

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 710 377**

51 Int. Cl.:

B01D 3/06	(2006.01)
B01D 3/14	(2006.01)
B01D 3/32	(2006.01)
C02F 1/06	(2006.01)
C02F 103/10	(2006.01)
B01D 1/14	(2006.01)
B01D 19/00	(2006.01)
C02F 1/04	(2006.01)
C02F 103/08	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.06.2014 PCT/US2014/041226**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **18.12.2014 WO14200829**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.06.2014 E 14734357 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.12.2018 EP 3007789**

54 Título: **Humidificador de columna de burbujas de múltiples fases y método de humidificación**

30 Prioridad:

12.06.2013 US 201313916038

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

24.04.2019

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;
ELSHARQAWY, MOSTAFA;
LAM, STEVEN;
ST. JOHN, MAXIMUS y
LIENHARD, JOHN

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 710 377 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

Humidificador de columna de burbujas de múltiples fases y método de humidificación

5 ANTECEDENTES

En este siglo, la escasez de agua dulce bien puede superar la escasez de energía como una preocupación global para la humanidad; y estos dos desafíos están inexorablemente vinculados, como se explica, por ejemplo, en el "Special Report on Water" del 20 de mayo de 2010 emitido por el *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 al día. El mundo también se enfrenta a mayores demandas de agua dulce de los procesos agrícolas e industriales.

Los peligros planteados por un suministro insuficiente de agua son particularmente graves. La escasez de agua dulce puede conducir a una diversidad de crisis, incluyendo hambruna, enfermedad, muerte, migración masiva forzada, conflicto/guerra entre regiones, y ecosistemas colapsados. A pesar de la importancia crítica 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 aproximadamente el 70% del resto está vinculado al hielo (principalmente en casquetes de hielo y glaciares), dejando solo una fracción de toda el agua en la Tierra como agua dulce disponible (no salina).

Además, el agua de la tierra que es dulce y está disponible no está distribuida uniformemente. Por ejemplo, los países muy poblados, tales como India y China, tienen muchas regiones que están sujetas a suministros escasos. Aún adicionalmente, el suministro de agua dulce a menudo es estacionalmente inconsistente. Mientras tanto, las demandas de agua dulce están restringidas en todo el mundo. Los embalses se están secando; los acuíferos están descendiendo; los ríos se están secando y los glaciares y los casquetes de hielo se están retrayendo. El aumento de la población aumenta la demanda, al igual que los cambios en la agricultura y el aumento de la industrialización. El cambio climático plantea aún más amenazas en muchas regiones. En consecuencia, el número de personas que enfrentan la escasez de agua está aumentando. Sin embargo, el agua dulce de origen natural se limita típicamente a las cuencas de drenaje regional; y el transporte de agua es costoso y consume mucha energía. Sin embargo, muchos de los procesos existentes para producir agua dulce a partir de agua de mar (o de aguas salobres o corrientes de desechos contaminados) requieren cantidades masivas de energía. La ósmosis inversa (RO) es actualmente la principal tecnología de desalinización. En plantas a gran escala, la electricidad específica requerida puede ser tan baja como 4 kWh/m³ con una recuperación del 30%, en comparación con el mínimo teórico de aproximadamente 1 kWh/m³; los sistemas de RO a menor escala (por ejemplo, a bordo de barcos) son menos eficientes.

Otros sistemas existentes de desalinización de agua de mar incluyen la destilación flash de múltiples fases basada en energía térmica (MSF), y la destilación de efectos múltiples (MED), ambos de los cuales 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 de sulfato de calcio, hidróxido de magnesio y carbonato de calcio, lo que conduce a la formación de cal blanda y dura en el equipo de transferencia de calor.

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. Una versión sencilla de esta tecnología incluye un humidificador, un deshumidificador y un calentador para calentar la corriente de agua de mar. 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. Al igual que con los sistemas MSF y MED, puede tener lugar la precipitación de componentes de incrustación dentro del sistema con el consiguiente daño si la temperatura sube demasiado.

Otro enfoque, descrito en la Patente de Estados Unidos N.º 8.119.007 B2 (A. Bajpayee, et al.), usa un disolvente direccional que disuelve direccionalmente el agua, pero no disuelve la sal. El disolvente direccional se calienta para disolver el agua de una solución salina en el disolvente direccional. El agua salada altamente concentrada restante se elimina, y la solución del disolvente direccional y el agua se enfrían para precipitar agua sustancialmente pura de la solución. El documento WO2011/137149 (Sunlight Photonics Inc.) describe una unidad de intercambio hidro-térmico para desalinizar el agua de alimentación utilizando humidificación-deshumidificación.

Algunos de los presentes inventores también se nombraron como inventores en las siguientes solicitudes de patentes que incluyen un análisis adicional de HDH y otros procesos para purificar agua: Patente de Estados Unidos N.º 8.465.006 B2; Patente de Estados Unidos N.º 8.252.092 B2; documentos US 2012/0205236 A1; US 2013/0074694 A1; y Patente de Estados Unidos N.º 8.496.234 B1.

65

RESUMEN

5 La invención se establece en las reivindicaciones independientes. Se describen en el presente documento métodos y aparatos para separar un líquido (por ejemplo, agua pura) de un líquido de alimentación (por ejemplo, agua de mar, aguas salobres, agua residual o agua de retorno o producida) de una manera rentable. Diversas realizaciones de los métodos y aparatos pueden incluir algunos o todos los elementos, características y etapas que se describen a continuación.

10 En un método para la humidificación de un componente vaporizable de un líquido de alimentación, el líquido de alimentación que incluye el componente vaporizable fluye hacia una cámara de humidificador de segunda fase para formar un baño de humidificador de segunda fase a una segunda temperatura de humidificación. Un primer remanente del líquido de alimentación de la cámara de humidificador de segunda fase fluye entonces hacia una cámara de humidificador de primera fase para formar un baño de humidificador de primera fase a una primera temperatura de humidificación, en la que la primera temperatura de humidificación es más baja que la segunda temperatura de humidificación. Después, se elimina un segundo remanente del líquido de alimentación de la cámara de humidificador de primera fase.

15 Mientras tanto, se inyecta un gas portador en el baño de humidificador de primera fase en la cámara de primera fase y se burbujea a través del baño de humidificador de primera fase, donde el gas portador recoge el componente vaporizable en forma de vapor del primer remanente del líquido de alimentación para humidificar parcialmente el gas portador con el componente vaporizable. El gas portador parcialmente humidificado se dirige luego desde la primera cámara de humidificador al baño de humidificador de segunda fase en la cámara de humidificador de segunda fase y se burbujea a través del baño de humidificador de segunda fase, donde el gas portador recoge la mayor parte del componente vaporizable en forma de vapor del líquido de alimentación para humidificar adicionalmente el gas portador con el componente vaporizable; el gas portador humidificado se elimina entonces de la cámara de humidificador de segunda fase.

20 En un aparato de humidificación de columna de burbujas de múltiples fases, una fuente de líquido de alimentación contiene un líquido de alimentación; y una cámara de humidificador de segunda fase está configurada para recibir el líquido de alimentación de la fuente de líquido de alimentación y contiene un distribuidor de burbujas. Además, una cámara de humidificador de primera fase está configurada para recibir un remanente del líquido de alimentación de la cámara de humidificador de segunda fase y contiene un distribuidor de burbujas. Una fuente de gas portador contiene un gas portador, en donde la cámara de humidificador de primera fase está configurada para recibir el gas portador de la fuente de gas portador y para dispersar el gas portador a través del distribuidor de burbujas de la cámara de humidificador de primera fase, y en donde la cámara de humidificador de segunda fase está configurada para recibir el gas portador de la cámara de humidificador de primera fase y para dispersar el gas portador a través del distribuidor de burbujas de la cámara de humidificador de segunda fase.

25 El humidificador de columna de burbujas de múltiples fases descrito en el presente documento puede sustituir al intercambiador de calor de lecho empacado previamente utilizado en los sistemas de humidificación-deshumidificación para humidificar de manera eficiente el aire seco. Las ventajas que pueden proporcionar las realizaciones de los métodos y aparatos descritos en el presente documento incluyen la deshumidificación de coste reducido, ya que tanto el coste del equipo como el coste de la energía para la operación pueden reducirse. En particular, la energía para la humidificación puede proporcionarse directamente por el líquido de alimentación en las cámaras de humidificación. Adicionalmente, las altas tasas de transferencia de calor y masa en el humidificador de múltiples fases permiten el diseño y el uso de un dispositivo de humidificación muy pequeño. Aún adicionalmente, se puede utilizar la extracción múltiple en la columna de burbujas de múltiples fases para aumentar aún más la recuperación de calor.

30 Adicionalmente, los métodos descritos en el presente documento se pueden usar para extraer de manera ventajosa agua de corrientes de desechos contaminados (por ejemplo, de la producción de petróleo y gas) tanto para producir agua dulce como para concentrar y reducir el volumen de las corrientes de desechos, reduciendo de este modo la polución y la contaminación y reduciendo costes.

35 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es una ilustración en sección esquemática de una realización de un humidificador de columna de burbujas de múltiples fases.

40 La Figura 2 es una ilustración en sección de una realización de una cámara de humidificación de primera fase en el humidificador de columna de burbujas de múltiples fases.

La Figura 3 es una ilustración esquemática en sección de un sistema de deshumidificación-deshumidificación (HDH) de múltiples fases y de una sola columna.

45 La Figura 4 es una ilustración esquemática en sección de un sistema HDH de múltiples fases y una sola columna que incluye conductos de extracción múltiple para el líquido de alimentación y el gas portador.

50

En los dibujos adjuntos, los caracteres de referencia similares se refieren a partes iguales o similares en todas las vistas diferentes. Los dibujos no están necesariamente a escala, sino que se pone énfasis en ilustrar principios particulares, que se analizan a continuación.

5 DESCRIPCIÓN DETALLADA

A menos que se defina, se use o se caracterice de otro modo en el presente documento, los términos que se usan en el presente documento (incluidos los términos técnicos y científicos) deben interpretarse como un significado que es coherente con su significado aceptado en el contexto de la técnica relevante y no deben interpretarse 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 aplicarse realidades prácticas e imperfectas; por ejemplo, la presencia potencial de al menos trazas de impurezas (por ejemplo, a menos del 1 o 2%) puede entenderse como dentro del alcance de la descripción; asimismo, 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 fabricación. Los porcentajes o concentraciones que se expresan en el presente documento se pueden representar tanto en peso como en volumen.

Aunque los términos primero, segundo, tercero, etc., pueden usarse en el presente documento para describir diversos elementos, estos elementos no están limitados por estos términos. Estos términos se utilizan simplemente para distinguir un elemento de otro. Por lo tanto, un primer elemento, que se analiza a continuación, podría denominarse un segundo elemento sin apartarse de las enseñanzas de las realizaciones ejemplares.

Los términos espacialmente relativos, tal como "arriba", "abajo", "izquierda", "derecha", "delante", "atrás" y similares, se pueden usar en el presente documento para facilitar la descripción con el fin de describir la relación de un elemento con respecto a otro elemento, como se ilustra en las figuras. Se entenderá que los términos espacialmente relativos, así como las configuraciones ilustradas, pretenden incluir 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 se orientarán entonces "arriba" de los demás elementos o características. Por lo tanto, el término ejemplar, "arriba", puede incluir tanto una orientación 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.

Aún adicionalmente, en esta divulgación, cuando se hace referencia a un elemento como "encendido", "conectado a" o "acoplado a" otro elemento, puede estar directamente encendido, conectado o acoplado al otro elemento o pueden estar presentes elementos intermedios a menos que se especifique lo contrario.

La terminología utilizada en el presente documento tiene el propósito de describir realizaciones particulares y no pretende ser limitativa de realizaciones ejemplares. Como se usa en el presente documento, las formas singulares, tales como "un" y "una", pretenden incluir también las formas plurales, a menos que el contexto indique otra cosa. Además, los términos "incluye", "que incluye", "comprende" y "que comprende", especifican la presencia de los elementos o etapas que se indican, pero no excluyen la presencia o adición de uno o más elementos o etapas diferentes.

Se ilustra una realización de un humidificador de columna de burbujas de múltiples fases 12 con cuatro fases en la Figura 1. En otras realizaciones, se pueden vincular más o menos fases de humidificación en serie, como se describe a continuación, para realizar el proceso de humidificación. El líquido de alimentación que contiene componentes disueltos se suministra desde una fuente de líquido de alimentación 14 (por ejemplo, un océano, estanque o tanque de almacenamiento) a una cámara de humidificación de cuarta fase 22 del humidificador 12, donde el líquido de alimentación forma un baño 24 contenido dentro de la cámara 22. En una primera realización, el líquido de alimentación se alimenta a la cámara de humidificación de cuarta fase 22 a una temperatura de 70 °C. Un componente vaporizable (por ejemplo, agua) del líquido de alimentación se vaporiza en un gas portador que burbujea a través del baño 24, como se describe a continuación.

Un remanente del líquido de alimentación (con otros componentes disueltos concentrados) se suministra desde la cámara de humidificación de cuarta fase 22 a través de un conducto 26 a una cámara de humidificación de tercera fase 20, en la que el remanente del líquido de alimentación forma otro baño 24 a través del cual se burbujea el gas portador. En la primera realización, el remanente del líquido de alimentación se alimenta a la cámara de humidificación de tercera fase 20 a una temperatura de 62 °C en esta realización; la temperatura de la alimentación restante se reduce de una fase a otra, en parte, a través de la energía utilizada para la vaporización del componente vaporizable del líquido de alimentación en cada fase en el gas portador.

A su vez, un remanente del líquido de alimentación (con componentes disueltos aún más concentrados) se alimenta desde la cámara de humidificación de tercera fase 20 a través de un conducto 28 a una cámara de humidificación de segunda fase 18, en la cual el remanente del líquido de alimentación forma otro baño 24 a través del cual se

burbujea el gas portador. El remanente del líquido de alimentación se alimenta a la cámara de humidificación de segunda fase 18 a una temperatura de 56 °C en esta realización.

Finalmente, un remanente del líquido de alimentación (con componentes disueltos aún más concentrados) se alimenta desde la cámara de humidificación de segunda fase 18 a través de un conducto 30 a una cámara de humidificación de primera fase 16, en la cual el remanente del líquido de alimentación forma otro baño 24 a través del cual se burbujea el gas portador. En la primera realización, el remanente del líquido de alimentación se alimenta a la cámara de humidificación de primera fase 16 a una temperatura de 51,3 °C en esta realización. El remanente del líquido de alimentación, que ahora puede estar en forma de salmuera fría, puede eliminarse de la cámara de humidificación de primera fase (por ejemplo, a una temperatura de 45,7 °C en esta realización) a través de un conducto 32 a un depósito de almacenamiento de salmuera 33. Por consiguiente, la temperatura del líquido de alimentación puede descender, por ejemplo, aproximadamente el 5%-15% en cada fase.

Mientras tanto, se burbujea un gas portador seco y fresco a través del baño 24 de cada fase para eliminar el componente vaporizado de los baños 24 (como se muestra en la Figura 2), donde se muestra el flujo del gas portador entre las cámaras con las flechas 36 en la Figura 1. El gas portador puede ser, por ejemplo, aire, e inicialmente puede ser alimentado a la cámara de humidificación de primera fase 16 desde un depósito de gas portador 35 presurizado por una bomba sopladora 34 que alimenta el reservorio 35. El gas portador llena una región de gas inferior 38 en el interior de la cámara de humidificación de primera fase 16 y fluye a través de un distribuidor de burbujas (aquí, una placa rociadora) 40 al baño 24 en forma de burbujas 42 (como se muestra en la Figura 2), donde el gas portador se calienta y se humidifica (con el calor y la humidificación proporcionados por el líquido de alimentación). El componente vaporizable (por ejemplo, el agua) del líquido de alimentación se vaporiza en las burbujas 42 en la interfaz gas-líquido del baño 24 y las burbujas 42. Las burbujas 42 fluyen hacia arriba a través del baño 24, ganando energía térmica y el componente vaporizable (en forma de vapor) desde el baño 24 hasta que el gas portador entra en la región de gas superior 44 por encima del baño 24 y luego sale por el conducto de gas 46 a la cámara de humidificación de segunda fase 18. Las cámaras de humidificación restantes 18, 20 y 22 tienen un diseño y funcionamiento similar o igual a la cámara de humidificación de primera fase 16; y el baño 24 en cada una de las cámaras de humidificación 16, 18, 20 y 22 pueden tener una anchura (w) que es sustancialmente mayor (por ejemplo, al menos el doble de grande) que su altura (h) para mejorar la eficiencia con la que el componente vaporizable se vaporiza y se transfiere al gas portador. La caída de presión en el lado del gas portador (parte inferior) de la placa del rociador 40 es una función importante de la altura del baño 24 porque la altura hidrostática del baño 24 ha de ser superada por el aire para mantener el líquido del baño "exudando" a través de la placa rociadora 40 a la fase a continuación. Una ventaja principal de la baja altura del baño 24 es, por lo tanto, el consumo reducido de electricidad en el dispositivo de movimiento de aire (soplador) 34 debido a la menor caída de presión. Mantener una baja altura del baño también es factible en este contexto porque la dimensión característica de la transferencia de calor es del orden de unos pocos milímetros.

Se ilustra una realización en la que se apilan un humidificador de columna de burbujas de múltiples fases 12 y un deshumidificador 48 en la Figura 3. En esta realización, el humidificador 12 incluye cuatro fases 16, 18, 20 y 22 y funciona como se describe en las realizaciones anteriores. Aquí, sin embargo, el gas portador deshumidificado 66 de la cámara de humidificación de cuarta fase 22 se bombea desde la cámara de humidificación de cuarta fase 22 a la cámara de humidificación de primera fase 50 del deshumidificador 48. El deshumidificador 48 puede tener el mismo diseño, o esencialmente el mismo, que el deshumidificador de columna de burbujas de múltiples fases de la Solicitud de Estados Unidos N.º de Serie 13/241.907. Los baños 58 en las cámaras de deshumidificación 50, 52, 54 y 56 pueden estar formadas por un líquido que tiene la misma composición (por ejemplo, agua) que el componente vaporizado del líquido de alimentación en el humidificador 12.

Entre las cámaras de deshumidificación 50, 52, 54 y 56, la temperatura del baño 58 en la cámara de deshumidificación de primera fase 50 es más alta que la temperatura del baño 58 en la cámara de deshumidificación de segunda fase 52; la temperatura del baño 58 en la cámara de deshumidificación de segunda fase 52 es más alta que la temperatura del baño 58 en la cámara de deshumidificación de tercera fase 54; y la temperatura del baño 58 en la cámara de deshumidificación de tercera fase 54 es más alta que la temperatura del baño 58 en la cámara de deshumidificación de cuarta fase 56. El líquido condensado puro (por ejemplo, agua líquida) se extrae del deshumidificador 48 a través del conducto de salida 76 por el que fluye el condensado de cada una de las cámaras de deshumidificación 50, 52, 54 y 56.

Los baños 58 se pueden calentar mediante energía térmica transferida desde el gas portador humidificado caliente 66 inyectado sucesivamente en y a través de cada uno de los baños 58, donde el componente de vapor condensable se condensa desde el gas portador humidificado 66 en forma líquida a los baños 58 a medida que el gas portador 66 se enfría sucesivamente a través de las fases. Mientras tanto, el líquido de alimentación se bombea desde la fuente de líquido de alimentación 14 a través de un conducto serpentino 60 que serpentea a través del baño 58 en cada fase; la energía térmica se conduce desde los baños 58 a través del conducto 60 al líquido de alimentación para precalentar gradualmente el líquido de alimentación en camino a un calentador 62 que inyecta energía térmica adicional 70 en el líquido de alimentación para elevar su temperatura, por ejemplo, a 70 °C antes de inyectar el líquido de alimentación en la cámara de humidificación de cuarta fase 22 para formar el baño 24 en la misma.

5 En la realización de la Figura 4, el aparato también incluye conductos de extracción múltiple 72 y 74 que se
extienden entre ubicaciones intermedias (es decir, ubicaciones entre las cámaras inicial y final) en el humidificador
de múltiples fases 12 y el deshumidificador 48. El conducto 74 extrae una porción del remanente de líquido de
alimentación del conducto de la cuarta a la tercera fase 26 (aunque también/como alternativa se puede extraer del
10 conducto 28 o 30) y recircula el remanente de líquido de alimentación extraído (a una temperatura más cálida) de
regreso al conducto de líquido de alimentación 60 entre las fases (aquí, entre las cámaras de deshumidificación de
primera y segunda fase 50 y 52) del deshumidificador de múltiples fases 48. Con la extracción múltiple, la
extracción/inyección del líquido de alimentación entre las fases de la columna o columnas de burbujas a través de
los conductos 72 facilita el equilibrio termodinámico del sistema en funcionamiento. De manera similar, una porción
10 del gas portador se puede extraer de al menos una ubicación intermedia en el humidificador 12 (aquí, de la cámara
de humidificación de segunda fase 28) a través del conducto 74 e inyectarse en una fase (aquí, en la cámara de
deshumidificación de segunda fase 52) del deshumidificador de múltiples fases 12.

REIVINDICACIONES

1. Un método para la humidificación de un componente vaporizable de un líquido de alimentación en un gas portador, comprendiendo el método:

5 hacer fluir el líquido de alimentación que incluye el componente vaporizable a una cámara de humidificador de segunda fase (18) de un humidificador de múltiples fases (12) para formar un baño humidificador de segunda fase (24) a una segunda temperatura de humidificación, en el que el humidificador de múltiples fases (12) es una estructura integral, con las fases separadas por una placa rociadora (40);
 10 hacer fluir, a través de un conducto, un primer remanente del líquido de alimentación de la cámara de humidificador de segunda fase (18) a una cámara de humidificador de primera fase (16) del humidificador de múltiples fases (12) para formar un baño de humidificador de primera fase (24) a una primera temperatura de humidificación, en el que la cámara de humidificador de primera fase (16) y la cámara de humidificador de segunda fase (18) están apiladas en vertical, y
 15 en el que la primera temperatura de humidificación es inferior a la segunda temperatura de humidificación, en el que los baños de humidificador de primera y segunda fase (24) tienen cada uno una anchura, medido perpendicular al flujo (36) del gas portador a través del baño (24), y una altura, medida paralela al flujo (36) del gas portador a través del baño (24), y en el que la anchura es al menos dos veces mayor que la altura;
 20 eliminar un segundo remanente del líquido de alimentación de la cámara de humidificador de primera fase (16);
 inyectar el gas portador en el baño de humidificador de primera fase (24) en la cámara de humidificador de primera fase (16) y burbujear el gas portador a través del baño de humidificador de primera fase (24) a través de una placa rociadora, donde el gas portador recoge el componente vaporizable en forma de vapor del primer remanente del líquido de alimentación para humidificar parcialmente el gas portador con el componente vaporizable;
 25 en el que el gas portador entra en la región del gas superior por encima del baño de humidificador de primera fase y luego avanza hasta la cámara del humidificador de segunda fase;
 dirigir el gas portador parcialmente humidificado directamente desde la cámara de humidificador de primera fase (16) a través de la placa rociadora (40) hacia el baño de humidificador de segunda fase (24) en la cámara de humidificador de segunda fase (18) y burbujear el gas portador a través del baño de humidificador de segunda fase (24), donde el gas portador recoge la mayor parte del componente vaporizable en forma de vapor del líquido de alimentación para humidificar adicionalmente el gas portador con el componente vaporizable;
 30 eliminar el gas portador humidificado de la cámara de humidificador de segunda fase (18).

2. El método de la reivindicación 1, en el que el líquido de alimentación que fluye hacia la cámara de humidificador de segunda fase (18) es un remanente de un líquido de un baño de humidificador de tercera fase (24) a una tercera temperatura de humidificación en una cámara de humidificador de tercera fase (20), en el que la tercera temperatura de humidificación es más alta que la segunda temperatura de humidificación, comprendiendo además el método dirigir el gas portador humidificado desde la cámara de humidificador de segunda fase (18) al baño de humidificador de tercera fase (24) en la cámara de humidificador de tercera fase (20) y burbujear el gas portador humidificado a través del baño de humidificador de tercera fase (24), donde el gas portador humidificado se humidifica además con la mayor parte del componente vaporizable en forma de vapor del baño de humidificador de tercera fase (24).

3. El método de la reivindicación 1, que comprende además condensar el componente vaporizable del gas portador humidificado en un deshumidificador (48) después de que el gas portador humidificado se elimine de la cámara de humidificador de segunda fase (18).

4. El método de la reivindicación 3, en el que el componente vaporizable es agua.

5. El método de la reivindicación 4, en el que el líquido de alimentación es agua de mar o aguas salobres.

6. El método de la reivindicación 4, en el que el líquido de alimentación es agua de retorno o agua producida a partir de extracción de petróleo o gas.

7. El método de la reivindicación 3, en el que el gas portador, cuando sale del baño de humidificador de segunda fase (24), tiene una temperatura de 3 a 8 °C más alta que la temperatura del gas portador que sale del baño de humidificador de primera fase (24).

8. El método de la reivindicación 3, en el que el componente vaporizable se condensa en el deshumidificador (48) a partir del gas portador humidificado burbujearlo el gas portador humidificado a través de un baño de deshumidificador de primera fase (58) en una cámara de deshumidificador de primera fase (50) a una primera temperatura de deshumidificación, en el que la primera temperatura de deshumidificación es más baja que la segunda temperatura de humidificación.

9. El método de la reivindicación 8, que comprende además hacer fluir el líquido de alimentación a través de un conducto de líquido de alimentación (60) que pasa a través de un baño de deshumidificador de segunda fase (58) en una cámara de deshumidificador de segunda fase (52) y después a través del baño de deshumidificador de primera

fase (58) antes de que el líquido de alimentación fluya hacia la cámara de humidificador de segunda fase (18), en donde el líquido de alimentación se calienta por energía térmica extraída del baño de deshumidificador de la segunda y primera fase (58) a medida que el líquido de alimentación fluye a través del conducto de líquido de alimentación (60) que pasa a través de los baños de deshumidificador (58).

10. El método de la reivindicación 9, que comprende además usar una fuente de calor adicional (62) para calentar adicionalmente el líquido de alimentación después de que el líquido de alimentación fluya a través del conducto de líquido de alimentación (60) que pasa a través de las cámaras de deshumidificador (50 y 52) y antes de que el líquido de alimentación fluya a través de las cámaras de humidificador (16 y 18).

11. El método de la reivindicación 3, en el que el deshumidificador (48) es un deshumidificador de múltiples fases que incluye una pluralidad de cámaras de deshumidificador (50 y 52).

12. El método de la reivindicación 3, en el que una porción del gas portador se extrae de al menos una ubicación intermedia en el humidificador de múltiples fases (12) y se suministra desde cada ubicación intermedia extraída a una ubicación intermedia correspondiente en el deshumidificador (48), permitiendo la manipulación de los flujos de masa gaseosa y una mayor recuperación de calor.

13. El método de la reivindicación 3, en el que una porción de un remanente del líquido de alimentación se extrae de al menos una ubicación intermedia en el humidificador de múltiples fases (12) y se suministra desde cada ubicación intermedia extraída a una ubicación intermedia correspondiente en el deshumidificador (48), permitiendo la manipulación de los flujos de líquido de alimentación y una mayor recuperación de calor.

14. El método de la reivindicación 8, en el que los baños de deshumidificador (48) tienen sustancialmente la misma composición, en forma líquida, que el componente vaporizable de la alimentación líquida.

15. Un aparato de humidificación de columna de burbujas de múltiples fases (12), que comprende:

una fuente de líquido de alimentación (14) que contiene un líquido de alimentación;

una cámara de humidificador de segunda fase (18) configurada para recibir el líquido de alimentación de la fuente de alimentación de líquido (14) y que contiene un distribuidor de burbujas de segunda fase (40); y un baño de humidificador de segunda fase (24) del líquido de alimentación remanente por encima del distribuidor de burbujas de segunda fase (40);

una cámara de humidificador de primera fase (16) unida integralmente y apilada en vertical con la cámara de humidificador de segunda fase (18), configurada para recibir un remanente del líquido de alimentación de la cámara de humidificador de segunda fase (18) a través de un conducto y que contiene un distribuidor de burbujas de primera fase (40),

en el que los distribuidores de burbujas de primera y segunda fase son placas rociadoras;

en el que las cámaras de humidificador de primera y segunda fase están separadas por el distribuidor de burbujas de segunda fase;

un baño de humidificador de primera fase (24) del remanente del líquido de alimentación por encima del distribuidor de burbujas de primera fase (40), configurado de manera que el gas portador ingrese a una región de gas superior por encima del baño de humidificador de primera fase (24) y después avanza a la cámara de humidificador de segunda fase (18), a través del distribuidor de burbujas de la segunda fase,

en el que cada una de las cámaras del humidificador (16 y 18) tiene una anchura, medida horizontalmente, y una altura, medida verticalmente, y en donde la anchura es al menos dos veces mayor que la altura; y

una fuente de gas portador (35) que contiene un gas portador, en donde la cámara de humidificador de primera fase (16) está configurada para recibir el gas portador de la fuente de gas portador (35) y para dispersar el gas portador a través del distribuidor de burbujas de primera fase (40), y en el que la cámara de humidificador de segunda fase (18) está configurada para recibir el gas portador de la cámara de humidificador de primera fase (16) y para dispersar el gas portador directamente desde la cámara de humidificador de primera fase (16) a través del distribuidor de burbujas de segunda fase (40).

16. El aparato de humidificación de columna de burbujas de múltiples fases (12) de la reivindicación 15, en el que el líquido de alimentación se selecciona de al menos uno de (a) agua de mar o aguas salobres y (b) agua de retorno o agua producida a partir de la extracción de petróleo o gas.

17. El aparato de humidificación de columna de burbujas de múltiples fases (12) de la reivindicación 15, que comprende, además:

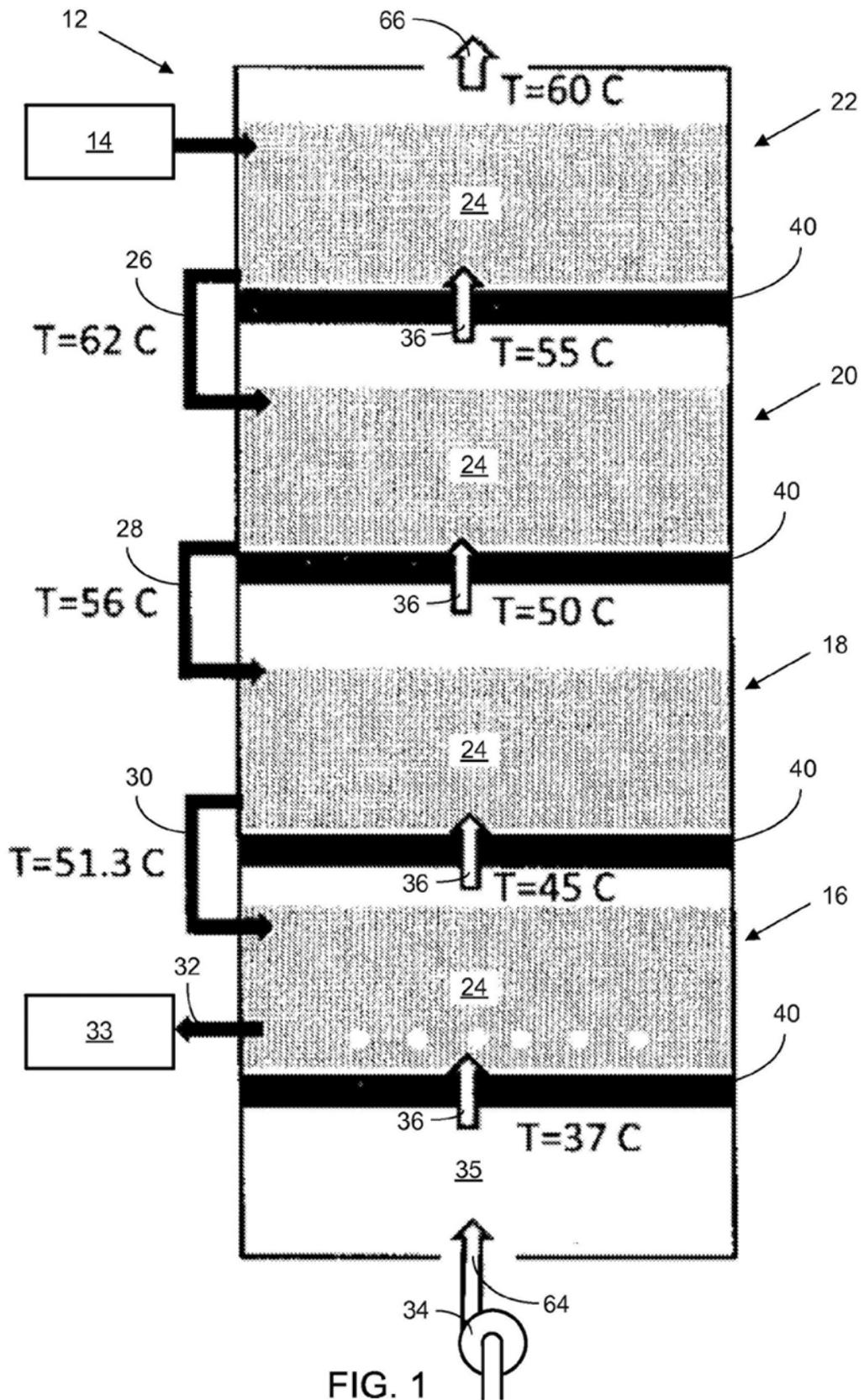
una cámara de deshumidificador de primera fase (50) configurada para recibir el gas portador de la cámara de humidificador de segunda fase (18);

una cámara de deshumidificador de segunda fase (52) configurada para recibir el gas portador de la cámara de deshumidificador de primera fase (50);

un conducto de líquido de alimentación (60) acoplado con la fuente de alimentación de líquido (14) y configurado para pasar desde la fuente de líquido de alimentación (14) a través de la cámara de deshumidificador de

segunda fase (52) y luego a través de la cámara de deshumidificador de primera fase (50) antes de terminar con una salida en la cámara de humidificador de segunda fase (18); y un calentador (62) configurado para calentar el conducto de líquido de alimentación (60) entre la cámara de deshumidificador de primera fase (50) y la cámara de humidificador de segunda fase (18).

5 18. El aparato de humidificación de columna de burbujas de múltiples fases (12) de la reivindicación 17, que comprende además un conducto de extracción múltiple (72) configurado para intercambiar directamente el líquido de alimentación entre (a) el conducto de líquido de alimentación (60) en una ubicación intermedia entre la cámara de deshumidificador de primera fase (50) y la cámara de deshumidificador de segunda fase (52) y (b) la cámara de
10 humidificador de primera fase o segunda fase (16 o 18).



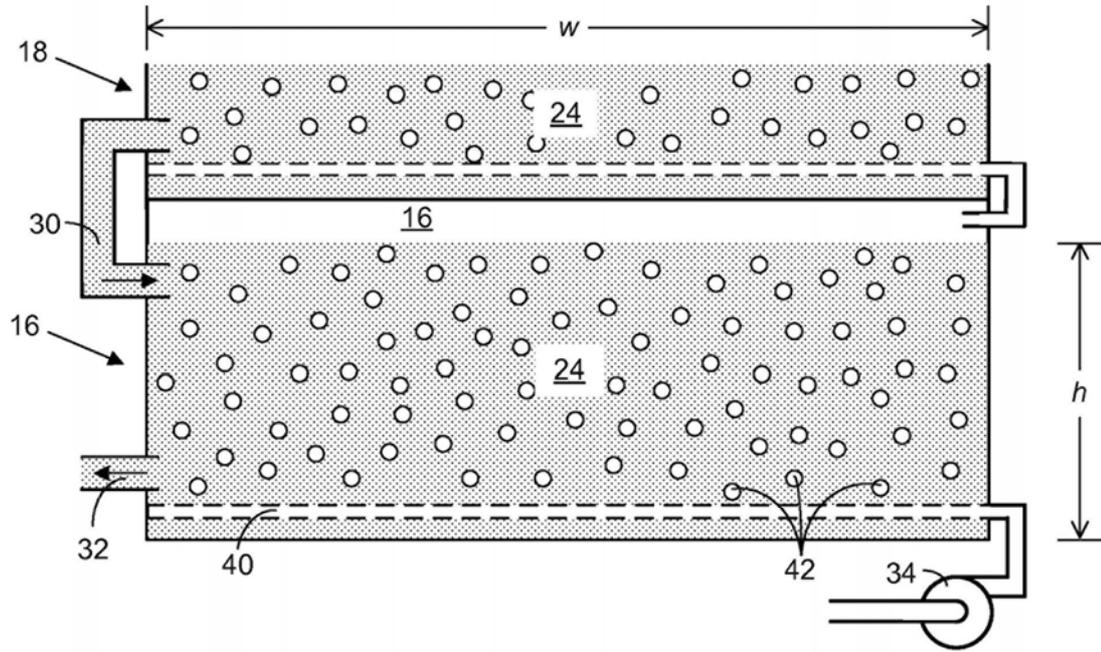


FIG. 2

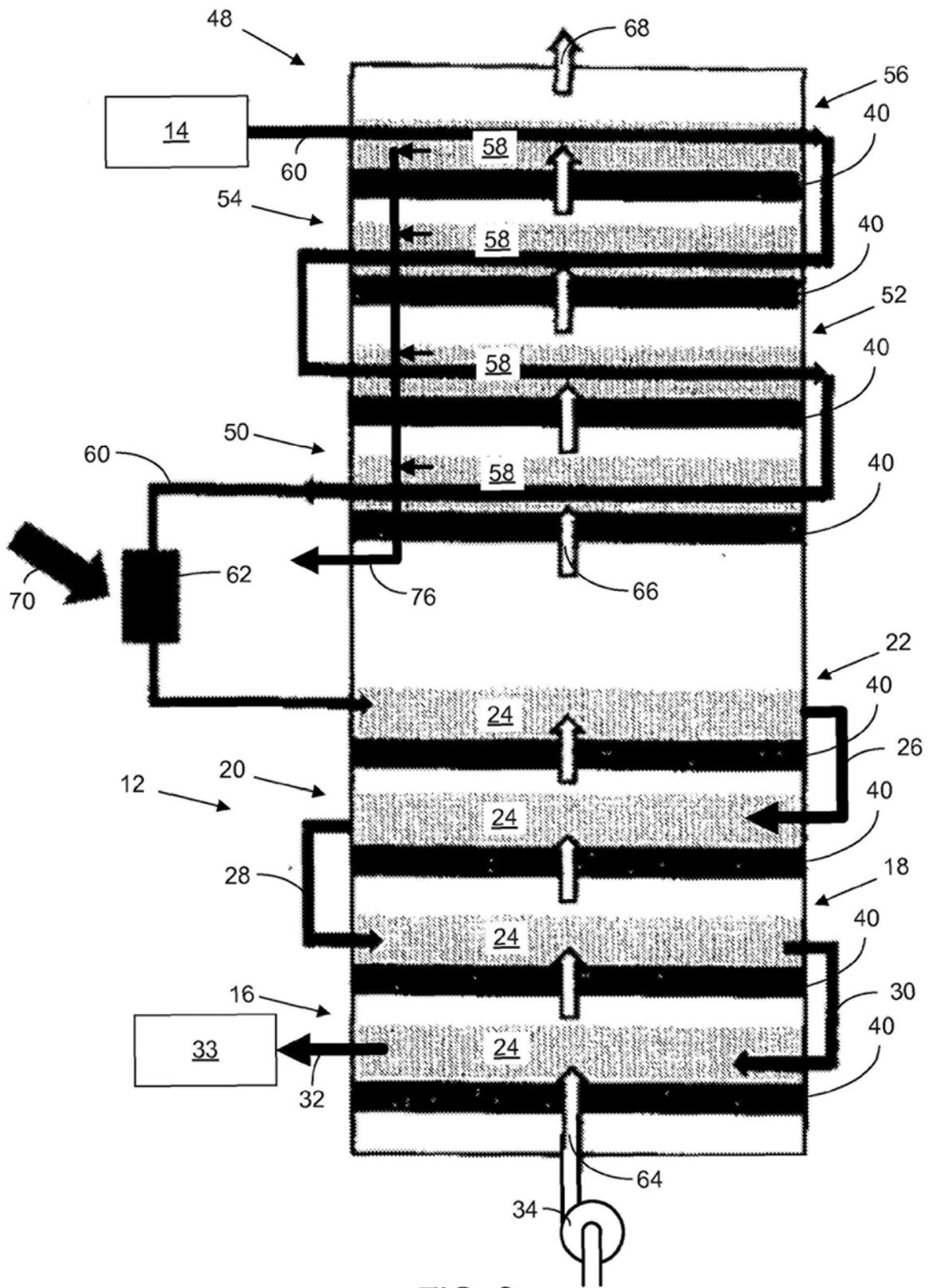


FIG. 3

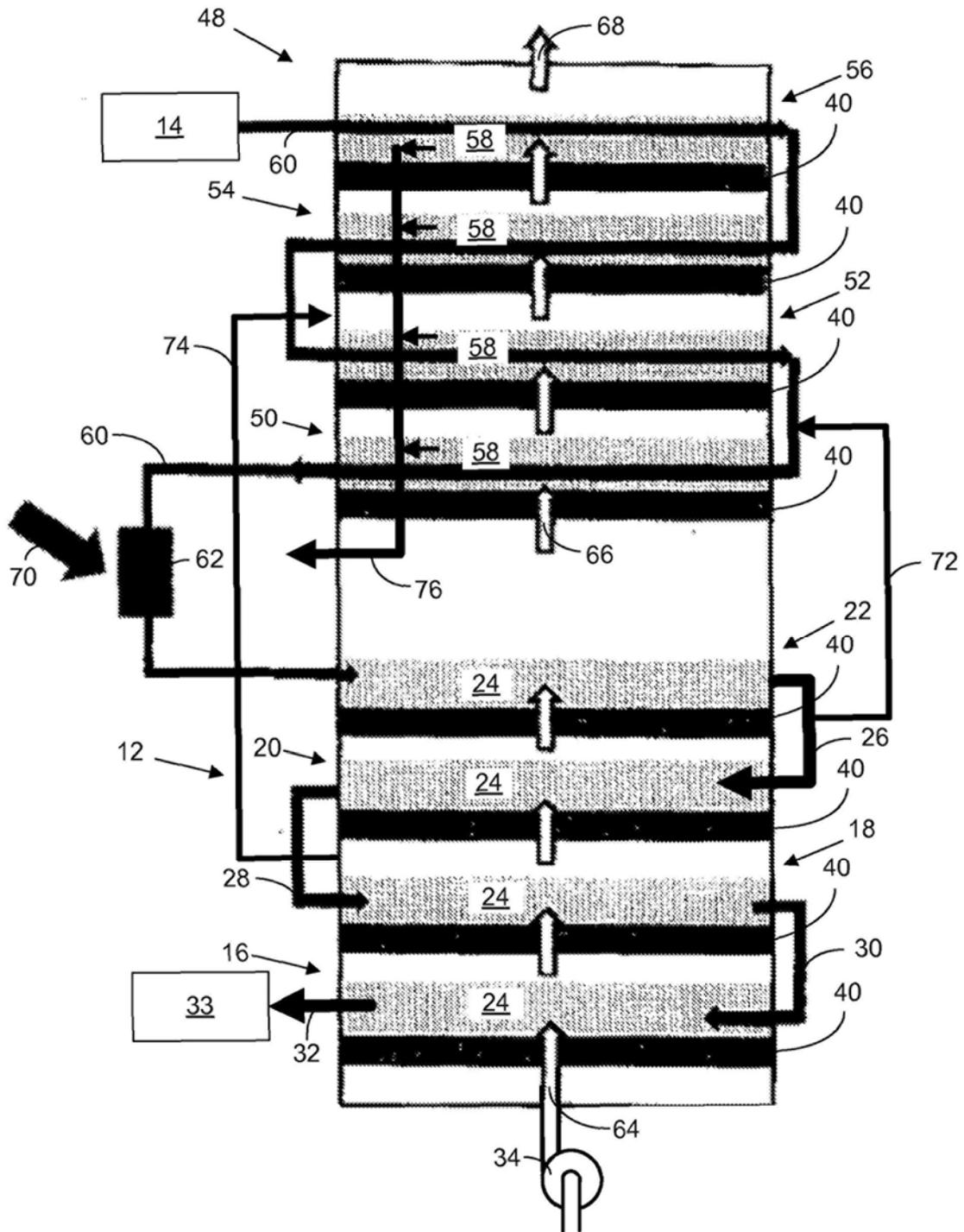


FIG. 4