

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 717 225**

51 Int. Cl.:

**B01D 5/00**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.09.2012 PCT/US2012/055861**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.03.2013 WO13043568**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.09.2012 E 12766813 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.01.2019 EP 2758142**

54 Título: **Condensador de mezcla de vapor de columna de burbujas**

30 Prioridad:

**23.09.2011 US 201113241907  
12.07.2012 US 201213548166**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**19.06.2019**

73 Titular/es:

**MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (50.0%)  
77 Massachusetts Avenue  
Cambridge, MA 02139, US y  
KING FAHD UNIVERSITY OF PETROLEUM & MINERALS (50.0%)**

72 Inventor/es:

**GOVINDAN, PRAKASH;  
THIEL, GREGORY;  
MCGOVERN, RONAN;  
LIENHARD, JOHN y  
ELSHARQAWY, MOSTAFA**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 717 225 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**

Condensador de mezcla de vapor de columna de burbujas

5 Antecedentes

10 En este siglo, la escasez de agua dulce superará la escasez de energía como una preocupación global para la humanidad, y estos dos desafíos están inexorablemente vinculados, como se explica en el "Informe especial sobre el agua" en la edición del 20 de mayo de 2010 de The Economist. El agua dulce es una de las necesidades más fundamentales de los seres humanos y otros organismos; cada ser humano necesita consumir un mínimo de aproximadamente dos litros por día. El mundo también se enfrenta a mayores demandas de agua dulce de los procesos agrícolas e industriales.

15 Los riesgos planteados por un suministro insuficiente de agua son particularmente graves. Una escasez de agua dulce puede conducir a una variedad de crisis, incluyendo la hambruna, la enfermedad, la muerte, la migración masiva forzada, el conflicto/guerra entre regiones, y los ecosistemas colapsados. A pesar de la criticidad de la necesidad de agua dulce y las profundas consecuencias de la escasez, los suministros de agua dulce están particularmente limitados. El 97.5% del agua en la Tierra es salada, y alrededor del 70% del resto está encerrada en el hielo (principalmente en casquetes de hielo y glaciares), dejando solo una fracción de toda el agua en la Tierra como agua dulce (no salina) disponible.

20 Además, el agua de la Tierra que es dulce y está disponible no está distribuida uniformemente. Por ejemplo, los países densamente poblados, como India y China, tienen muchas regiones que están sujetas a suministros escasos. Aún más, el suministro de agua dulce es a menudo estacionalmente inconsistente. Mientras tanto, las demandas de agua dulce se están intensificando en todo el globo. Los embalses se están secando; los acuíferos están disminuyendo; los ríos están muriendo y los glaciares y los casquetes de hielo se están retrayendo. El aumento de las poblaciones aumenta la demanda, al igual que los cambios en la agricultura y la mayor industrialización. El cambio climático plantea aún más amenazas en muchas regiones. En consecuencia, el número de personas que se enfrenta a escasez de agua está aumentando. Sin embargo, el agua dulce presente de forma natural se encuentra típicamente confinada en las cuencas de drenaje regional; y el transporte de agua es costoso y consume mucha energía.

25 Por otro lado, muchos de los procesos existentes para producir agua dulce a partir de agua de mar (o, en menor grado, de agua salobre) requieren cantidades masivas de energía. La ósmosis inversa (RO) es actualmente la tecnología puntera en desalinización. En plantas a gran escala, la electricidad específica requerida puede ser tan reducida como 4 kWh/m<sup>3</sup> para una recuperación del 30 %, en comparación con el mínimo teórico de alrededor de 1 kWh/m<sup>3</sup>; los sistemas de RO de menor escala (por ejemplo, a bordo de barcos) son menos eficientes.

30 Otros sistemas existentes de desalinización de agua de mar incluyen la destilación súbita de múltiples etapas (MSF) basada en energía térmica y la destilación por múltiple efecto (MED), que son procesos que requieren gran cantidad de energía y capital. Sin embargo, en los sistemas MSF y MED, la temperatura máxima de salmuera y la temperatura máxima de la entrada de calor están limitadas para evitar la precipitación del sulfato de calcio, lo que conduce a la formación de incrustaciones en el equipo de transferencia de calor.

35 Los sistemas de desalinización de humidificación-deshumidificación (HDH) incluyen un humidificador y un deshumidificador como sus componentes principales y utilizan un gas portador (por ejemplo, aire) para comunicar la energía entre la fuente de calor y la salmuera. En el humidificador, el agua de mar caliente entra en contacto directo con el aire seco, y este aire se calienta y se humidifica. En el deshumidificador, el aire caliente y humidificado se pone en contacto (indirecto) con el agua de mar fría y se deshumidifica, produciendo agua pura y aire deshumidificado. Algunos de los presentes inventores también fueron inventores de las siguientes solicitudes de patentes que incluyen una discusión adicional relacionada con los procesos de HDH para purificar el agua: solicitud de EE. UU. N°. de serie 12/554,726, presentada el 4 de septiembre de 2009 (número de expediente del abogado mit-13607); solicitud de EE. UU. N°. de serie 12/573,221, presentada el 5 de octubre de 2009 (número de expediente del abogado mit-13622); y la solicitud de EE. UU. N°. de serie 13/028,170, presentada el 15 de febrero de 2011 (número de expediente del abogado mit-14295).

40 Una metodología de la Universidad de Florida, que se describe en la Patente de EE. UU. N°. 6,919,000 B2, redujo la resistencia térmica asociada con gases no condensables al usar un condensador de contacto directo en lugar de un deshumidificador de contacto indirecto estándar. Este método aumenta las tasas de transferencia de calor en el condensador a expensas de la eficiencia energética, ya que la energía del aire húmedo que ingresa al deshumidificador no se recupera directamente para precalentar el agua de mar. Por lo tanto, aunque el coste del dispositivo de deshumidificación se reduce, los costes de energía aumentan.

45 El documento GB698966 se refiere a mejoras en, o relacionadas con, líquidos, gases o vapores de aparatos de refrigeración, condensación o absorción. que tienen una fuerte acción corrosiva o de decapado. El documento US 2002/053505 se refiere a un aparato de destilación horizontal. El documento US 4762593 se refiere a un aparato de

destilación. El documento US 4,252,546 se refiere a un proceso y aparato para la recuperación del disolvente del aire de escape de las máquinas de limpieza en seco. El documento US 2010/314238 se refiere a un sistema híbrido de desalinización solar. El documento US 3,583,895 se refiere a un proceso de calentamiento y evaporación de soluciones, y condensación de vapores formados a partir del mismo. El documento US 5290403 se refiere a un aparato de evaporación de líquido.

Compendio

Los condensadores de mezcla de vapor de columna de burbujas de una sola etapa y de múltiples etapas (denominados simplemente condensador en otras partes en el presente documento) y el funcionamiento de los mismos se describen en el presente documento. Varias realizaciones del aparato y los métodos pueden incluir algunos o todos los elementos, características y pasos descritos a continuación.

En el condensador de columna de burbujas de múltiples etapas, una fuente de fluido suministra una corriente de gas portador que incluye un fluido condensable. El condensador de múltiples etapas incluye al menos una primera etapa y una segunda etapa, cada una de las cuales incluye una entrada, una salida y una cámara en comunicación fluida con la entrada y la salida. La entrada de la primera etapa del condensador de columna de burbujas está acoplada con la fuente de fluido, y la salida de la primera etapa está en comunicación fluida con la entrada de la segunda etapa para facilitar el flujo de la corriente de gas portador desde la fuente de fluido a través de la cámara de la primera etapa y luego a través de la cámara de la segunda etapa. El fluido condensable en fase líquida llena las cámaras de la primera etapa y de la segunda etapa, de modo que la corriente de gas portador pasa a través en contacto directo con el líquido, que está estacionario o en contracorriente con la corriente de gas portador, cuando pasa desde la entrada a la salida de cada etapa.

La presente invención se refiere a un sistema de humidificación-deshumidificación según la reivindicación 1. El sistema comprende un humidificador que incluye una entrada de gas portador y una salida de gas portador; una entrada de líquido y una salida de líquido, en donde la entrada de líquido está acoplada con una fuente de líquido; y una cámara en la que el líquido introducido desde la entrada de líquido puede entrar en contacto con un gas portador que contiene un fluido condensable en fase de vapor que se introduce desde la entrada de gas portador en una disposición a contracorriente y en el que una porción del líquido puede vaporizarse en el gas portador; un condensador de mezcla de vapor de columna de burbujas que incluye al menos una primera etapa que incluye una entrada de gas portador, una salida de gas portador y una cámara que contiene un baño de líquido en comunicación fluida con la entrada de gas portador y la salida de gas portador, en donde la entrada de gas portador del condensador está en comunicación fluida con la salida de gas portador del humidificador, en donde la entrada de gas portador del condensador es un generador de burbujas colocado en contacto con el baño en la cámara y acoplado con la fuente de líquido y con la entrada de líquido del humidificador para que fluya el líquido desde la fuente, a través de la cámara del condensador, donde el líquido se puede precalentar mediante la recuperación de energía de la condensación, al humidificador; y en donde el sistema comprende además un soplador o un compresor configurado para bombear el gas portador: desde la salida del gas portador del humidificador hasta la entrada del gas portador del condensador a través de un conducto, y a través del generador de burbujas, permitiendo así al gas portador burbujear a través del baño de líquido.

La presente invención también se refiere a un método según la reivindicación 7 para condensar un fluido de una corriente de gas portador. El método comprende: usar un soplador o compresor para pasar una corriente de gas portador a través de un humidificador y hacia afuera del humidificador a través de un conducto, donde, en el humidificador, se añade un fluido condensable en fase de vapor a la corriente de gas portador en una cámara introduciendo un líquido a través de una entrada de líquido, entrando así en contacto con un gas portador que contiene un fluido condensable en fase de vapor que se introduce desde una entrada de gas portador en una disposición a contracorriente y en la que una porción del líquido puede vaporizarse en el gas portador; utilizando un generador de burbujas para burbujear la corriente de gas portador que comprende el fluido condensable en fase de vapor a través de un primer baño del fluido en fase líquida en una primera etapa de un condensador de columna de burbujas, en donde la corriente de gas portador entra en contacto con el primer baño, y en el que parte del fluido en fase de vapor en la corriente de gas portador se condensa en el primer baño; saliendo la corriente de gas portador con un contenido reducido del fluido en fase de vapor de la primera etapa del condensador de columna de burbujas y pasando la corriente de gas portador de vuelta a través del humidificador a través de un conducto, donde, en el humidificador, fluidos adicionales en fase de vapor se agregan a la corriente de gas portador después de que la corriente de gas portador haya salido de la primera etapa; y pasar el líquido a través de un conducto que pasa a través del fluido en fase líquida en la primera etapa para recuperar la energía de la condensación en el condensador de columna de burbujas hacia el líquido que pasa a través del conducto antes de que el líquido se introduzca a través de la entrada de líquido del humidificador.

El aparato y los métodos se pueden usar para separar el agua pura de una mezcla líquida (que incluye, pero no se limita a, agua de mar, agua salobre y agua residual) de una manera rentable, lo que puede resultar en costes sustancialmente reducidos en comparación con las metodologías anteriores. Las realizaciones del aparato y los métodos pueden ofrecer numerosas ventajas. Primero, en función de los datos de las columnas de burbujas proporcionados en la literatura disponible, el coeficiente de transferencia de calor en el condensador de columnas de

5 burbujas de múltiples etapas se estima que es de  $7 \text{ kW/m}^2 \cdot \text{K}$  (es decir, al menos un orden de magnitud mayor que en el actual estado del arte). Este coeficiente de transferencia de calor es comparable, si no superior, a la condensación de la película de vapor. En segundo lugar, la alta recuperación de energía puede mantenerse utilizando una novedosa técnica de múltiples etapas. En tercer lugar, se pueden emplear la extracción múltiple en el aparato y métodos para aumentar aún más la recuperación de calor. Cuarto, el coste general del sistema se reduce a medida que se reducen tanto el coste de energía como el coste del equipo.

Breve descripción de los dibujos

10 La FIG. 1 es una ilustración en sección de un condensador de columna de burbujas de una sola etapa.

La FIG. 2 es una ilustración esquemática de una realización de un sistema de purificación de agua de humidificación-deshumidificación que incluye un condensador de columna de burbujas de múltiples etapas.

15 La FIG. 3 traza el perfil de temperatura a través de las columnas en un condensador de burbujas de múltiples etapas desde la parte superior de las columnas de burbujeo.

20 La FIG. 4 traza el perfil de temperatura en un condensador de columna de burbujas de una sola etapa desde la parte superior de la columna de burbujeo.

La FIG. 5 es una ilustración esquemática de una realización de un sistema de purificación de agua por humidificación-deshumidificación de extracción múltiple que incluye un condensador de columna de burbujas de múltiples etapas.

25 En los dibujos adjuntos, los caracteres de referencia similares se refieren a partes iguales o similares en las diferentes vistas; y los apóstrofes se utilizan para diferenciar múltiples instancias de los mismos o similares elementos que comparten el mismo número de referencia. Los dibujos no están necesariamente a escala, sino que se pone énfasis en ilustrar principios particulares, tratados a continuación.

30 Descripción detallada

35 La anterior y otras características y ventajas de diversos aspectos de la (s) invención (es) serán evidentes a partir de la siguiente descripción, más particular, de diversos conceptos y realizaciones específicas dentro de los límites más amplios de la (s) invención (es). Diversos aspectos de la materia presentada anteriormente y discutida en mayor detalle a continuación pueden implementarse en cualquiera de numerosas maneras, ya que la materia no se limita a ninguna forma particular de implementación. Ejemplos de implementaciones y aplicaciones específicas se proporcionan principalmente con fines ilustrativos.

40 A menos que se defina, use o caracterice lo contrario en el presente documento, los términos que se usan en el presente documento (incluidos los términos técnicos y científicos) deben interpretarse como si tuvieran un significado que sea coherente con su significado aceptado en el contexto de la técnica relevante y no han de ser interpretados en un sentido idealizado o demasiado formal, a menos que esté expresamente así definido en el presente documento. Por ejemplo, si se hace referencia a una composición particular, la composición puede ser sustancialmente, aunque no perfectamente pura, ya que pueden darse realidades prácticas e imperfectas; por ejemplo, la presencia potencial de al menos trazas de impurezas (por ejemplo, a menos de 1 o 2 % en peso o en volumen) puede entenderse como que está dentro del alcance de la descripción; del mismo modo, si se hace referencia a una forma particular, se pretende que la forma incluya variaciones imperfectas de formas ideales, por ejemplo, debido a las tolerancias de mecanizado.

50 Aunque los términos primero, segundo, tercero, etc., se pueden usar en el presente documento para describir diversos elementos, estos elementos no han de estar limitados por estos términos. Estos términos se utilizan simplemente para distinguir un elemento de otro. Por lo tanto, un primer elemento, tratado más adelante, podría denominarse un segundo elemento sin apartarse de las enseñanzas de las realizaciones de ejemplo.

55 Los términos espacialmente relativos, tales como "arriba", "abajo", "izquierda", "derecha", "delante", "detrás" y similares, pueden usarse en el presente documento por facilidad de descripción al describir la relación de un elemento con otro elemento, como se ilustra en las figuras. Se entenderá que los términos espacialmente relativos, así como las configuraciones ilustradas, pretenden abarcar diferentes orientaciones del aparato en uso u operación además de las orientaciones descritas en el presente documento y representadas en las figuras. Por ejemplo, si se da la vuelta al aparato en las figuras, los elementos descritos como "abajo" o "debajo" de otros elementos o características estarían entonces orientados "arriba" de los otros elementos o características. Por lo tanto, el término de ejemplo, "arriba", puede abarcar una orientación tanto de arriba como de abajo. El aparato puede estar orientado de otro modo (por ejemplo, girado 90 grados o en otras orientaciones) y los descriptores espacialmente relativos utilizados en el presente documento deben interpretarse en consecuencia.

65

Aun más, en esta descripción, cuando se hace referencia a un elemento como que está "en", "conectado a" o "acoplado a" otro elemento, puede estar directamente en, conectado o acoplado al otro elemento o pueden estar presentes elementos intermedios a menos que se especifique lo contrario.

5 La terminología utilizada en el presente documento tiene el propósito de describir realizaciones particulares y no pretende ser limitativa de realizaciones de ejemplo. Como se usan en el presente documento, las formas singulares, tales como "un", "uno" y "una", pretenden incluir también las formas plurales, a menos que el contexto indique lo contrario. Además, los términos "incluye", "incluyendo", "comprende" y "comprendiendo", especifican la presencia de los elementos o pasos indicados, pero no excluyen la presencia o adición de uno o más elementos o pasos adicionales.

15 La presencia de gases no condensables puede aumentar drásticamente la resistencia térmica asociada con la condensación de la película de vapor sobre una superficie fría. Para la fracción molar típica (aproximadamente el 70%) del aire (gas no condensable) presente en un deshumidificador (condensador) de un sistema de humidificación-deshumidificación, el coeficiente de transferencia de calor puede ser tan bajo como 1/100 del de la condensación de vapor puro (en sistemas de destilación por efecto múltiple y súbitos de múltiples etapas). En valor absoluto, el coeficiente de transferencia de calor puede ser tan bajo como  $10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . Por lo tanto, es ventajoso reducir la resistencia térmica asociada con el gas no condensable, mientras que al mismo tiempo se preserva el aumento ventajoso en la eficiencia energética propiciado por los métodos descritos en las solicitudes de patentes anteriores de los inventores, señaladas en los Antecedentes.

25 Una vista en sección de una realización de un condensador 12 de columna de burbujas de una sola etapa se proporciona en la FIG. 1. La columna 14 de burbujas contiene un baño de un líquido 15 (por ejemplo, agua destilada en esta realización). El líquido 15 se sustenta sobre un generador 44 de burbujas dentro de la cámara de la columna de burbujas. Las cámaras 17 y 19 de gas están situadas respectivamente por debajo y por encima del líquido. La cámara 17 por debajo del líquido permite bombear un gas portador húmedo desde el conducto 32' a través de un compresor/soplador 34 a través de los orificios del generador 44 de burbujas al líquido 15 en forma de burbujas 21, aunque la cámara 17 inferior se puede omitir donde el generador 44 de burbujas incluye una red de tuberías perforadas a través de las cuales se bombea el gas portador. Un serpentín 20 que se acopla con una fuente de fluido (por ejemplo, agua de mar) serpentea a través del agua 15 en el condensador 12, permitiendo la transferencia de calor desde el agua 15 en la cámara al agua de mar que es conducida a través del serpentín 20. En consecuencia, el fluido frío entra en el serpentín 20 en la parte inferior izquierda y sale como fluido calentado en la parte superior derecha. Después de pasar a través del líquido 15, el gas portador seco se acumula en la cámara 19 de gas en la parte superior de la cámara y se extrae a través del conducto 32" de gas.

35 El generador 44 de burbujas puede tener un diámetro, por ejemplo, de 1,25 m, y puede tener una pluralidad de orificios, cada uno con un diámetro, por ejemplo, de 1 mm para generar burbujas de aproximadamente el mismo diámetro. El generador 44 de burbujas puede estar en forma de, por ejemplo, una placa de tamiz, en donde el gas portador se bombea a través de los orificios en la placa de tamiz. Alternativamente, el generador 44 de burbujas puede tener la forma de un rociador con tubos perforados para distribuir el gas portador, en donde el rociador distribuye las burbujas a través de los tubos perforados, que pueden extenderse desde un conducto central. Los tubos perforados en el rociador pueden presentar, por ejemplo, una configuración radial, de múltiples anillos concéntricos, de tela de araña o de tipo rueda con cubo y radios, a través de los cuales se bombea el gas portador desde una fuente externa.

45 Todos los componentes de la columna de burbujas (por ejemplo, todas las paredes y el generador de burbujas pueden orientarse en ángulo con respecto a la vertical,  $\alpha$ , entre  $0^\circ$  y  $60^\circ$  con respecto a la vertical (por ejemplo, con respecto a un eje a lo largo de un radián que pasa a través del centro de la tierra). Como la columna 14 de burbujas está orientada en ángulo, la carga hidrostática se reduce de  $\rho gH$  a  $\rho gH \cdot (\cos \alpha)$ , donde  $\rho$  es la densidad ( $\text{kg/m}^3$ ),  $g$  es la aceleración gravitacional ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ) y  $h$  es la altura del líquido en la columna. Esta reducción en la carga hidrostática viene con una reducción en la caída de presión del fluido de hasta un 50 %. Sin embargo, esta caída de presión vendrá acompañada de una reducción del coeficiente de transferencia de calor del lado del fluido en ángulos mayores ( $\alpha > 45^\circ$ ). Esto se debe a que, en ángulos mayores, la circulación del líquido no se configurará de manera regular. Sin embargo, para un diseño optimizado, la configuración en ángulo con menor caída de presión puede proporcionar ahorros significativos en el coste de energía.

55 En la FIG. 2 se muestra una realización de un condensador de columna de burbujas de múltiples etapas en un sistema 10 de purificación de agua de humidificación-deshumidificación (HDH), en donde el deshumidificador es un condensador 12 de mezcla de vapor de múltiples etapas de columna de burbujas (también denominado "burbujeador") en lugar de usar un intercambiador de calor de contacto indirecto (como es común con los sistemas convencionales de HDH) para deshumidificar el gas portador húmedo (por ejemplo, aire húmedo) y produce agua líquida fresca de manera eficiente. El gas portador se humidifica con agua vaporizada de una composición líquida (por ejemplo, agua de mar o agua residual) en el humidificador 24; y el vapor de agua atrapado en el gas portador luego se transporta a través del conducto 32' al condensador 12 de la columna de burbujas, donde el agua en el aire húmedo se condensa para producir agua dulce (es decir, sustancialmente pura).

La composición líquida (por ejemplo, agua de mar) se proporciona desde una fuente 16 (por ejemplo, un tanque) y se hace circular a través del sistema mediante una bomba 36, que puede montarse en el conducto 18 entre la fuente 16 y el condensador 12 de columna de burbujas. La composición líquida se pasa a través de cada etapa 14 del condensador 12 a través de conductos 20 internos montados en cada etapa 14, en donde el diseño de cada una de las etapas 14 puede coincidir sustancialmente con el de la columna de burbujas de una sola etapa de la FIG. 1. En esta realización, la composición líquida se pasa entre las etapas 14 a través de conductos 18 externos adyacentes para precalentar la composición líquida. Los conductos 20 internos pueden tener superficies 23 térmicamente conductoras (por ejemplo, aletas) que se extienden desde los conductos 20 (como se muestra en la FIG. 2) para aumentar la transferencia de calor del líquido en las etapas 14 a la composición líquida que pasa a través de la bobina 20 de tubo. Después de salir de la bobina 20 de tubo interno en la etapa 14' inferior (primera) del condensador 12 de columna de burbujas, la composición líquida pasa a través de un conducto 18 adicional a un calentador 22 (por ejemplo, un calentador de agua solar o una fuente de calor residual) que calienta aún más la composición líquida (por ejemplo, a 80 °C) antes de que la composición líquida se pase al humidificador 24 y se atomice y disperse a través de una boquilla 26.

Dentro del humidificador, se proporciona material 28 de embalaje en forma de, por ejemplo, embalaje de policloruro de vinilo (PVC) para facilitar el flujo de gas y para aumentar el área de superficie del líquido que está en contacto con el gas portador para aumentar la porción del líquido vaporizable que se vaporiza en el gas portador. El cuerpo del humidificador 24 (y el del deshumidificador 12, así como los conductos 18 y 32) puede estar formado, por ejemplo, de acero inoxidable y es sustancialmente impermeable al vapor. En una realización, el humidificador 24 es sustancialmente cilíndrico con una altura de aproximadamente 2,5 m y un radio de aproximadamente 0,5 m.

El humidificador 24 y el deshumidificador 12 son ambos de construcción modular (es decir, cada uno en la forma de un dispositivo separado y discreto) y están sustancialmente separados térmicamente entre sí. La caracterización del humidificador 24 y el deshumidificador 12 como "sustancialmente separados térmicamente" debe entenderse como que están estructurados para una pequeña o nula transferencia de energía térmica conductora directa a través del aparato entre el humidificador 24 y el deshumidificador 12, aunque esta caracterización no excluye un flujo másico que transporta energía térmica (a través del flujo de gas y/o líquido) entre las cámaras. Esta caracterización de "separación térmica sustancial" distingue así el aparato de, por ejemplo, un aparato de vaporización de rocío, que incluye una pared de transferencia de calor compartida entre el humidificador y el deshumidificador. En el aparato de esta descripción, el humidificador 24 y el deshumidificador 12 no necesitan compartir ninguna pared común que facilite la transferencia de calor de conducción entre los mismos.

El gas portador fluye hacia arriba a través de la cámara definida por el humidificador 24 desde el puerto para el conducto 32'" al puerto para el conducto 32', donde sale con un mayor contenido de líquido vaporizado. La humidificación del gas portador se logra asperjando la composición líquida desde una o más boquillas 26 en la parte superior del humidificador 24 hacia abajo a través de una zona que incluye material 28 de embalaje, donde parte del agua en la composición líquida se evaporará, mientras que un remanente no evaporado de la composición líquida (por ejemplo, salmuera) fluye hacia abajo a través de una zona de lluvia hasta la base de la cámara definida por el humidificador 24, donde la salmuera se drena a través de un conducto 18 a un tanque 30 de recolección de salmuera. Mientras tanto, el gas portador se mueve hacia arriba a través del humidificador 24 y se pone en contacto con la composición líquida, particularmente en el lecho del material 28 de embalaje, para humidificar el gas portador con vapor de agua evaporado de la composición líquida. Por consiguiente, el gas portador puede saturarse con vapor de agua antes de ser retirado del humidificador 24 a través del conducto 32' y bombeado a través de un compresor/soplador 34 a través de la entrada de una primera etapa 14' del condensador 12 de columna de burbujas de múltiples etapas. En realizaciones particulares, se puede montar un calentador de aire y/o un compresor de aire o compresor de vapor térmico en el conducto 32' para calentar y/o comprimir el gas portador antes de que se bombee al deshumidificador 12. Cuando se monta un compresor de aire o un compresor de vapor térmico en el conducto 32', se puede montar un expansor de aire complementario en el conducto 32'" para expandir el gas portador según se circula de vuelta al humidificador 24. En otras realizaciones, el compresor/soplador 34 se puede colocar en el conducto 32'" que conduce al humidificador 24 debido a consideraciones operacionales.

El flujo de agua de mar a través del serpentín 20 dentro del deshumidificador 12 puede garantizar que el calor se recupere directamente para precalentar la composición líquida (por ejemplo, agua de mar en esta realización) durante el proceso de condensación. El condensador 12 de columna de burbujas incluye una pluralidad de etapas 14, cada una llena con un baño de líquido (por ejemplo, agua destilada) a través del cual se pasa gas portador húmedo y caliente utilizando un compresor/soplador 34 y un generador 44 de burbujas que inyecta burbujas de gas (o a través del cual se inyectan burbujas) en el baño.

El gas portador cargado de vapor de agua caliente emitido desde el humidificador 24 (evaporador) pasa (por ejemplo, a una temperatura de 70 °C) a través del conducto 32' que se extiende desde la parte superior del humidificador 24 y se burbujea a través de cada una de las etapas 14 en el deshumidificador 12, donde el gas portador se enfría y deshumidifica. El gas portador se acumula en la parte superior de cada etapa 14 y se pasa desde una salida en la parte superior de cada etapa 14 a través de un conducto 32 en y a través de una entrada de la siguiente etapa 14 y a través del generador 44 de burbujas, que genera burbujas del gas portador que luego pasa

a través del agua destilada en la etapa 14, y el gas portador es entonces recogido nuevamente en la parte superior de la columna. Este proceso se repite secuencialmente en cada columna subsiguiente.

Una baja caída de presión en el presente deshumidificador 12 puede mantener baja la potencia de bombeo, lo que permite un sistema económicamente viable. Este enfoque en mantener una baja potencia de bombeo está en contraste con muchas columnas de burbujas en la industria química, donde la principal preocupación es la transferencia de masa y calor, y donde la caída de presión puede no ser una restricción de diseño significativa. La caída de presión en la cámara de burbujas en cada etapa 14 ocurre en gran medida debido a los siguientes tres factores: (1) pérdida de carga en el generador 44 de burbujas, donde se generan burbujas, (2) fricción entre el gas portador y el agua destilada al ascender las burbujas a través del líquido, y (3) la carga hidrostática. Como la carga hidrostática es el mayor contribuyente a la caída de presión total en una etapa 14 dada, la altura de cada etapa 14 (medida verticalmente en la orientación mostrada en las figuras) se mantiene ventajosamente baja. Para obtener una caída de presión inferior a 1 kPa, por ejemplo, la altura total de todas las etapas 14 suma menos de aproximadamente 1 m. Por lo general, esta restricción de altura se manifiesta en forma de una columna de burbujas de relación de aspecto baja, donde la relación de altura de columna a diámetro (medida horizontalmente en la orientación mostrada) es menor que 1. En realizaciones particulares, el diámetro de la columna es de 0,5 a 1 m, mientras que la altura de la columna es de 0,05 a 0,1 m (para una relación de aspecto de la columna es de aproximadamente 0,1).

La temperatura del gas portador puede caer al menos 5 °C desde cada etapa 14 a la siguiente en el deshumidificador 12, a medida que se enfría con el baño de líquido en cada etapa 14. Por ejemplo, en el conducto 32" desde la salida de la primera etapa 14' a la entrada segunda etapa 14", el gas portador puede tener una temperatura, por ejemplo, de aproximadamente 60 °C, mientras que el gas portador en el conducto 32" de la salida de la segunda etapa 14" a la entrada de la tercera etapa 14"" puede tener una temperatura reducida, por ejemplo, de aproximadamente 50 °C. Cuando el gas portador sale del condensador 12 de la columna de burbujas a través del conducto 32"" superior, el gas portador regresa a la parte inferior del humidificador 24 (con un contenido reducido del líquido vaporizable), su temperatura puede reducirse aún más, por ejemplo, a aproximadamente 30 °C. En el período transitorio inicial durante el inicio del proceso, el vapor de agua en el gas portador húmedo y caliente transmite el calor latente al agua en cada etapa 14 (en la cual se establece un circuito de circulación natural); y una temperatura promedio mixta de la etapa 14 de agua finalmente se alcanza en estado estable. Una vez que se alcanza el estado estable, el calor de condensación se extrae directamente por el agua de mar que se envía a través del serpentín 20. De este modo, se consigue una recuperación de calor directa.

Cuando el vapor condensado es agua, la deshumidificación del gas portador en cada etapa 14 libera agua del gas portador al agua destilada a través de la cual se burbujea el gas portador. El agua se drena desde cada etapa 14 (equivalente al aumento de agua provisto por la deshumidificación del gas portador) a través de los conductos 38 hasta un tanque 40 de recolección de agua pura. Alternativamente, el líquido (por ejemplo, agua) puede extraerse a través de un conducto del baño en la tercera etapa 14"" y pasar a la segunda etapa 14" de temperatura más baja y extraerse a través de otro conducto desde la segunda etapa 14" y pasar a la primera etapa 14', de temperatura aún más baja, desde la que finalmente se extrae del condensador 12 de columna de burbujas de varias etapas como producto.

Aunque se puede usar una sola etapa/columna 14, el uso de múltiples etapas en el condensador 12 de columna de burbujas impulsa la temperatura a la cual el agua de mar se precalienta hacia el máximo posible (que es la temperatura de la entrada del gas portador). Los efectos de esta disposición en etapas pueden entenderse claramente a través de los perfiles de temperatura en un condensador de columna de burbujas de múltiples etapas (mostrado en la FIG. 3) y en un condensador de columna de burbujas de una sola etapa (mostrado en la FIG. 4), donde se puede ver que la temperatura de salida del agua de mar es mucho mayor en los gráficos para el condensador de columna de burbujas de múltiples etapas, como se muestra en la FIG. 3. Cada uno de los segmentos 46 (~308 K), 48 (~318 K), 50 (~327 K), 52 (~335 K), 54 (~342 K), 56 (~348 K) horizontales representados en la FIG. 3 representa la temperatura en una columna/etapa 14 respectiva en un condensador de columna de burbujas de seis etapas, donde el eje horizontal del gráfico representa una distancia adimensional desde la parte superior a la parte inferior del condensador 12 de columna de burbujas (es decir, la línea 46 de referencia representa la temperatura de la etapa 14 más alta). La línea 58 diagonal representa la temperatura del agua de mar a medida que fluye a través del condensador 12 de columna de burbujas en función de la distancia desde la parte superior del condensador 12 de columna de burbujas. Mientras tanto, se observa que la temperatura 60 en el condensador de columna de burbujas de una sola etapa (mostrado en la FIG. 4) es sustancialmente constante (a 323 K) en todo el condensador de columna de burbujas y aproximadamente igual al promedio de las temperaturas del gas portador de la entrada y de la salida.

El condensador 12 de columna de burbujas de múltiples etapas, además, presenta una ventaja directa de permitir la extracción/inyección de agua de mar desde las etapas intermedias de columna de burbujas a través de conductos 42 de intercambio intermedio, como se muestra en la FIG. 5, donde los conductos 42 de intercambio intermedio se acoplan con el condensador 12 de columna de burbujas entre la primera y la segunda etapas 14' y 14" y entre la segunda y la tercera etapas 14" y 14"" de un sistema condensador de columna de burbujas de tres etapas. El agua salina se recoge en las bandejas 43' y 43" intermedias en las etapas intermedias respectivas en la cámara del

humidificador 24 y se inyecta en los conductos 18 externos a través de los cuales el agua de mar fluye entre las etapas 14' y 14" y entre las etapas 14" y 14"', respectivamente. En otras realizaciones, la dirección de inyección/extracción se puede invertir (por ejemplo, el agua salina se puede extraer desde el condensador 12 e inyectarse en el humidificador 24), dependiendo de las condiciones de operación. Tales flujos de extracción pueden permitir la construcción de sistemas que están termodinámicamente equilibrados. En realizaciones adicionales, el gas portador húmedo se puede extraer/inyectar en lugar de extraer/inyectar agua salina. Debido a los mayores coeficientes de transferencia de calor en un condensador de columna de burbujas y a una menor diferencia de temperatura final, el aparato descrito en el presente documento (tal como el mostrado la FIG. 5) puede proporcionar un rendimiento superior en términos de deshumidificación y de la eficiencia del mismo.

Al describir las realizaciones de la invención, se utiliza una terminología específica por razones de claridad. A los efectos de la descripción, los términos específicos pretenden incluir al menos equivalentes técnicos y funcionales que operan de manera similar para lograr un resultado similar. Además, en algunos casos en los que una realización particular de la invención incluye una pluralidad de elementos del sistema o pasos del método, esos elementos o pasos pueden reemplazarse con un solo elemento o paso; del mismo modo, un solo elemento o paso puede ser reemplazado por una pluralidad de elementos o pasos que sirven para el mismo propósito. Además, cuando los parámetros para diversas propiedades se especifican en el presente documento para las realizaciones de la invención, dichos parámetros pueden ajustarse hacia arriba o hacia abajo en 1/100, 1/50, 1/20, 1/10, 1/5, 1/3, 1/2, 2/3, 3/4, 4/5, 9/10, 19/20, 49/50, 99/100, etc. (o hacia arriba por un factor de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 20, 50, 100, etc.), o por aproximaciones redondeadas de los mismos, a menos que se especifique lo contrario. Además, aunque esta invención se ha mostrado y descrito con referencias a realizaciones particulares de la misma, los expertos en la técnica entenderán que se pueden hacer varias sustituciones y alteraciones en la forma y detalles sin apartarse del alcance de la invención (por ejemplo, el líquido condensado puede ser una composición distinta del agua; se pueden usar más o menos etapas en el condensador de columna de burbujas; y la configuración de esas etapas se puede alterar fácilmente).

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema (10) de humidificación-deshumidificación que comprende:

5 un humidificador (24) que incluye una entrada de gas portador y una salida de gas portador; una entrada de líquido y una salida de líquido, en donde la entrada de líquido está acoplada con una fuente (16) de líquido; y una cámara en la que el líquido introducido desde la entrada de líquido puede entrar en contacto con un gas portador que contiene un fluido condensable en fase de vapor que se introduce desde la entrada de gas portador en una disposición a contracorriente y en la cual una parte del líquido puede vaporizarse en el gas portador ;

10 un condensador (12) de mezcla de vapor de columna de burbujas que incluye al menos una primera etapa (14') que incluye una entrada de gas portador, una salida de gas portador y una cámara que contiene un baño (15) de líquido en comunicación fluida con la entrada de gas portador y con la salida de gas portador, en donde la entrada de gas portador del condensador está en comunicación fluida con la salida de gas portador del humidificador, en donde la salida de gas portador del condensador está en comunicación fluida con la entrada de gas portador del humidificador, en donde la entrada de gas portador del condensador es un generador (44) de burbujas colocado en contacto con el baño de líquido, de manera que el gas portador puede burbujear hacia arriba a través del baño de líquido desde el generador de burbujas, superando una carga hidrostática del baño de líquido, y en donde la salida del gas portador se coloca con una abertura para la extracción del gas portador por encima del baño de líquido, comprendiendo el condensador de mezcla de vapor de columna de burbujas además un conducto (20) que se extiende a través del baño de líquido en la cámara y estando acoplado con la fuente de líquido y con la entrada de líquido del humidificador para que fluya el líquido desde la fuente, a través de la cámara del condensador, donde el líquido puede precalentarse recuperando energía de la condensación, al humidificador; y

25 en donde el sistema comprende además un soplador o un compresor (34) configurado para bombear el gas portador: desde la salida del gas portador del humidificador hasta la entrada del gas portador del condensador a través de un conducto (32'), y a través del generador de burbujas, lo que permite al gas portador burbujear a través del baño líquido.

30 2. El sistema (10) de humidificación-deshumidificación de la reivindicación 1, en donde el condensador (12) de mezcla de vapor de columna de burbujas comprende además una segunda etapa (14") que también incluye una entrada de gas portador, una salida de gas portador y una cámara configurada para contener un baño (15) de líquido en comunicación fluida con la entrada de gas portador y la salida de gas portador de la segunda etapa, en donde la salida de gas portador de la primera etapa está en comunicación fluida con la entrada de gas portador de la segunda etapa para facilitar el flujo del gas portador desde el humidificador (24) a través de la cámara de la primera etapa y luego a través de la cámara de la segunda etapa antes de regresar al humidificador.

35 3. El sistema (10) de humidificación-deshumidificación de la reivindicación 1, que comprende además un generador (44) de burbujas acoplado con la entrada de cada etapa para generar burbujas del gas portador en el líquido, preferiblemente en donde el generador de burbujas se selecciona de (a) una placa de tamiz y (b) un aspersor de tipo radial, de anillo, de araña y rueda.

40 4. El sistema (10) de humidificación-deshumidificación de la reivindicación 1, que comprende además un conducto (42) de intercambio intermedio acoplado con el conducto (20) entre (a) la primera etapa (14') y la segunda etapa (14") y (b) una bandeja (43', 43") intermedia en la cámara del humidificador en una etapa intermedia para transferir el líquido entre las mismas.

45 5. El sistema (10) de humidificación-deshumidificación de la reivindicación 1, en donde la cámara que contiene el líquido tiene una relación de aspecto de altura a diámetro menor de 1.

50 6. El sistema (10) de humidificación-deshumidificación de la reivindicación 1, en donde las cámaras que contienen el líquido están en ángulo con la vertical.

55 7. Un método para condensar un fluido de una corriente de gas portador, que comprende:

usar un soplador o compresor (34) para pasar una corriente de gas portador a través de un humidificador (24) y afuera del humidificador a través de un conducto (32'), donde, en el humidificador, se agrega un fluido condensable en fase de vapor a la corriente de gas portador en una cámara introduciendo un líquido a través de una entrada de líquido, contactando así un gas portador que contiene un fluido condensable en fase de vapor que se introduce desde una entrada de gas portador en una disposición a contracorriente y en la que una porción del líquido puede vaporizarse en el gas portador;

60 utilizar un generador (44) de burbujas para burbujear la corriente de gas portador que comprende el fluido condensable en fase de vapor a través de un primer baño (15) del fluido en fase líquida en una primera etapa (14') de un condensador (12) de columna de burbujas, en donde la corriente de gas portador entra en contacto con el

primer baño, y en donde parte del fluido en fase de vapor en la corriente de gas portador se condensa en el primer baño;

5 sacar la corriente de gas portador con un contenido reducido del fluido en fase de vapor de la primera etapa del condensador de columna de burbujas y pasando la corriente de gas portador de vuelta a través del humidificador a través de un conducto (32'''), donde, en el humidificador, se agrega fluido adicional en fase de vapor a la corriente de gas portador después de que la corriente de gas portador sale de la primera etapa (14'); y

10 pasar el líquido como refrigerante a través de un conducto (20) que pasa a través del fluido en fase líquida en la primera etapa para recuperar la energía de la condensación en el condensador de columna de burbujas al líquido que pasa a través del conducto antes de que el líquido se introduzca a través de la entrada de líquido del humidificador.

15 8. El método de la reivindicación 7, que comprende además:

usar el soplador o compresor para reintroducir la corriente de gas portador a la primera etapa del condensador (12) de columna de burbujas a través del conducto (32') y pasar nuevamente la corriente de gas portador a través del primer baño.

20 9. El método de la reivindicación 7, que comprende además:

pasar la corriente de gas portador desde la primera etapa (14') del condensador (12) de columna de burbujas a una segunda etapa (14'') del condensador de columna de burbujas;

25 burbujear la corriente de gas portador a través de un segundo baño del fluido en fase líquida en la segunda etapa del condensador de columna de burbujas, en donde la corriente de gas portador entra en contacto con el segundo baño, y en donde al menos parte del fluido en fase de vapor en la corriente de gas portador se condensa en el segundo baño; y

30 sacar la corriente de gas portador con un contenido reducido del fluido en fase de vapor de la segunda etapa del condensador de columna de burbujas.

35 10. El método de la reivindicación 9, en donde el líquido en la primera etapa (14') está al menos 5 °C más caliente que el líquido en la segunda etapa (14'').

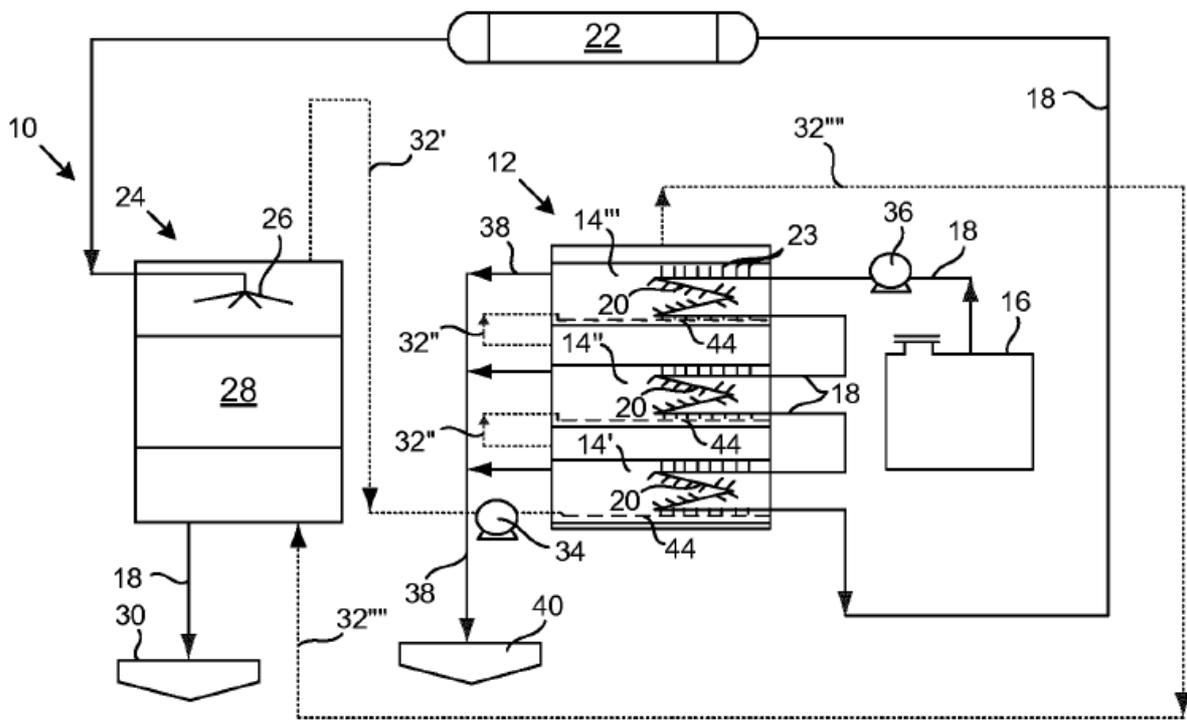
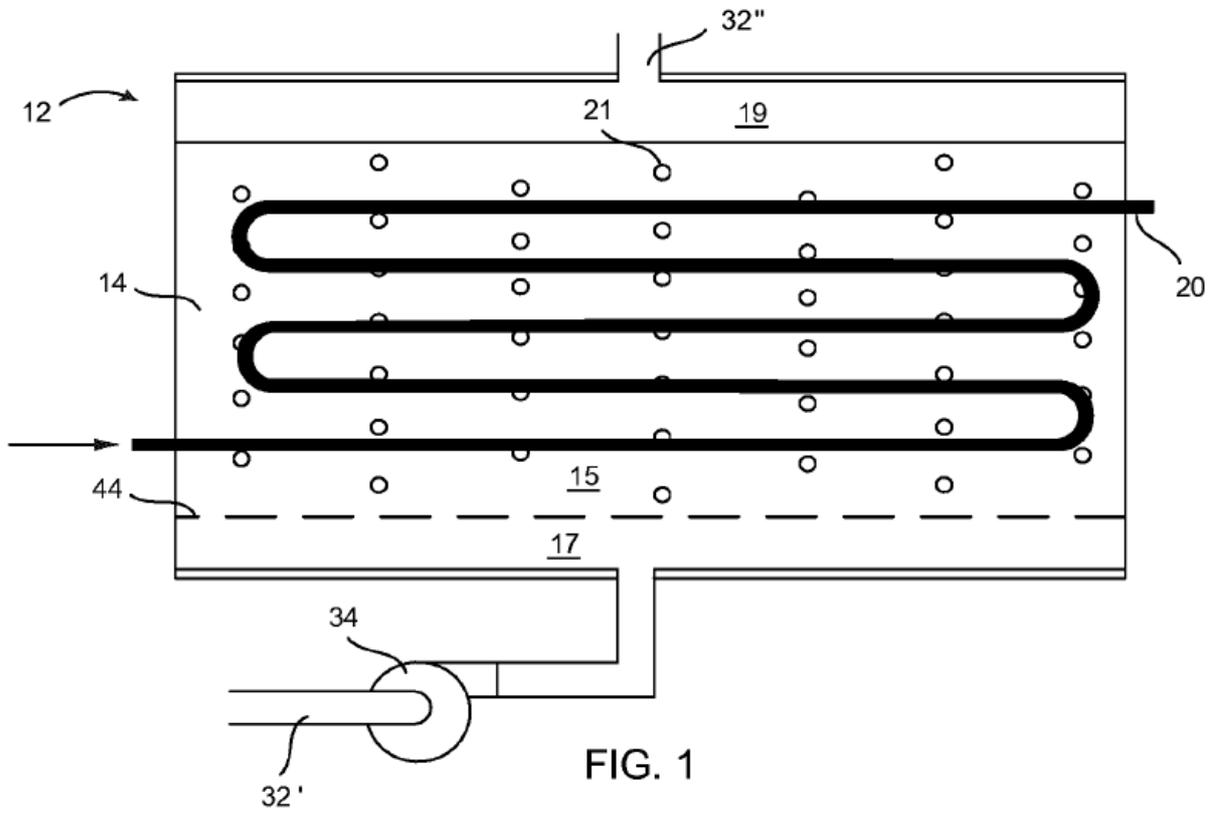
11. El método de la reivindicación 7, en donde el fluido es agua.

40 12. El método de la reivindicación 7, que comprende además generar el vapor de agua en la corriente de gas portador al evaporar el agua de una solución salina.

13. El método de la reivindicación 12, en donde la solución salina se calienta con un calentador solar o una fuente de calor residual antes de que el agua se evapore de la solución salina.

45 14. El método de la reivindicación 12, que comprende además pasar la solución salina a través del conducto en cada una de las etapas (14) del condensador (12) de columna de burbujas para precalentar la solución salina para la evaporación de agua.

15. El método de la reivindicación 7, que comprende además extraer el fluido en fase líquida del primer baño.



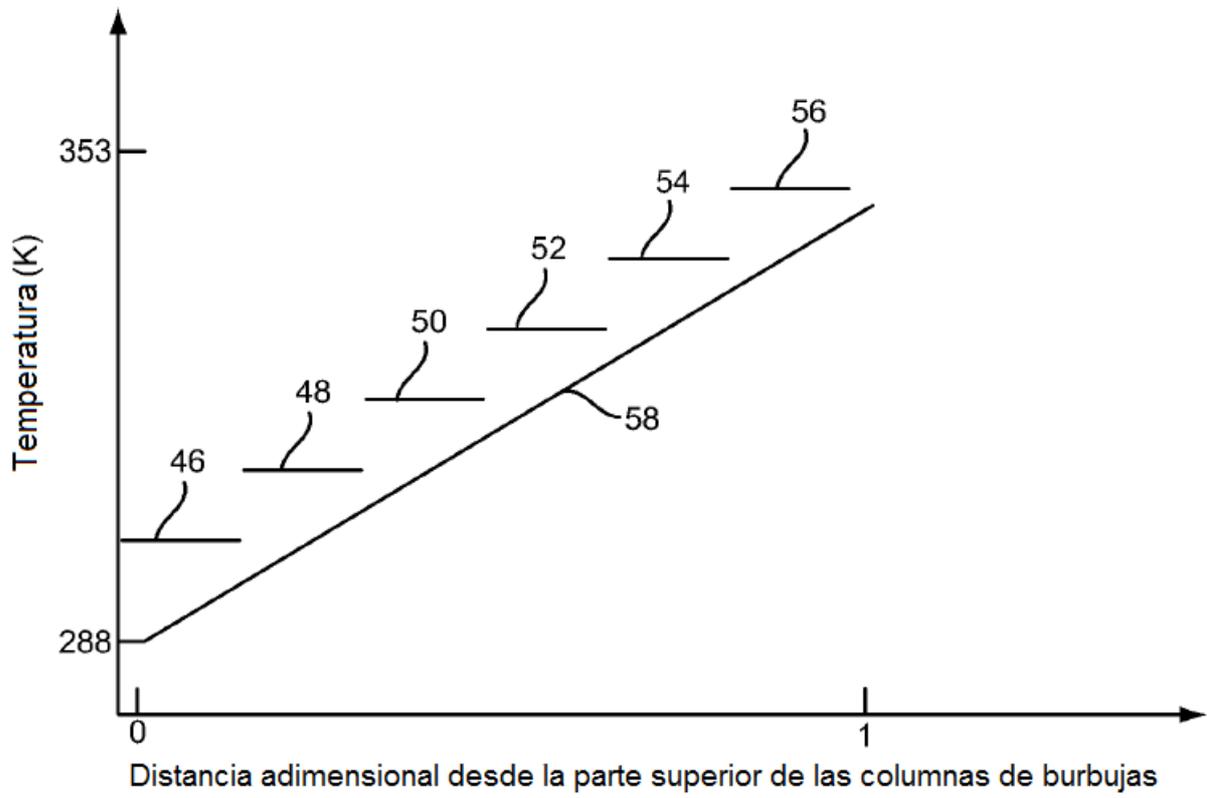


FIG. 3

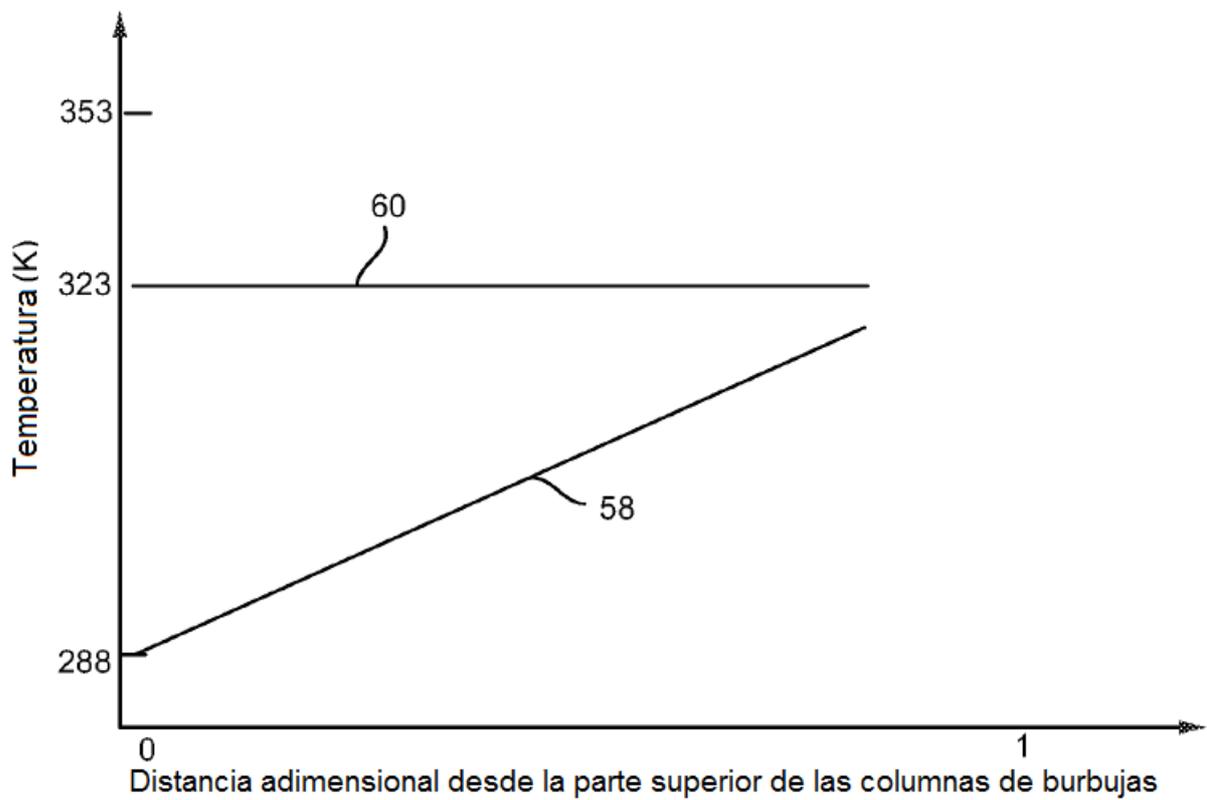


FIG. 4

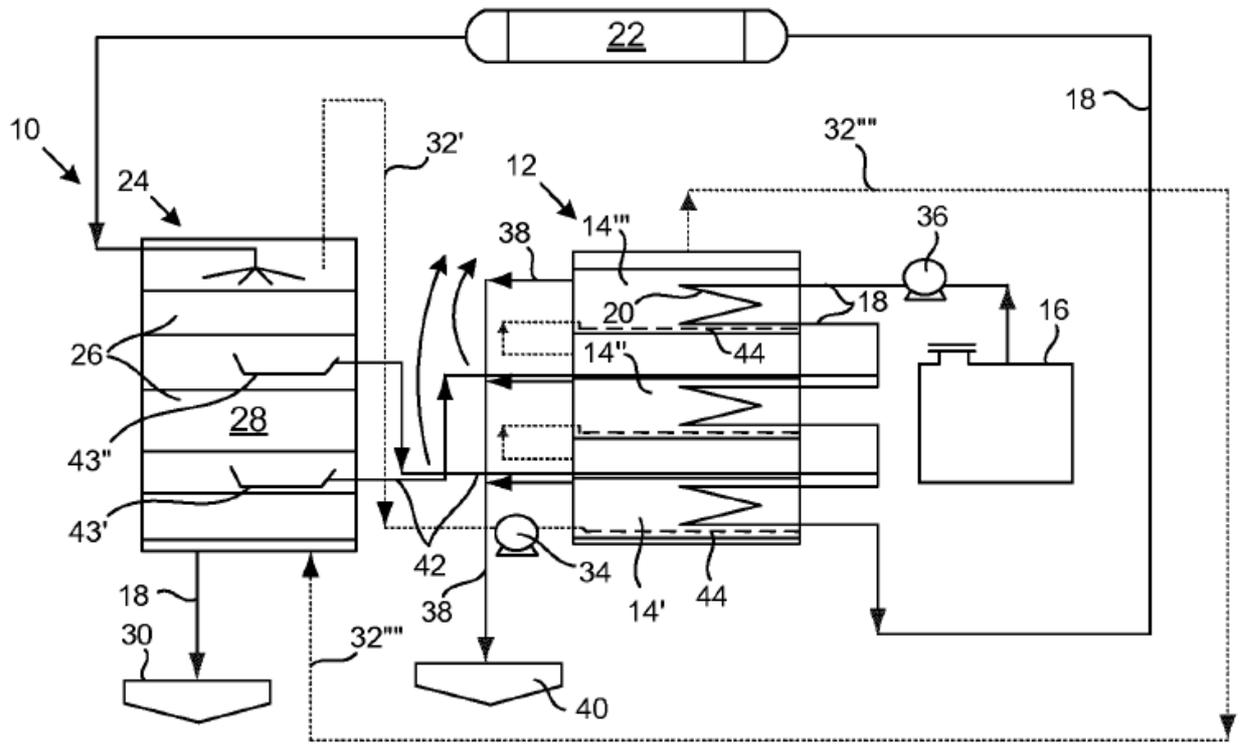


FIG. 5