calor a través del aislamiento térmico del recinto y/o a través del intercambiador multiflujo tenga lugar por medio de un aumento en la potencia del compresor; la eficiencia del compresor es, de hecho, menor que la de un elemento de calentamiento simple, y mucho menor que la eficiencia de una bomba de calor, más aún cuando trabaja con un delta de temperatura tan bajo. El mantenimiento de la temperatura del baño es importante; una temperatura demasiado baja reducirá la capacidad de transferencia de energía a través del material del intercambiador, mientras que una temperatura demasiado alta generará un exceso de vapor que no será capaz de participar en el intercambio de energía a través del intercambiador y será descargado a través de la puesta bajo vacío (o la extracción desde el NCG\_VAC). En ambos casos hay una pérdida de eficiencia del destilador, el peor caso es una temperatura demasiado baja.

Las realizaciones preferidas son:

- 5 - para las unidades pequeñas, un elemento eléctrico simple colocado en el baño o en el circuito de recirculación de concentrado, o en las entradas de agua de alimentación,
- 10 - en el caso de una instalación que comprende un gran número de IDM, un circuito común auxiliar para el fluido de transferencia de calor calentado mediante una bomba de calor centralizada; un sistema de bomba de calor tiene una eficiencia relativa que puede variar hasta 600% de la del elemento eléctrico simple, a saber, hasta 750% del sistema de compresión de vapor.
- La Figura 13 representa tanto (un evaporador/condensador que tiene) una sección de intercambiador del tipo de placa como una sección de intercambiador con tubos con sección transversal decreciente.
- 15 En cuanto a la sección transversal decreciente de las zonas de condensación a lo largo de la trayectoria del vapor en la zona de condensación, la ventaja de esta realización del evaporador/condensador es triple:
- 20 - permite la pulverización mediante las boquillas de pulverización (12) de la cara/zona del intercambiador responsable de la evaporación (02), lo que ya no sería posible si los tubos fueran contiguos en toda su longitud;
- 25 - promueve el contacto del vapor que será condensado en las partes avanzadas de la trayectoria del vapor; esto se debe a que, a medida que el vapor avanza y se condensa en un intercambiador, la cantidad de vapor restante disminuye y, si la sección transversal del tubo o del volumen de condensación se mantiene constante, la concentración de vapor disminuye junto con el avance en el intercambiador, y de la misma manera la eficiencia de condensación disminuye;
- reduce las superficies de intercambio y la cantidad de material necesario para producirlas por un factor de aproximadamente 30% a 45% para la misma eficiencia.
- 30 Mediante el uso de intercambiadores con una sección transversal decreciente con la trayectoria del vapor, no solamente hay de 30% a 45% de ahorro de material de construcción para el intercambiador, sino además se aumenta su eficiencia para condiciones iguales. Estas ventajas son independientes de las características y el posicionamiento del compresor y también son válidas en las instalaciones de destilación de la técnica anterior.
- 35 Por lo tanto, un segundo objeto de la presente invención proporciona una instalación de destilación térmica que utiliza compresión mecánica de vapor que comprende una cámara hermética (01) preferiblemente bajo vacío parcial, que comprende una entrada para recibir agua de alimentación, una salida para descargar el destilado, una salida para descargar el concentrado y una salida para descargar los gases no condensables; un evaporador/condensador (11) que comprende una zona de evaporación (02) y una zona de condensación (05) en el interior de dicha cámara hermética (01) y un compresor (04) conectado a un motor; dicho evaporador/condensador tiene una sección transversal decreciente de la zona de condensación a lo largo de la trayectoria del vapor en la zona de condensación.
- 40
- 45 Un último objeto de la presente invención proporciona una instalación de destilación térmica que utiliza compresión mecánica de vapor que comprende una cámara hermética (01) preferiblemente bajo vacío parcial que comprende una entrada para recibir agua de alimentación, una salida para descargar el destilado, una salida para descargar el concentrado y una salida para descargar los gases no condensables; un evaporador/condensador (11) que comprende una zona de evaporación (02) y una zona de condensación (05) en el interior de dicha cámara hermética (01) y un compresor (04) conectado a un motor; dicho compresor es un compresor del tipo de flujo axial.
- 50 Preferiblemente, dicho compresor de flujo axial comprende deflectores o desviadores. Preferiblemente, dicho compresor de flujo axial tiene un diámetro o dimensiones mayores de 30 cm o 50 cm, más preferiblemente mayores de 75 cm o 1 m. En este contexto, el motor de dicho compresor puede estar situado en el exterior o en el interior de la cámara hermética.
- 55 Las diversas realizaciones de los métodos y las instalaciones de la presente invención son particularmente útiles en el campo de la desalinización de agua de mar o la desmineralización de agua, por ejemplo para la producción de agua potable o agua desmineralizada.

**REIVINDICACIONES**

- 1.- Una instalación de destilación térmica por compresión mecánica de vapor para la desalinización de agua, que comprende:
- 5 - una cámara hermética (01) que comprende una entrada para recibir agua de alimentación, una salida para descargar el destilado, una salida para descargar el concentrado y una salida para descargar los gases no condensables;
- 10 - un evaporador/condensador (11) que comprende una zona de evaporación (02) y una zona de condensación (05) en el interior de dicha cámara hermética (01);
- un compresor (04) conectado a un motor, siendo el compresor capaz de aumentar la presión del vapor producido en la zona de evaporación (02) y transportarlo a la zona de condensación (05);
- 15 - estando la cámara hermética (01) bajo vacío parcial, siendo la presión en el interior de dicha cámara menor que la presión atmosférica;
- caracterizada porque el compresor (04) y su motor están situados en el interior de dicha cámara hermética, dicho motor comprende un estator y un rotor, dicho estator y dicho rotor están situados totalmente en el interior de la cámara hermética.
- 20 2. La instalación según la reivindicación 1, caracterizada porque el compresor (04) es un compresor capaz de alcanzar una velocidad de rotación por encima de 7500 rev/min.
- 25 3. La instalación según la reivindicación 2, caracterizada porque el compresor (04) es un compresor capaz de alcanzar una velocidad de rotación por encima de 25000 rev/min.
- 30 4. La instalación según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque el compresor (04) es del tipo de flujo axial y el motor del compresor o el montaje de compresor (04) y motor del compresor está ubicado directamente en la corriente de vapor, que fluye desde las zonas de evaporación (02) hasta las zonas de condensación (05).
- 35 5. La instalación según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque la presión en el interior de la cámara hermética (01) es de menos de 75 kPa (0,75 bar) (a).
6. La instalación según la reivindicación 5, caracterizada porque la presión en el interior de la cámara hermética (01) es de menos de 25 kPa (0,25 bar) (a).
- 40 7. La instalación según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque el compresor (04) comprende álabes que son capaces de alcanzar una velocidad periférica por encima de 50 m/s.
- 45 8. La instalación según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque comprende un tubo (13), comprendiendo dicho tubo (13) una primera parte y una segunda parte, siendo el área de la sección transversal de la segunda parte mayor que el área de la sección transversal de la primera parte, estando el compresor (04) colocado en el interior de dicha primera parte y estando dicha segunda parte conectada a las zonas de condensación (05) del evaporador/condensador.
- 50 9. La instalación según la reivindicación 8, caracterizada porque dicho compresor es un compresor de flujo axial.
10. La instalación según la reivindicación 8 o 9, caracterizada porque dicho tubo (13) comprende un material conductor de calor.
- 55 11. La instalación según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque comprende por lo menos un módulo de destilación (14) integrado, comprendiendo dicho módulo de destilación (14) integrado un evaporador/condensador, un compresor (04) y un tubo (13), comprendiendo dicho tubo (13) una primera parte y una segunda parte, siendo el área de la sección transversal de la segunda parte mayor que el área de la sección transversal de la primera parte, estando el compresor (04) colocado en el interior de dicha primera parte y estando dicha segunda parte conectada a la zona de condensación (05) del evaporador/condensador (11) o comprendiendo dicha segunda parte el colector (29) o estando conectada al colector (29) del evaporador/condensador (11) para la admisión del vapor en la zona de condensación.
- 60 12. La instalación según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque comprende una bomba de suministro de agua de alimentación (15), una bomba de extracción de destilado (16), una bomba de extracción de concentrado (17), una bomba de vacío para extraer los gases no condensables (19), estando por lo menos una de dichas bombas y su motor situados completamente en el interior de la cámara hermética (01).
- 65

13. La instalación según la reivindicación 12, caracterizada porque comprende una bomba de recirculación de concentrado (18) para transportar el concentrado a la zona de evaporación (02) del evaporador/condensador, estando dicha bomba de recirculación y su motor situados completamente en el interior de la cámara hermética (01).
- 5
14. La instalación según una de las reivindicaciones 12 y 13, caracterizada porque dichas bombas de extracción de destilado y de concentrado, y de recirculación (16, 17, 18) y sus motores están situados completamente en el interior de la cámara hermética (01).
- 10
15. La instalación según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque el evaporador/condensador comprende un colector (29) para la admisión de vapor en la zona de condensación, teniendo dicho colector (29) una sección transversal total (29) y una sección transversal de admisión compuesta por la suma de las secciones transversales de entrada de las zonas de condensación (05), siendo la relación entre la sección transversal de admisión en las zonas de condensación (05) y la sección transversal total (29) del colector mayor de 70%.
- 15

FIG. 1

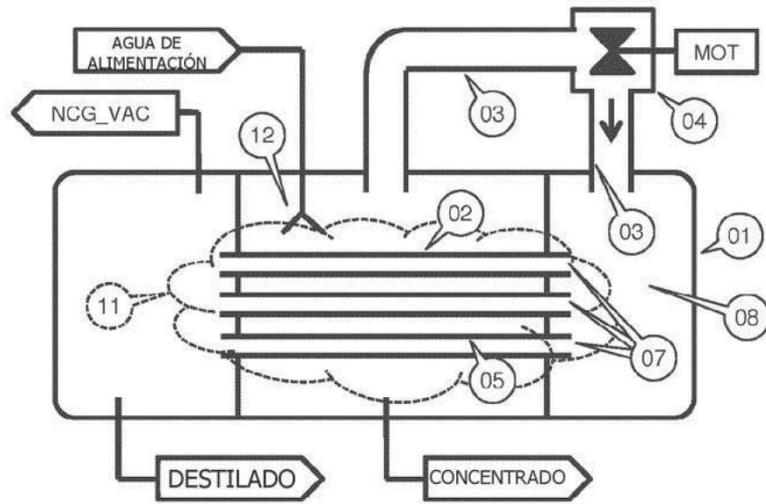


FIG. 2

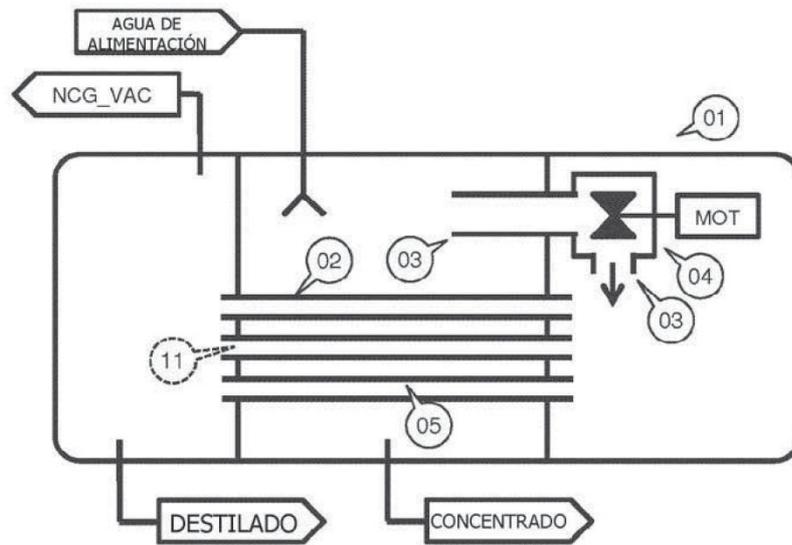


FIG. 3

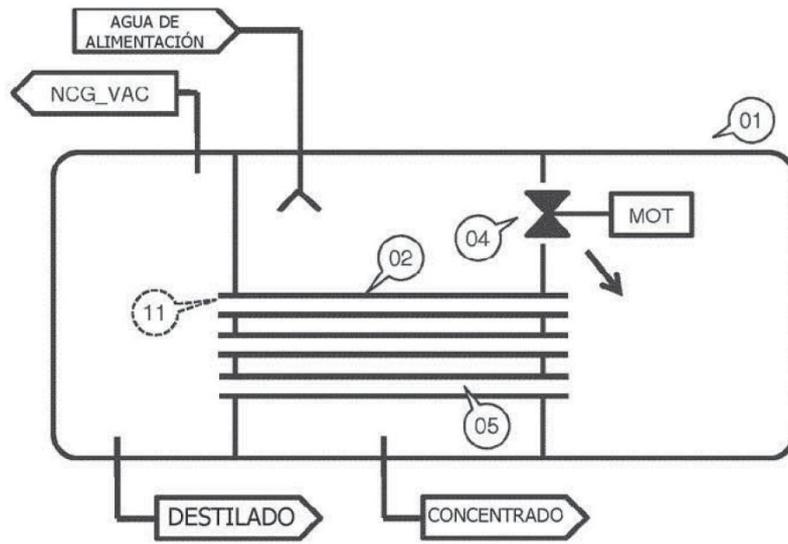


FIG. 4

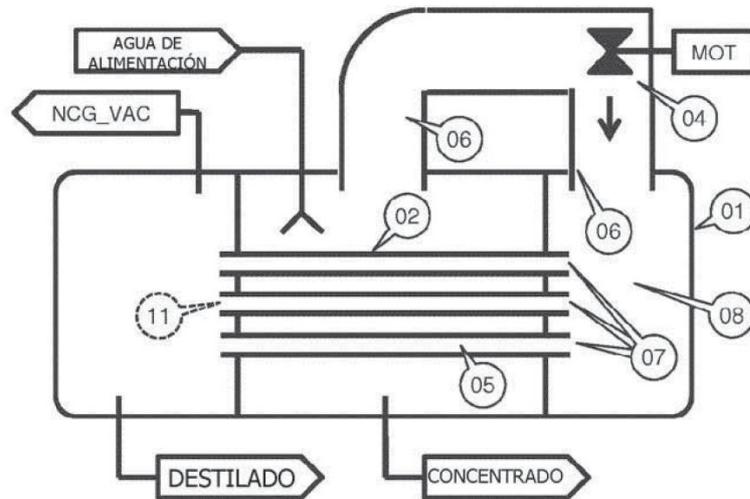


FIG. 5

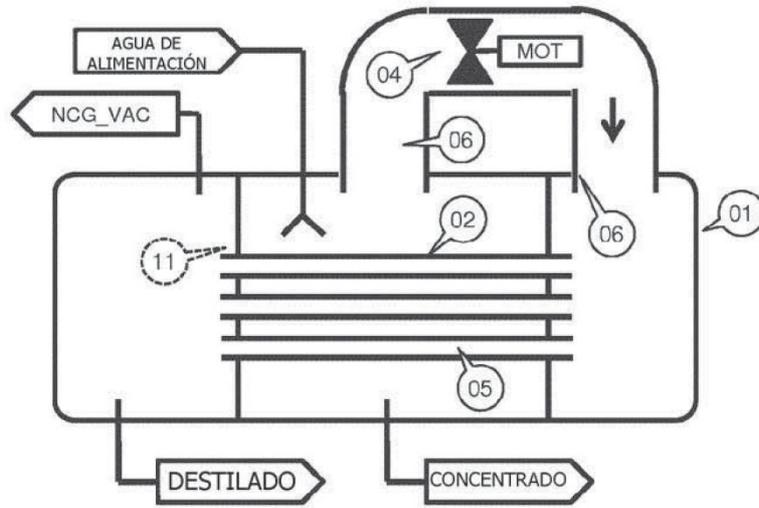


FIG. 6

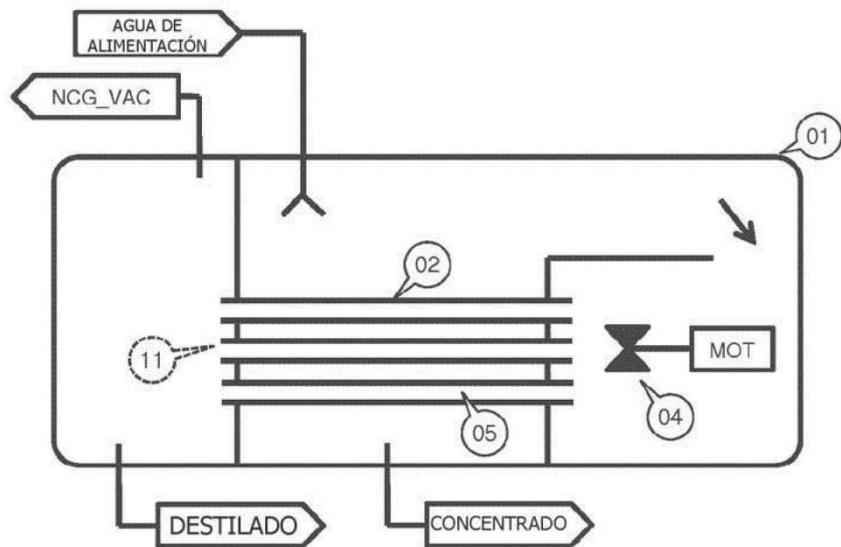


FIG. 7

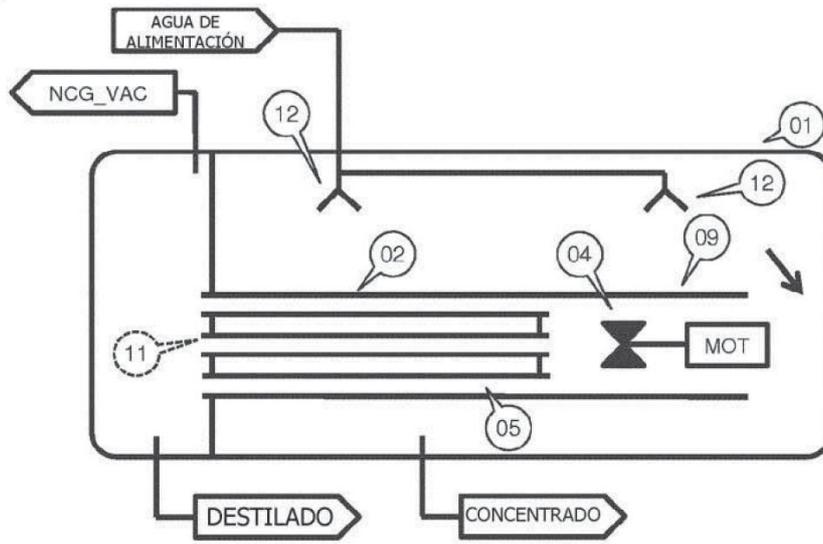


FIG. 8

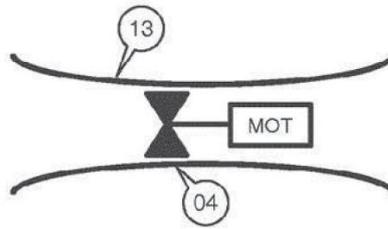


FIG. 9

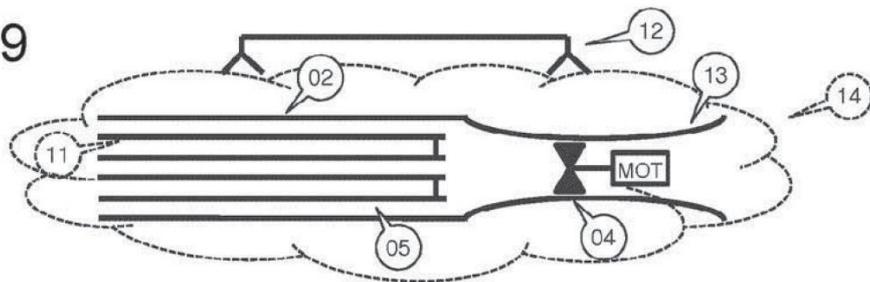


FIG. 10

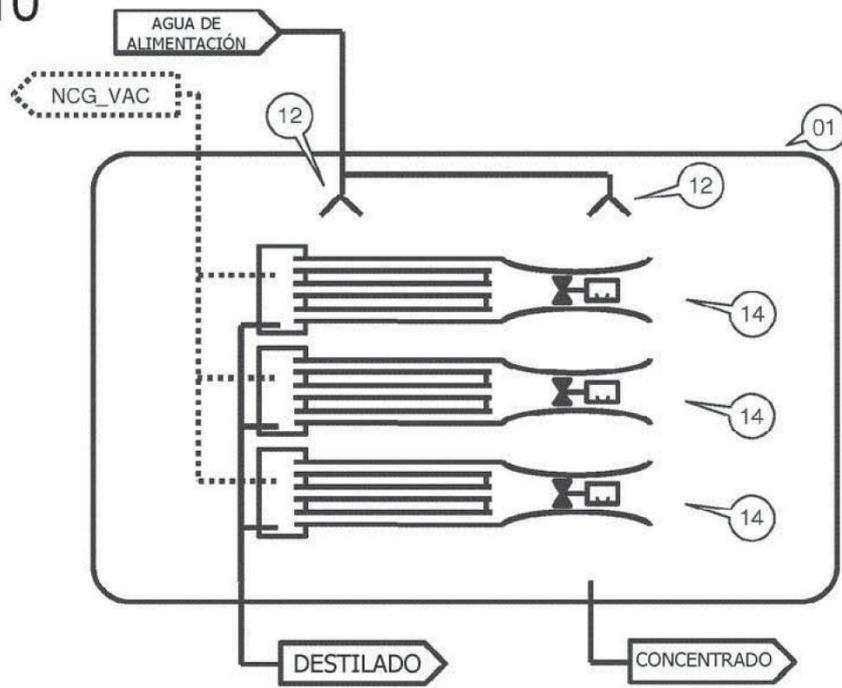


FIG. 11

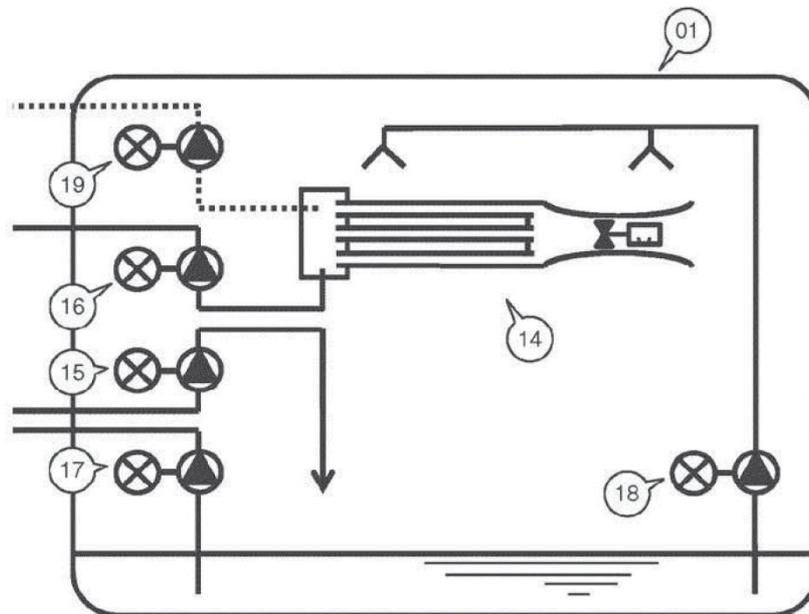


FIG. 12

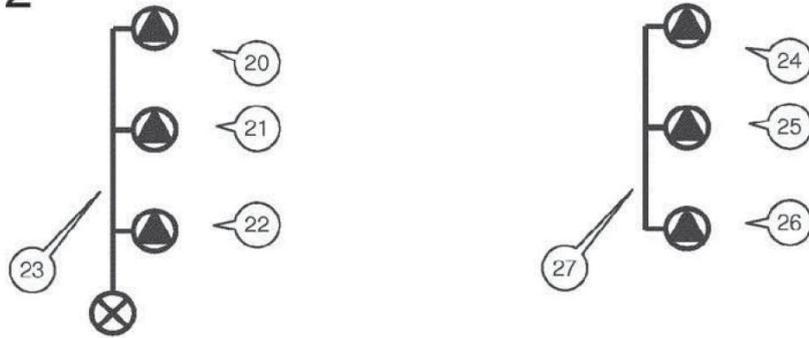


FIG. 13

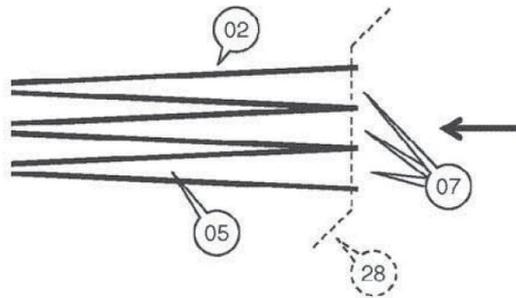


FIG. 14

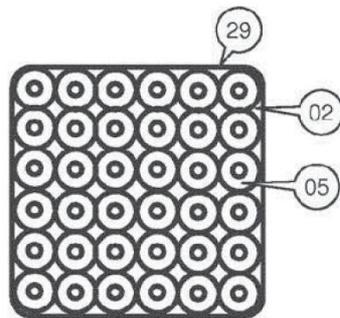


FIG. 15

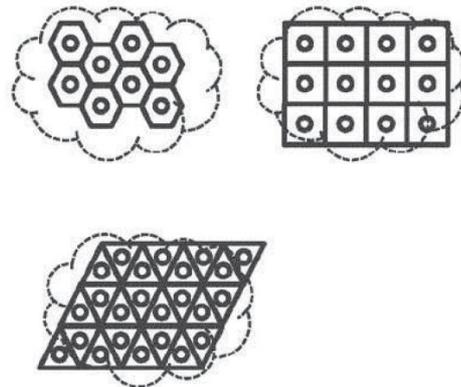


FIG. 16

