

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 985 605**

51 Int. Cl.:

B01D 1/14 (2006.01)

B01D 3/22 (2006.01)

C02F 1/04 (2013.01)

C02F 103/08 (2006.01)

B01D 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.09.2014** **PCT/US2014/055525**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.03.2015** **WO15038983**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.09.2014** **E 14776792 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.07.2024** **EP 3043879**

54 Título: **Sistemas que incluyen un aparato de condensación tal como un condensador de columna de burbujas**

30 Prioridad:

12.09.2013 US 201361877032 P

08.11.2013 US 201361901757 P

22.11.2013 US 201361907629 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.11.2024

73 Titular/es:

GRADIANT CORPORATION (100.0%)

225 Wildwood Avenue

Woburn, MA 01801, US

72 Inventor/es:

GOVINDAN, PRAKASH NARAYAN;

LAM, STEVEN y

ST. JOHN, MAXIMUS G.

74 Agente/Representante:

BERTRÁN VALLS, Silvia

ES 2 985 605 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

Sistemas que incluyen un aparato de condensación tal como un condensador de columna de burbujas

5 **Solicitudes relacionadas**

Esta solicitud reivindica prioridad según 35 U.S.C. § 119(e) para la solicitud de patente provisional estadounidense con n.º de serie 61/877.032, presentada el 12 de septiembre de 2013 y titulada "Systems Including a Bubble Column Condenser"; la solicitud de patente provisional estadounidense con n.º de serie 61/901.757, presentada el 8 de noviembre 2013 y titulada "Systems Including a Bubble Column Condenser"; y la solicitud de patente provisional estadounidense con n.º de serie 61/907.629, presentada el 22 de noviembre 2013 y titulada "Systems Including a Bubble Column Condenser".

15 **Campo**

Las realizaciones descritas en el presente documento se refieren en general a aparatos de condensación (por ejemplo, condensadores de columna de burbujas) y a su uso en diversos sistemas de intercambio de calor y masa.

20 **Antecedentes**

La escasez de agua dulce está convirtiéndose en un problema creciente en todo el mundo, ya que continúa creciendo la demanda de agua dulce para consumo humano, irrigación, y/o uso industrial. Diversos métodos de desalinización son capaces de producir agua dulce a partir de agua de mar, agua salobre, agua de reflujo, agua producida a partir de un proceso de extracción de petróleo o gas y/o aguas residuales. Por ejemplo, un proceso de humidificación-deshumidificación (HDH) implica poner en contacto una disolución salina con aire seco en un humidificador, de tal manera que el aire se calienta y humidifica. El aire calentado y humidificado se pone entonces en contacto con agua fría en un deshumidificador (por ejemplo, condensador), produciendo agua pura y aire deshumidificado.

30 Sin embargo, los procesos de HDH a menudo implican determinados inconvenientes. Por ejemplo, debido al uso de un gas portador en sistemas de HDH, generalmente está presente un gran porcentaje de gas no condensable (por ejemplo, aire) en las corrientes de condensación, lo que puede provocar que las tasas de transferencia de calor y masa en el deshumidificador sean muy bajas. Además, la presencia de un gas no condensable puede aumentar la resistencia térmica a la condensación de vapor sobre una superficie fría, reduciendo de ese modo la eficacia de los condensadores de superficie. Adicionalmente, el deshumidificador puede requerir a veces grandes cantidades de energía para funcionar. Por tanto, son deseables condensadores con propiedades mejoradas tales como, por ejemplo, consumo de energía reducido y/o altas tasas de transferencia de calor y masa en presencia de gases no condensables.

40 Las solicitudes de patente presentadas antes de la fecha de presentación de esta solicitud incluyen el documento US 2013/074694 A1 que describe, en su propia redacción, un condensador de mezcla de vapor de columna de burbujas y el documento WO 2012/159203 A1 que describe, en su propia redacción, un método, un aparato y un sistema para concentrar disoluciones usando evaporación.

45 **Sumario**

La invención reivindicada actualmente está definida por la reivindicación independiente adjunta. Las reivindicaciones dependientes respectivas describen características opcionales y distintas realizaciones. Las figuras, ejemplos y "realizaciones" descritos a continuación en el presente documento que no se encuentran dentro del ámbito de las reivindicaciones adjuntas, por tanto, no forman parte de la invención reivindicada.

50 Se describen aparatos de condensación, tales como condensadores de columna de burbujas, y su uso en diversos sistemas de intercambio de calor y masa. El contenido de la presente invención implica, en algunos casos, productos interrelacionados, soluciones alternativas a un problema particular, y/o una pluralidad de usos diferentes de uno o más sistemas y/o artículos.

Determinadas realizaciones se refieren a sistemas de desalinización. En algunas realizaciones, un sistema de desalinización comprende un humidificador que comprende una entrada de líquido de humidificador en conexión de fluido con una fuente de agua que contiene sal, una entrada de gas de humidificador en conexión de fluido con una fuente de un gas portador, y una salida de humidificador. En determinados casos, el humidificador está configurado para producir una corriente de salida de humidificador que contiene vapor, enriquecida en vapor de agua con relación al gas recibido desde la entrada de gas. En algunas realizaciones, el sistema de desalinización comprende un condensador de columna de burbujas que comprende una entrada de condensador en conexión de fluido con la salida de humidificador, una salida de gas de condensador, y una salida de agua de condensador. En determinadas realizaciones, el condensador de columna de burbujas está configurado para retirar al menos una parte del vapor de agua de la corriente de salida de humidificador para producir una corriente de salida de gas de condensador, pobre

en agua con relación a la corriente de salida de humidificador y una corriente de salida de agua de condensador. En algunas realizaciones, el sistema de desalinización comprende un intercambiador de calor independiente del condensador de columna de burbujas y en conexión de fluido con la salida de agua de condensador y configurado para retirar calor de la corriente de salida de agua de condensador.

En algunas realizaciones, el sistema de desalinización comprende un humidificador que comprende una entrada de líquido de humidificador en conexión de fluido con una fuente de agua que contiene sal, una entrada de gas de humidificador en conexión de fluido con una fuente de un gas, y una salida de humidificador, en el que el humidificador está configurado para producir una corriente de salida de humidificador que contiene vapor, enriquecida en vapor de agua con relación al gas recibido de la entrada de gas. En determinadas realizaciones, el sistema de desalinización comprende un condensador de columna de burbujas que comprende una entrada de condensador en conexión de fluido con la salida de humidificador, una salida de gas de condensador, y una salida de agua de condensador, en el que el condensador de columna de burbujas está configurado para retirar al menos una parte del vapor de agua de la corriente de salida de humidificador para producir una corriente de salida de gas de condensador, pobre en agua con relación a la corriente de salida de humidificador y una corriente de salida de agua de condensador. En algunas realizaciones, el sistema de desalinización comprende un intercambiador de calor en conexión de fluido con la salida de agua de condensador y configurado para retirar calor de la corriente de salida de agua de condensador. En determinados casos, se extrae una parte de un flujo de gas de al menos una ubicación intermedia en el humidificador y se alimenta desde cada una de dicha al menos una ubicación intermedia a una ubicación intermedia correspondiente en el condensador de columna de burbujas.

Determinados ejemplos de la divulgación que no forman parte de la invención reivindicada pero que pueden usarse con la misma se refieren a sistemas de condensador que comprenden un condensador de columna de burbujas que comprende un recipiente que comprende una entrada en comunicación de fluido con una fuente de un gas que comprende un fluido condensable en fase de vapor, y una salida, en los que el recipiente contiene una capa de líquido que comprende una cantidad del fluido condensable y el condensador de columna de burbujas está configurado para retirar al menos una parte del fluido condensable del gas para producir una corriente de salida de condensador de columna de burbujas que comprende el fluido condensable en fase líquida. En algunas realizaciones, los sistemas de condensador comprenden además un intercambiador de calor situado externo al recipiente y en conexión de fluido con el recipiente para recibir la corriente de salida de condensador de columna de burbujas y para retirar calor de la corriente de salida de condensador de columna de burbujas.

Algunos ejemplos de la divulgación se refieren a un condensador de columna de burbujas que comprende una primera etapa que comprende una entrada de primera etapa en comunicación de fluido con una fuente de un gas que comprende un fluido condensable en una fase de vapor, y una salida de primera etapa, en el que la primera etapa contiene una capa de líquido que comprende una cantidad del fluido condensable, y la razón de la altura de la capa de líquido dentro de la primera etapa con respecto a la longitud del condensador es de aproximadamente 1,0 o menor durante un funcionamiento sustancialmente continuo.

En determinados ejemplos de la divulgación, el condensador de columna de burbujas comprende una primera etapa que comprende una entrada de primera etapa en comunicación de fluido con una fuente de un gas que comprende un fluido condensable en una fase de vapor, y una salida de primera etapa, en el que la primera etapa contiene una capa de líquido que comprende una cantidad del fluido condensable, teniendo la capa de líquido una altura de menos de aproximadamente 0,1 m durante un funcionamiento sustancialmente continuo.

En algunos ejemplos de la divulgación, se proporciona un aparato de condensador. En algunos casos, el aparato de condensador comprende un recipiente que comprende una entrada de líquido para recibir una corriente de un líquido que comprende un fluido condensable en fase líquida, una salida de líquido, y al menos una cámara en comunicación de fluido con la entrada de líquido y la salida de líquido. En determinadas realizaciones, la al menos una cámara comprende una superficie inferior que comprende una pluralidad de perforaciones a través de las cuales puede desplazarse vapor. En determinados casos, el aparato de condensador comprende una capa de líquido situada en contacto con la salida de líquido. En algunos casos, la capa de líquido comprende una cantidad del líquido que comprende el fluido condensable. En algunas realizaciones, el aparato de condensador comprende una región de distribución de vapor situada por debajo de la al menos una cámara. Según algunas realizaciones, la región de distribución de vapor comprende una entrada de vapor en comunicación de fluido con una fuente de una mezcla de vapor que comprende el fluido condensable en fase de vapor y/o un gas no condensable. En algunos casos, el aparato de condensador comprende una salida de vapor dispuesta en comunicación de fluido con la al menos una cámara. En determinadas realizaciones, el aparato de condensador está configurado para retirar al menos una parte del fluido condensable de la mezcla de vapor para producir una corriente de salida de condensador que comprende el fluido condensable en fase líquida.

En algunos ejemplos de la divulgación que no forman parte de la invención reivindicada pero que pueden usarse con la misma, se proporciona un aparato de humidificador. En algunos casos, el aparato de humidificador comprende un recipiente que comprende una entrada de líquido para recibir una corriente de un líquido que comprende un fluido condensable en fase líquida, una salida de líquido, y al menos una cámara en comunicación de fluido con la entrada de líquido y la salida de líquido. En determinadas realizaciones, la al menos una cámara comprende una superficie

inferior que comprende una pluralidad de perforaciones a través de las cuales puede desplazarse vapor. En determinados casos, el aparato de humidificador comprende una capa de líquido situada en contacto con la salida de líquido. En algunos casos, la capa de líquido comprende una cantidad del líquido que comprende el fluido condensable. En algunas realizaciones, el aparato de humidificador comprende una región de distribución de vapor situada por debajo de la al menos una cámara. Según algunas realizaciones, la región de distribución de vapor comprende una entrada de vapor en comunicación de fluido con una fuente de una mezcla de vapor que comprende el fluido condensable en fase de vapor y/o un gas no condensable. En algunos casos, el aparato de humidificador comprende una salida de vapor dispuesta en comunicación de fluido con la al menos una cámara. En determinadas realizaciones, el aparato de humidificador está configurado para producir una corriente de salida de humidificador que contiene vapor, enriquecida en el fluido condensable en fase de vapor con relación a la mezcla de vapor recibida desde la entrada de vapor.

Algunos ejemplos de la divulgación se refieren a un aparato de condensador que comprende un recipiente que comprende una entrada de líquido para recibir una corriente de un líquido que comprende un fluido condensable en fase líquida, una salida de líquido, y al menos una cámara en comunicación de fluido con la entrada de líquido y la salida de líquido. En algunos casos, la al menos una cámara tiene una relación de aspecto de al menos 1,5. En algunas realizaciones, el aparato de condensador comprende una entrada de vapor dispuesta en comunicación de fluido con la al menos una cámara y con una fuente de una mezcla de vapor que comprende el fluido condensable en fase de vapor y/o un gas no condensable. En algunas realizaciones, el aparato de condensador comprende una salida de vapor dispuesta en comunicación de fluido con la al menos una cámara. En determinados casos, la al menos una cámara comprende una superficie que comprende una pluralidad de perforaciones a través de las que puede desplazarse vapor. En algunas realizaciones, la al menos una cámara comprende un primer aliviadero y un segundo aliviadero, estando cada uno situado a lo largo de una superficie inferior de la al menos una cámara y teniendo, cada uno, una altura que es menor que la altura de la al menos una cámara. En determinadas realizaciones, el primer aliviadero y el segundo aliviadero se disponen de tal manera que la corriente del líquido que comprende el fluido condensable en fase líquida fluye a través de la al menos una cámara desde el primer aliviadero hasta el segundo aliviadero. En determinadas realizaciones, el aparato de condensador está configurado para retirar al menos una parte del fluido condensable de la mezcla de vapor para producir una corriente de salida de condensador que comprende el fluido condensable en fase líquida.

Según algunos ejemplos de la divulgación que no forman parte de la invención reivindicada pero que pueden usarse con la misma, un aparato de humidificador comprende un recipiente que comprende una entrada de líquido para recibir una corriente de un líquido que comprende un fluido condensable en fase líquida, una salida de líquido, y al menos una cámara en comunicación de fluido con la entrada de líquido y la salida de líquido. En algunos casos, la al menos una cámara tiene una relación de aspecto de al menos 1,5. En algunas realizaciones, el aparato de humidificador comprende una entrada de vapor dispuesta en comunicación de fluido con la al menos una cámara y con una fuente de una mezcla de vapor que comprende el fluido condensable en fase de vapor y/o un gas no condensable. En algunas realizaciones, el aparato de humidificador comprende una salida de vapor dispuesta en comunicación de fluido con la al menos una cámara. En determinados casos, la al menos una cámara comprende una superficie que comprende una pluralidad de perforaciones a través de las que puede desplazarse vapor. En algunas realizaciones, la al menos una cámara comprende un primer aliviadero y un segundo aliviadero, estando cada uno situado a lo largo de una superficie inferior de la al menos una cámara y teniendo, cada uno, una altura que es menor que la altura de la al menos una cámara. En determinadas realizaciones, el primer aliviadero y el segundo aliviadero se disponen de tal manera que la corriente del líquido que comprende el fluido condensable en fase líquida fluye a través de la al menos una cámara desde el primer aliviadero hasta el segundo aliviadero. En determinadas realizaciones, el aparato de humidificador está configurado para producir una corriente de salida de humidificador que contiene vapor, enriquecida en el fluido condensable en fase de vapor con relación a la mezcla de vapor recibida desde la entrada de vapor.

Determinados ejemplos de la divulgación se refieren a un aparato de condensador que comprende un recipiente que comprende una entrada de líquido para recibir una corriente de un líquido que comprende un fluido condensable en fase líquida, una salida de líquido, y una pluralidad de cámaras dispuestas de manera vertical unas con respecto a otras y en comunicación de fluido con la entrada de líquido y la salida de líquido. En algunas realizaciones, la pluralidad de cámaras comprende una primera cámara que comprende una superficie superior dispuesta en comunicación de fluido con la entrada de líquido y una superficie inferior que comprende una pluralidad de perforaciones a través de las que puede desplazarse vapor. En algunas realizaciones, la pluralidad de cámaras comprende además una segunda cámara dispuesta por debajo de la primera cámara y en comunicación de fluido con la primera cámara. En determinados casos, la segunda cámara comprende una pluralidad de perforaciones a través de las que puede desplazarse vapor. En algunas realizaciones, el aparato de condensador comprende una entrada de vapor dispuesta en comunicación de fluido con la pluralidad de cámaras y con una fuente de una mezcla de vapor que comprende un fluido condensable en fase de vapor y/o un gas no condensable. En algunos casos, el aparato de condensador comprende una salida de vapor dispuesta en comunicación de fluido con la pluralidad de cámaras. En determinadas realizaciones, la primera y segunda cámaras están dispuestas de tal manera que la corriente del líquido que comprende el fluido condensable en fase líquida fluye a través de la longitud de la primera cámara en un primer sentido y a través de la longitud de la segunda cámara en un segundo sentido opuesto. En determinadas realizaciones, el aparato de condensador está configurado para retirar al menos una parte del fluido

condensable de la mezcla de vapor para producir una corriente de salida de condensador que comprende el fluido condensable en fase líquida.

En algunos ejemplos de la divulgación que no forman parte de la invención reivindicada pero que pueden usarse con la misma, un aparato de humidificador comprende un recipiente que comprende una entrada de líquido para recibir una corriente de un líquido que comprende un fluido condensable en fase líquida, una salida de líquido, y una pluralidad de cámaras dispuestas de manera vertical unas con respecto a otras y en comunicación de fluido con la entrada de líquido y la salida de líquido. En algunas realizaciones, la pluralidad de cámaras comprende una primera cámara que comprende una superficie superior dispuesta en comunicación de fluido con la entrada de líquido y una superficie inferior que comprende una pluralidad de perforaciones a través de las que puede desplazarse vapor. En algunas realizaciones, la pluralidad de cámaras comprende además una segunda cámara dispuesta por debajo de la primera cámara y en comunicación de fluido con la primera cámara. En determinados casos, la segunda cámara comprende una pluralidad de perforaciones a través de las que puede desplazarse vapor. En algunas realizaciones, el aparato de humidificador comprende una entrada de vapor dispuesta en comunicación de fluido con la pluralidad de cámaras y con una fuente de una mezcla de vapor que comprende un fluido condensable en fase de vapor y/o un gas no condensable. En algunos casos, el aparato de humidificador comprende una salida de vapor dispuesta en comunicación de fluido con la pluralidad de cámaras. En determinadas realizaciones, la primera y segunda cámaras están dispuestas de tal manera que la corriente del líquido que comprende el fluido condensable en fase líquida fluye a través de la longitud de la primera cámara en un primer sentido y a través de la longitud de la segunda cámara en un segundo sentido opuesto. En determinadas realizaciones, el aparato de humidificador está configurado para producir una corriente de salida de humidificador que contiene vapor, enriquecida en el fluido condensable en fase de vapor con relación a la mezcla de vapor recibida desde la entrada de vapor.

En algunos ejemplos de la divulgación que no forman parte de la invención reivindicada pero que pueden usarse con la misma, se proporciona un aparato de condensador que comprende un recipiente que comprende una entrada de líquido para recibir una corriente de un líquido que comprende un fluido condensable en fase líquida, una salida de líquido, y una pluralidad de cámaras dispuestas de manera vertical unas con respecto a otras y en comunicación de fluido con la entrada de líquido y la salida de líquido. En determinados casos, cada cámara tiene una relación de aspecto de al menos 1,5. En algunas realizaciones, la pluralidad de cámaras comprende una primera cámara que comprende una superficie superior dispuesta en comunicación de fluido con la entrada de líquido y una superficie inferior que comprende una pluralidad de perforaciones a través de las que puede desplazarse vapor, y una segunda cámara dispuesta por debajo de la primera cámara y en comunicación de fluido con la primera cámara, comprendiendo la segunda cámara una pluralidad de perforaciones a través de las que puede desplazarse vapor. En algunas realizaciones, el aparato de condensador comprende una capa de líquido situada en contacto con la salida de líquido. En determinados casos, la capa de líquido comprende una cantidad del líquido que comprende el fluido condensable. En determinadas realizaciones, el aparato de condensador comprende una región de distribución de vapor situada por debajo de la pluralidad de cámaras. En algunos casos, la región de distribución de vapor comprende una entrada de vapor en comunicación de fluido con una fuente de una mezcla de vapor que comprende un fluido condensable en fase de vapor y/o un gas no condensable. En algunas realizaciones, el aparato de condensador comprende una salida de vapor dispuesta en comunicación de fluido con la pluralidad de cámaras. En algunas realizaciones, cada una de la primera cámara y la segunda cámara comprende un primer aliviadero y un segundo aliviadero situados a lo largo de una superficie inferior de la primera o segunda cámaras. En algunos casos, el primer aliviadero y el segundo aliviadero tienen, cada uno, una altura que es menor que la altura de la primera o segunda cámaras. En algunos casos, el primer y segundo aliviaderos se disponen de tal manera que la corriente del líquido que comprende el fluido condensable en fase líquida fluye a través de la cámara desde el primer aliviadero hasta el segundo aliviadero. En algunas realizaciones, la primera y segunda cámaras están dispuestas de tal manera que la corriente del líquido que comprende el fluido condensable en fase líquida fluye a través de la longitud de la primera cámara en un primer sentido y a través de la longitud de la segunda cámara en un segundo sentido opuesto. En determinadas realizaciones, el aparato de condensador está configurado para retirar al menos una parte del fluido condensable de la mezcla de vapor para producir una corriente de salida de condensador que comprende el fluido condensable en fase líquida.

En algunos ejemplos de la divulgación que no forman parte de la invención reivindicada pero que pueden usarse con la misma, se proporciona un aparato de humidificador que comprende un recipiente que comprende una entrada de líquido para recibir una corriente de un líquido que comprende un fluido condensable en fase líquida, una salida de líquido, y una pluralidad de cámaras dispuestas de manera vertical unas con respecto a otras y en comunicación de fluido con la entrada de líquido y la salida de líquido. En determinados casos, cada cámara tiene una relación de aspecto de al menos 1,5. En algunas realizaciones, la pluralidad de cámaras comprende una primera cámara que comprende una superficie superior dispuesta en comunicación de fluido con la entrada de líquido y una superficie inferior que comprende una pluralidad de perforaciones a través de las que puede desplazarse vapor, y una segunda cámara dispuesta por debajo de la primera cámara y en comunicación de fluido con la primera cámara, comprendiendo la segunda cámara una pluralidad de perforaciones a través de las que puede desplazarse vapor. En algunas realizaciones, el aparato de humidificador comprende una capa de líquido situada en contacto con la salida de líquido. En determinados casos, la capa de líquido comprende una cantidad del líquido que comprende el fluido condensable. En determinadas realizaciones, el aparato de humidificador comprende una región de distribución de vapor situada por debajo de la pluralidad de cámaras. En algunos casos, la región de distribución de

vapor comprende una entrada de vapor en comunicación de fluido con una fuente de una mezcla de vapor que comprende un fluido condensable en fase de vapor y/o un gas no condensable. En algunas realizaciones, el aparato de humidificador comprende una salida de vapor dispuesta en comunicación de fluido con la pluralidad de cámaras. En algunas realizaciones, cada una de la primera cámara y la segunda cámara comprende un primer aliviadero y un segundo aliviadero situados a lo largo de una superficie inferior de la primera o segunda cámaras. En algunos casos, el primer aliviadero y el segundo aliviadero tienen, cada uno, una altura que es menor que la altura de la primera o segunda cámaras. En algunos casos, el primer y segundo aliviaderos se disponen de tal manera que la corriente del líquido que comprende el fluido condensable en fase líquida fluye a través de la cámara desde el primer aliviadero hasta el segundo aliviadero. En algunas realizaciones, la primera y segunda cámaras están dispuestas de tal manera que la corriente del líquido que comprende el fluido condensable en fase líquida fluye a través de la longitud de la primera cámara en un primer sentido y a través de la longitud de la segunda cámara en un segundo sentido opuesto. En determinadas realizaciones, el aparato de humidificador está configurado para producir una corriente de salida de humidificador que contiene vapor, enriquecida en el fluido condensable en fase de vapor con relación a la mezcla de vapor recibida desde la entrada de vapor.

Otras ventajas y características nuevas de la presente invención resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de diversas realizaciones no limitativas de la invención, cuando se consideran junto con las figuras adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

Se describirán a modo de ejemplo realizaciones no limitativas de la presente invención y ejemplos de la divulgación con referencia a las figuras adjuntas, que son esquemáticas y no pretenden estar trazadas a escala. En las figuras, cada componente idéntico o casi idéntico ilustrado está representado normalmente por un único número de referencia. Para mayor claridad, no todos los componentes están etiquetados en cada figura, ni se muestra cada componente de cada realización de la invención donde la ilustración no es necesaria para permitir que los expertos habituales en la técnica entiendan la invención. En las figuras:

La figura 1 muestra, según algunas realizaciones: (A) una ilustración esquemática en sección transversal a modo de ejemplo de un condensador de columna de burbujas de una única etapa; y (B) una vista de arriba abajo a modo de ejemplo de una etapa de un condensador de columna de burbujas;

la figura 2 muestra ilustraciones esquemáticas en sección transversal a modo de ejemplo de un condensador de columna de burbujas de dos etapas (A) sin una entrada de gas intermedia; (B) con una entrada de gas intermedia; (C) con una cámara de distribución de vapor; y (D) con dos cámaras de distribución de vapor, según algunas realizaciones;

la figura 3 muestra, según algunas realizaciones, diagramas esquemáticos a modo de ejemplo de: (A) un condensador de columna de burbujas y un intercambiador de calor externo; y (B) un condensador de columna de burbujas, un intercambiador de calor externo, un dispositivo de calentamiento externo, y un dispositivo de refrigeración externo;

la figura 4 muestra diagramas esquemáticos a modo de ejemplo de un sistema de HDH que incluye un condensador de columna de burbujas y un intercambiador de calor externo, según algunas realizaciones, donde (A) el intercambiador de calor externo es un dispositivo de flujo paralelo; (B) el intercambiador de calor externo es un dispositivo de flujo a contracorriente; y (C) el sistema comprende además un primer dispositivo de calentamiento externo y un segundo dispositivo de calentamiento externo;

la figura 5 muestra un diagrama esquemático a modo de ejemplo de un condensador de columna de burbujas de ocho etapas y un intercambiador de calor externo, según algunas realizaciones;

la figura 6 muestra una realización a modo de ejemplo de una cámara de generación de burbujas con deflectores con dos pasadas de flujo transversal de líquido;

la figura 7 muestra una realización a modo de ejemplo de un condensador de columna de burbujas de múltiples etapas en (A) una vista isométrica cerrada; (B) una vista isométrica cruzada; (C)-(F) proyecciones de vista lateral bidimensionales de (A); (G) diversas vistas de la superficie superior de la cámara; (H) una vista de una cámara de generación de burbujas sin deflectores con una pasada de flujo transversal de líquido; y (I) diversas vistas de una cámara de generación de burbujas con una pasada de flujo transversal de líquido y sin deflectores horizontales;

la figura 8 muestra una ilustración esquemática en sección transversal a modo de ejemplo de un condensador de columna de burbujas de una única etapa que comprende un apilamiento para reducir o eliminar el arrastre de gotas;

la figura 9 muestra, según algunas realizaciones, un diagrama esquemático a modo de ejemplo de un sistema de HDH que incluye un condensador de columna de burbujas, un intercambiador de calor, un primer dispositivo de calentamiento, un segundo dispositivo de calentamiento, y un dispositivo de refrigeración;

la figura 10 muestra, según algunas realizaciones, ilustraciones esquemáticas a modo de ejemplo de: (A) un condensador de columna de burbujas de ocho etapas y un intercambiador de calor externo; y (B) un condensador de columna de burbujas de ocho etapas, un intercambiador de calor externo, y un dispositivo de refrigeración externo;

la figura 11 muestra, según algunas realizaciones, ilustraciones esquemáticas a modo de ejemplo de un sistema de HDH que comprende: (A) un condensador de columna de burbujas, un humidificador, un intercambiador de calor externo, un dispositivo de calentamiento externo, y un dispositivo de refrigeración externo; (B) un condensador de columna de burbujas que comprende una entrada de aire intermedia, un humidificador que comprende una salida de aire intermedia, un intercambiador de calor externo, un dispositivo de calentamiento externo, y un dispositivo de refrigeración externo; (C) un condensador de columna de burbujas que comprende un intercambiador de calor interno, un humidificador, un dispositivo de calentamiento externo, y un dispositivo de refrigeración externo; y (D) un condensador de columna de burbujas que comprende un intercambiador de calor interno y una entrada de aire intermedia, un humidificador que comprende una salida de aire intermedia, un dispositivo de calentamiento externo, y un dispositivo de refrigeración externo;

la figura 12 muestra, según algunas realizaciones, una representación esquemática a modo de ejemplo de una cámara que tiene una sección transversal esencialmente circular, que comprende un deflector espiral; y

la figura 13 muestra una ilustración esquemática a modo de ejemplo de una cámara que tiene una sección transversal sustancialmente circular y que comprende dos deflectores, según algunas realizaciones.

Descripción detallada

Las realizaciones descritas en el presente documento proporcionan aparatos de condensación (por ejemplo, condensadores de columna de burbujas) y su uso en diversos sistemas de intercambio de calor y masa. Por ejemplo, los aparatos de condensación pueden ser útiles en sistemas para la purificación de agua (por ejemplo, sistemas de desalinización). En algunos casos, los aparatos de condensación permiten sistemas simplificados de menor coste con un rendimiento mejorado, tal como un intercambio de calor y masa mejorado entre las fases gaseosa y líquida. Debe observarse que, aunque los aparatos descritos en el presente documento se denominan generalmente aparatos de condensación o condensadores, los aparatos pueden usarse, en algunos casos, para humidificación. Por ejemplo, algunas de las realizaciones descritas en el presente documento pueden referirse a humidificadores de columna de burbujas.

En algunos casos, los condensadores pueden permitir ventajosamente un número reducido de componentes, una cantidad reducida de material (por ejemplo, área de superficie de transferencia de calor) dentro de un sistema, un coste reducido de los componentes y/o componentes que tienen dimensiones reducidas. Por ejemplo, un sistema puede incluir un componente que contiene una cantidad de un líquido a una determinada altura, y la incorporación de los condensadores descritos en el presente documento puede permitir una reducción de la cantidad, y, por tanto, la altura, del líquido dentro del componente. En algunos casos, reducir la cantidad de líquido dentro del sistema puede permitir componentes más simplificados que tienen dimensiones reducidas con un rendimiento similar o, en algunos casos, mejorados en relación con sistemas más grandes. Por ejemplo, un componente puede ser útil para facilitar la transferencia de calor entre las fases gaseosa y líquida dentro del condensador. La incorporación de tales componentes que tienen dimensiones reducidas (por ejemplo, altura, separación entre etapas, etc.) dentro de un único condensador puede permitir el uso de un mayor número de componentes dentro de un condensador dado, dando como resultado un aumento del intercambio de calor y masa entre las fases gaseosa y líquida. Adicionalmente, puede reducirse la cantidad de materiales requeridos para construir los condensadores descritos en el presente documento, reduciendo de ese modo el coste de fabricación. Además, en determinadas realizaciones de los condensadores descritos en el presente documento, la transferencia de calor y masa se produce a través de burbujas de un gas o una mezcla de gas (por ejemplo, pueden transferirse calor y masa desde burbujas de un gas o una mezcla de gas que comprende un fluido condensable en fase de vapor a un baño de líquido del fluido condensable a través de un proceso de condensación). El uso de burbujas de gas en lugar de, por ejemplo, superficies metálicas (por ejemplo, tubos de titanio) para la transferencia de calor y masa puede reducir ventajosamente el coste de fabricación de los condensadores. Además, el uso de burbujas de gas puede aumentar la cantidad de área de superficie disponible para la transferencia de calor y masa, dando como resultado de ese modo un aumento ventajoso de la eficacia termodinámica de los condensadores de columna de burbujas.

En algunos casos, los condensadores descritos en el presente documento pueden presentar ventajosamente una disminución de presión reducida a través del condensador. Es decir, la presión en una entrada del condensador puede ser sustancialmente la misma que (por ejemplo, menos del 10 % de variación con respecto a) la presión en una salida del condensador. Por ejemplo, la presión de un fluido (por ejemplo, vapor) que entra por una entrada del condensador puede ser sustancialmente la misma que la presión del fluido que sale por una salida del condensador. La reducción de la disminución de presión a través del condensador puede ser ventajosa porque puede usarse una bomba relativamente más pequeña, que requiere menos potencia y coste para funcionar, para bombear fluidos a través del condensador.

Los condensadores descritos en el presente documento pueden presentar, en algunas realizaciones, propiedades de transferencia de calor mejoradas, una característica que puede ser particularmente ventajosa en casos en los que el material que pasa a través del condensador incluye un gas no condensable. Los gases no condensables se refieren generalmente a cualquier gas que no se condensa para dar una fase líquida en las condiciones de funcionamiento del condensador. Los ejemplos de gases no condensables incluyen, pero no se limitan a, aire, nitrógeno, oxígeno, y helio. En algunos casos, el condensador puede estar configurado de tal manera que las tasas de transferencia de calor mejoran para mezclas que incluyen un gas no condensable.

Normalmente, el condensador puede estar configurado para recibir una corriente de entrada de líquido de condensador y para suministrar una corriente de salida de líquido de condensador a otro componente dentro de un sistema. El condensador también puede estar configurado para recibir un gas o una mezcla de gas a través de al menos una entrada y para suministrar un gas o una mezcla de gas a través de una salida a otro componente dentro del sistema. En algunas realizaciones, el gas o la mezcla de gas puede comprender una mezcla de vapor (por ejemplo, un fluido condensable en fase de vapor y/o un gas no condensable). En algunos casos, el gas o la mezcla de gas que entra en el condensador puede tener una composición diferente que el gas o la mezcla de gas que sale del condensador. Por ejemplo, el gas o la mezcla de gas que entra en el condensador puede incluir un fluido particular (por ejemplo, un fluido condensable), una parte del cual puede retirarse en el condensador de tal manera que el gas o la mezcla de gas que sale tenga una cantidad relativamente disminuida del fluido. En algunas realizaciones, el fluido puede retirarse del gas o la mezcla de gas mediante un proceso de condensación. En algunos casos, el condensador puede ser un condensador de columna de burbujas, en el que se condensan vapores en una columna de líquido relativamente frío. En algunas realizaciones, el condensador de columna de burbujas comprende al menos una etapa dentro de la que se trata un gas o una mezcla de gas de tal manera que se retiren uno o más componentes del gas o la mezcla de gas. Por ejemplo, el gas o la mezcla de gas puede incluir un fluido condensable en fase de vapor, y puede realizarse la recuperación del fluido condensable (por ejemplo, en forma líquida) dentro de la al menos una etapa del condensador de columna de burbujas. Un fluido condensable se refiere generalmente a un fluido que es capaz de condensarse de la fase gaseosa a la fase líquida en las condiciones de funcionamiento del condensador.

La figura 1A muestra un diagrama en sección transversal a modo de ejemplo de un condensador de columna de burbujas de una única etapa. Tal como se muestra en la figura 1A, el condensador 100 de columna de burbujas incluye la etapa 110, que incluye la entrada 120, la salida 130, y la cámara 140 (por ejemplo, tal como se proporciona mediante un recipiente de contención). La capa 150 de líquido, que comprende un fluido condensable en una fase líquida, reside en la cámara 140. Como una realización ilustrativa, el fluido condensable puede ser agua. La capa 150 de líquido puede tener, en algunas realizaciones, una altura H_L que es relativamente baja (por ejemplo, de aproximadamente 0,1 m o menos). La altura H_L puede ser menor que una altura H_C de la cámara 140. En algunos casos, la parte de la cámara 140 que no está ocupada por la capa 150 de líquido comprende una región de distribución de vapor. La entrada 120 está en comunicación de fluido con una fuente de un gas o una mezcla de gas que contiene un fluido condensable en una fase de vapor. En algunas realizaciones, el gas puede contener además uno o más gases no condensables. Por ejemplo, el gas puede incluir aire humidificado. La entrada 120 también puede estar acoplada al generador 160 de burbujas de tal manera que el gas que entra por la entrada 120 se alimente al generador 160 de burbujas. Tal como se analiza con más detalle a continuación, el generador de burbujas puede comprender una placa de rociador que comprende una pluralidad de orificios. El generador 160 de burbujas puede estar en comunicación de fluido con la cámara 140 y/o puede disponerse dentro de la cámara 140. En algunos casos, el generador 160 de burbujas forma la superficie inferior de la cámara 140.

En algunos casos, las entradas y/o salidas dentro de la columna pueden proporcionarse como características independientes y distintas (por ejemplo, la entrada 120 en la figura 1A). En algunos casos, las entradas y/o salidas dentro de la columna pueden proporcionarse por determinados componentes tales como el generador de burbujas, la placa de rociador, y/o cualquier otra característica que establezca una comunicación de fluido entre los componentes de la columna y/o el sistema. Por ejemplo, la "entrada" de una etapa particular de la columna puede proporcionarse como la pluralidad de orificios de una placa de rociador. Por ejemplo, un gas o una mezcla de gas que se desplaza entre una primera y una segunda etapas puede entrar en la segunda etapa a través de una "entrada" proporcionada por los orificios de una placa de rociador.

Cuando el condensador de columna de burbujas está en funcionamiento, el gas o la mezcla de gas fluye a través de la entrada 120 al generador 160 de burbujas, produciendo burbujas 170 de gas que contienen el gas o la mezcla de gas y se desplazan a través del baño 150 líquido (por ejemplo, la capa de líquido). La temperatura del baño 150 de líquido puede mantenerse más baja que la temperatura de las burbujas 170 de gas, lo que da como resultado la transferencia de calor y masa desde las burbujas 170 de gas al baño 150 de líquido a través de un proceso de condensación. Después de pasar a través del baño 150 líquido, el gas o la mezcla de gas, que se ha deshumidificado al menos parcialmente, puede entrar en la región de distribución de vapor (por ejemplo, la parte de la cámara 140 que no está ocupada por el baño 150 líquido). En algunos casos, el gas o la mezcla de gas puede distribuirse de manera sustancialmente homogénea en la totalidad de la región de distribución de vapor. El gas o la mezcla de gas puede proceder entonces a salir del condensador de columna de burbujas a través de la salida 130. En una realización a modo de ejemplo, una mezcla de gas que contiene agua y aire puede hacerse pasar a través del condensador 100 de columna de burbujas de tal manera que se formen burbujas 170 de gas que contienen tanto

agua en forma de vapor como aire. Tras el contacto con el baño 150 de líquido, entonces puede condensarse agua y transferirse al baño 150 de líquido, produciéndose de ese modo un gas deshumidificado que sale del condensador 100 de columna de burbujas a través de la salida 130.

En algunas realizaciones, la presión del gas o la mezcla de gas en la entrada 120 es sustancialmente la misma que la presión del gas o la mezcla de gas en la salida 130. En algunas realizaciones, la presión del gas o la mezcla de gas en la entrada 120 difiere de la presión del gas o la mezcla de gas en la salida 130 en aproximadamente 1 kPa o menos. En algunas realizaciones, la presión del gas o la mezcla de gas en la entrada 120 es menor de aproximadamente 1 kPa mayor que la presión del gas o la mezcla de gas en la salida 130.

Tal como se muestra en la figura 8, el condensador 100 de columna de burbujas puede comprender además un apilamiento 800 opcional en comunicación de fluido con la salida 130. El apilamiento 800 puede añadirse, por ejemplo, para reducir o eliminar el arrastre de gotas (por ejemplo, gotas de líquido del baño 150 de líquido que fluyen hacia fuera de la salida 130 con el gas deshumidificado). En determinadas realizaciones, el condensador 100 de columna de burbujas puede comprender un eliminador de gotas opcional (no mostrado en la figura 8). El eliminador de gotas puede comprender, por ejemplo, una malla que se extiende a través de la sección transversal del condensador 100 de columna de burbujas. En funcionamiento, las gotas de líquido arrastradas pueden colisionar con la malla y volver al baño 150 de líquido. En algunos casos, reducir o eliminar el arrastre de gotas puede aumentar ventajosamente la cantidad de agua purificada recuperada del condensador 100 de columna de burbujas (por ejemplo, reduciendo la cantidad de agua purificada que sale del condensador 100 de columna de burbujas al aire ambiental). En determinadas realizaciones, reducir o eliminar el arrastre de gotas puede aumentar la cantidad de agua purificada recuperada del condensador 100 de columna de burbujas en al menos aproximadamente el 1 %, al menos aproximadamente el 5 %, al menos aproximadamente el 10 %, al menos aproximadamente el 15 %, al menos aproximadamente el 20 %, al menos aproximadamente el 30 %, al menos aproximadamente el 40 %, al menos aproximadamente el 50 %, o al menos aproximadamente el 60 %. En algunos casos, reducir o eliminar el arrastre de gotas puede aumentar la cantidad de agua purificada recuperada del condensador 100 de burbujas en una cantidad en el intervalo de aproximadamente el 1 % a aproximadamente el 10 %, de aproximadamente el 1 % a aproximadamente el 20 %, de aproximadamente el 1 % a aproximadamente el 40 %, de aproximadamente el 1 % a aproximadamente el 60 %, de aproximadamente el 5 % a aproximadamente el 20 %, de aproximadamente el 5 % a aproximadamente el 40 %, de aproximadamente el 5 % a aproximadamente el 60 %, de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 20 %, de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 30 %, de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 40 %, de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 50 %, de aproximadamente el 10 % a aproximadamente el 60 %, de aproximadamente el 20 % a aproximadamente el 30 %, de aproximadamente el 20 % a aproximadamente el 40 %, de aproximadamente el 20 % a aproximadamente el 50 %, de aproximadamente el 20 % a aproximadamente el 60 %, de aproximadamente el 30 % a aproximadamente el 40 %, de aproximadamente el 30 % a aproximadamente el 50 %, de aproximadamente el 30 % a aproximadamente el 60 %, de aproximadamente el 40 % a aproximadamente el 50 %, de aproximadamente el 40 % a aproximadamente el 60 %, o de aproximadamente el 50 % a aproximadamente el 60 %.

En algunos casos, el apilamiento 800 tiene una dimensión de la sección transversal más grande (por ejemplo, longitud, diámetro) D_s que es mayor que la dimensión de la sección transversal más grande D_o de la salida 130. En determinadas realizaciones, la dimensión de la sección transversal más grande D_s es de al menos aproximadamente 0,01 m, al menos aproximadamente 0,02 m, al menos aproximadamente 0,05 m, al menos aproximadamente 0,1 m, al menos aproximadamente 0,2 m, al menos aproximadamente 0,5 m, al menos aproximadamente 1 m, al menos aproximadamente 2 m, o al menos aproximadamente 5 m mayor que la dimensión de la sección transversal más grande D_o de la salida 130. En algunas realizaciones, la dimensión de la sección transversal más grande D_s es mayor que la dimensión de la sección transversal más grande D_o en una cantidad en el intervalo de aproximadamente 0,01 m a aproximadamente 0,05 m, de aproximadamente 0,01 m a aproximadamente 0,1 m, de aproximadamente 0,01 m a aproximadamente 0,5 m, de aproximadamente 0,01 m a aproximadamente 1 m, de aproximadamente 0,01 m a aproximadamente 5 m, de aproximadamente 0,1 m a aproximadamente 0,5 m, de aproximadamente 0,1 m a aproximadamente 1 m, de aproximadamente 0,1 m a aproximadamente 5 m, de aproximadamente 0,5 m a aproximadamente 1 m, de aproximadamente 0,5 m a aproximadamente 5 m, o de aproximadamente 1 m a aproximadamente 5 m. Sin desear restringirse a una teoría particular, aumentar la dimensión de la sección transversal más grande de un conducto a través del cual fluye la corriente de gas deshumidificada puede reducir la velocidad de la corriente de gas deshumidificada. Como resultado, cualquier gota de líquido que pueda estar presente en la corriente de gas deshumidificada puede caer fuera de la corriente de gas deshumidificada y volver al baño 150 de líquido en lugar de salir del condensador 100 de columna de burbujas a través de la salida 130.

En algunas realizaciones, el condensador de columna de burbujas comprende al menos dos etapas para la recuperación de un fluido condensable de un gas o una mezcla de gas. Por ejemplo, las etapas pueden disponerse de tal manera que un gas o una mezcla de gas fluya secuencialmente desde la primera etapa hasta la segunda etapa. En algunos casos, las etapas pueden disponerse de manera vertical, por ejemplo, una primera etapa situada por debajo de una segunda etapa dentro del condensador. En algunos casos, las etapas pueden disponerse de manera horizontal, por ejemplo, una primera etapa situada a la derecha de una segunda etapa. La presencia de múltiples etapas dentro de un condensador de columna de burbujas puede conducir, en determinados casos,

ventajosamente a una mayor recuperación del fluido condensable en fase líquida. Por ejemplo, la presencia de múltiples etapas puede proporcionar numerosas ubicaciones en las que puede tratarse el gas o la mezcla de gas para recuperar el fluido condensable. Es decir, el gas o la mezcla de gas puede desplazarse a través de más de un baño de líquido (por ejemplo, capa de líquido) en el que al menos una parte del gas o la mezcla de gas experimenta condensación. Adicionalmente, en algunas realizaciones, el uso de múltiples etapas puede producir una corriente de salida de líquido de condensador que tiene temperatura aumentada (por ejemplo, con relación a la corriente de entrada de líquido de condensador), tal como se describe más completamente a continuación. Esto puede ser ventajoso en sistemas en los que se transfiere calor de la corriente de salida de líquido de condensador a una corriente independiente dentro del sistema, tal como una corriente de entrada de evaporador/humidificador. En tales casos, la capacidad de producir una corriente de salida de líquido de condensador calentada puede aumentar la eficacia energética del sistema. Adicionalmente, el uso de múltiples etapas también puede permitir una mayor flexibilidad para el flujo de fluido dentro del sistema. Por ejemplo, la extracción y/o inyección de fluidos desde etapas de columna de burbujas intermedias puede producirse a través de conductos de intercambio intermedios.

La figura 2A muestra un diagrama en sección transversal a modo de ejemplo de un condensador de columna de burbujas de múltiples etapas. En la figura 2A, el condensador 200 de columna de burbujas comprende la primera etapa 210 y la segunda etapa 220 dispuestas en vertical por encima de la primera etapa 210. La primera etapa 210 incluye la cámara 212, la capa 214 de líquido situada dentro de la cámara 212, y la primera entrada 234 para un primer gas o una primera mezcla de gas que comprende un fluido condensable en una fase de vapor. La primera etapa 210 también incluye una primera región de distribución de vapor, que está ubicada por encima de la capa 214 de líquido (por ejemplo, la parte de la cámara 212 que no está ocupada por la capa 214 de líquido). Adicionalmente, la primera etapa 210 comprende una salida 216 de líquido para la salida de una corriente de salida de líquido condensado del condensador 200. La primera entrada 234, que está en comunicación de fluido con una fuente del primer gas o la primera mezcla de gas, también está acoplada al generador 208 de burbujas de tal manera que el primer gas o la primera mezcla de gas que entra por la entrada 234 se alimenta al generador 208 de burbujas. El primer gas o la primera mezcla de gas puede suministrarse a la entrada 234 por la bomba 202 a través del conducto 204 desde una fuente del primer gas o la primera mezcla de gas en conexión de fluido con el condensador 200. En algunas realizaciones, la primera entrada 234 de gas y/o el generador 208 de burbujas ocupan toda la superficie inferior de la primera etapa 210 o la cámara 212. En otras realizaciones, la primera entrada 234 de gas y/o el generador 208 de burbujas ocupan una parte más pequeña de la superficie inferior de la primera etapa 210 o la cámara 212.

La segunda etapa 220 está en comunicación de fluido con la primera etapa 210 e incluye la cámara 224, la capa 226 líquida situada dentro de la cámara 224, y el generador 222 de burbujas, que se dispone para recibir el primer gas o la primera mezcla de gas desde la primera etapa 210. La segunda etapa 220 también incluye una entrada 232 de líquido de segunda etapa, que está en comunicación de fluido con una fuente del fluido condensable en fase líquida y suministra el fluido condensable a la capa 226 de líquido. Adicionalmente, la segunda etapa 220 comprende la salida 230 de gas, a través de la cual puede salir una corriente de salida de gas de condensador de columna de burbujas. La segunda etapa 220 también comprende una segunda región de distribución de vapor ubicada por encima de la capa 226 de líquido (por ejemplo, la parte de la cámara 224 que no está ocupada por la capa 226 de líquido).

El conducto/tubo 218 descendente está situado entre la primera etapa 210 y la segunda etapa 220, proporcionando una trayectoria para que cualquier fluido condensable que rebose (por ejemplo, de la capa 226 de líquido) se desplace desde la segunda etapa 220 hasta la capa 214 de líquido en la primera etapa 210. La altura máxima de la capa 226 de líquido se establece por el aliviadero 228, de tal manera que cualquier fluido condensable adicional de la capa 226 de líquido por encima de esa altura máxima fluye a través del conducto/tubo 218 descendente hasta la capa 214 de líquido en la primera etapa 210. La salida del conducto/tubo 218 descendente está sumergida en la capa 214 de líquido, de tal manera que se impide que el primer gas o la primera mezcla de gas que fluye a través de la primera etapa 210 entre en el conducto/tubo 218 descendente. En algunos casos, la primera etapa 210 comprende además un aliviadero 254 opcional. El aliviadero 254 opcional puede establecer una altura de líquido que rodea el conducto/tubo 218 descendente que es más alta que la altura de la capa 214 de líquido en la primera etapa 210. Se ha reconocido que puede ser ventajoso que la altura de líquido que rodea al conducto/tubo 218 descendente sea mayor que la altura de la capa 214 de líquido, ya que tal configuración puede dar como resultado que la altura hidrostática del líquido que tiene que superar el primer gas o la primera mezcla de gas sea mayor en el líquido alrededor del conducto/tubo 218 descendente que en la capa 214 de líquido. Tal configuración puede impedir así que el primer gas o la primera mezcla de gas fluya a través del conducto/tubo 218 descendente y de ese modo sortee el generador 222 de burbujas.

La cámara 206 de distribución de vapor opcional puede estar situada por debajo de la primera etapa 210 y puede permitir que el primer gas o la primera mezcla de gas se distribuya a lo largo de la superficie inferior del generador 208 de burbujas. Los expertos habituales en la técnica serían capaces de seleccionar la configuración de sistema apropiada para su uso en una aplicación particular.

En funcionamiento, se bombea un primer gas o una primera mezcla de gas (proporcionado por una fuente de gas no representada en la figura 2) que contiene un fluido condensable por la bomba 202 a través del conducto 204 hasta la

cámara 206 de distribución de vapor opcional, donde el primer gas o la primera mezcla de gas se distribuye de forma sustancialmente homogénea por la totalidad de la superficie inferior de la primera etapa 210 hasta la entrada 234 de gas de primera etapa y el generador 208 de burbujas. A medida que se desplaza el primer gas o la primera mezcla de gas a través del generador 208 de burbujas, se forman burbujas de gas. Las burbujas de gas se desplazan a través de la capa 214 de líquido, que se mantiene a una temperatura por debajo de la de las burbujas de gas. Las burbujas de gas experimentan un proceso de condensación y transfieren calor y/o masa del fluido condensable a la capa 214 de líquido. Por ejemplo, el fluido condensable puede ser agua, de tal manera que las burbujas de gas se deshumidifican al menos parcialmente a medida que se desplazan a través de la capa 214 de líquido. Las burbujas del gas deshumidificado al menos parcialmente entran entonces en la primera región de distribución de vapor. El gas deshumidificado al menos parcialmente puede distribuirse, en algunos casos, de manera sustancialmente homogénea por la totalidad de la primera región de distribución de vapor. El gas deshumidificado al menos parcialmente entra entonces en el generador 222 de burbujas, en el que se forman burbujas de gas del gas deshumidificado al menos parcialmente. Las burbujas del gas deshumidificado al menos parcialmente se desplazan entonces a través de la capa 226 de líquido, que se mantiene a una temperatura por debajo de la de las burbujas de gas, y se transfieren calor y masa del fluido condensable a la capa 226 de líquido. Entran entonces burbujas del gas deshumidificado adicional en la segunda región de distribución de vapor. El gas deshumidificado adicional puede distribuirse, en algunos casos, de manera sustancialmente homogénea por la totalidad de la segunda región de distribución de vapor. El gas deshumidificado adicional sale entonces del condensador de columna de burbujas a través de la salida 230 de segunda etapa como una corriente de salida de gas de condensador de columna de burbujas.

En algunas realizaciones, una corriente de fluido condensable en fase líquida fluye en el sentido opuesto a (es decir, en flujo a contracorriente de) el gas o la mezcla de gas. Por ejemplo, puede entrar líquido condensable en el condensador 200 de columna de burbujas a través de la entrada 232 de líquido de segunda etapa, que está en comunicación de fluido con una fuente del fluido condensable en fase líquida. El líquido condensable se suministra en primer lugar a la capa 226 de líquido, que tiene una altura máxima especificada por el aliviadero 228. Si la altura de la capa 226 de líquido supera la altura máxima, una cantidad de líquido condensable puede derramarse por la parte superior del aliviadero a través del conducto/tubo 218 descendente a la capa 214 de líquido y salir del condensador a través de la salida 216 de líquido de condensador. La temperatura de la corriente de salida de líquido de condensador puede ser mayor que la del líquido condensable que entra en el condensador por la entrada 232 de líquido de segunda etapa, ya que el líquido condensable se hace pasar a través de diversas etapas dentro del condensador. En algunos casos, se transfiere calor al líquido condensable en cada una de las etapas dentro del condensador de columna de burbujas. En algunos casos, a medida que aumenta el número de etapas a través de las que pasa el fluido condensable, aumenta la temperatura de la corriente de salida de líquido de condensador. Tal configuración puede ser ventajosa en sistemas en los que se transfiere calor de la corriente de salida de líquido de condensador a otro componente dentro del sistema. En algunos casos, la transferencia de calor puede producirse en una ubicación dentro del sistema que no está dentro del condensador. Por ejemplo, puede transferirse calor de la corriente de salida de líquido de condensador a una corriente de entrada de humidificador dentro de un humidificador y/o un intercambiador de calor en comunicación de fluido con el condensador.

Tal como se muestra en la figura 2B, el condensador 200 de burbujas puede comprender además una segunda entrada 205 opcional. La segunda entrada 205 opcional puede estar en comunicación de fluido con una fuente de un segundo gas o una segunda mezcla de gas, y el segundo gas o la segunda mezcla de gas puede suministrarse a la entrada 205 a través del conducto 203 opcional. El segundo gas o la segunda mezcla de gas puede comprender un fluido condensable en fase de vapor. En determinados casos, el fluido condensable puede ser agua. El segundo gas o la segunda mezcla de gas puede comprender, en algunas realizaciones, además uno o más gases no condensables (por ejemplo, aire).

En algunas realizaciones, un condensador de columna de burbujas puede comprender al menos una región de distribución de vapor para permitir la introducción de una mezcla de vapor que contiene un fluido condensable en fase de vapor y/o un gas no condensable (por ejemplo, gas portador). Normalmente, la región de distribución de vapor puede seleccionarse para que tenga un volumen suficiente para permitir que difundan de manera sustancialmente uniforme vapores por la sección transversal del condensador de columna de burbujas. En algunos casos, la cámara de distribución de vapor puede proporcionar suficiente volumen como para permitir que las gotas arrastradas desde una capa de líquido en una etapa vuelvan a la capa de líquido. En algunos casos, la región de distribución de vapor puede estar situada en o cerca de una parte inferior del condensador de columna de burbujas. En algunos casos, la región de distribución de vapor se sitúa entre dos cámaras de generación de burbujas consecutivas o adyacentes. Por ejemplo, la región de distribución de vapor puede mantener separadas las capas de líquido de las dos cámaras de generación de burbujas consecutivas o adyacentes, aumentando de ese modo la eficacia termodinámica del condensador de columna de burbujas. La región de distribución de vapor puede incluir una entrada de vapor en comunicación de fluido con una fuente de una mezcla de vapor que comprende un fluido condensable en fase de vapor y/o un gas no condensable. En algunos casos, el condensador de columna de burbujas incluye más de una región de distribución de vapor.

En algunas realizaciones, una cámara de distribución de vapor que comprende una región de distribución de vapor puede comprender además una capa de líquido (por ejemplo, un volumen de sumidero). Por ejemplo, puede

acumularse líquido en el volumen de sumidero después de salir de la última etapa de un condensador de columna de burbujas, antes de salir del condensador de columna de burbujas. En algunas realizaciones, el volumen de sumidero puede estar en contacto directo con una salida de líquido del condensador de columna de burbujas. En determinados casos, el volumen de sumidero puede estar en comunicación de fluido con una bomba que bombea líquido hacia fuera del condensador de columna de burbujas. El volumen de sumidero puede proporcionar, por ejemplo, una presión de succión positiva en la entrada de la bomba, y puede impedir ventajosamente una presión de succión negativa (por ejemplo, vacío) que puede inducir burbujas de cavitación perjudiciales. En algunos casos, el volumen de sumidero puede disminuir ventajosamente la sensibilidad del condensador de columna de burbujas a cambios repentinos en las tasas de transferencia de calor (por ejemplo, debido a la alimentación intermitente de agua que contiene sal y/o la descarga intermitente de agua pura).

La figura 2C proporciona una ilustración a modo de ejemplo de un condensador de columna de burbujas que contiene una región de distribución de vapor situada por encima de una cantidad de un fluido condensable en fase líquida. En la figura 2C, un condensador 200 de columna de burbujas incluye una cámara 244 de distribución de vapor, una primera etapa 210, y una segunda etapa 220. La cámara 244 de distribución de vapor, ubicada en la parte inferior del condensador 200, incluye una capa 234 de líquido, que puede estar en contacto directo con una salida 242 de líquido. La cámara 244 de distribución de vapor también incluye una región 236 de distribución de vapor, que puede estar situada por encima de la capa 234 de líquido y puede estar en contacto directo con una entrada 240 de vapor en comunicación de fluido con una fuente de una mezcla de vapor (por ejemplo, un gas o una mezcla de gas que comprende un líquido condensable en una fase de vapor). La primera etapa 210 incluye una cámara 212, una capa 214 de líquido situada dentro de la cámara 212, un generador 208 de burbujas, y una primera entrada 234 de líquido para la mezcla de vapor. La primera etapa 210 también incluye una primera región de distribución de vapor ubicada por encima de la capa 214 de líquido (por ejemplo, la parte de la cámara 212 que no está ocupada por la capa 214 de líquido). La segunda etapa 220 incluye una cámara 224, una capa 226 de líquido situada dentro de la cámara 224, un generador 222 de burbujas, una entrada 232 de líquido para recibir una corriente del fluido condensable en fase líquida (por ejemplo, la fase líquida) y una salida 230 de vapor. La segunda etapa 220 también incluye una segunda región de distribución de vapor situada por encima de la capa 226 de líquido (por ejemplo, la parte de la cámara 224 que no está ocupada por la capa 226 de líquido).

En funcionamiento, una mezcla de vapor puede entrar en la región 236 de distribución de vapor a través de la entrada 240 de vapor. En la región 236 de distribución de vapor, la mezcla de vapor puede distribuirse de manera sustancialmente homogénea por la totalidad de la región 236 de distribución de vapor. La mezcla de vapor puede desplazarse entonces a través del generador 208 de burbujas, y pueden formarse burbujas de gas y moverse a través de la capa 214 de líquido, que puede mantenerse a una temperatura por debajo de la de las burbujas de gas. Tal como se ha indicado anteriormente, las burbujas de gas pueden experimentar un proceso de condensación y transferir calor y/o masa del fluido condensable a la capa 214 de líquido. Las burbujas de la mezcla de vapor deshumidificada al menos parcialmente pueden entrar en la primera región de distribución de vapor, y la mezcla de vapor deshumidificada al menos parcialmente puede distribuirse de manera sustancialmente homogénea por la totalidad de la primera región de distribución de vapor. La mezcla de vapor deshumidificada al menos parcialmente puede entrar entonces en el generador 222 de burbujas y formar burbujas de gas, que pueden desplazarse a través de la capa 226 de líquido. Las burbujas de la mezcla de vapor deshumidificada adicional pueden entrar entonces en la segunda región de distribución de vapor, y la mezcla de vapor deshumidificada adicional puede distribuirse de manera sustancialmente homogénea por la totalidad de la segunda región de distribución de vapor. La mezcla de vapor puede salir entonces del condensador 200 de columna de burbujas a través de la salida 230 de vapor como una corriente de salida de gas de condensador de columna de burbujas.

De nuevo haciendo referencia a la figura 2C, una corriente de un fluido condensable en fase líquida puede entrar en la segunda etapa 220 a través de la entrada 232 de líquido. La fase líquida puede entrar en primer lugar y combinarse con la capa 226 de líquido, que puede tener una altura máxima especificada por el aliviadero 228. La fase líquida puede desplazarse longitudinalmente a través de la superficie del generador 222 de burbujas, en el sentido de la flecha 246. Si la altura de la capa 226 de líquido supera la altura del aliviadero 228, la fase líquida en exceso puede fluir por la parte superior del aliviadero 228 a través del conducto/tubo 218 descendente hasta la capa 214 de líquido. La fase líquida puede fluir entonces a través de la superficie del generador 208 de burbujas en el sentido de la flecha 248. Tal como se muestra en la figura 2C, el sentido de la flecha 248 puede ser opuesto al de la flecha 246. Si la altura de la capa 214 de líquido supera la altura del aliviadero 250, la fase líquida en exceso puede fluir por la parte superior del aliviadero 250 a través del conducto/tubo 238 descendente hasta la capa 234 de líquido. La fase líquida puede desplazarse entonces a través de la superficie inferior de la cámara inferior 244 en el sentido de la flecha 252 y salir del condensador de columna de burbujas a través de la salida 242 de líquido. Tal como se muestra en la figura 2C, el sentido de la flecha 252 puede ser opuesto al de la flecha 248.

El condensador 200 de burbujas puede comprender además, en determinados casos, regiones de distribución de vapor adicionales. Por ejemplo, la figura 2D muestra una ilustración a modo de ejemplo de un condensador 200 de columna de burbujas que comprende una primera región 236 de distribución de vapor, que incluye una primera entrada 240 de vapor, y una segunda región 212 de distribución de vapor, que incluye una segunda entrada 205 de vapor. La primera entrada 240 de vapor puede estar en comunicación de fluido con una fuente de una primera

mezcla de vapor. La segunda entrada 205 de vapor puede estar en comunicación de fluido con una fuente de una segunda mezcla de vapor.

En algunos casos, el primer y segundo gases o la primera y segunda mezclas de gas pueden tener sustancialmente la misma composición. En algunos casos, el primer y segundo gases o la primera y segunda mezclas de gas pueden tener diferentes composiciones. El primer y segundo gases o la primera y segunda mezclas de gas pueden tener, en determinados casos, diferentes concentraciones de vapor (por ejemplo, vapor de agua). En algunas realizaciones, el primer y segundo gases o la primera y segunda mezclas de gas pueden tener sustancialmente la misma concentración de vapor. En algunos casos, el primer y segundo gases o la primera y segunda mezclas de gas pueden mantenerse a diferentes temperaturas. La diferencia entre la temperatura del primer y segundo gases o la primera y segunda mezclas de gas puede ser, en determinadas realizaciones, de al menos aproximadamente 1 °C, al menos aproximadamente 5 °C, al menos aproximadamente 10 °C, al menos aproximadamente 20 °C, al menos aproximadamente 50 °C, al menos aproximadamente 100 °C, al menos aproximadamente 150 °C, o al menos aproximadamente 200 °C. En determinados casos, el primer y segundo gases o la primera y segunda mezclas de gas pueden mantenerse sustancialmente a la misma temperatura.

Debe entenderse que el condensador de columna de burbujas puede tener cualquier número de etapas. En algunas realizaciones, el condensador de columna de burbujas puede tener al menos una, al menos dos, al menos tres, al menos cuatro, al menos cinco, al menos seis, al menos siete, al menos ocho, al menos nueve, o al menos diez o más etapas. En algunas realizaciones, el condensador de columna de burbujas puede tener no más de una, no más de dos, no más de tres, no más de cuatro, no más de cinco, no más de seis, no más de siete, no más de ocho, no más de nueve, no más de diez etapas. Las etapas pueden estar alineadas en vertical, es decir, las etapas pueden disponerse en vertical dentro del condensador de columna de burbujas, tal como se muestra en la figura 2. En algunos casos, las etapas pueden disponerse de tal manera que las superficies inferiores de las cámaras individuales (o generadores de burbujas) sean sustancialmente paralelas entre sí. En algunos casos, las etapas pueden disponerse de tal manera que la superficie inferior de las cámaras individuales (o generadores de burbujas) sean sustancialmente no paralelas entre sí. En algunas realizaciones, las etapas pueden situarse formando un ángulo. Las etapas pueden estar alineadas en horizontal, es decir, las etapas pueden disponerse en horizontal dentro del condensador de columna de burbujas. En algunas de tales realizaciones, al menos una etapa del condensador de burbujas puede comprender una capa de líquido, una región de distribución de vapor, un generador de burbujas sumergido en la capa de líquido, y una salida de gas en conexión de fluido con un generador de burbujas de otra etapa (por ejemplo, una etapa adyacente).

En algunos casos, el condensador puede construirse como un sistema modular de tal manera que diversos componentes o regiones del sistema sean retirables y/o intercambiables. Por ejemplo, el sistema puede incluir un área que puede alojar una o más etapas, y puede estar configurado fácilmente para incluir un número deseado de etapas. La figura 7B muestra una realización ilustrativa en la que el sistema incluye ocho bandejas, permitiendo una capacidad para de una a ocho etapas. Cada etapa puede añadirse o retirarse simplemente deslizando la etapa dentro y fuera del sistema. En realizaciones tales como esta, el número y la distancia entre etapas pueden adaptarse fácilmente para adecuarse a una aplicación particular.

Las etapas del condensador pueden tener cualquier forma adecuada para una aplicación particular. En algunas realizaciones, al menos una etapa del condensador tiene una forma de la sección transversal que es sustancialmente circular, sustancialmente elíptica, sustancialmente cuadrada, sustancialmente rectangular, y/o sustancialmente triangular. En determinadas realizaciones, cada etapa del condensador tiene una forma de la sección transversal que es sustancialmente circular, sustancialmente elíptica, sustancialmente cuadrada, sustancialmente rectangular, y/o sustancialmente triangular. En algunos casos, las etapas del condensador tienen una relación de aspecto relativamente grande. Tal como se usa en el presente documento, la relación de aspecto de una etapa individual se refiere a la razón de la longitud de la etapa individual con respecto a la anchura de la etapa individual. La longitud de una etapa individual se refiere a la dimensión de la sección transversal interna más grande de la etapa (por ejemplo, en un plano perpendicular a un eje vertical de la etapa). Por ejemplo, en la figura 1A, la longitud de la etapa 110 se indica como L_s . Para ilustrar adicionalmente la longitud, la figura 1B proporciona una vista de arriba abajo a modo de ejemplo de la etapa 110 (por ejemplo, mirando hacia abajo el generador 160 de burbujas). Es decir, la figura 1B es una ilustración esquemática a modo de ejemplo de un plano perpendicular a un eje vertical de la etapa 110 (por ejemplo, un plano de sección transversal). En la figura 1B, la longitud de la etapa 110 se indica como L_s . La anchura de una etapa individual se refiere generalmente a la dimensión de la sección transversal más grande de la etapa (por ejemplo, en un plano perpendicular a un eje vertical de la etapa) medida en perpendicular a la longitud. En la figura 1B, la anchura de la etapa 110 se indica como W_s .

En algunas realizaciones, al menos una etapa tiene una relación de aspecto de al menos aproximadamente 1,5, al menos aproximadamente 2, al menos aproximadamente 5, al menos aproximadamente 10, al menos aproximadamente 15 o al menos aproximadamente 20. En algunas realizaciones, al menos una etapa tiene una relación de aspecto en el intervalo de aproximadamente 1,5 a aproximadamente 5, de aproximadamente 1,5 a aproximadamente 10, de aproximadamente 1,5 a aproximadamente 15, de aproximadamente 1,5 a aproximadamente 20, de aproximadamente 2 a aproximadamente 5, de aproximadamente 2 a aproximadamente 10, de aproximadamente 2 a aproximadamente 15, de aproximadamente 2 a aproximadamente 20, de

aproximadamente 5 a aproximadamente 10, de aproximadamente 5 a aproximadamente 15, de aproximadamente 5 a aproximadamente 20, de aproximadamente 10 a aproximadamente 15, de aproximadamente 10 a aproximadamente 20, o de aproximadamente 15 a aproximadamente 20. En algunas realizaciones, cada etapa del condensador tiene una relación de aspecto de al menos aproximadamente 1,5, al menos aproximadamente 2, al menos aproximadamente 5, al menos aproximadamente 10, al menos aproximadamente 15, o al menos aproximadamente 20. En algunas realizaciones, cada etapa del condensador tiene una relación de aspecto en el intervalo de aproximadamente 1,5 a aproximadamente 5, de aproximadamente 1,5 a aproximadamente 10, de aproximadamente 1,5 a aproximadamente 15, de aproximadamente 1,5 a aproximadamente 20, de aproximadamente 2 a aproximadamente 5, de aproximadamente 2 a aproximadamente 10, de aproximadamente 2 a aproximadamente 15, de aproximadamente 2 a aproximadamente 20, de aproximadamente 5 a aproximadamente 10, de aproximadamente 5 a aproximadamente 15, de aproximadamente 5 a aproximadamente 20, de aproximadamente 10 a aproximadamente 15, de aproximadamente 10 a aproximadamente 20, o de aproximadamente 15 a aproximadamente 20.

En algunas realizaciones, la altura de la capa de líquido dentro de al menos una etapa del condensador de columna de burbujas es relativamente baja durante el funcionamiento sustancialmente continuo. Generalmente, se dice que un sistema de desalinización de agua funciona de manera sustancialmente continua cuando está alimentándose una corriente acuosa al sistema de desalinización al mismo tiempo que está produciéndose una corriente de producto desalinizado por el sistema de desalinización. La altura de la capa de líquido dentro de una etapa puede medirse desde la superficie del generador de burbujas que entra en contacto con la capa de líquido hasta la superficie superior de la capa de líquido. Tal como se indica en el presente documento, tener un nivel relativamente bajo de fase líquida en al menos una etapa puede dar, en algunas realizaciones, como resultado ventajosamente una baja disminución de presión entre la entrada y la salida de una etapa individual. Sin desear restringirse por una teoría particular, la disminución de presión a través de una etapa dada del condensador puede deberse, al menos en parte, a la carga hidrostática del líquido en la etapa que tiene que superar el gas. Por tanto, la altura de la capa de líquido en una etapa puede mantenerse ventajosamente baja para reducir la disminución de presión a través de esa etapa.

En algunas realizaciones, durante el funcionamiento sustancialmente continuo del condensador de columna de burbujas, la capa de líquido dentro de al menos una etapa del condensador tiene una altura de (por ejemplo, la altura del fluido condensable dentro de una etapa es) menos de aproximadamente 0,1 m, menos de aproximadamente 0,09 m, menos de aproximadamente 0,08 m, menos de aproximadamente 0,07 m, menos de aproximadamente 0,06 m, menos de aproximadamente 0,05 m, menos de aproximadamente 0,04 m, menos de aproximadamente 0,03 m, menos de aproximadamente 0,02 m, menos de aproximadamente 0,01 m, o, en algunos casos, menos de aproximadamente 0,005 m. En algunas realizaciones, durante el funcionamiento sustancialmente continuo del condensador de columna de burbujas, la capa de líquido dentro de cada etapa del condensador tiene una altura de menos de aproximadamente 0,1 m, menos de aproximadamente 0,09 m, menos de aproximadamente 0,08 m, menos de aproximadamente 0,07 m, menos de aproximadamente 0,06 m, menos de aproximadamente 0,05 m, menos de aproximadamente 0,04 m, menos de aproximadamente 0,03 m, menos de aproximadamente 0,02 m, menos de aproximadamente 0,01 m o, en algunos casos, menos de aproximadamente 0,005 m.

En los condensadores descritos en el presente documento, la razón de la altura de la capa de líquido (por ejemplo, agua) en una etapa del condensador con respecto a la longitud de la etapa del condensador puede ser relativamente baja. La longitud de la etapa del condensador se refiere generalmente a la dimensión de la sección transversal interna más grande de la etapa del condensador. En algunas realizaciones, la razón de la altura de la capa de líquido dentro de al menos una etapa del condensador de columna de burbujas durante el funcionamiento en estado estacionario con respecto a la longitud de la al menos una etapa del condensador es de menos de aproximadamente 1, menos de aproximadamente 0,8, menos de aproximadamente 0,6, menos de aproximadamente 0,4, menos de aproximadamente 0,2, menos de aproximadamente 0,18, menos de aproximadamente 0,16, menos de aproximadamente 0,14, menos de aproximadamente 0,12, menos de aproximadamente 0,1 o, en algunos casos, menos de aproximadamente 0,05. En algunas realizaciones, la razón de la altura de la capa de líquido dentro de cada etapa del condensador de columna de burbujas durante el funcionamiento en estado estacionario con respecto a la longitud de cada etapa correspondiente del condensador es de menos de aproximadamente 1, menos de aproximadamente 0,8, menos de aproximadamente 0,6, menos de aproximadamente 0,4, menos de aproximadamente 0,2, menos de aproximadamente 0,18, menos de aproximadamente 0,16, menos de aproximadamente 0,14, menos de aproximadamente 0,12, menos de aproximadamente 0,1 o, en algunos casos, menos de aproximadamente 0,05.

En algunas realizaciones, la altura de una etapa individual dentro del condensador (por ejemplo, medida en vertical desde el generador de burbujas situado en la parte inferior de la etapa hasta la parte superior de la cámara dentro de la etapa) puede ser relativamente pequeña. Tal como se ha indicado anteriormente, reducir la altura de una o más etapas del condensador puede reducir potencialmente los costes y/o aumentar potencialmente la transferencia de calor y masa dentro del sistema. En algunas realizaciones, la altura de al menos una etapa es de menos de aproximadamente 0,5 m, menos de aproximadamente 0,4 m, menos de aproximadamente 0,3 m, menos de aproximadamente 0,2 m, menos de aproximadamente 0,1 m o, en algunos casos, menos de aproximadamente 0,05 m. En algunas realizaciones, la altura de cada etapa es de menos de aproximadamente 0,5 m, menos de aproximadamente 0,4 m, menos de aproximadamente 0,3 m, menos de aproximadamente 0,2 m, menos de

aproximadamente 0,1 m o, en algunos casos, menos de aproximadamente 0,05 m. La altura total de la columna de condensador puede ser, en algunas realizaciones, de menos de aproximadamente 10 m, menos de aproximadamente 8 m, menos de aproximadamente 6 m, menos de aproximadamente 4 m, menos de aproximadamente 2 m, menos de aproximadamente 1 m, o, en algunos casos, menos de aproximadamente 0,5 m.

En algunas realizaciones, la disminución de presión a través de una etapa (es decir, la diferencia entre la presión del gas de entrada y la presión del gas de salida) para al menos una etapa en el condensador de columna de burbujas es de menos de aproximadamente 2000 Pa, menos de aproximadamente 1500 Pa, menos de aproximadamente 1000 Pa, menos de aproximadamente 800 Pa, menos de aproximadamente 500 Pa, menos de aproximadamente 200 Pa, menos de aproximadamente 100 Pa, o, en algunos casos, menos de aproximadamente 50 Pa. En algunas realizaciones, la diferencia entre la presión del gas de entrada de condensador de columna de burbujas y la presión del gas de salida de condensador de columna de burbujas es de menos de aproximadamente 2000 Pa, menos de aproximadamente 1500 Pa, menos de aproximadamente 1000 Pa, menos de aproximadamente 800 Pa, menos de aproximadamente 500 Pa, menos de aproximadamente 200 Pa, menos de aproximadamente 100 Pa, o, en algunos casos, menos de aproximadamente 50 Pa.

En algunas realizaciones, el condensador de columna de burbujas puede presentar propiedades de transferencia de calor mejoradas. Por ejemplo, cuando el condensador de columna de burbujas está en funcionamiento sustancialmente continuo, el coeficiente de transferencia de calor puede ser de al menos aproximadamente 2000 W/(m² K), al menos aproximadamente 3000 W/(m² K), al menos aproximadamente 4000 W/(m² K) o, en algunos casos, al menos aproximadamente 5000 W/(m² K).

En algunos casos, la temperatura de la corriente de entrada de líquido de condensador puede ser diferente de la temperatura de la corriente de salida de líquido de condensador. Por ejemplo, durante el funcionamiento sustancialmente continuo del condensador de columna de burbujas, la temperatura de la corriente de entrada de líquido de condensador puede ser de menos de aproximadamente 100 °C, menos de aproximadamente 90 °C, menos de aproximadamente 80 °C, menos de aproximadamente 70 °C, menos de aproximadamente 60 °C, menos de aproximadamente 50 °C, menos de aproximadamente 45 °C, menos de aproximadamente 40 °C, menos de aproximadamente 30 °C, menos de aproximadamente 20 °C, o, en algunos casos, menos de aproximadamente 10 °C. En algunos casos, la temperatura de la corriente de entrada de líquido de condensador puede oscilar entre aproximadamente 0 °C y aproximadamente 100 °C, entre aproximadamente 10 °C y aproximadamente 90 °C, o entre aproximadamente 20 °C y aproximadamente 80 °C. Durante el funcionamiento sustancialmente continuo del condensador de columna de burbujas, la temperatura de la corriente de salida de líquido de condensador puede ser de al menos aproximadamente 50 °C, al menos aproximadamente 60 °C, al menos aproximadamente 70 °C, al menos aproximadamente 80 °C, al menos aproximadamente 85 °C, al menos aproximadamente 90 °C, o al menos aproximadamente 100 °C. En algunos casos, la temperatura de la corriente de salida de líquido de condensador puede oscilar entre aproximadamente 50 °C y aproximadamente 100 °C, entre aproximadamente 60 °C y aproximadamente 90 °C, o entre aproximadamente 60 °C y aproximadamente 85 °C. La diferencia en la temperatura del líquido de entrada y salida puede ser de al menos aproximadamente 5 °C, al menos aproximadamente 10 °C, al menos aproximadamente 20 °C, o, en algunos casos, al menos aproximadamente 30 °C. En algunos casos, la diferencia en la temperatura de entrada y salida puede oscilar entre aproximadamente 5 °C y aproximadamente 30 °C, entre aproximadamente 10 °C y aproximadamente 30 °C, o entre aproximadamente 20 °C y aproximadamente 30 °C.

En algunas realizaciones, el gas o la mezcla de gas puede desplazarse a través del condensador a una velocidad de flujo relativamente alta. Puede ser ventajoso, en determinadas realizaciones, que la velocidad de flujo de gas sea relativamente alta, ya que los coeficientes de transferencia de calor y masa son generalmente mayores a mayores velocidades de flujo de gas. En algunas realizaciones, el gas o la mezcla de gas puede tener una velocidad de flujo de al menos aproximadamente 3048 l/min·m² (10 pies cúbicos por minuto (cfm) por pie cuadrado (pie²), al menos aproximadamente 6096 l/min·m² (20 cfm/pie²), al menos aproximadamente 12192 l/min·m² (40 cfm/pie²), al menos aproximadamente 18288 l/min·m² (60 cfm/pie²), al menos aproximadamente 24384 l/min·m² (80 cfm/pie²), al menos aproximadamente 30480 l/min·m² (100 cfm/pie²), al menos aproximadamente 36576 l/min·m² (120 cfm/pie²), al menos aproximadamente 42672 l/min·m² (140 cfm/pie²), al menos aproximadamente 48768 l/min·m² (160 cfm/pie²), al menos aproximadamente 54864 l/min·m² (180 cfm/pie²), o, en algunos casos, al menos aproximadamente 60960 l/min·m² (200 cfm/pie²). En algunas realizaciones, el gas o la mezcla de gas puede tener una velocidad de flujo en el intervalo de aproximadamente 3048 l/min·m² (10 cfm/pie²) a aproximadamente 60960 l/min·m² (200 cfm/pie²), de aproximadamente 6096 l/min·m² (20 cfm/pie²) a aproximadamente 60960 l/min·m² (200 cfm/pie²), de aproximadamente 12192 l/min·m² (40 cfm/pie²) a aproximadamente 60960 l/min·m² (200 cfm/pie²), de aproximadamente 18288 l/min·m² (60 cfm/pie²) a aproximadamente 60960 l/min·m² (200 cfm/pie²), de aproximadamente 24384 l/min·m² (80 cfm/pie²) a aproximadamente 60960 l/min·m² (200 cfm/pie²), de aproximadamente 30480 l/min·m² (100 cfm/pie²) a aproximadamente 60960 l/min·m² (200 cfm/pie²), de aproximadamente 36576 l/min·m² (120 cfm/pie²) a aproximadamente 60960 l/min·m² (200 cfm/pie²), de aproximadamente 42672 l/min·m² (140 cfm/pie²) a aproximadamente 60960 l/min·m² (200 cfm/pie²), de aproximadamente 48768 l/min·m² (160 cfm/pie²) a aproximadamente 60960 l/min·m² (200 cfm/pie²), o de aproximadamente 54864 l/min·m² (180 cfm/pie²) a aproximadamente 60960 l/min·m² (200 cfm/pie²).

En algunas realizaciones, el gas o la mezcla de gas puede contener una determinada cantidad de agua (por ejemplo, puede "humidificarse") de tal manera que, después de fluir a través del condensador, puede deshumidificarse sustancialmente el gas o la mezcla de gas con relación al gas o mezcla de gas antes de fluir a través del condensador. En un conjunto dado de condiciones del sistema, el gas o la mezcla de gas puede tener una humedad relativa. La humedad relativa se refiere generalmente a la relación de la presión parcial de vapor de agua en una mezcla de aire y agua con respecto a la presión de vapor de agua saturado a una temperatura dada. En algunas realizaciones, la humedad relativa del gas o la mezcla de gas en al menos una entrada de gas al condensador de columna de burbujas puede ser de al menos aproximadamente el 70 %, al menos aproximadamente el 80 %, al menos aproximadamente el 90 %, o aproximadamente el 100 %. En algunas realizaciones, la humedad relativa del gas en una salida de gas al condensador de columna de burbujas puede ser de menos de aproximadamente el 20 %, menos de aproximadamente el 10 %, menos de aproximadamente el 5 %, o aproximadamente el 0 %.

En algunas realizaciones, el condensador de columna de burbujas comprende al menos un generador de burbujas. Los ejemplos de tipos de generadores de burbujas incluyen placas de tamiz, rociadores y generadores de burbujas de tipo tobera. En algunas realizaciones, un generador de burbujas puede comprender una pluralidad de perforaciones a través de las que puede desplazarse vapor. Los generadores de burbujas pueden hacerse funcionar a diversas velocidades de generador de burbujas, con diversas características (por ejemplo, orificios) usadas para la generación de burbujas, o similar. La selección del generador de burbujas puede afectar al tamaño y/o la forma de las burbujas de gas, afectando de ese modo a la transferencia de calor desde las burbujas de gas al fluido condensable en una fase líquida. Los expertos habituales en la técnica son capaces de seleccionar el generador de burbujas y/o las condiciones del generador de burbujas apropiados con el fin de producir un conjunto deseado particular de burbujas de gas. En algunas realizaciones, el generador de burbujas comprende una placa de rociador. Se ha reconocido que una placa de rociador puede tener determinadas características ventajosas. Por ejemplo, la disminución de presión a través de una placa de rociador puede ser baja. Adicionalmente, la simplicidad de la placa de rociador puede hacer que sea económica de fabricar y/o resistente a los efectos de incrustación. La placa de rociador puede comprender, en algunas realizaciones, una pluralidad de orificios. En algunas realizaciones, al menos una parte de la pluralidad de orificios tiene un diámetro (o dimensión de la sección transversal más pequeña de una línea que pasa a través del centro geométrico del orificio para orificios no circulares) en el intervalo de aproximadamente 0,1 mm a aproximadamente 50 mm, de aproximadamente 0,1 mm a aproximadamente 25 mm, de aproximadamente 0,1 mm a aproximadamente 15 mm, o, en algunos casos, de aproximadamente 1 mm a aproximadamente 15 mm. En algunas realizaciones, al menos una parte de la pluralidad de orificios tiene un diámetro de aproximadamente 1 mm, aproximadamente 2 mm, aproximadamente 3 mm, aproximadamente 3,2 mm o, en algunos casos, aproximadamente 4 mm. En algunos casos, la placa de rociador puede estar dispuesta a lo largo de la superficie inferior de una etapa individual dentro del condensador. En algunos casos, el área de superficie de la placa de rociador puede seleccionarse de tal manera que cubra al menos aproximadamente el 50 %, al menos aproximadamente el 60 %, al menos aproximadamente el 70 %, al menos aproximadamente el 80 %, al menos aproximadamente el 90 %, o aproximadamente el 100 % de una sección transversal del condensador. En algunas realizaciones, el generador de burbujas comprende uno o más tubos perforados. Los tubos perforados, que pueden extenderse desde un conducto central, pueden presentar, por ejemplo, una configuración radial, anular, en tela de araña o de cubo y radios a través de la cual se bombea el gas o la mezcla de gas desde una fuente externa. En algunas realizaciones, al menos un generador de burbujas puede estar acoplado a la entrada de una etapa. En algunas realizaciones, un generador de burbujas está acoplado a la entrada de cada etapa del condensador de columna de burbujas.

Los condensadores descritos en el presente documento pueden incluir además uno o más componentes situados para facilitar, dirigir, o afectar de otro modo al flujo de un fluido dentro del condensador. En algunas realizaciones, al menos una cámara de al menos una etapa del condensador de columna de burbujas puede incluir uno o más deflectores situados para dirigir el flujo de un fluido, tal como una corriente del fluido condensable en fase líquida (por ejemplo, agua). En determinados casos, cada cámara del condensador de columna de burbujas puede comprender uno o más deflectores. Los deflectores adecuados para su uso en las realizaciones descritas en el presente documento incluyen artículos en forma de placa que tienen, por ejemplo, una forma sustancialmente rectangular, tal como se muestra en las realizaciones ilustrativas en las figuras 6 y 7S. Los deflectores también pueden denominarse barreras, cerramientos, o similares.

El deflector, o la combinación de deflectores, puede disponerse en diversas configuraciones para dirigir el flujo de un líquido dentro de la cámara. En algunos casos, el/los deflector(es) puede(n) disponerse de tal manera que se desplace líquido en una trayectoria sustancialmente lineal desde un extremo de la cámara hasta el otro extremo de la cámara (por ejemplo, a lo largo de la longitud de una cámara que tiene una sección transversal sustancialmente rectangular). En algunos casos, el/los deflector(es) puede(n) disponerse de tal manera que se desplace líquido en una trayectoria no lineal a través de una cámara, teniendo tal trayectoria una o más curvas o vueltas dentro de la cámara. Es decir, el líquido puede desplazarse una distancia dentro de la cámara que es más larga que la longitud de la cámara. En algunas realizaciones, uno o más deflectores pueden estar situados a lo largo de una superficie inferior de al menos una cámara dentro de un condensador de columna de burbujas, afectando de ese modo al flujo de líquido que entra en la cámara.

En algunas realizaciones, un deflector puede situarse de tal manera que dirija el flujo de un líquido dentro de una única cámara, por ejemplo, a lo largo de una superficie inferior de una cámara de manera o bien lineal o bien no lineal. En algunas realizaciones, pueden situarse uno o más deflectores sustancialmente paralelos a los lados transversales (es decir, anchura) de una cámara que tiene una forma de la sección transversal sustancialmente rectangular, es decir, puede ser un deflector transversal. En algunas realizaciones, pueden situarse uno o más deflectores sustancialmente paralelos a los lados longitudinales (es decir, la longitud) de una cámara que tiene una forma de la sección transversal sustancialmente rectangular, es decir, puede ser un deflector longitudinal. En tales configuraciones, uno o más deflectores longitudinales pueden dirigir el flujo de líquido a lo largo de una trayectoria sustancialmente no lineal.

En algunas realizaciones, pueden situarse uno o más deflectores de tal manera que dirijan el flujo de un líquido dentro de una única cámara a lo largo de una trayectoria que puede fomentar la eficiencia de la transferencia de calor y/o masa. Por ejemplo, una cámara puede comprender un líquido que entra a través de una entrada de líquido a una primera temperatura y un gas o una mezcla de gas que entra a través de un generador de burbujas a una segunda temperatura diferente. En determinados casos, puede aumentarse la transferencia de calor y masa entre el líquido y el gas o la mezcla de gas cuando la primera temperatura se acerca a la segunda temperatura. Un factor que puede afectar a la capacidad de la primera temperatura para acercarse a la segunda temperatura puede ser la cantidad de tiempo que el líquido pasa fluyendo a través de la cámara.

En algunos casos, puede ser ventajoso que partes del líquido que fluyen a través de la cámara pasen cantidades de tiempo sustancialmente iguales fluyendo a través de la cámara. Por ejemplo, la transferencia de calor y masa puede reducirse indeseablemente en condiciones en las que una primera parte del líquido pasa una cantidad de tiempo más corta en la cámara y una segunda parte del líquido pasa una cantidad de tiempo más larga en la cámara. En tales condiciones, la temperatura de una mezcla de la primera parte y la segunda parte puede estar más alejada de la segunda temperatura del gas o la mezcla de gas que si tanto la primera parte como la segunda parte hubieran pasado una cantidad de tiempo sustancialmente igual en la cámara. Por consiguiente, en algunas realizaciones, pueden situarse uno o más deflectores en la cámara para facilitar el flujo de líquido de tal manera que las partes del líquido que fluyen a través de la cámara pasen cantidades de tiempo sustancialmente iguales fluyendo a través de la cámara. Por ejemplo, uno o más deflectores dentro de la cámara pueden separar espacialmente el líquido ubicado en la entrada (por ejemplo, líquido que probablemente haya pasado una cantidad de tiempo más corta en la cámara) del líquido ubicado en la salida (por ejemplo, líquido que probablemente haya pasado una cantidad de tiempo más larga en la cámara). En algunos casos, uno o más deflectores dentro de la cámara pueden facilitar el flujo de líquido a lo largo de trayectorias de flujo que tienen sustancialmente la misma longitud. Por ejemplo, el uno o más deflectores pueden impedir que una primera parte de líquido se desplace a lo largo de una trayectoria sustancialmente más corta desde la entrada de la cámara hasta la salida de la cámara (por ejemplo, a lo largo de la anchura de una cámara que tiene una sección transversal rectangular) y que una segunda parte de líquido se desplace a lo largo de una trayectoria sustancialmente más larga desde la entrada de la cámara hasta la salida de la cámara (por ejemplo, a lo largo de la longitud de una cámara que tiene una sección transversal rectangular).

En algunos casos, puede ser ventajoso aumentar la cantidad de tiempo que un líquido pasa fluyendo a través de una cámara. Por consiguiente, en determinadas realizaciones, pueden situarse uno o más deflectores dentro de una única cámara para facilitar el flujo de líquido a lo largo de una trayectoria de flujo que tiene una relación de aspecto relativamente alta (por ejemplo, la razón de la longitud promedio de la trayectoria de flujo con respecto a la anchura promedio de la trayectoria de flujo). Por ejemplo, en algunos casos, pueden situarse uno o más deflectores de tal manera que el líquido que fluye a través de la cámara siga una trayectoria de flujo que tiene una relación de aspecto de al menos aproximadamente 1,5, al menos aproximadamente 2, al menos aproximadamente 5, al menos aproximadamente 10, al menos aproximadamente 20, al menos aproximadamente 50, al menos aproximadamente 75, o al menos aproximadamente 100.

En algunos casos, la relación de aspecto de una trayectoria de flujo de líquido a través de una cámara puede ser mayor que la relación de aspecto de la cámara. En determinados casos, la presencia de deflectores para aumentar la relación de aspecto de una trayectoria de flujo de líquido puede facilitar el uso de un aparato que tiene una relación de aspecto relativamente baja (por ejemplo, de aproximadamente 1), tal como un aparato que tiene una sección transversal sustancialmente circular. Por ejemplo, la figura 12 muestra una ilustración esquemática a modo de ejemplo de una cámara 1200 que tiene una sección transversal sustancialmente circular (por ejemplo, superficie inferior) y un deflector 1202 espiral. En funcionamiento, el líquido puede entrar en la cámara 1200 a través de una entrada de líquido (no mostrada) situada en o cerca del centro de la sección transversal sustancialmente circular. Puede fluir entonces líquido a lo largo del deflector 1202 espiral y salir de la cámara 1200 a través de una salida de líquido (no mostrada) situada en el borde superior de la sección transversal sustancialmente circular. Aunque la sección transversal sustancialmente circular de la cámara 1200 tiene una relación de aspecto de aproximadamente 1, la relación de aspecto de la trayectoria de flujo de líquido es sustancialmente mayor de 1 (por ejemplo, de aproximadamente 4,5). Como ejemplo adicional, la figura 13 muestra una ilustración esquemática a modo de ejemplo de una cámara 1300 que tiene una sección transversal sustancialmente circular (por ejemplo, superficie inferior) y que comprende un primer deflector 1302 y un segundo deflector 1304. En funcionamiento, el líquido puede entrar en la cámara 1300 a través de una entrada de líquido (no mostrada) ubicada en la parte superior izquierda de

la sección transversal sustancialmente circular. El líquido puede fluir en primer lugar en el sentido de la flecha 1306. Puede fluir entonces líquido alrededor del deflector 1302 y fluir en el sentido opuesto, en el sentido de la flecha 1308. Puede fluir entonces líquido alrededor del deflector 1304 y fluir en el sentido de la flecha 1310 y posteriormente salir de la cámara 1300 a través de una salida de líquido (no mostrada) ubicada en la parte inferior derecha de la sección transversal sustancialmente circular. Aunque la relación de aspecto de la sección transversal circular de la cámara 1300 es de aproximadamente 1, la relación de aspecto de la trayectoria de flujo de líquido a través de la cámara 1300 es sustancialmente mayor de 1.

En algunas realizaciones, pueden situarse uno o más aliviaderos dentro de la cámara de tal manera que controlen o dirijan el flujo de un líquido entre dos cámaras. Por ejemplo, puede situarse un aliviadero adyacente o rodeando una región de la cámara que recibe una corriente de líquido, por ejemplo, desde una cámara diferente por encima de la región. En algunos casos, puede situarse un aliviadero adyacente o rodeando una región de la cámara donde el líquido puede fluir hacia fuera de la cámara, por ejemplo, en una cámara diferente debajo. En algunos casos, puede situarse un aliviadero dentro de una cámara para no entrar en contacto con una o más paredes de la cámara. En algunos casos, puede situarse un aliviadero dentro de una cámara para entrar en contacto con una o más paredes de la cámara.

El uno o más aliviaderos pueden seleccionarse para que tengan una altura que sea menor que la altura de la cámara. En algunas realizaciones, la altura de los aliviaderos puede determinar la altura máxima para una fase o capa de líquido en la cámara. Por ejemplo, si una capa de líquido que reside en una primera cámara alcanza una altura que supera la altura de un aliviadero situado a lo largo de una superficie inferior de la cámara, entonces al menos una parte de la capa de líquido en exceso puede fluir por el aliviadero. En algunos casos, puede fluir el líquido en exceso hacia una segunda cámara adyacente, por ejemplo, una cámara situada por debajo de la primera cámara. En algunas realizaciones, al menos un aliviadero en una cámara puede tener una altura de menos de aproximadamente 0,1 m, menos de aproximadamente 0,09 m, menos de aproximadamente 0,08 m, menos de aproximadamente 0,07 m, menos de aproximadamente 0,06 m, menos de aproximadamente 0,05 m, menos de aproximadamente 0,04 m, menos de aproximadamente 0,03 m, menos de aproximadamente 0,02 m, menos de aproximadamente 0,01 m o, en algunos casos, menos de aproximadamente 0,005 m. En algunas realizaciones, cada aliviadero en una cámara puede tener una altura de menos de aproximadamente 0,1 m, menos de aproximadamente 0,09 m, menos de aproximadamente 0,08 m, menos de aproximadamente 0,07 m, menos de aproximadamente 0,06 m, menos de aproximadamente 0,05 m, menos de aproximadamente 0,04 m, menos de aproximadamente 0,03 m, menos de aproximadamente 0,02 m, menos de aproximadamente 0,01 m o, en algunos casos, menos de aproximadamente 0,005 m.

En algunas realizaciones, pueden situarse uno o más aliviaderos para fomentar el flujo de un líquido a lo largo de la longitud de la cámara en una trayectoria sustancialmente lineal. Por ejemplo, puede seleccionarse la cámara para que tenga una forma de la sección transversal que tenga una longitud que sea mayor que su anchura (por ejemplo, una sección transversal sustancialmente rectangular), de tal manera que los aliviaderos fomenten el flujo de líquido a lo largo de la longitud de la cámara. En algunos casos, puede ser deseable fomentar tal flujo transversal a través de una cámara para maximizar la interacción y, por tanto, la transferencia de calor y/o masa, entre la fase líquida y la fase de vapor de un fluido condensable.

En una realización, una cámara puede incluir un primer aliviadero y un segundo aliviadero situados a lo largo de la superficie inferior de la cámara. El primer y segundo aliviaderos pueden estar situados en extremos opuestos de la cámara longitudinalmente, de tal manera que puede fluir una corriente de fluido condensable en fase líquida a lo largo de la longitud de la cámara desde el primer aliviadero hasta el segundo aliviadero. Se ilustra, en la figura 7H, un ejemplo de un sistema generador de burbujas que tiene tal configuración. En la figura 7H, el generador 702 de burbujas (que puede incluir una pluralidad de perforaciones) incluye un primer aliviadero 704 situado en un extremo del generador de burbujas. El generador 702 de burbujas comprende además un segundo aliviadero 706 y un tercer aliviadero 708, estando ambos situados en el extremo opuesto del generador de burbujas al primer deflector 704. En funcionamiento, puede introducirse un líquido en el generador de burbujas y puede fluir a la región 704a rodeada por el aliviadero 704. A medida que se introduce líquido adicional y la altura del líquido en la región 704a supera la altura del aliviadero 704, puede fluir el líquido en exceso por la parte superior del aliviadero 704 y fluir a través de la superficie del generador 702 de burbujas en el sentido de la flecha 710 a través del generador 702 de burbujas. Si la altura del líquido supera entonces la altura del aliviadero 706 y/o 708, puede fluir el líquido en exceso por la parte superior del aliviadero 706 y/o el aliviadero 708 y fluir a otra parte del aparato. En algunos casos, puede fluir el líquido en exceso a una cámara situada por debajo del generador 702 de burbujas.

En algunas realizaciones, un condensador de columna de burbujas puede incluir una pluralidad de cámaras dispuestas en un apilamiento vertical, y pueden situarse uno o más aliviaderos y/o deflectores en una o más cámaras de tal manera que pueda fluir un líquido a través de la longitud de la cámara. En algunos casos, las cámaras pueden disponerse de tal manera que fluya líquido en sentidos opuestos para cámaras adyacentes. Por ejemplo, un condensador de columna de burbujas puede comprender una primera cámara y una segunda cámara, y pueden situarse uno o más aliviaderos y/o deflectores en cada una de la primera y segunda cámaras de tal manera que fluya una corriente de fluido condensable en fase líquida a lo largo de la longitud de la primera cámara en un primer sentido y a lo largo de la longitud de la segunda cámara en un segundo sentido opuesto. Por ejemplo, la

figura 2C ilustra una configuración en la que un condensador 200 de columna de burbujas comprende una cámara 244 de distribución de vapor, una primera etapa 210 que comprende una cámara 212, y una segunda etapa 220 que comprende una cámara 224. Una corriente de un fluido condensable en fase líquida puede entrar en el condensador 200 a través de la entrada 232 de líquido, y la corriente de líquido puede fluir a través de la segunda etapa 220 en el sentido de la flecha 246. En la primera etapa 210 situada en vertical por debajo de la segunda etapa 220, la corriente de líquido en exceso de la segunda etapa 200 puede entrar en la primera etapa 10 y puede fluir a través de la primera etapa 210 en el sentido de la flecha 248, donde el sentido de la flecha 248 es opuesto al de la flecha 246. En la cámara 244 de distribución de vapor situada en vertical por debajo de la primera etapa 210, la corriente de líquido en exceso de la primera etapa 210 puede fluir en el sentido de la flecha 252, donde el sentido de la flecha 252 está sustancialmente en el sentido opuesto a la flecha 248 y sustancialmente en el mismo sentido que la flecha 246.

En algunas realizaciones, puede situarse un primer aliviadero adyacente a un área que recibe una corriente de líquido (por ejemplo, desde una entrada de líquido, o desde una región por encima del primer aliviadero). El primer aliviadero puede situarse en el extremo opuesto, longitudinalmente, con respecto a un segundo aliviadero situado adyacente a una salida o un tubo descendente que puede suministrar el líquido en exceso a otra región del aparato. En algunas realizaciones, el primer aliviadero y el segundo aliviadero pueden situarse en el mismo extremo de la primera cámara.

Algunas realizaciones implican el uso de aliviaderos y deflectores para dirigir el flujo de líquido dentro y entre cámaras. En algunos casos, el deflector puede ser un deflector longitudinal. En algunos casos, el deflector puede ser un deflector transversal (por ejemplo, un deflector horizontal). Una de tales realizaciones se ilustra en la figura 6, en la que un deflector 604 longitudinal, un aliviadero 606 y un aliviadero 608 están situados en un generador 602 de burbujas. El aliviadero 606 y el aliviadero 608 están situados en un primer extremo del generador 602 de burbujas. El deflector 604 longitudinal se extiende a lo largo de la longitud del generador 602 de burbujas, desde el primer extremo del generador 602 de burbujas hacia el segundo extremo opuesto del generador 602 de burbujas. La longitud del deflector 604 longitudinal es menor que la longitud del generador de burbujas, proporcionando un hueco entre el extremo del deflector 604 longitudinal y el segundo extremo opuesto del generador 602 de burbujas para que fluya un líquido.

Cuando el sistema 600 está en uso, el aliviadero 606 puede recibir una corriente de un fluido condensable en fase líquida. El líquido puede residir dentro de la región 606a encerrada por el aliviadero 606. A medida que se introduce líquido adicional y la altura del líquido en la región 606a encerrada supera la altura del aliviadero 606, puede fluir el líquido en exceso por la parte superior del aliviadero 606 y fluir a lo largo de la longitud del generador 602 de burbujas, en el sentido de la flecha 610 tal como se dirige por el deflector 604 longitudinal. La fase líquida puede fluir entonces a través de la anchura del generador 602 de burbujas, a través del hueco entre el deflector 604 longitudinal y una pared transversal de la cámara. Puede fluir entonces líquido a lo largo de la longitud del generador 602 de burbujas en el sentido de la flecha 612, que es opuesto al de la flecha 610. Cuando la altura del líquido supera la altura del aliviadero 608, puede fluir el líquido en exceso por la parte superior del aliviadero 608 y hacia otra parte del aparato. Debe entenderse que una cámara puede incluir más de un deflector longitudinal. En algunas realizaciones, al menos un deflector longitudinal, al menos dos deflectores longitudinales, al menos tres deflectores longitudinales, al menos cuatro deflectores longitudinales, al menos cinco deflectores longitudinales, al menos diez deflectores longitudinales, o más, se disponen dentro de la cámara. En algunas realizaciones, la cámara incluye 1-10 deflectores longitudinales, 1-5 deflectores longitudinales, o 1-3 deflectores longitudinales.

En algunos casos, al menos un deflector transversal, al menos dos deflectores transversales, al menos tres deflectores transversales, al menos cuatro deflectores transversales, al menos cinco deflectores transversales, al menos diez deflectores transversales, o más, se disponen dentro de la cámara. En algunas realizaciones, la cámara incluye 1-10 deflectores transversales, 1-5 deflectores transversales, o 1-3 deflectores transversales.

El condensador de columna de burbujas puede tener cualquier forma adecuada para una aplicación particular. En algunas realizaciones, el condensador de columna de burbujas puede tener una sección transversal que es sustancialmente circular, sustancialmente elíptica, sustancialmente cuadrada, sustancialmente rectangular, o sustancialmente triangular. Se ha reconocido que puede ser ventajoso que un condensador de columna de burbujas tenga una sección transversal sustancialmente circular. En algunos casos, un condensador de columna de burbujas que tiene una sección transversal sustancialmente circular (por ejemplo, un condensador de columna de burbujas sustancialmente cilíndrico) puede ser más fácil de fabricar que un condensador de columna de burbujas que tiene una sección transversal de una forma diferente (por ejemplo, una sección transversal sustancialmente rectangular). Por ejemplo, para un condensador de columna de burbujas sustancialmente cilíndrico que tiene un determinado diámetro (por ejemplo, de aproximadamente 0,6 m o menos), pueden usarse tuberías y/o tubos prefabricados para formar las paredes de la columna de burbujas. Además, un condensador de columna de burbujas sustancialmente cilíndrico puede fabricarse a partir de un material de chapa (por ejemplo, de acero inoxidable) doblando la chapa y soldando un único cordón. En cambio, un condensador de columna de burbujas que tiene una sección transversal de una forma diferente puede tener más de un cordón soldado (por ejemplo, un condensador de columna de burbujas que tiene una sección transversal sustancialmente rectangular puede tener cuatro cordones soldados). Además, un condensador de columna de burbujas que tiene una sección transversal sustancialmente circular puede

requerir que menos material para fabricarlo que un condensador de columna de burbujas que tiene una sección transversal de una forma diferente (por ejemplo, una sección transversal sustancialmente rectangular). En determinadas realizaciones, el condensador de columna de burbujas tiene una forma sustancialmente paralelepípedica, una forma sustancialmente de prisma rectangular, una forma sustancialmente cilíndrica y/o una forma sustancialmente piramidal.

El condensador de columna de burbujas puede tener cualquier tamaño adecuado para una aplicación particular. En algunas realizaciones, la dimensión de la sección transversal más grande del condensador de columna de burbujas puede ser de menos de aproximadamente 10 m, menos de aproximadamente 5 m, menos de aproximadamente 2 m, menos de aproximadamente 1 m, menos de aproximadamente 0,5 m, o menos de aproximadamente 0,1 m. En algunos casos, la dimensión de la sección transversal más grande del condensador de columna de burbujas puede oscilar entre aproximadamente 10 m y aproximadamente 0,01 m, entre aproximadamente 5 m y aproximadamente 0,5 m, o entre aproximadamente 5 m y aproximadamente 1 m.

El exterior del condensador de columna de burbujas puede comprender cualquier material adecuado. En determinadas realizaciones, el condensador de columna de burbujas comprende acero inoxidable, aluminio y/o un plástico (por ejemplo, polícloruro de vinilo), polietileno, policarbonato). En algunas realizaciones, puede ser ventajoso minimizar la pérdida de calor desde el condensador de columna de burbujas al entorno. En algunos casos, el exterior del condensador y/o el interior del condensador pueden comprender un material térmicamente aislante. Por ejemplo, el condensador puede estar al menos parcialmente recubierto, cubierto, o envuelto con un material térmicamente aislante. Los ejemplos no limitativos de materiales térmicamente aislantes adecuados incluyen espuma elastomérica, fibra de vidrio, lana mineral de fibra cerámica, lana mineral de vidrio, espuma fenólica, poliisocianurato, poliestireno y poliuretano.

Aunque las características descritas anteriormente se han analizado en el contexto de aparatos de condensación tales como condensadores de columna de burbujas, también pueden aplicarse todas las características descritas (por ejemplo, forma, relación de aspecto, presencia de aliviaderos y/o deflectores, etc.) a aparatos de humidificación, tales como humidificadores de columna de burbujas. El uso de un humidificador de columna de burbujas puede ser, en algunos casos, ventajoso en comparación con el uso de otros tipos de humidificadores (por ejemplo, humidificadores de lecho de relleno) por muchos de los mismos motivos por los que el uso de un condensador de columna de burbujas puede ser ventajoso en comparación con otros tipos de condensadores. Por ejemplo, un humidificador de columna de burbujas puede caracterizarse por un rendimiento mejorado (por ejemplo, mayores tasas de transferencia de calor y/o masa, mayor eficacia termodinámica) y/o costes de fabricación y/o materiales reducidos (por ejemplo, dimensiones reducidas) en comparación con otros tipos de humidificadores.

En determinados casos, un humidificador de columna de burbujas comprende una pluralidad de etapas (por ejemplo, el humidificador de columna de burbujas es un humidificador de columna de burbujas de múltiples etapas). Las etapas pueden disponerse de tal manera que una corriente de gas (por ejemplo, una corriente de aire) fluya secuencialmente a través de una primera etapa, una segunda etapa, una tercera etapa, etcétera. En algunas realizaciones, cada etapa comprende una capa de líquido que tiene una temperatura, y la temperatura de la capa de líquido de una etapa puede ser menor que la temperatura de etapas posteriores. Por ejemplo, en un humidificador de columna de burbujas de tres etapas, la temperatura de la capa de líquido de la primera etapa (por ejemplo, la etapa más inferior en una columna de burbujas dispuesta en vertical) puede ser menor que la temperatura de la capa de líquido de la segunda etapa, que puede ser menor que la temperatura de la capa de líquido de la tercera etapa (por ejemplo, la etapa más superior en una columna de burbujas dispuesta en vertical). Dentro de cada etapa, pueden transferirse calor y masa desde la capa de líquido a burbujas de la corriente de gas.

Para ilustrar el funcionamiento de un humidificador de columna de burbujas de múltiples etapas, se describe el funcionamiento de una realización a modo de ejemplo de un humidificador de columna de burbujas de múltiples etapas, tal como se ilustra en la figura 2A. Según algunas realizaciones, el aparato 200 de la figura 2A es un humidificador de columna de burbujas de múltiples etapas. El humidificador 200 de columna de burbujas comprende todos los componentes analizados previamente en el contexto de un condensador de columna de burbujas (por ejemplo, la primera etapa 210 que comprende la capa 214 de líquido y el generador 208 de burbujas, la segunda etapa 220 que comprende la capa 226 de líquido y el generador 222 de burbujas). Sin embargo, las capas 214 y 226 de líquido comprenden agua que contiene sal en lugar de fluido condensable sustancialmente puro en una fase líquida. Adicionalmente, la temperatura del agua que contiene sal de las capas 214 y 226 de líquido es mayor que la temperatura de un primer gas o una primera mezcla de gas que fluye a través del humidificador 200 de columna de burbujas.

En funcionamiento, un gas o una mezcla de gas puede desplazarse a través del generador 208 de burbujas, formándose de ese modo burbujas. A medida que las burbujas de gas o mezcla de gas se desplazan posteriormente a través de la capa 214 de líquido, que se mantiene a una temperatura superior a la del gas o la mezcla de gas, se transfieren calor y masa desde el agua que contiene sal de la capa 214 de líquido a las burbujas del gas o la mezcla de gas, humidificando de ese modo al menos parcialmente el gas o la mezcla de gas. El gas o la mezcla de gas humidificado al menos parcialmente puede desplazarse entonces a través de una primera región de distribución de vapor y entrar en el generador 222 de burbujas, formándose burbujas del gas o la mezcla de gas humidificado al

menos parcialmente. Las burbujas del gas o la mezcla de gas humidificado al menos parcialmente pueden desplazarse entonces a través de la capa 226 de líquido, que tiene una temperatura mayor que la temperatura de la capa 214 de líquido, y pueden transferirse calor y masa desde la capa 226 de líquido a las burbujas del gas o la mezcla de gas humidificado al menos parcialmente, humidificando adicionalmente el gas o la mezcla de gas.

El humidificador de columna de burbujas puede comprender cualquier material adecuado (por ejemplo, un material que sea resistente al calor y resistente a la corrosión). Los ejemplos no limitativos de materiales adecuados incluyen poli(cloruro de vinilo) clorado, polietileno, plástico reforzado con fibra de vidrio, aleaciones de titanio, Hastelloys (por ejemplo, aleaciones de níquel resistentes a la corrosión), superaleaciones (por ejemplo, superaleaciones a base de molibdeno) y/o metales recubiertos con resina epoxídica.

Algunas realizaciones se refieren a sistemas que comprenden un condensador de columna de burbujas tal como se describe en el presente documento dispuesto para estar en comunicación de fluido con un intercambiador de calor externo. En tales realizaciones, puede transferirse calor desde una corriente de salida de líquido de condensador a una corriente de refrigerante que fluye a través del intercambiador de calor externo. El sistema puede estar configurado de tal manera que la corriente de salida de líquido de condensador refrigerada pueda devolverse entonces al condensador de columna de burbujas a través de una entrada y reutilizarse como líquido para formar capas de líquido en la(s) etapa(s) del condensador. De esta manera, puede regularse la temperatura de las capas de líquido dentro del condensador de columna de burbujas de tal manera que, en cada etapa, la temperatura de la capa de líquido se mantiene a una temperatura menor que la temperatura del gas o la mezcla de gas. En algunos casos, la disposición del intercambiador de calor en una ubicación que es externa al condensador, en lugar de en una ubicación que está dentro del condensador, puede permitir el uso de condensadores tal como se describe en el presente documento (por ejemplo, condensadores que tienen dimensiones reducidas y/o niveles reducidos de baños de líquido, etc.). En algunos casos, el intercambiador de calor puede transferir calor absorbido desde la corriente de salida de líquido de condensador a otro fluido.

La figura 3A muestra una realización a modo de ejemplo de un sistema 300 que incluye un condensador 302 de columna de burbujas en conexión de fluido con un intercambiador 304 de calor externo a través de los conductos 306 y 308. El intercambiador 304 de calor incluye además un refrigerante durante el funcionamiento. En funcionamiento, una corriente de salida de líquido de condensador que contiene una cantidad de calor absorbido sale del condensador 302 a través del conducto 306 a una temperatura T_1 y entra en el intercambiador 304 de calor externo. Se transfiere calor desde la corriente de salida de líquido de condensador al refrigerante, que se mantiene a una temperatura T_3 que es menor que la temperatura T_1 de la corriente de salida de líquido de condensador. La corriente de salida de líquido de condensador sale entonces del intercambiador 304 de calor a través del conducto 308 a la temperatura T_2 , donde T_2 es menor que T_1 , y se devuelve al condensador 302 a través del conducto 308.

El intercambiador 304 de calor puede transferir opcionalmente cualquier calor absorbido de la corriente de salida de líquido de condensador a otra corriente de fluido. Por ejemplo, una corriente de entrada de intercambiador de calor (por ejemplo, una corriente de refrigerante de intercambiador de calor) puede entrar en el intercambiador 304 de calor a través del conducto 310 a la temperatura T_3 . A medida que la corriente de entrada de intercambiador de calor pasa a través del intercambiador 304 de calor, puede absorber el calor transferido desde la corriente de salida de líquido de condensador. La corriente de entrada de intercambiador de calor puede salir entonces del intercambiador 304 de calor a través del conducto 312 como una corriente de salida de intercambiador de calor a la temperatura T_4 , donde T_4 es mayor que T_3 . En algunas realizaciones, la corriente de entrada de líquido de condensador que fluye a través del conducto 308 y la corriente de entrada de intercambiador de calor que fluye a través del conducto 310 pueden ser sustancialmente la misma. En otras realizaciones, la corriente de entrada de líquido de condensador y la corriente de entrada de intercambiador de calor pueden ser diferentes. En algunos casos, la corriente de salida de líquido de condensador que fluye a través del intercambiador 304 de calor (por ejemplo, la corriente que fluye a través de los conductos 306 y 308) y la corriente de refrigerante de intercambiador de calor (por ejemplo, la corriente que fluye a través de los conductos 310 y 312) pueden fluir en direcciones sustancialmente paralelas a través del intercambiador 304 de calor. En otras realizaciones (tal como se ilustra), la corriente de salida de líquido de condensador que fluye a través del intercambiador 304 de calor y la corriente de refrigerante de intercambiador de calor pueden fluir en direcciones sustancialmente no paralelas (por ejemplo, opuestas) a través del intercambiador 304 de calor.

Puede usarse cualquier intercambiador de calor conocido en la técnica. Los ejemplos de intercambiadores de calor adecuados incluyen, pero no se limitan a, intercambiadores de calor de placas y bastidor, intercambiadores de calor de carcasa y tubos, intercambiadores de calor de doble tubo, intercambiadores de calor de placas, intercambiadores de calor de placas y carcasa, y similares. En una realización particular, el intercambiador de calor es un intercambiador de calor de placas y bastidor. El intercambiador de calor puede estar configurado de tal manera que fluyan una primera corriente de fluido y una segunda corriente de fluido a través del intercambiador de calor. En algunos casos, la primera corriente de fluido y la segunda corriente de fluido pueden fluir sustancialmente en el mismo sentido (por ejemplo, flujos paralelos), sentidos sustancialmente opuestos (por ejemplo, flujo a contracorriente) o direcciones sustancialmente perpendiculares (por ejemplo, flujo transversal). La primera corriente de fluido puede comprender, en determinados casos, una corriente de fluido que fluye a través de un condensador (por ejemplo, una corriente de salida de líquido de condensador). En algunas realizaciones, la segunda corriente de

fluido puede comprender un refrigerante. La primera corriente de fluido y/o la segunda corriente de fluido pueden comprender un líquido. En algunas realizaciones, el intercambiador de calor puede ser un intercambiador de calor líquido-líquido. En algunos casos, pueden fluir más de dos corrientes de fluido a través del intercambiador de calor.

5 El refrigerante puede ser cualquier fluido capaz de absorber y transferir calor. Normalmente, el refrigerante es un líquido. El refrigerante puede incluir, en algunas realizaciones, agua. En determinados casos, el refrigerante puede incluir agua que contiene sal. Por ejemplo, en un sistema de humidificación-deshumidificación, puede usarse la corriente de refrigerante en el intercambiador de calor para precalentar agua que contiene sal antes de entrar en un humidificador.

10 En algunas realizaciones, el intercambiador de calor puede presentar tasas de transferencia de calor relativamente altas. En algunas realizaciones, el intercambiador de calor puede tener un coeficiente de transferencia de calor de al menos aproximadamente 150 W/(m² K), al menos aproximadamente 200 W/(m² K), al menos aproximadamente 500 W/(m² K), al menos aproximadamente 1000 W/(m² K), al menos aproximadamente 2000 W/(m² K), al menos aproximadamente 3000 W/(m² K), al menos aproximadamente 4000 W/(m² K) o, en algunos casos, al menos aproximadamente 5000 W/(m² K). En algunas realizaciones, el intercambiador de calor puede tener un coeficiente de transferencia de calor en el intervalo de al menos aproximadamente 150 W/(m² K) a al menos aproximadamente 5000 W/(m² K), de al menos aproximadamente 200 W/(m² K) a aproximadamente 5000 W/(m² K), al menos aproximadamente 500 W/(m² K) a aproximadamente 5000 W/(m² K), de al menos aproximadamente 1000 W/(m² K) a aproximadamente 5000 W/(m² K), de al menos aproximadamente 2000 W/(m² K) a aproximadamente 5000 W/(m² K), de al menos aproximadamente 3000 W/(m² K) a aproximadamente 5000 W/(m² K), o de al menos aproximadamente 4000 W/(m² K) a aproximadamente 5000 W/(m² K).

25 En algunas realizaciones, el intercambiador de calor puede disminuir la temperatura de la corriente de salida de líquido de condensador y/u otros fluidos que fluyen a través del intercambiador de calor. Por ejemplo, la diferencia entre la temperatura de un fluido que entra en el intercambiador de calor por el conducto 306 ó 310 y el fluido que sale del intercambiador de calor a través del conducto 308 ó 312, respectivamente, puede ser de al menos aproximadamente 5 °C, al menos aproximadamente 10 °C, al menos aproximadamente 15 °C, al menos aproximadamente 20 °C, al menos aproximadamente 30 °C, al menos aproximadamente 40 °C, al menos aproximadamente 50 °C, al menos aproximadamente 60 °C, al menos aproximadamente 70 °C, al menos aproximadamente 80 °C, al menos aproximadamente 90 °C, al menos aproximadamente 100 °C, al menos aproximadamente 150 °C o, en algunos casos, al menos aproximadamente 200 °C. En algunas realizaciones, la diferencia entre la temperatura de un fluido que entra en el intercambiador de calor y el fluido que sale del intercambiador de calor puede estar en el intervalo de aproximadamente 5 °C a aproximadamente 30 °C, de aproximadamente 5 °C a aproximadamente 60 °C, de aproximadamente 5 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 10 °C a aproximadamente 30 °C, de aproximadamente 10 °C a aproximadamente 60 °C, de aproximadamente 10 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 60 °C, de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 200 °C, de aproximadamente 30 °C a aproximadamente 60 °C, de aproximadamente 30 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 40 °C a aproximadamente 200 °C, de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 200 °C, de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 200 °C, de aproximadamente 80 °C a aproximadamente 200 °C, de aproximadamente 100 °C a aproximadamente 200 °C, o de aproximadamente 150 °C a aproximadamente 200 °C.

45 En algunas realizaciones, un dispositivo de calentamiento externo opcional puede disponerse en comunicación de fluido con el condensador de columna de burbujas y/o el intercambiador de calor externo. En determinados casos, el dispositivo de calentamiento puede disponerse de tal manera que, en funcionamiento, una corriente de salida de líquido de condensador se calienta en el dispositivo de calentamiento antes de entrar en el intercambiador de calor. Tal disposición puede aumentar ventajosamente la cantidad de calor transferido desde la corriente de salida de líquido de condensador a otra corriente de fluido que fluye a través del intercambiador de calor. Por ejemplo, en un sistema de humidificación-deshumidificación, puede transferirse calor desde la corriente de salida de líquido de condensador a una corriente de agua que contiene sal (por ejemplo, una corriente de salmuera) antes de la entrada de la corriente de agua que contiene sal en un humidificador.

55 El dispositivo de calentamiento puede ser cualquier dispositivo que sea capaz de transferir calor a una corriente de fluido (por ejemplo, una corriente de salida de líquido de condensador). En algunos casos, el dispositivo de calentamiento es un intercambiador de calor. Puede usarse cualquier intercambiador de calor conocido en la técnica. Los ejemplos de intercambiadores de calor adecuados incluyen, pero no se limitan a, intercambiadores de calor de placas y bastidor, intercambiadores de calor de carcasa y tubos, intercambiadores de calor de doble tubo, intercambiadores de calor de placas, intercambiadores de calor de placas y carcasa, y similares. En una realización particular, el intercambiador de calor es un intercambiador de calor de placas y bastidor. El intercambiador de calor puede estar configurado de tal manera que fluyan una primera corriente de fluido y una segunda corriente de fluido a través del intercambiador de calor. En algunos casos, la primera corriente de fluido y la segunda corriente de fluido pueden fluir sustancialmente en el mismo sentido (por ejemplo, flujos paralelos), sentidos sustancialmente opuestos (por ejemplo, flujo a contracorriente) o direcciones sustancialmente perpendiculares (por ejemplo, flujo transversal).

La primera corriente de fluido y/o la segunda corriente de fluido pueden comprender un líquido. En algunas realizaciones, el segundo intercambiador de calor es un intercambiador de calor líquido-líquido. La primera corriente de fluido puede comprender, en algunos casos, una corriente de fluido que fluye a través de un condensador (por ejemplo, una corriente de salida de líquido de condensador). La segunda corriente de fluido puede comprender, en algunos casos, un fluido de calentamiento. La segunda corriente de fluido puede comprender, en algunos casos, un fluido de calentamiento. El fluido de calentamiento puede ser cualquier fluido capaz de absorber y transferir calor. En algunas realizaciones, el fluido de calentamiento comprende agua. En determinados casos, el fluido de calentamiento comprende agua caliente a presión. En determinadas realizaciones, puede transferirse calor desde la segunda corriente de fluido (por ejemplo, el fluido de calentamiento) a la primera corriente (por ejemplo, la corriente de salida de líquido de condensador) en el intercambiador de calor. En algunos casos, pueden fluir más de dos corrientes de fluido a través del intercambiador de calor.

En algunas realizaciones, el dispositivo de calentamiento es un dispositivo de captación de calor. El dispositivo de captación de calor puede estar configurado para almacenar y/o utilizar energía térmica (por ejemplo, en forma de combustión de gas natural, energía solar, calor residual de una central eléctrica, o calor residual de gas de escape de combustión). En determinados casos, el dispositivo de calentamiento está configurado para convertir energía eléctrica en energía térmica. Por ejemplo, el dispositivo de calentamiento puede ser un calentador eléctrico.

El dispositivo de calentamiento puede, en algunos casos, aumentar la temperatura de la corriente de salida de líquido de condensador y/u otras corrientes de fluido que fluyen a través del dispositivo de calentamiento. Por ejemplo, la diferencia entre la temperatura de un fluido que entra en el dispositivo de calentamiento y el fluido que sale del dispositivo de calentamiento puede ser de al menos aproximadamente 5 °C, al menos aproximadamente 10 °C, al menos aproximadamente 15 °C, al menos aproximadamente 20 °C, al menos aproximadamente 30 °C, al menos aproximadamente 40 °C, al menos aproximadamente 50 °C, al menos aproximadamente 60 °C, al menos aproximadamente 70 °C, al menos aproximadamente 80 °C o, en algunos casos, al menos aproximadamente 90 °C. En algunas realizaciones, la diferencia entre la temperatura de un fluido que entra en el dispositivo de calentamiento y el fluido que sale del intercambiador de calor puede estar en el intervalo de aproximadamente 5 °C a aproximadamente 30 °C, de aproximadamente 5 °C a aproximadamente 60 °C, de aproximadamente 5 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 10 °C a aproximadamente 30 °C, de aproximadamente 10 °C a aproximadamente 60 °C, de aproximadamente 10 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 60 °C, de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 30 °C a aproximadamente 60 °C, de aproximadamente 30 °C a aproximadamente 90 °C, o de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 90 °C. En algunos casos, la temperatura de una corriente de fluido (por ejemplo, la corriente de salida de líquido de condensador) que se calienta en el dispositivo de calentamiento permanece por debajo del punto de ebullición de la corriente de fluido.

En algunas realizaciones, un dispositivo de refrigeración externo opcional puede disponerse en comunicación de fluido con el condensador de columna de burbujas y/o el intercambiador de calor externo. En determinados casos, el dispositivo de refrigeración puede disponerse de tal manera que, en funcionamiento, se enfríe una corriente de salida de intercambiador de calor (por ejemplo, una corriente de salida de líquido de condensador refrigerada) en el dispositivo de refrigeración antes de volver al condensador de columna de burbujas.

Un dispositivo de refrigeración se refiere generalmente a cualquier dispositivo que sea capaz de retirar calor de una corriente de fluido (por ejemplo, una corriente de líquido, una corriente de gas). En algunas realizaciones, el dispositivo de refrigeración es un intercambiador de calor. El intercambiador de calor puede estar configurado de tal manera que fluyan una primera corriente de fluido y una segunda corriente de fluido a través del intercambiador de calor. En algunos casos, la primera corriente de fluido y la segunda corriente de fluido pueden fluir sustancialmente en el mismo sentido (por ejemplo, flujos paralelos), sentidos sustancialmente opuestos (por ejemplo, flujo a contracorriente) o direcciones sustancialmente perpendiculares (por ejemplo, flujo transversal). En algunos casos, se transfiere calor desde una primera corriente de fluido a una segunda corriente de fluido. En determinadas realizaciones, el dispositivo de refrigeración es un intercambiador de calor líquido-gas. La primera corriente de fluido puede comprender, en determinados casos, una corriente de fluido que forma parte de un circuito cerrado de líquido de condensador que fluye entre un condensador y un intercambiador de calor (por ejemplo, una corriente de salida de líquido de condensador). La segunda corriente de fluido puede comprender, en algunos casos, un refrigerante. El refrigerante puede ser cualquier fluido capaz de absorber o transferir calor. En algunas realizaciones, el refrigerante comprende un gas. El gas puede comprender, en algunos casos, aire (por ejemplo, aire ambiental). Los intercambiadores de calor que comprenden aire como refrigerante pueden denominarse generalmente intercambiadores de calor refrigerados por aire. En algunos casos, fluyen más de dos corrientes de fluido a través del dispositivo de refrigeración. También debe observarse que el dispositivo de refrigeración puede ser, en algunas realizaciones, un refrigerador de tipo seco, un enfriador, un radiador, o cualquier otro dispositivo capaz de retirar calor de una corriente de fluido.

El dispositivo de refrigeración puede disminuir, en algunos casos, la temperatura de una corriente de salida de intercambiador de calor. En algunas realizaciones, el dispositivo de refrigeración disminuye la temperatura de la corriente de salida de intercambiador de calor en al menos aproximadamente 5 °C, al menos aproximadamente

10 °C, al menos aproximadamente 15 °C, al menos aproximadamente 20 °C, al menos aproximadamente 30 °C, al menos aproximadamente 40 °C, al menos aproximadamente 50 °C, al menos aproximadamente 60 °C, al menos aproximadamente 70 °C, al menos aproximadamente 80 °C o, en algunos casos, al menos aproximadamente 90 °C. En algunas realizaciones, el dispositivo de refrigeración disminuye la temperatura de la corriente de salida de intercambiador de calor en una cantidad en el intervalo de aproximadamente 5 °C a aproximadamente 30 °C, de aproximadamente 5 °C a aproximadamente 60 °C, de aproximadamente 5 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 10 °C a aproximadamente 30 °C, de aproximadamente 10 °C a aproximadamente 60 °C, de aproximadamente 10 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 30 °C, de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 60 °C, de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 30 °C a aproximadamente 60 °C, de aproximadamente 30 °C a aproximadamente 90 °C, o de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 90 °C.

La figura 3B muestra una realización a modo de ejemplo de un sistema 300 que comprende un condensador 302 de columna de burbujas, un intercambiador 304 de calor externo, un dispositivo 314 de calentamiento externo, y un dispositivo 316 de refrigeración externo, cada uno en comunicación de fluido entre sí. El dispositivo 314 de calentamiento se dispone para estar en comunicación de fluido con el condensador 302 a través del conducto 306 de líquido. El dispositivo 314 de calentamiento también se dispone para estar en comunicación de fluido con el intercambiador 304 de calor a través del conducto 318 de líquido. Además de estar en comunicación de fluido con el dispositivo 314 de calentamiento, el intercambiador 304 de calor se dispone para estar en comunicación de fluido con el dispositivo 316 de refrigeración a través del conducto 320 de líquido. El dispositivo 316 de refrigeración se dispone para estar en comunicación de fluido con el condensador 302 a través del conducto 308 de líquido.

En funcionamiento, en una realización a modo de ejemplo, una corriente de salida de líquido de condensador sale del condensador 302 a través del conducto 306 a una temperatura T_1 y entra en el dispositivo 314 de calentamiento. Se transfiere calor a la corriente de salida de líquido de condensador a medida que fluye a través del dispositivo 314 de calentamiento. La corriente de salida de líquido de condensador sale del dispositivo 314 de calentamiento como corriente de salida de dispositivo de calentamiento (por ejemplo, una corriente de salida de líquido de condensador calentada) a una temperatura T_2 que es mayor que T_1 . La corriente de salida de dispositivo de calentamiento fluye entonces a través del conducto 318 al intercambiador 304 de calor. En el intercambiador 304 de calor, se transfiere calor desde la corriente de salida de dispositivo de calentamiento a otra corriente de fluido (por ejemplo, una corriente de agua que contiene sal) que fluye a través del intercambiador 304 de calor a través de los conductos 310 y 312. La corriente de salida de dispositivo de calentamiento sale del intercambiador 304 de calor como corriente de salida de intercambiador de calor a una temperatura T_3 que es menor que T_2 . La corriente de salida de intercambiador de calor fluye entonces a través del conducto de líquido al dispositivo 316 de refrigeración. En algunas realizaciones, a medida que fluye la corriente de salida de intercambiador de calor a través del dispositivo 316 de refrigeración, se transfiere calor desde la corriente de salida de intercambiador de calor a otra corriente de fluido (por ejemplo, una corriente de aire) que fluye a través del dispositivo 316 de refrigeración a través de los conductos 322 y 324. La corriente de salida de intercambiador de calor sale entonces del dispositivo 316 de refrigeración como corriente de salida de dispositivo de refrigeración a una temperatura T_4 que es menor que T_3 . La corriente de salida de dispositivo de refrigeración a la temperatura T_4 vuelve luego al condensador 302 a través del conducto 308.

En algunas realizaciones, el condensador de columna de burbujas puede usarse en un sistema de desalinización. En algunas realizaciones, el sistema de desalinización puede ser un sistema de humidificación-deshumidificación (HDH). En tales sistemas, un condensador (por ejemplo, un condensador de columna de burbujas) puede actuar como deshumidificador para condensar agua sustancialmente purificada de una corriente de gas humidificada. El uso de un condensador de columna de burbujas como deshumidificador en un sistema de HDH puede ser ventajoso porque los condensadores de contacto directo, tales como condensadores de columna de burbujas, pueden presentar una eficacia de transferencia de calor relativamente mayor que otros tipos de condensadores, tales como condensadores de superficie. En algunas realizaciones, el sistema de HDH comprende un intercambiador de calor. En determinados casos, el intercambiador de calor facilita la transferencia de calor desde una corriente de fluido que fluye a través de un condensador (por ejemplo, una corriente de salida de líquido de condensador) a una corriente de fluido que fluye a través de un humidificador (por ejemplo, una corriente de entrada de líquido de humidificador). Por ejemplo, el intercambiador de calor puede permitir ventajosamente que se recupere energía de una corriente de salida de líquido de condensador y se use para precalentar una corriente de entrada de líquido de humidificador (por ejemplo, una corriente de agua que contiene sal) antes de la entrada de la corriente de entrada de líquido de humidificador en el humidificador del sistema de HDH. Esto puede evitar, por ejemplo, la necesidad de un dispositivo de calentamiento adicional para calentar la corriente de agua que contiene sal. Alternativamente, si se usa un dispositivo de calentamiento, la presencia de un intercambiador de calor para recuperar energía de una corriente de salida de líquido de condensador puede reducir la cantidad de calor requerida que ha de aplicarse a la corriente de agua que contiene sal. En algunas realizaciones, el intercambiador de calor es un intercambiador de calor externo. Tal como se ha indicado anteriormente, el uso de un intercambiador de calor externo puede permitir ventajosamente el uso de condensadores de columna de burbujas tal como se describe en el presente documento (por ejemplo, condensadores que tienen dimensiones reducidas y/o niveles reducidos de baños de líquido, etc.). En algunas realizaciones, el intercambiador de calor es un intercambiador de calor interno. Por ejemplo, el intercambiador de

calor interno puede comprender un serpentín de tipo tubo ubicado dentro de un condensador de columna de burbujas. El serpentín de tipo tubo puede situarse de tal manera que al menos una parte del serpentín de tipo tubo esté en contacto térmico con una capa de líquido dentro de una etapa del condensador de columna de burbujas. En un condensador de burbujas de múltiples etapas que comprende una pluralidad de etapas, comprendiendo cada etapa una capa de líquido, el serpentín de tipo tubo puede situarse de tal manera que cada capa de líquido esté en contacto térmico con al menos una parte del serpentín de tipo tubo. En algunos casos, puede fluir un refrigerante (por ejemplo, una corriente de agua que contiene sal) a través del intercambiador de calor interno (por ejemplo, el serpentín de tipo tubo), y puede transferirse calor desde la(s) capa(s) de líquido del condensador de columna de burbujas al refrigerante.

Otros ejemplos de sistemas de HDH se describen en la patente estadounidense n.º 8.292.272, de Elsharqawy *et al.*, presentada el 4 de septiembre de 2009, titulada "Water Separation Under Reduced Pressure"; la patente estadounidense n.º 8.465.006, de Elsharqawy *et al.*, presentada el 21 de septiembre de 2012, titulada "Separation of a Vaporizable Component Under Reduced Pressure"; la patente estadounidense n.º 8.252.092, de Govindan *et al.*, presentada el 5 de octubre de 2009, titulada "Water Separation Under Varied Pressure"; la patente estadounidense n.º 8.496.234, de Govindan *et al.*, presentada el 12 de julio de 2012, titulada "Thermodynamic Balancing of Combined Heat and Mass Exchange Devices"; la publicación de patente estadounidense n.º 2013/0074694, de Govindan *et al.*, presentada el 23 de septiembre de 2011, titulada "Bubble-Column Vapor Mixture Condenser"; la publicación de patente estadounidense n.º 2013/0075940, de Govindan *et al.*, presentada el 12 de julio de 2012 como la solicitud de patente estadounidense con n.º de serie 13/548.166, titulada "Bubble-Column Vapor Mixture Condenser", y la solicitud de patente estadounidense con n.º de serie 13/916.038, de Govindan *et al.*, presentada el 12 de junio de 2013, titulada "Multi-Stage Bubble Column Humidifier".

En la figura 4A se muestra una realización a modo de ejemplo de un sistema de HDH. El sistema 400 incluye un humidificador 402, un deshumidificador 404, un intercambiador 406 de calor, un depósito 408 de agua que contiene sal y un depósito 410 de agua purificada. El humidificador 402 y el deshumidificador 404 se disponen en comunicación de fluido a través de conductos 420 y 422 de gas. En algunas realizaciones, el sistema 400 es un sistema de circuito cerrado, con una corriente de gas portador que circula entre el humidificador 402 y el deshumidificador 404. En algunos casos, la corriente de gas portador puede comprender un gas no condensable. Además de la corriente de gas portador, se hacen circular diversas corrientes de líquido a través del sistema 400. En un caso, la corriente puede incluir agua que contiene sal, tal como agua de mar, agua salobre, agua salina, salmuera, y/o aguas residuales industriales. En el sistema 400, un depósito 408 de agua que contiene sal se dispone en comunicación de fluido con el intercambiador 406 de calor a través del conducto 412 de líquido y con el humidificador 402 a través del conducto 418 de líquido. El humidificador 402 se dispone también para estar en comunicación de fluido con el intercambiador 406 de calor a través de los conductos 414 y 416 de líquido. En algunas realizaciones, el humidificador 402 puede comprender una entrada y salida de líquido de humidificador y una entrada y salida de gas de humidificador. En algunos casos, el humidificador está configurado de tal manera que la entrada de líquido se sitúa en un primer extremo (por ejemplo, el extremo superior) del humidificador, y la entrada de gas se sitúa en un segundo extremo opuesto (por ejemplo, el extremo inferior) del humidificador. Tal configuración puede dar como resultado ventajosamente una alta eficiencia térmica. En algunas realizaciones, el humidificador está configurado para poner una corriente de gas portador (por ejemplo, aire seco) en contacto directo con una corriente de agua que contiene sal, produciéndose de ese modo una corriente de salida de gas de humidificador que contiene vapor, enriquecida en agua con relación al gas recibido desde la entrada de gas de humidificador. El humidificador 402 también puede producir una corriente de salida de líquido de humidificador, una parte de la cual se devuelve al depósito 408 y una parte de la cual se hace fluir a través del intercambiador 406 de calor para calentarse y reintroducirse en el humidificador. Puede utilizarse cualquier humidificador conocido por los expertos habituales en la técnica en el contexto de las realizaciones descritas en el presente documento. Según determinadas realizaciones, el humidificador puede ser un humidificador de lecho de relleno. Por ejemplo, en algunas de tales realizaciones, puede lograrse la humidificación del gas portador pulverizando agua que contiene sal desde una o más toberas ubicadas en la parte superior del humidificador a través de un material de relleno (por ejemplo, un material de relleno de poli(cloruro de vinilo) o un material de relleno de polipropileno reforzado con vidrio) mientras se desplaza el gas portador a través de la cámara de humidificación y se pone en contacto con el agua que contiene sal. En algunas realizaciones, el material de relleno puede aumentar el área de superficie de la corriente de agua que contiene sal que está en contacto con el gas portador, aumentando de ese modo la parte de agua que se vaporiza en el gas portador. En algunas realizaciones, el humidificador puede ser un humidificador de columna de burbujas. Se ha reconocido que el uso de un humidificador de columna de burbujas puede ser, en algunos casos, preferible al uso de otros tipos de humidificadores de columna de burbujas (por ejemplo, humidificadores de lecho de relleno). Por ejemplo, los humidificadores de columna de burbujas pueden caracterizarse por un rendimiento mejorado (por ejemplo, mayores tasas de transferencia de calor y/o masa, mayor eficacia termodinámica) y/o menores costes de fabricación y/o materiales (por ejemplo, dimensiones reducidas).

En algunas realizaciones, el deshumidificador 404 es un condensador de columna de burbujas tal como se describe en el presente documento. En algunas realizaciones, el condensador 404 está en comunicación de fluido con el depósito 410 a través del conducto 430. El condensador 404 también puede estar en comunicación de fluido con el intercambiador 406 de calor a través de los conductos 426 y 428. El intercambiador 406 de calor puede ser cualquier intercambiador de calor conocido en la técnica, tal como se describe en otra parte del presente documento. En

algunas realizaciones, el intercambiador de calor está configurado de tal manera que una primera corriente de fluido y una segunda corriente de fluido fluyen a través del intercambiador de calor en sentido sustancialmente opuesto (por ejemplo, flujo a contracorriente). Por ejemplo, la figura 4B muestra el intercambiador 406 de calor como un dispositivo de flujo a contracorriente. El intercambiador de calor puede ser, alternativamente, un dispositivo de flujo paralelo y puede estar configurado de tal manera que fluyan una primera corriente de fluido y una segunda corriente de fluido sustancialmente en el mismo sentido. La figura 4A muestra el intercambiador 406 de calor como un dispositivo de flujo paralelo. En algunas realizaciones, el intercambiador de calor es un dispositivo de flujo transversal, y el intercambiador de calor está configurado de tal manera que una primera corriente de fluido y una segunda corriente de fluido fluyen en direcciones sustancialmente perpendiculares. En algunos casos, el intercambiador de calor es un intercambiador de calor líquido-líquido. En una realización a modo de ejemplo, el intercambiador de calor es un intercambiador de calor de placas y bastidor. En determinadas realizaciones, el intercambiador 406 de calor está en comunicación de fluido con el depósito 410 a través del conducto 424 opcional. En funcionamiento, en la realización a modo de ejemplo mostrada en la figura 4A, fluye una corriente de agua que contiene sal desde el depósito 408 al intercambiador 406 de calor a través del conducto 412 para calentarse antes de entrar en el humidificador 402 (por ejemplo, "precalentarse"). La corriente de agua que contiene sal precalentada se desplaza entonces desde el intercambiador 406 de calor a través del conducto 414 hasta el humidificador 402. En algunos casos, una primera parte de la corriente de agua que contiene sal precalentada fluye desde el intercambiador 406 de calor al humidificador 402 y, opcionalmente, una segunda parte de la corriente de agua que contiene sal precalentada se descarga del sistema y/o se dirige a otra parte del sistema. Por separado, y en un sentido que es opuesto al sentido de flujo para la corriente de agua que contiene sal precalentada, se hace fluir una corriente de gas portador proporcionada por el condensador 404 a través del humidificador 402. En el humidificador 402, la corriente de gas portador, que está a una temperatura que es menor que la de la corriente de agua que contiene sal precalentada, se calienta y humidifica por la corriente de agua que contiene sal precalentada. La corriente de gas portador humidificado sale del humidificador 402 y fluye a través del conducto 420 de gas al deshumidificador 404. Una parte de la corriente de agua que contiene sal vuelve al depósito 408 a través del conducto 418, y fluye una parte a través del conducto 416 de líquido al intercambiador 406 de calor para precalentarse antes de devolverse al humidificador 402 a través del conducto 414 de líquido.

La corriente de gas portador humidificado se hace fluir entonces a través del condensador 404 de columna de burbujas. Fluyendo en contracorriente con respecto a la corriente de gas portador humidificado en el condensador de columna de burbujas, hay una corriente de líquido de condensador que fluye desde el intercambiador 406 de calor hasta el condensador 404 de columna de burbujas a través del conducto 426. En algunas realizaciones, la corriente de líquido de condensador comprende agua purificada, que puede ser agua sustancialmente pura. En algunos casos, una primera parte de la corriente de líquido de condensador que se ha hecho fluir a través del intercambiador 406 de calor, se hace fluir hasta el condensador 404 de columna de burbujas y, opcionalmente, una segunda parte de la corriente de líquido de condensador que se ha hecho fluir a través del intercambiador 406 de calor, se descarga del sistema y/o se dirige a otra parte del sistema. En algunos casos en los que una parte de la corriente de líquido de condensador se descarga del sistema, la tasa a la que se descarga la corriente de líquido es aproximadamente la misma que la tasa a la que se condensa el líquido, con el fin de mantener un volumen constante de agua en el sistema. En el condensador 404 de columna de burbujas, la corriente de gas portador humidificado experimenta un proceso de condensación tal como se describe en otra parte del presente documento, en el que se transfieren calor y masa desde la corriente de gas portador humidificado a la corriente de líquido de condensador, produciéndose una corriente de gas portador deshumidificada y una corriente de salida de líquido de condensador. La corriente de gas deshumidificada se devuelve al humidificador 402 a través del conducto 422 de gas para su uso tal como se describe en el presente documento. En algunas realizaciones, una parte de la corriente de salida de líquido de condensador se hace fluir a través del conducto 430 de líquido hasta el depósito 410. El agua purificada que se recoge en el depósito 410 puede usarse, por ejemplo, para beber, regar cultivos, lavar/limpiar, cocinar, para uso industrial, etc. La parte restante de la corriente de salida de líquido de condensador que no fluye hasta el depósito 410 se devuelve al intercambiador 406 de calor a través del conducto 428 de líquido. Tal como se describe en el presente documento, puede transferirse calor desde la corriente de salida de líquido de condensador a la corriente de agua que contiene sal que fluye a través de los conductos 412, 414 y 416 de líquido. Después de fluir a través del intercambiador 406 de calor, la corriente de salida de líquido de condensador fluye luego a través del conducto 426 de líquido y vuelve al condensador 404 para su reutilización.

En algunas realizaciones, un sistema de HDH comprende opcionalmente uno o más dispositivos de calentamiento. En la figura 4C se muestra una realización a modo de ejemplo de un sistema de HDH que comprende dos dispositivos de calentamiento. En la figura 4C, el primer dispositivo 432 de calentamiento se dispone para estar en comunicación de fluido con el intercambiador 406 de calor a través del conducto 436 de líquido y en comunicación de fluido con el humidificador 402 a través del conducto 414 de líquido. El segundo dispositivo 434 de calentamiento se dispone para estar en comunicación de fluido con el intercambiador 406 de calor a través del conducto 438 de líquido y el condensador 404 a través del conducto 428 de líquido. El primer dispositivo de calentamiento y el segundo dispositivo de calentamiento pueden ser cualquier dispositivo que sea capaz de transferir calor a una corriente de fluido. En algunas realizaciones, el primer y/o segundo dispositivos de calentamiento es/son un intercambiador de calor. El intercambiador de calor puede ser cualquier intercambiador de calor conocido en la técnica, tal como se describe en otra parte del presente documento (por ejemplo, un intercambiador de calor de placas y bastidor). En algunas realizaciones, el primer y/o segundo dispositivos de calentamiento es/son un

dispositivo de captación de calor. En algunos casos, el dispositivo de captación de calor puede estar configurado para almacenar y/o utilizar energía térmica (por ejemplo, en forma de combustión de gas natural, energía solar, calor residual de una central eléctrica, o calor residual de gas de escape de combustión). En determinados casos, el dispositivo de calentamiento está configurado para convertir energía eléctrica en energía térmica (por ejemplo, un calentador eléctrico).

El primer y/o segundo dispositivos de calentamiento puede(n), en algunos casos, aumentar la temperatura de una corriente de fluido que fluye a través del primer y/o segundo dispositivos de calentamiento. Por ejemplo, la diferencia entre la temperatura de una corriente de fluido que entra en el primer y/o segundo dispositivos de calentamiento y la corriente de fluido que sale del primer y/o segundo dispositivos de calentamiento puede ser de al menos aproximadamente 5 °C, al menos aproximadamente 10 °C, al menos aproximadamente 15 °C, al menos aproximadamente 20 °C, al menos aproximadamente 30 °C, al menos aproximadamente 40 °C, al menos aproximadamente 50 °C, al menos aproximadamente 60 °C, al menos aproximadamente 70 °C, al menos aproximadamente 80 °C, o, en algunos casos, al menos aproximadamente 90 °C. En algunas realizaciones, la diferencia entre la temperatura de una corriente de fluido que entra en el primer y/o segundo dispositivos de calentamiento y la corriente de fluido que sale del primer y/o segundo dispositivos de calentamiento puede estar en el intervalo de aproximadamente 5 °C a aproximadamente 30 °C, de aproximadamente 5 °C a aproximadamente 60 °C, de aproximadamente 5 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 10 °C a aproximadamente 30 °C, de aproximadamente 10 °C a aproximadamente 60 °C, de aproximadamente 10 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 60 °C, de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 30 °C a aproximadamente 60 °C, de aproximadamente 30 °C a aproximadamente 90 °C, o de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 90 °C.

En funcionamiento, una corriente de agua que contiene sal puede fluir en primer lugar a través del intercambiador 406 de calor. En el intercambiador 406 de calor, puede transferirse calor desde otra corriente de fluido (por ejemplo, una corriente de líquido de condensador) a la corriente de agua que contiene sal, dando como resultado una corriente de agua que contiene sal calentada. La corriente de agua que contiene sal calentada puede hacerse fluir entonces a través del conducto 436 de líquido hasta el primer dispositivo 432 de calentamiento para calentarse, dando como resultado una corriente de agua que contiene sal calentada adicional. La corriente de agua que contiene sal calentada adicional puede hacerse fluir entonces hasta el humidificador 402.

En el sentido opuesto, una corriente de líquido de condensador que sale del deshumidificador 404 puede fluir a través del conducto 428 de líquido hasta el segundo dispositivo 434 de calentamiento para calentarse, dando como resultado una corriente de líquido de condensador calentada. La corriente de líquido de condensador calentada puede dirigirse entonces para que fluya a través del conducto 438 de líquido hasta el intercambiador 406 de calor, y puede transferirse calor desde la corriente de líquido de condensador calentada a la corriente de agua que contiene sal, dando como resultado una corriente de líquido de condensador enfriada. La corriente de líquido de condensador enfriada puede devolverse entonces al condensador 404 a través del conducto 426 de líquido.

Debe observarse que, aunque la figura 4C muestra un primer dispositivo de calentamiento y un segundo dispositivo de calentamiento, el primer y segundo dispositivos de calentamiento pueden estar presentes o ausentes independientemente en un sistema de HDH. En algunas realizaciones, un primer dispositivo de calentamiento calienta además una corriente de agua que contiene sal después de que la corriente se haya hecho fluir a través de un intercambiador de calor. En algunas realizaciones, un segundo dispositivo de calentamiento calienta una corriente de líquido de condensador antes de que la corriente fluya a través del intercambiador de calor. En algunos casos, el primer dispositivo de calentamiento calienta la corriente de agua que contiene sal y el segundo dispositivo de calentamiento calienta la corriente de líquido de condensador. En algunas realizaciones, un único dispositivo de calentamiento puede funcionar como el primer dispositivo de calentamiento y el segundo dispositivo de calentamiento y calentar tanto la corriente de agua que contiene sal como la corriente de líquido de condensador. Además, puede haber cualquier número de dispositivos de calentamiento presentes en el sistema 400 de HDH.

El humidificador puede estar, en algunos casos, sustancialmente separado térmicamente del condensador de columna de burbujas. Tal como se usa en el presente documento, separación térmica sustancial se refiere generalmente a una configuración tal que hay poca o ninguna transferencia de calor por conducción directa entre el humidificador y el condensador de columna de burbujas, por ejemplo, a través de una pared de transferencia de calor compartida. Sin embargo, debe entenderse que tal configuración no excluye un flujo másico que porta energía térmica (a través de flujo de gas y/o líquido) entre el humidificador y el condensador.

Los expertos habituales en la técnica podrán seleccionar las condiciones apropiadas en las que hacer funcionar los sistemas de HDH descritos en el presente documento para el rendimiento deseado dadas las enseñanzas y orientación de la presente memoria descriptiva combinadas con el conocimiento y la experiencia del experto habitual en la técnica. En algunas realizaciones, la presión en la cámara de humidificación y/o deshumidificación es aproximadamente la presión atmosférica ambiental. Según determinadas realizaciones, la presión en la cámara de humidificación y/o deshumidificación es menor de aproximadamente 90.000 Pa. Puede ser deseable, en algunas realizaciones, que la presión en el humidificador sea menor que aproximadamente la presión atmosférica ambiental.

En algunos casos, a medida que disminuye la presión en el interior del humidificador, aumenta la capacidad del gas portador humidificado para portar más vapor de agua, lo que permite una mayor producción de agua sustancialmente pura cuando el gas portador se deshumidifica en el condensador. Sin desear estar limitado por una teoría particular, este efecto puede explicarse por la relación de humedad, que generalmente se refiere a la razón de masa de vapor de agua con respecto a masa de aire seco en aire húmedo, que es mayor a presiones menores que la presión atmosférica. Los expertos habituales en la técnica podrán seleccionar condiciones de temperatura y velocidad de flujo apropiadas para los componentes del sistema de HDH. En algunas realizaciones, las condiciones seleccionadas pueden estar dentro de los intervalos descritos en el presente documento para el condensador de columna de burbujas.

Según algunas realizaciones, se extrae una parte del flujo de gas de al menos una ubicación intermedia en el humidificador y se inyecta en al menos una ubicación intermedia en el condensador de columna de burbujas. Debido a que la parte del flujo de gas que sale del humidificador en una salida intermedia (por ejemplo, la parte extraída) no ha pasado a través de todo el humidificador, la temperatura del flujo de gas en la salida intermedia puede ser menor que la temperatura del flujo de gas en la salida de gas principal del humidificador. La ubicación de los puntos de extracción (por ejemplo, salidas) y/o puntos de inyección (por ejemplo, entradas) puede seleccionarse para aumentar la eficiencia térmica del sistema. Por ejemplo, debido a que un gas (por ejemplo, aire) puede tener un contenido de vapor aumentado a mayores temperaturas que a menores temperaturas, y debido a que la capacidad calorífica de un gas con un mayor contenido de vapor puede ser más alta que la capacidad calorífica de un gas con un menor contenido de vapor, puede usarse menos cantidad de gas en áreas de mayor temperatura del humidificador y/o condensador de columna de burbujas para equilibrar mejor las razones de tasa de capacidad calorífica de las corrientes de gas (por ejemplo, aire) y líquido (por ejemplo, agua). La extracción y/o inyección en ubicaciones intermedias puede permitir ventajosamente la manipulación de flujos másicos de gas y una mayor recuperación de calor. Por ejemplo, una extracción intermedia del 30 % a 160 °F de un humidificador con una temperatura de aire húmedo superior de 180 °F y una inyección después de la segunda etapa en una columna de burbujas de 8 etapas puede reducir el consumo de energía en de aproximadamente el 40 % a aproximadamente el 50 %.

Debe reconocerse que, en algunas realizaciones, en algunas condiciones de funcionamiento, la extracción puede no aumentar la eficiencia térmica de un sistema de HDH. Adicionalmente, puede haber inconvenientes asociados con la extracción en ubicaciones intermedias. Por ejemplo, la extracción puede reducir la tasa de producción de agua del sistema, y puede haber costes monetarios significativos asociados con la extracción (por ejemplo, costes asociados con instrumentación, canalizaciones, aislamiento, y/o separación de gotas). Por consiguiente, en algunos casos, puede ser ventajoso construir y/u hacer funcionar un sistema sin extracción.

En algunas realizaciones, el sistema de HDH comprende además un dispositivo de refrigeración opcional. El dispositivo de refrigeración puede ser cualquier dispositivo que sea capaz de retirar calor de una corriente de fluido, tal como se describe en otra parte del presente documento. En algunas realizaciones, el dispositivo de refrigeración es un intercambiador de calor. El intercambiador de calor puede estar configurado de tal manera que fluyan una primera corriente de fluido y una segunda corriente de fluido a través del intercambiador de calor. En algunos casos, la primera corriente de fluido y la segunda corriente de fluido pueden fluir sustancialmente en el mismo sentido (por ejemplo, flujos paralelos), sentidos sustancialmente opuestos (por ejemplo, flujo a contracorriente) o direcciones sustancialmente perpendiculares (por ejemplo, flujo transversal). En algunos casos, se transfiere calor desde una primera corriente de fluido a una segunda corriente de fluido. En determinadas realizaciones, el dispositivo de refrigeración es un intercambiador de calor líquido-gas. La primera corriente de fluido puede comprender, en determinados casos, una corriente de fluido que forma parte de un circuito cerrado de líquido de condensador que fluye entre un condensador y un intercambiador de calor (por ejemplo, una corriente de salida de líquido de condensador). La segunda corriente de fluido puede comprender, en algunos casos, un refrigerante. El refrigerante puede ser cualquier fluido capaz de absorber o transferir calor. En algunas realizaciones, el refrigerante comprende un gas. El gas puede comprender, en algunos casos, aire (por ejemplo, aire ambiental). Los intercambiadores de calor que comprenden aire como refrigerante pueden denominarse generalmente intercambiadores de calor refrigerados por aire. En algunos casos, fluyen más de dos corrientes de fluido a través del dispositivo de refrigeración. También debe observarse que el dispositivo de refrigeración puede ser, en algunas realizaciones, un refrigerador de tipo seco, un enfriador, un radiador, o cualquier otro dispositivo capaz de retirar calor de una corriente de fluido.

En algunos casos, la presencia de un dispositivo de refrigeración en un sistema de HDH puede aumentar ventajosamente la cantidad de agua recuperada en el sistema de HDH. En ausencia de un dispositivo de refrigeración, una corriente de agua dulce que entra en un deshumidificador puede enfriarse en un intercambiador de calor a través de la transferencia de calor a una corriente de agua que contiene sal refrigerada. En ausencia de un dispositivo de refrigeración, la temperatura de la corriente de agua dulce que fluye a través de un deshumidificador puede estar limitada, por tanto, por la temperatura de la corriente de salmuera. En presencia de un dispositivo de refrigeración, la temperatura del agua dulce que entra en el deshumidificador puede no estar limitada ya por la temperatura de la corriente de salmuera, y pueden lograrse menores temperaturas. Puesto que el aire puede contener generalmente menos cantidad de vapor a menores temperaturas, puede recuperarse más cantidad de agua a menores temperaturas. En algunos casos, el dispositivo de refrigeración puede aumentar la producción de

agua en al menos aproximadamente el 5 %, al menos aproximadamente el 10 %, al menos aproximadamente el 20 %, al menos aproximadamente el 30 %, al menos aproximadamente el 40 %, o al menos aproximadamente el 50 %. La inclusión de un dispositivo de refrigeración puede aumentar, en algunos casos, ventajosamente la producción de agua con un aumento concomitante mínimo del consumo de electricidad.

En algunas realizaciones, una corriente de fluido que fluye a través del dispositivo de refrigeración es una corriente de líquido de condensador. La corriente de líquido de condensador puede comprender, en algunos casos, agua purificada, que puede ser agua sustancialmente pura. Por ejemplo, la corriente de líquido de condensador puede comprender parte de un circuito cerrado de líquido de condensador (por ejemplo, agua purificada) que fluye entre un condensador y un intercambiador de calor. En determinadas realizaciones, una corriente de fluido que fluye a través del dispositivo de refrigeración comprende aire (por ejemplo, aire ambiental). El dispositivo de refrigeración puede disponerse, en algunos casos, de tal manera que la corriente de líquido de condensador fluya a través del dispositivo de refrigeración después de fluir a través de un intercambiador de calor. En algunos casos, el dispositivo de refrigeración puede disponerse de tal manera que la corriente de líquido de condensador fluya a través del dispositivo de refrigeración antes de fluir a través de un deshumidificador (por ejemplo, un condensador de columna de burbujas).

En algunos casos, el dispositivo de refrigeración disminuye la temperatura de la corriente de líquido de condensador. En algunas realizaciones, el dispositivo de refrigeración disminuye la temperatura de la corriente de líquido de condensador en al menos aproximadamente 5 °C, al menos aproximadamente 10 °C, al menos aproximadamente 15 °C, al menos aproximadamente 20 °C, al menos aproximadamente 30 °C, al menos aproximadamente 40 °C, al menos aproximadamente 50 °C, al menos aproximadamente 60 °C, al menos aproximadamente 70 °C, al menos aproximadamente 80 °C o, en algunos casos, al menos aproximadamente 90 °C. En algunas realizaciones, el dispositivo de refrigeración disminuye la temperatura de la corriente de líquido de condensador en una cantidad en el intervalo de aproximadamente 5 °C a aproximadamente 30 °C, de aproximadamente 5 °C a aproximadamente 60 °C, de aproximadamente 5 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 10 °C a aproximadamente 30 °C, de aproximadamente 10 °C a aproximadamente 60 °C, de aproximadamente 10 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 60 °C, de aproximadamente 20 °C a aproximadamente 90 °C, de aproximadamente 30 °C a aproximadamente 60 °C, de aproximadamente 30 °C a aproximadamente 90 °C, o de aproximadamente 60 °C a aproximadamente 90 °C.

En la figura 9 se muestra una realización a modo de ejemplo de un sistema de HDH que comprende un dispositivo de refrigeración. En la figura 9, el sistema 900 de HDH comprende un humidificador 902, un deshumidificador 904, un primer depósito 906 de agua que contiene sal, un segundo depósito 908 de agua que contiene sal, un depósito 910 de agua purificada, un intercambiador 912 de calor, un primer dispositivo 914 de calentamiento opcional, un segundo dispositivo 916 de calentamiento opcional, y un dispositivo 918 de refrigeración. El humidificador 902 y el deshumidificador 904 se disponen en comunicación de fluido a través de los conductos 930 y 932 de gas. Además de estar en comunicación de fluido con el deshumidificador 904, el humidificador 902 se dispone para estar en comunicación de fluido con el segundo depósito 908 de agua que contiene sal a través del conducto 934 de líquido. El humidificador 902 también se dispone para estar en comunicación de fluido con el intercambiador 912 de calor a través del conducto 936 de líquido y el primer dispositivo 914 de calentamiento opcional a través del conducto 940 de líquido. El deshumidificador 904, además de estar en comunicación de fluido con el humidificador 902, se dispone para estar en comunicación de fluido con el depósito 910 de agua purificada a través del conducto 942 de líquido, el segundo dispositivo 916 de calentamiento opcional a través del conducto 944 de líquido, y el dispositivo 918 de refrigeración a través del conducto 950 de líquido. El deshumidificador 904 puede ser un condensador de columna de burbujas tal como se describe en el presente documento. En algunas realizaciones, el dispositivo 918 de refrigeración se dispone para estar en comunicación de fluido con el intercambiador 912 de calor a través del conducto 948 de líquido. El dispositivo 918 de refrigeración también se dispone para estar en comunicación de fluido con una corriente de gas (por ejemplo, una corriente de aire) a través de los conductos 952 y 954 de gas. El primer depósito 906 de agua que contiene sal se dispone para estar en comunicación de fluido con el intercambiador 912 de calor a través del conducto 956 de líquido. El primer depósito 906 de agua que contiene sal también puede estar en conexión de fluido con una fuente externa de agua que contiene sal (por ejemplo, procedente de producción de petróleo y/o gas), no mostrada en la figura 9.

En funcionamiento, puede fluir una corriente de agua que contiene sal desde el primer depósito 906 de agua que contiene sal hasta el intercambiador 912 de calor. Puede transferirse calor desde otra corriente de fluido (por ejemplo, una corriente de líquido de condensador) a la corriente de agua que contiene sal, dando como resultado una corriente de agua que contiene sal calentada. La corriente de agua que contiene sal calentada puede fluir entonces hasta el primer dispositivo 914 de calentamiento opcional a través del conducto 938 de líquido para calentarse adicionalmente. La corriente de agua que contiene sal calentada adicional puede dirigirse para fluir hasta el humidificador 902 a través del conducto 940 de líquido. En el humidificador 902, puede evaporarse al menos una parte del agua en una corriente de gas portador que fluye a través del humidificador 902 en flujo a contracorriente hasta la corriente de agua que contiene sal. Una primera parte del agua que contiene sal restante que no se evapora puede fluir entonces hasta el segundo depósito 908 que contiene sal a través del conducto 934 de líquido. Una

segunda parte del agua que contiene sal restante que no se evapora puede recircularse al intercambiador 912 de calor a través del conducto 936 de líquido.

Una corriente de gas portador puede fluir en un sentido opuesto al de la corriente de agua que contiene sal. La corriente de gas portador puede entrar en el humidificador 902 y entrar en contacto con la corriente de agua que contiene sal calentada. Puede evaporarse agua en la corriente de gas portador, dando como resultado de ese modo una corriente de gas portador humidificado. La corriente de gas portador humidificado puede fluir hasta el deshumidificador 904 a través del conducto 930 de gas. En el deshumidificador 904, la corriente de gas portador humidificado puede entrar en contacto con una corriente de líquido de condensador enfriada que fluye en el sentido opuesto. Pueden transferirse calor y masa desde la corriente de gas portador humidificado a la corriente de líquido de condensador enfriada a medida que se condensa agua desde la corriente de gas portador humidificado, dando como resultado una corriente de gas portador deshumidificada. La corriente de gas portador deshumidificada puede hacerse fluir hasta el humidificador 902 a través del conducto 932 de gas.

Una corriente de fluido de condensador (por ejemplo, agua) puede fluir a través del deshumidificador 904 en flujo a contracorriente hasta la corriente de gas portador. A medida que fluye la corriente de fluido de condensador a través del deshumidificador 904, puede condensarse agua desde la corriente de gas portador humidificado a la corriente de líquido de condensador, dando como resultado de ese modo una corriente de salida de líquido de condensador. Al menos una parte de la corriente de salida de líquido de condensador puede fluir a través del conducto 942 de líquido hasta el depósito 910 de agua purificada. Al menos una parte de la corriente de salida de líquido de condensador puede fluir a través del segundo dispositivo 916 de calentamiento opcional, a través del conducto 944 de líquido. En el segundo dispositivo 914 de calentamiento opcional, puede calentarse la corriente de salida de líquido de condensador, dando como resultado una corriente de salida de líquido de condensador calentada. En algunos casos, la corriente de salida de líquido de condensador calentada puede fluir hasta el intercambiador 912 de calor a través del conducto 946 de líquido. En el intercambiador 912 de calor, la corriente de salida de líquido de condensador calentada puede transferir calor a la corriente de agua que contiene sal, dando como resultado una corriente de salida de líquido de condensador enfriada. La corriente de salida de líquido de condensador enfriada puede fluir entonces hasta el dispositivo 918 de refrigeración a través del conducto 948 de líquido. Una corriente de gas también puede fluir a través del dispositivo 918 de refrigeración. Las dos corrientes pueden fluir en paralelo, en flujo a contracorriente, o en flujo transversal entre sí. En algunas realizaciones, la corriente de gas comprende aire. El aire puede entrar, por ejemplo, en el dispositivo 918 de refrigeración a través del conducto 952 de gas y salir del dispositivo 918 de refrigeración a través del conducto 954 de gas. En algunas realizaciones, puede transferirse calor desde la corriente de salida de líquido de condensador enfriada al aire, dando como resultado una corriente de salida de líquido de condensador enfriada adicional. La corriente de salida de líquido de condensador enfriada adicional puede hacerse fluir entonces hasta el deshumidificador 904 a través del conducto 950 de líquido.

Ejemplo 1

En el siguiente ejemplo, se describen un condensador de columna de burbujas de 8 etapas y un intercambiador de calor para su uso en un sistema de humidificación-deshumidificación. Tal como se muestra en la figura 5, el sistema 500 incluye un condensador 502 y un intercambiador 504 de calor diseñados a medida, en comunicación de fluido entre sí. El exterior del condensador comprende acero inoxidable, y el condensador tiene la forma de un prisma rectangular. Se disponen ocho etapas, tal como se describe en el presente documento, en vertical dentro del condensador de burbujas, con un volumen 506 de sumidero ubicado por debajo de las etapas en comunicación de fluido con una salida 508 de líquido. Cada etapa comprende una placa de rociador (1,8 m de largo, 0,6 m de ancho, y 0,06 m de alto, que tiene una pluralidad de orificios con un diámetro de aproximadamente 0,003 m) y una cámara en la que puede residir un baño de líquido. Una primera entrada 510 de gas se sitúa por debajo de la placa de rociador ubicada cerca de la parte inferior del condensador de columna de burbujas, y una segunda entrada 512 de gas se sitúa en una ubicación intermedia entre las mismas. Por encima de la etapa más superior, se disponen una entrada 514 de líquido y un eliminador 516 de neblina (por ejemplo, eliminador de gotas) que está acoplado a una primera salida 518 de gas.

El condensador 502 de columna de burbujas está acoplado al intercambiador 504 de calor, que tiene dos conductos 520 y 522. El primer conducto 520 está en conexión de fluido con la entrada 514 y la salida 508 de líquido de condensador de columna de burbujas. El segundo conducto 522 está en conexión de fluido con otros componentes de un sistema de humidificación-deshumidificación.

Cuando el sistema de humidificación-deshumidificación (es decir, que contiene el condensador de columna de burbujas de 8 etapas y el intercambiador de calor tal como se describe) está en funcionamiento, una primera corriente de aire seco entra en la columna de burbujas a través de la primera entrada 510 de gas a una temperatura de aproximadamente 88 °C, humedad relativa del 100 %, una velocidad de flujo volumétrico de 141358 litros por minuto (l/min) (4.992 pies cúbicos por minuto (cfm)), y una velocidad de flujo másico de 6460 kg/h (14.241 lbs/h). Una segunda corriente de aire seco entra en el condensador de columna de burbujas a través de la segunda entrada 512 de gas a una temperatura de aproximadamente 77 °C, humedad relativa del 100 %, una velocidad de flujo volumétrico de 48054 l/min (1.697 cfm) y una velocidad de flujo másico de 2.620 kg/h (5.777 lbs/hora). Una corriente de líquido entra en el condensador por la entrada 514 de líquido, a una temperatura de aproximadamente 45 °C, una

velocidad de flujo volumétrico de 710,1 l/min (187,6 galones por minuto (gpm)), y una velocidad de flujo másico de 42,5 kg/h (93,8 lbs/h). Durante el funcionamiento, se producen una corriente de salida de gas y una corriente de salida de líquido tal como se describe en el presente documento. La corriente de salida de gas sale por la salida 518 de gas a una temperatura de aproximadamente 49 °C, una velocidad de flujo volumétrico de aproximadamente 997303 l/min (3272 cfm) y una velocidad de flujo másico de 5.814 kg/h (12.819 lbs/h). La corriente de salida de líquido sale del condensador de columna de burbujas y se bombea mediante una bomba 524 de circulación de columna a una velocidad de flujo volumétrico de 765 l/min (202 galones por minuto) y una velocidad de flujo másico de 45.842 kg/h (101.064 lbs/hora). La corriente de salida de líquido pasa a través de un conducto del intercambiador de calor. Se transfiere calor desde la corriente de salida de líquido a una corriente de agua que contiene sal que fluye a través del conducto 522 del intercambiador de calor (por ejemplo, la corriente que se calienta por la corriente de salida de líquido de condensador en el intercambiador de calor). La corriente de agua que contiene sal entra en el intercambiador de calor a aproximadamente 42 °C, una velocidad de flujo volumétrico de 743,1 l/min (196,3 GPM), y una velocidad de flujo másico de 53.843 kg/h (118.703 lb/h), y sale a aproximadamente 81 °C, una velocidad de flujo volumétrico de 743,1 l/min (196,3 GPM), y una velocidad de flujo másico de 53.843 kg/h (118.703 lb/h). Se dirige una parte de la corriente de salida de líquido a un depósito de agua sustancialmente pura a través de la válvula 526 a una temperatura de aproximadamente 45 °C, una velocidad de flujo volumétrico de 55,19 l/min (14,58 galones por minuto), y una velocidad de flujo másico de aproximadamente 3.306 kg/h (7.289 lbs/h). La parte restante de la corriente de salida de líquido vuelve al condensador 502 a través de la entrada 514 de líquido. Mientras el sistema está sometido a un funcionamiento sustancialmente continuo, cada etapa del condensador de columna de burbujas contiene aproximadamente 0,1 m o menos de agua.

La tabla 1 enumera los constituyentes de una corriente de agua que contiene sal antes y después del tratamiento (por ejemplo, desalinización) usando el sistema de humidificación-deshumidificación descrito en este ejemplo. Se observa que parecían aumentar las concentraciones de calcio y magnesio después del tratamiento. Esto puede deberse a que a la columna de burbujas se le suministró inicialmente agua para beber local (por ejemplo, de Midland, Texas). El agua para beber local era dura y tenía concentraciones relativamente altas de calcio y magnesio. Como resultado, pueden haber permanecido cantidades traza de calcio y/o magnesio en la columna de burbujas durante las pruebas, y pueden haber estado presentes cantidades traza de los elementos en el efluente de desalinización (por ejemplo, la corriente de agua después del tratamiento). En cambio, los sistemas de pretratamiento aguas arriba del sistema de desalinización pueden haber retirado casi toda la cantidad de calcio y magnesio de la corriente de agua de alimentación (por ejemplo, la corriente de agua antes del tratamiento). Por consiguiente, la corriente de agua después del tratamiento puede haber contenido mayores concentraciones de calcio y magnesio que la corriente de agua antes del tratamiento.

En la figura 7 se muestra una realización a modo de ejemplo adicional de un condensador de columna de burbujas de 8 etapas. En la figura 7A, el condensador 700 de columna de burbujas comprende entradas 702 y 704 de gas, salida 706 de gas, y entrada 708 de líquido. La figura 7B muestra otra vista del condensador 700, que comprende ocho etapas tal como se describe en el presente documento. Las figuras 7C-I muestran vistas adicionales del condensador de columna de burbujas y sus componentes.

Tabla 1. Perfil de agua que contiene sal antes y después del tratamiento (es decir, desalinización). (ND = no determinable)

Constituyente	Concentración antes del tratamiento	Concentración después del tratamiento
Aceite y grasa	ND	ND
Sólidos en suspensión totales	57 mg/l	ND
Sólidos disueltos totales	28.400 mg/l	35 mg/l
Bario	0,701 mg/l	0,005 mg/l
Bromuro	1050 mg/l	1,16 mg/l
Calcio	ND	7,08 mg/l
Cloruro	13.300 mg/l	5,0 mg/l
Sulfato	1020 mg/l	5,1 mg/l
Magnesio	ND	0,775 mg/l
Aluminio	37,5 mg/l	0,077 mg/l
Sodio	11.800 mg/l	3,09 mg/l
Estroncio	67 mg/l	0,079 ppm
Zinc	ND	ND
Benceno	37,5 ug/l	ND

Tolueno	32,1 ug/l	ND
Alcalinidad (CaCO ₃)	3260 mg/l	ND
Razón de recuperación	-	82 %

Ejemplo 2

5 En este ejemplo, se describen un condensador de columna de burbujas de 8 etapas y un intercambiador de calor externo para su uso en un sistema de humidificación-deshumidificación.

10 Tal como se muestra en la figura 10A, el sistema 1000 comprendía un condensador 1002 de columna de burbujas de 8 etapas y un intercambiador 1004 de calor, que estaban en comunicación de fluido entre sí. El condensador 1002 y el intercambiador 1004 de calor también estaban en comunicación de fluido con un humidificador (no mostrado). En el condensador 1002, se dispusieron ocho etapas 1002A, 1002B, 1002C, 1002D, 1002E, 1002F, 1002G y 1002H en vertical dentro del condensador. Por encima de la etapa 1002A más superior, se dispusieron una entrada 1006 de líquido y una salida 1022 de gas. Un volumen 1002I de sumidero estaba ubicado en la parte inferior del condensador 1002, por debajo de la etapa más inferior. El volumen 1002I de sumidero estaba en comunicación de fluido con una salida 1008 de líquido. Además, el condensador 1002 comprendía además una primera entrada 1018 de gas situada cerca de la parte inferior del condensador 1002 y una segunda entrada 1020 de gas situada en una ubicación intermedia, entre la parte superior y la parte inferior del condensador 1002.

20 En funcionamiento, una corriente de agua sustancialmente pura entró en el condensador 1002 a través de la entrada 1006 de líquido y fluyó hacia abajo a través de cada etapa del condensador 1002. Una corriente de gas portador humidificado fluyó en flujo a contracorriente hasta la corriente de agua sustancialmente pura, entrando en el condensador 1002 a través de las entradas 1018 y 1020 de gas y fluyendo hacia arriba a través del condensador 1002. A medida que fluían las dos corrientes a través del condensador 1002, se transfirieron calor y masa desde la corriente de gas portador humidificado a la corriente de agua sustancialmente pura. Como resultado, aumentó la temperatura de la corriente de agua sustancialmente pura a medida que fluía a través de cada etapa. En la etapa 1002A más superior, la temperatura de la corriente de agua fue de 60,9 °C (141,6 °F). La temperatura en la etapa 1002B fue de 64,6 °C (148,3 °F), la temperatura en la etapa 1002C fue de 68,2 °C (154,7 °F), la temperatura en la etapa 1002D fue de 71,9 °C (161,5 °F), la temperatura en la etapa 1002E fue de 74,9 °C (166,8 °F), la temperatura en la etapa 1002F fue de 76,7 °C (170,1 °F), la temperatura en la etapa 1002G fue de 77,8 °C (172,1 °F), y la temperatura en la etapa 1002H fue de 78,2 °C (172,8 °F). El volumen 1002I de sumidero, ubicado en la parte inferior del condensador 1002, tenía 19,6 cm (7,7 pulgadas) de agua. La corriente de agua sustancialmente pura salió entonces del condensador 1002 a través de la salida 1008 de líquido a una temperatura de 78,6 °C (173,4 °F).

35 A medida que salía la corriente de agua sustancialmente pura del condensador 1002, una bomba (no mostrada) que funcionaba con una capacidad del 68,6 % bombeaba la corriente de agua al intercambiador 1004 de calor a una velocidad de flujo volumétrico de 684,4 l/min (180,8 galones por minuto). A medida que fluía la corriente de agua sustancialmente pura a través del intercambiador 1004 de calor, se transfirió calor desde la corriente de agua sustancialmente pura a otra corriente de fluido que fluía a través del intercambiador 1004 de calor, y se redujo la temperatura de la corriente de agua sustancialmente pura desde 78,6 °C hasta 61,5 °C (de 173,4 °F a 142,7 °F). Después de fluir a través del intercambiador 1004 de calor y de enfriarse, se hizo fluir una primera parte de la corriente de agua sustancialmente pura enfriada a través del conducto 1012 de líquido hasta un depósito de agua purificada (no mostrado), y se devolvió una segunda parte de la corriente de agua sustancialmente pura enfriada al condensador 1002 a través del conducto 1010, a través de la entrada 1006 de líquido.

45 En el intercambiador 1004 de calor, se hizo fluir una corriente de agua que contiene sal en flujo a contracorriente con respecto a la corriente de agua sustancialmente pura. Inicialmente, la corriente de agua que contiene sal fluyó desde una fuente de agua que contiene sal a través del conducto 1014 de líquido. A medida que entraba en el intercambiador 1004 de calor, la corriente de agua que contiene sal estaba a una temperatura de 49,6 °C (121,3 °F) y una presión de 299,2 kPa (43,4 psi). Después de fluir a través del intercambiador 1004 de calor y recibir calor transferido desde la corriente de agua sustancialmente pura, aumentó la temperatura de la corriente de agua que contiene sal hasta 73,9 °C (165,0 °F). La presión de la corriente de agua que contiene sal fue de 276,5 kPa (40,1 psi). Se hizo fluir entonces la corriente de agua que contiene sal calentada hasta el humidificador.

Ejemplo 3

55 Este ejemplo describe el condensador de columna de burbujas de 8 etapas y el intercambiador de calor externo del ejemplo 2, con la adición de un dispositivo de refrigeración externo.

60 Tal como se muestra en la figura 10B, el sistema 1000 comprendía todos los componentes mostrados en la figura 10A y comprendía además un dispositivo 1024 de refrigeración externo en comunicación de fluido con el condensador 1002 de columna de burbujas y el intercambiador 1004 de calor.

En funcionamiento, una corriente de agua sustancialmente pura entró en el condensador 1002 a través de la entrada 1006 de líquido y fluyó hacia abajo a través de cada etapa del condensador 1002. Una corriente de gas portador humidificado fluyó en flujo a contracorriente con respecto a la corriente de agua sustancialmente pura, entrando en el condensador 1002 a través de las entradas 1018 y 1020 de gas y fluyendo hacia arriba a través del condensador 1002. A medida que fluían las dos corrientes a través del condensador 1002, se transfirieron calor y masa desde la corriente de gas portador humidificado a la corriente de agua sustancialmente pura. Como resultado, aumentó la temperatura de la corriente de agua sustancialmente pura a medida que fluía a través de cada etapa. En la etapa 1002A más superior, la temperatura de la corriente de agua fue de 51,6 °C (124,8 °F). La temperatura en la etapa 1002B fue de 56,4 °C (133,6 °F), la temperatura en la etapa 1002C fue de 64,6 °C (148,2 °F), la temperatura en la etapa 1002D fue de 70,3 °C (158,6 °F), la temperatura en la etapa 1002E fue de 75,1 °C (167,1 °F), la temperatura en 1002F fue de 77,6 °C (171,6 °F), la temperatura en la etapa 1002G fue de 79,1 °C (174,4 °F), y la temperatura en la etapa 1002H fue de 79,6 °C (175,3 °F). El volumen 1002I de sumidero, ubicado en la parte inferior del condensador 1002, tenía 23,6 cm (9,3 pulgadas) de agua. La corriente de agua sustancialmente pura salió entonces del condensador 1002, a través de la salida 1008 de líquido a una temperatura de 79,7 °C (175,4 °F).

A medida que salía la corriente de agua sustancialmente pura del condensador 1002, una bomba (no mostrada) que funcionaba con una capacidad del 72,7 % bombeaba la corriente de agua al intercambiador 1004 de calor a una velocidad de flujo volumétrico de 723,0 l/min (191,0 galones por minuto). A medida que fluía la corriente de agua sustancialmente pura a través del intercambiador 1004 de calor, se transfirió calor desde la corriente de agua sustancialmente pura a otra corriente de fluido que fluía a través del intercambiador 1004 de calor, y se redujo la temperatura de la corriente de agua sustancialmente pura desde 79,6 °C hasta 63,2 °C (de 175,4 °F a 145,8 °F). Después de fluir a través del intercambiador 1004 de calor y enfriarse, se hizo fluir una primera parte de la corriente de agua sustancialmente pura enfriada a través del conducto 1012 de líquido hasta un depósito de agua purificada (no mostrado). Se hizo fluir una segunda parte de la corriente de agua sustancialmente pura enfriada a través de un dispositivo 1024 de refrigeración. En el dispositivo 104 de refrigeración, se enfrió adicionalmente la segunda parte de la corriente de agua sustancialmente pura enfriada, y se redujo adicionalmente la temperatura de la segunda parte de la corriente de agua sustancialmente pura enfriada hasta 49 °C (120 °F). Se devolvió entonces la corriente de agua sustancialmente pura enfriada adicionalmente al condensador 1002 a través del conducto 1010, a través de la entrada 1006 de líquido.

En el intercambiador 1004 de calor, se hizo fluir una corriente de agua que contiene sal en flujo a contracorriente con respecto a la corriente de agua sustancialmente pura. Inicialmente, la corriente de agua que contiene sal fluyó desde una fuente de agua que contiene sal a través del conducto 1014 de líquido. A medida que entraba en el intercambiador 1004 de calor, la corriente de agua que contiene sal estaba a una temperatura de 56,6 °C (133,8 °F) y una presión de 335,8 kPa (48,7 psi). Después de fluir a través del intercambiador 1004 de calor y recibir calor transferido desde la corriente de agua sustancialmente pura, aumentó la temperatura de la corriente de agua que contiene sal hasta 73,8 °C (164,9 °F). La presión de la corriente de agua que contiene sal fue de 309,6 kPa (44,9 psi). Se hizo fluir entonces la corriente de agua que contiene sal calentada hasta el humidificador.

Ejemplo 4

Tal como se muestra en la figura 11A, este ejemplo describe un sistema 1100 de HDH, que comprende un humidificador 1102, un condensador 1104 de columna de burbujas de múltiples etapas, un intercambiador 1106 de calor externo, un dispositivo 1108 de calentamiento externo, y un dispositivo 1110 de refrigeración externo.

En funcionamiento, una corriente de salmuera entra en el intercambiador 1106 de calor, que es un intercambiador de calor de placas y bastidor, a una velocidad de flujo de 2.347 l/min (620 galones por minuto) (gpm) y una temperatura de 54 °C (130 °F). En el intercambiador 1106 de calor, se transfiere calor desde una corriente de agua dulce caliente que sale del condensador 1104 a la corriente de salmuera, y aumenta la temperatura de la corriente de salmuera en 17 °C (30 °F), desde 54 °C (130 °F) hasta 71 °C (160 °F). Esta etapa recupera ventajosamente energía de la corriente de agua dulce caliente y reduce la cantidad de calor requerida que ha de suministrarse por el dispositivo 1108 de calentamiento.

La corriente de salmuera calentada fluye entonces a través del conducto 1112 de líquido y entra en el dispositivo 1108 de calentamiento a una velocidad de flujo de 2366 l/min (625 gpm) y una temperatura de 71 °C (160 °F). A medida que fluye la corriente de salmuera calentada a través del dispositivo 1108 de calentamiento, que es un intercambiador de calor de placas y bastidor, se transfiere calor desde una corriente de agua caliente a presión a la corriente de salmuera calentada, dando como resultado que se caliente adicionalmente la corriente de salmuera calentada, hasta una temperatura de 93 °C (200 °F).

La corriente de salmuera calentada adicional fluye entonces a través del conducto 1114 de líquido y entra en el humidificador 1102 a una velocidad de flujo de 2392 l/min (632 gpm) y una temperatura de 93 °C (200 °F). A medida que fluye la corriente de salmuera calentada adicional en un primer sentido desde una entrada de salmuera ubicada en un primer extremo (por ejemplo, un extremo superior) del humidificador 1102 hasta una salida de salmuera ubicada en un segundo extremo (por ejemplo, un extremo inferior) del humidificador 1102, la corriente de salmuera

entra en contacto directo con una corriente de aire ambiental que fluye en un segundo sentido sustancialmente opuesto a través del humidificador 1102. La corriente de aire ambiental entra en el humidificador 1102 a una velocidad de flujo de 235.879 l/min (8.330 pies cúbicos reales por minuto (acfm)) y una temperatura de 16 °C (60 °F). A medida que fluye la corriente de aire ambiental en el segundo sentido a través del humidificador 1102, se transfieren calor y masa desde la corriente de salmuera calentada adicional a la corriente de aire ambiental, dando como resultado una corriente de aire humidificada y una corriente de salmuera concentrada. La corriente de salmuera concentrada sale del humidificador 1102 a una velocidad de flujo de 2245 l/min (593 gpm) y una temperatura de 57 °C (135 °F) y posteriormente se descarga del sistema 1100 de HDH a través del conducto 1116.

La corriente de aire humidificada sale del humidificador 1102 a través de una salida de aire de humidificador principal y fluye a través del conducto 1118 de gas al condensador 1104 de burbujas de múltiples etapas. La corriente de aire humidificada entra en el condensador 1104 a través de una entrada de aire humidificado de condensador principal a una velocidad de flujo de 424.752 l/min (15.000 acfm) y una temperatura de 78 °C (173 °F). En el condensador 1104, la corriente de aire humidificada entra en contacto directo con una corriente de agua dulce, que entra en el condensador 1104 a través de una entrada de agua dulce de condensador a una velocidad de flujo de 2.082 l/min (550 gpm) y una temperatura de 52 °C (125 °F). En el condensador 1104, se transfieren calor y masa desde la corriente de aire humidificada a la corriente de agua dulce a medida que se condensa agua desde la corriente de aire humidificada, dando como resultado una corriente de aire deshumidificada y una corriente de agua dulce calentada. La corriente de aire deshumidificada sale del condensador 1104 a través de una salida de aire de condensador a una velocidad de flujo de 269.010 l/min (9.500 acfm) y una temperatura de 53 °C (127 °F). La corriente de agua dulce calentada sale del condensador 1104 a través de una salida de agua dulce de condensador a una velocidad de flujo de 2177 l/min (575 gpm) y una temperatura de 77 °C (170 °F). La corriente de agua dulce calentada fluye entonces a través del intercambiador 1106 de calor, donde se transfiere calor desde la corriente de agua dulce calentada a la corriente de salmuera que entra en el sistema 1100 de HDH, dando como resultado una corriente de agua dulce refrigerada y la corriente de salmuera calentada. Después de fluir a través del intercambiador 1106 de calor, una primera parte de la corriente de agua fresca refrigerada sale del sistema 1100 de HDH a través de una salida de condensado de condensador a una velocidad de flujo de 95 l/min (25 gpm) y una temperatura de 60 °C (140 °F). Una segunda parte de la corriente de agua dulce fluye hasta el dispositivo 1110 de refrigeración, que es un intercambiador de calor refrigerado por aire. A medida que fluye la corriente de agua dulce refrigerada a través del dispositivo 1110 de refrigeración, se transfiere calor desde la corriente de agua dulce refrigerada a una corriente de aire, y se refrigera adicionalmente la corriente de agua dulce refrigerada hasta una temperatura de 52 °C (125 °F). La corriente de agua dulce refrigerada adicionalmente vuelve entonces al condensador 1104 a través de una entrada de agua dulce de condensador a una velocidad de flujo de 2.082 l/min (550 gpm) y una temperatura de 52 °C (125 °F).

Ejemplo 5

Este ejemplo describe el sistema 1100 de HDH del ejemplo 3, con la adición de un conducto 1122 de gas intermedio que conecta el humidificador 1102 y el condensador 1104. Cuando este sistema, que se muestra en la figura 11B, está en funcionamiento, se extrae aire del humidificador 1102 en una salida de aire intermedia. El aire fluye posteriormente a través del conducto 1122 de gas intermedio y se inyecta directamente en una ubicación intermedia en el condensador 1104. Se seleccionan las ubicaciones de los puntos de extracción e inyección para optimizar la eficiencia térmica del sistema. Debido a que se extrae la corriente de aire intermedia del humidificador 1102 antes de que la corriente haya fluído a través de todo el humidificador, la temperatura de la corriente de aire intermedia es menor que la temperatura de la corriente de aire humidificada que sale del humidificador 1102 a través de una salida de aire de humidificador principal. Por ejemplo, mientras la corriente de aire humidificada que sale del humidificador 1102 a través de la salida de aire principal entra en el condensador 1104 a una velocidad de flujo de 339.802 l/min (12.000 acfm) y una temperatura de 78 °C (173 °F), la corriente de aire intermedia que sale del humidificador 1102 a través de la salida de aire intermedia entra en el condensador 1104 a una velocidad de flujo de 226.535 l/min (8.000 acfm) y una temperatura de 71 °C (160 °F).

Ejemplo 6

Este ejemplo describe un sistema 1100 de HDH que comprende un humidificador 1102, un condensador 1124 de columna de burbujas de múltiples etapas que comprende un intercambiador de calor interno, un dispositivo 1108 de calentamiento externo, y un dispositivo 1110 de refrigeración externo. Este sistema se muestra en la figura 11C.

Cuando el sistema 1100 de HDH está en funcionamiento, una corriente de salmuera entra en el intercambiador de calor interno del condensador 1124 a una velocidad de flujo de 2.347 l/min (620 gpm) y una temperatura de 46 °C (115 °F). A medida que fluye la corriente de salmuera a través del intercambiador de calor interno del condensador 1124, se transfiere calor a la corriente de salmuera desde una corriente de agua dulce que fluye a través del condensador 1124, dando como resultado una corriente de salmuera calentada que sale del condensador 1124 a una velocidad de flujo de 2.366 l/min (625 gpm) y una temperatura de 71 °C (160 °F). La corriente de salmuera calentada fluye entonces a través del conducto 1112 de líquido hasta el dispositivo 1108 de calentamiento, donde se calienta adicionalmente la corriente de salmuera calentada, hasta una temperatura de 93 °C (200 °F). La corriente

de salmuera calentada adicional fluye entonces a través del conducto 1114 y entra en el humidificador 1102 a una velocidad de flujo de 2.392 l/min (632 gpm) y una temperatura de 93 °C (200 °F).

En el humidificador 1102, la corriente de salmuera calentada adicional entra en contacto directo con una corriente de aire ambiental, que entra en el humidificador 1102 a una velocidad de flujo de 235.879 l/min (8.330 acfm) y una temperatura de 27 °C (80 °F). Se transfieren calor y masa desde la corriente de salmuera calentada adicional a la corriente de aire ambiental, dando como resultado una corriente de aire humidificada y una corriente de salmuera concentrada. La corriente de salmuera concentrada sale del humidificador 1102 a una velocidad de flujo de 2.245 l/min (593 gpm) y una temperatura de 57 °C (135 °F). Una primera parte de la corriente de salmuera concentrada sale del sistema 1100 de HDH, y una segunda parte de la corriente de salmuera concentrada fluye hasta el dispositivo 1110 de refrigeración, donde se refrigera la corriente de salmuera concentrada hasta una temperatura de 49 °C (120 °F). La corriente de salmuera refrigerada sale del dispositivo 1110 de refrigeración a una velocidad de flujo de 2.245 l/min (593 gpm) y una temperatura de 49 °C (120 °F). La corriente de salmuera refrigerada se combina con una corriente de salmuera entrante, que entra a una velocidad de flujo de 95 l/min (25 gpm) y una temperatura de 16 °C (60 °F), antes de volver al condensador 1124 a una temperatura de 46 °C (115 °F).

La corriente de aire humidificada sale por una salida de aire principal del humidificador 1102 y entra en el condensador 1124 a una velocidad de flujo de 424.752 l/min (15.000 acfm) y una temperatura de 78 °C (173 °F). En el condensador 1124, la corriente de aire humidificada entra en contacto con la corriente de agua fresca, y se condensa agua purificada desde la corriente de aire humidificada, dando como resultado una corriente de aire deshumidificada. El agua purificada entra en la corriente de agua dulce, que sale del condensador 1124 a una velocidad de flujo de 95 l/min (25 gpm) y una temperatura de 77 °C (170 °F). La corriente de aire deshumidificada sale del condensador 1124 a una velocidad de flujo de 269.010 l/min (9500 acfm) y una temperatura de 53 °C (127 °F).

Ejemplo 7

Este ejemplo describe el sistema 1100 de HDH del ejemplo 5, con la adición de un conducto 1122 de gas intermedio que conecta el humidificador 1102 y el condensador 1124. Cuando este sistema, que se muestra en la figura 11D, está en funcionamiento, se extrae aire del humidificador 1102 en una salida de aire intermedia. El aire fluye posteriormente a través del conducto 1122 de gas intermedio y se inyecta directamente en una ubicación intermedia en el condensador 1124. Se seleccionan las ubicaciones de los puntos de extracción e inyección para optimizar la eficiencia térmica del sistema. Debido a que se extrae la corriente de aire intermedia del humidificador 1102 antes de que la corriente haya fluido a través de todo el humidificador, la temperatura de la corriente de aire intermedia es menor que la temperatura de la corriente de aire humidificada que sale del humidificador 1102 a través de una salida de aire de humidificador principal. Por ejemplo, mientras la corriente de aire humidificada que sale del humidificador 1102 a través de la salida de aire principal entra en el condensador 1124 a una velocidad de flujo de 339.802 l/min (12.000 acfm) y una temperatura de 78 °C (173 °F), la corriente de aire intermedia que sale del humidificador 1102 a través de la salida de aire intermedia entra en el condensador 1104 a una velocidad de flujo de 226.535 l/min (8.000 acfm) y una temperatura de 71 °C (160 °F).

REIVINDICACIONES

1. Sistema (400) de desalinización que comprende:

un humidificador (402) que comprende una entrada de líquido de humidificador en conexión de fluido con una fuente (408) de agua que contiene sal, una entrada de gas de humidificador en conexión de fluido con una fuente de un gas, y una salida de humidificador, en el que el humidificador está configurado para producir una corriente de salida de humidificador que contiene vapor, enriquecida en vapor de agua con relación al gas recibido desde la entrada de gas;

un condensador (404) de columna de burbujas que comprende una entrada de condensador en conexión de fluido con la salida de humidificador, una salida de gas de condensador, y una salida de agua de condensador, en el que el condensador de columna de burbujas está configurado para retirar al menos una parte del vapor de agua de la corriente de salida de humidificador para producir una corriente de salida de gas de condensador, pobre en agua con relación a la corriente de salida de humidificador y una corriente de salida de agua de condensador;

un intercambiador (406) de calor independiente del condensador de columna de burbujas y en conexión de fluido con la salida de agua de condensador y configurado para retirar calor de la corriente de salida de agua de condensador para producir una corriente de salida de intercambiador de calor;

y un primer dispositivo (432) de calentamiento en conexión de fluido con el humidificador y configurado para producir una corriente de salida de primer dispositivo de calentamiento, en el que

se extrae una parte de un flujo de gas de al menos una ubicación intermedia en el humidificador;

se alimenta la parte del flujo de gas extraída de al menos una ubicación intermedia en el humidificador, desde cada ubicación intermedia extraída a una ubicación intermedia correspondiente en el condensador de columna de burbujas;

el condensador de columna de burbujas comprende además al menos una primera etapa (210) que comprende una entrada de primera etapa y una salida de primera etapa, en el que la entrada de primera etapa está en comunicación de fluido con la entrada de condensador y está acoplada a al menos un generador de burbujas;

el al menos un generador de burbujas comprende una placa de rociador que comprende una pluralidad de orificios;

el condensador de columna de burbujas comprende además una segunda etapa (220) que comprende una entrada de segunda etapa en comunicación de fluido con la salida de primera etapa, una salida de segunda etapa, y una capa de líquido que comprende una cantidad de un fluido condensable;

el condensador de columna de burbujas está configurado para recibir la corriente de salida de intercambiador de calor; y

el humidificador está configurado para recibir la corriente de salida de primer dispositivo de calentamiento.

2. Sistema de desalinización según la reivindicación 1, en el que la pluralidad de los orificios tiene un diámetro en el intervalo de aproximadamente 0,1 mm a aproximadamente 50 mm.

3. Sistema de desalinización según la reivindicación 2, en el que la pluralidad de orificios tiene un diámetro en el intervalo de aproximadamente 1 mm a aproximadamente 15 mm.

4. Sistema de desalinización según una cualquiera de las reivindicaciones 2-3, en el que la pluralidad de orificios tiene un diámetro de aproximadamente 3,2 mm.

5. Sistema de desalinización según una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que el condensador de columna de burbujas comprende además una tercera etapa que comprende una entrada de tercera etapa en comunicación de fluido con las salidas de primera y/o segunda etapa, una salida de tercera etapa, y una capa de líquido que comprende una cantidad del fluido condensable.

6. Sistema de desalinización según la reivindicación 5, en el que el condensador de columna de burbujas comprende además una cuarta etapa que comprende una entrada de cuarta etapa en comunicación de fluido con las salidas de primera, segunda y/o tercera etapa, una salida de cuarta etapa, y una capa de líquido que comprende una cantidad del fluido condensable.

7. Sistema de desalinización según la reivindicación 6, en el que el condensador de columna de burbujas comprende además una quinta etapa que comprende una entrada de quinta etapa en comunicación de fluido con las salidas de primera, segunda, tercera y/o cuarta etapa, una salida de quinta etapa, y una capa de líquido que comprende una cantidad del fluido condensable.
8. Sistema de desalinización según una cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que el intercambiador de calor es un intercambiador de calor líquido-líquido, opcionalmente en el que el intercambiador de calor es un intercambiador de calor de placas y bastidor, opcionalmente en el que el intercambiador de calor comprende un refrigerante, opcionalmente en el que el refrigerante comprende agua, opcionalmente en el que el refrigerante comprende agua que contiene sal, opcionalmente en el que el agua que contiene sal dentro del intercambiador de calor se transfiere desde el intercambiador de calor al humidificador.
9. Sistema de desalinización según una cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en el que el intercambiador de calor está configurado para recibir la corriente de salida de agua de condensador a una temperatura de entrada de intercambiador de calor y producir la corriente de salida de intercambiador de calor a una temperatura de corriente de salida de intercambiador de calor, y la diferencia entre la temperatura de corriente de entrada de intercambiador de calor y la temperatura de corriente de salida de intercambiador de calor es de al menos aproximadamente 10 °C, opcionalmente en el que la diferencia entre la temperatura de corriente de entrada de intercambiador de calor y la temperatura de corriente de salida de intercambiador de calor está en el intervalo de aproximadamente 10 °C a aproximadamente 90 °C.
10. Sistema de desalinización según una cualquiera de las reivindicaciones 1-9, que comprende además un dispositivo de refrigeración en conexión de fluido con el condensador de columna de burbujas y/o el intercambiador de calor y configurado opcionalmente para recibir la corriente de salida de intercambiador de calor a una temperatura de entrada de dispositivo de refrigeración y para producir una corriente de salida de dispositivo de refrigeración a una temperatura de salida de dispositivo de refrigeración, en el que la diferencia entre la temperatura de entrada de dispositivo de refrigeración y la temperatura de salida de dispositivo de refrigeración es de al menos aproximadamente 10 °C, opcionalmente en el que la diferencia entre la temperatura de entrada de dispositivo de refrigeración y la temperatura de salida de dispositivo de refrigeración está en el intervalo de aproximadamente 10 °C a aproximadamente 90 °C, opcionalmente en el que el condensador de columna de burbujas está configurado para recibir la corriente de salida de dispositivo de refrigeración, opcionalmente en el que el dispositivo de refrigeración es un intercambiador de calor, opcionalmente en el que el dispositivo de refrigeración es un intercambiador de calor refrigerado por aire.
11. Sistema de desalinización según una cualquiera de las reivindicaciones 1-10, en el que el primer dispositivo de calentamiento está configurado para recibir la corriente de salida de intercambiador de calor a una temperatura de entrada de primer dispositivo de calentamiento y para producir la corriente de salida de primer dispositivo de calentamiento a una temperatura de salida de primer dispositivo de calentamiento, en el que la diferencia entre la temperatura de entrada de primer dispositivo de calentamiento y la temperatura de salida de primer dispositivo de calentamiento es de al menos aproximadamente 10 °C, opcionalmente en el que la diferencia entre la temperatura de entrada de primer dispositivo de calentamiento y la temperatura de salida de primer dispositivo de calentamiento está en el intervalo de aproximadamente 10 °C a aproximadamente 90 °C.
12. Sistema de desalinización según una cualquiera de las reivindicaciones 1-11, que comprende además un segundo dispositivo de calentamiento en conexión de fluido con el condensador de columna de burbujas y/o el intercambiador de calor, configurado opcionalmente para recibir la corriente de salida de agua de condensador a una temperatura de entrada de segundo dispositivo de calentamiento y para producir la corriente de salida de segundo dispositivo de calentamiento a una temperatura de salida de segundo dispositivo de calentamiento, en el que la diferencia entre la temperatura de entrada de segundo dispositivo de calentamiento y la temperatura de salida de segundo dispositivo de calentamiento es de al menos aproximadamente 10 °C.
13. Sistema de desalinización según la reivindicación 12, en el que la diferencia entre la temperatura de entrada de segundo dispositivo de calentamiento y la temperatura de salida de segundo dispositivo de calentamiento está en el intervalo de aproximadamente 10 °C a aproximadamente 90 °C.
14. Sistema de desalinización según una cualquiera de las reivindicaciones 1-13, en el que la razón de la altura de la capa de líquido dentro de cada etapa del condensador de columna de burbujas con respecto a la longitud del condensador es de aproximadamente 1,0 o menor, aproximadamente 0,8 o menor, aproximadamente 0,6 o menor, aproximadamente 0,4 o menor, aproximadamente 0,2 o menor, aproximadamente 0,1 o menor, o aproximadamente 0,05 o menor, durante un funcionamiento sustancialmente continuo.

15. Sistema de desalinización según una cualquiera de las reivindicaciones 1-14, en el que la capa de líquido dentro de al menos una etapa del condensador de columna de burbujas tiene una altura de aproximadamente 0,1 m, aproximadamente 0,08 m o menos, aproximadamente 0,04 m o menos, aproximadamente 0,02 m o menos, o aproximadamente 0,01 m o menos, o menos durante un funcionamiento sustancialmente continuo.

5

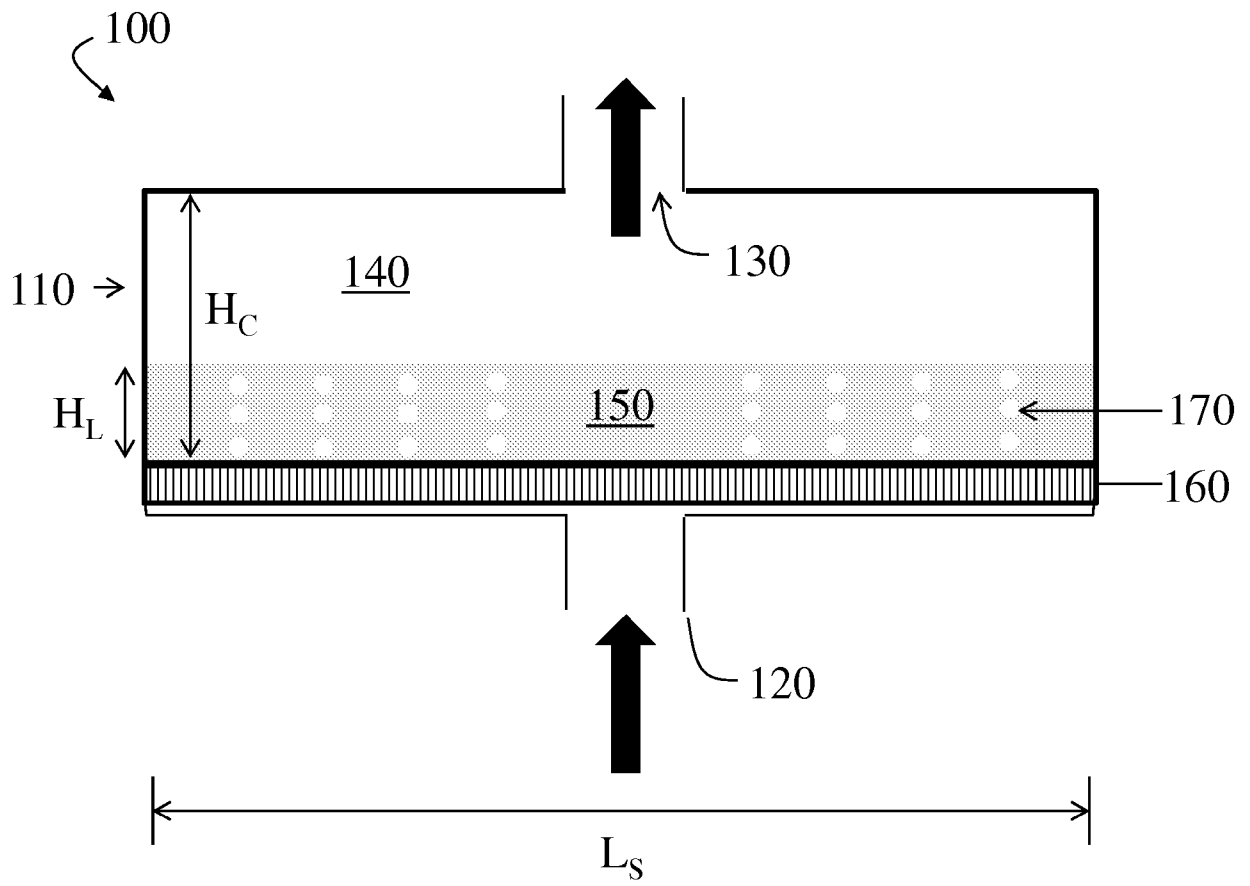


FIG. 1A

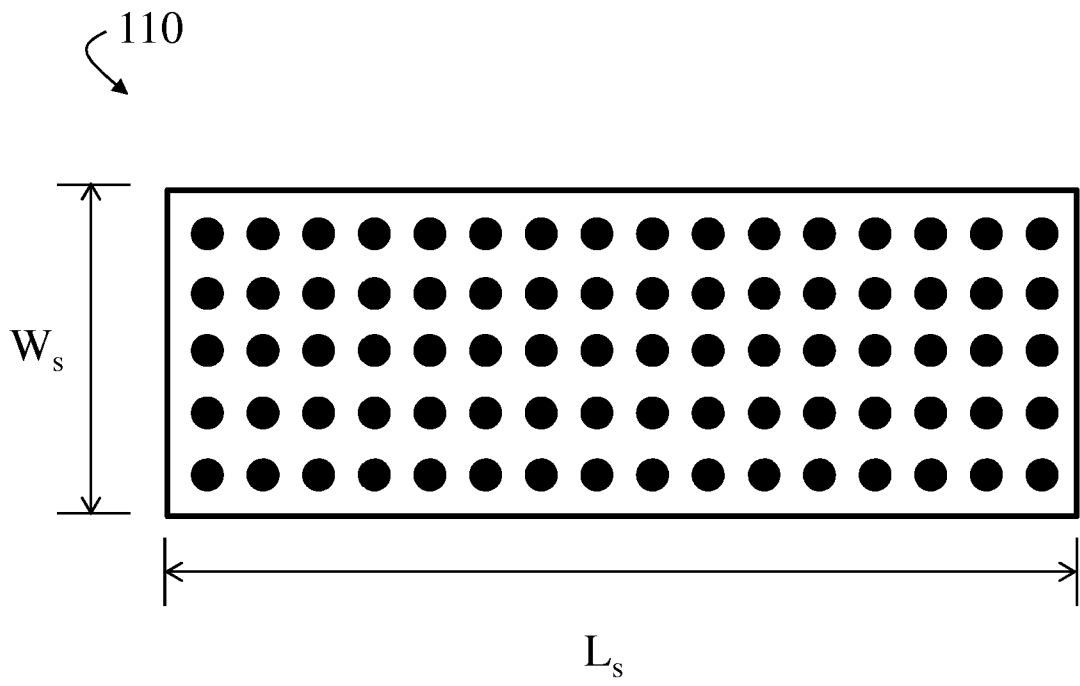


FIG. 1B

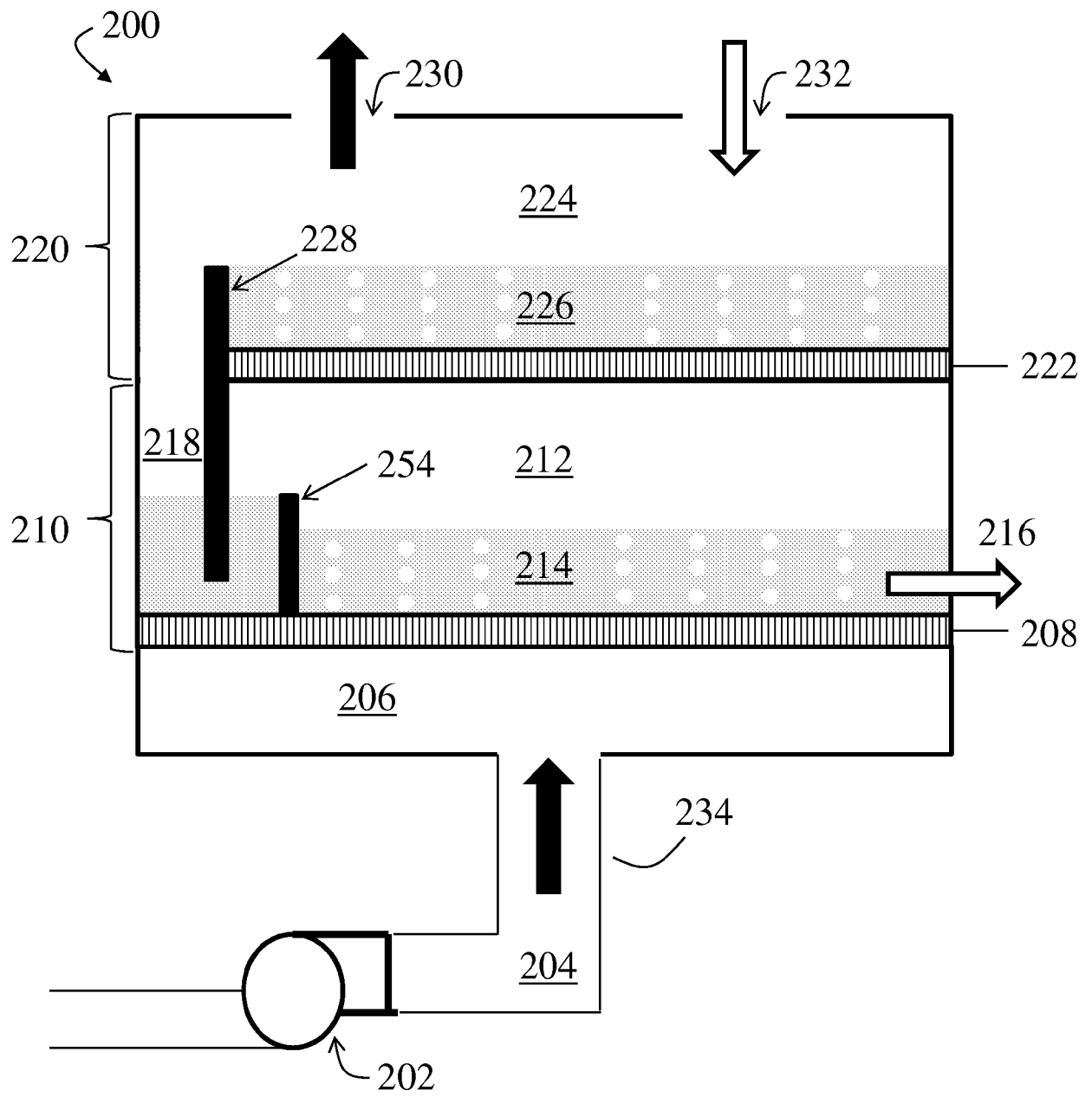


FIG. 2A

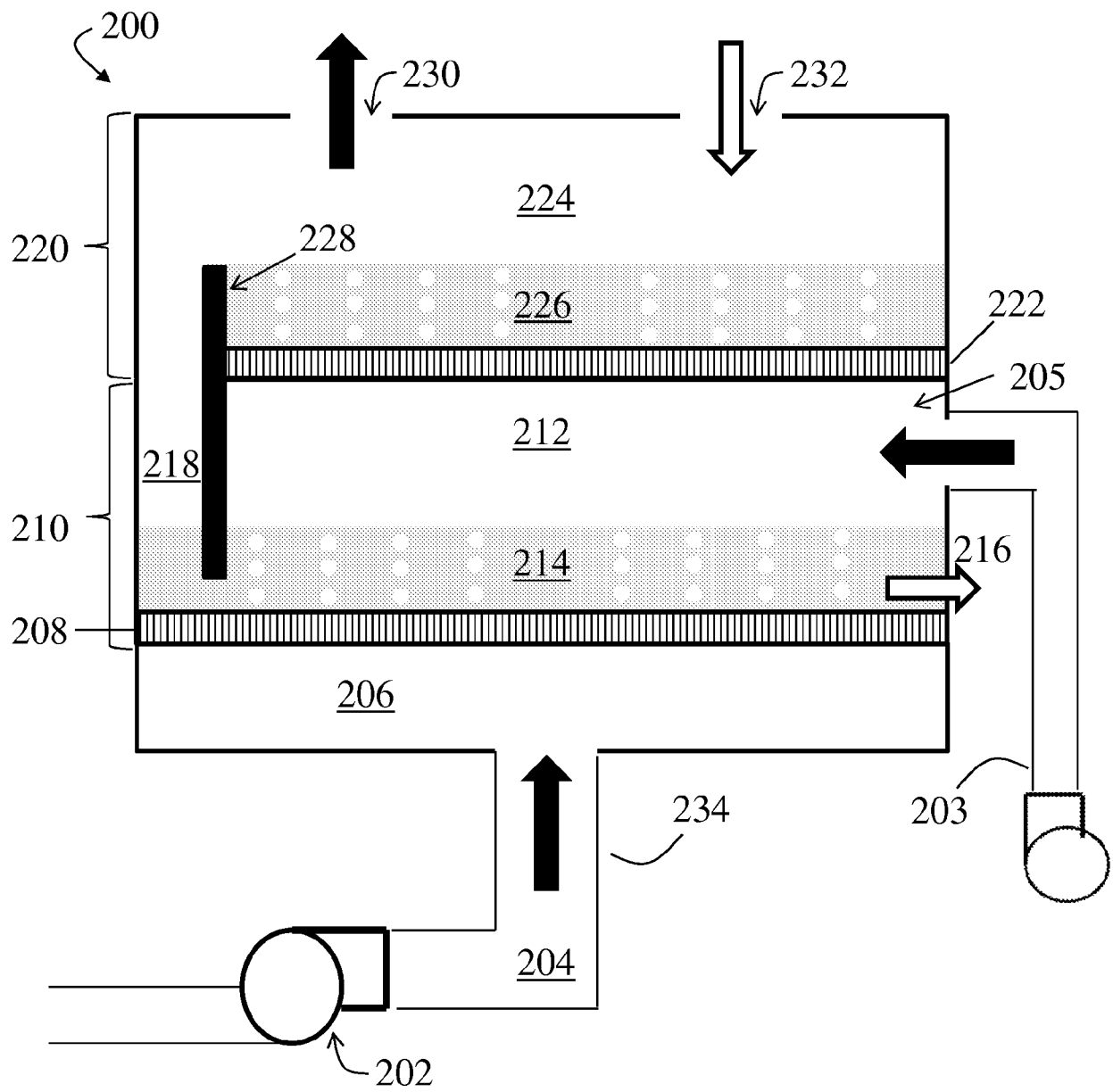


FIG. 2B

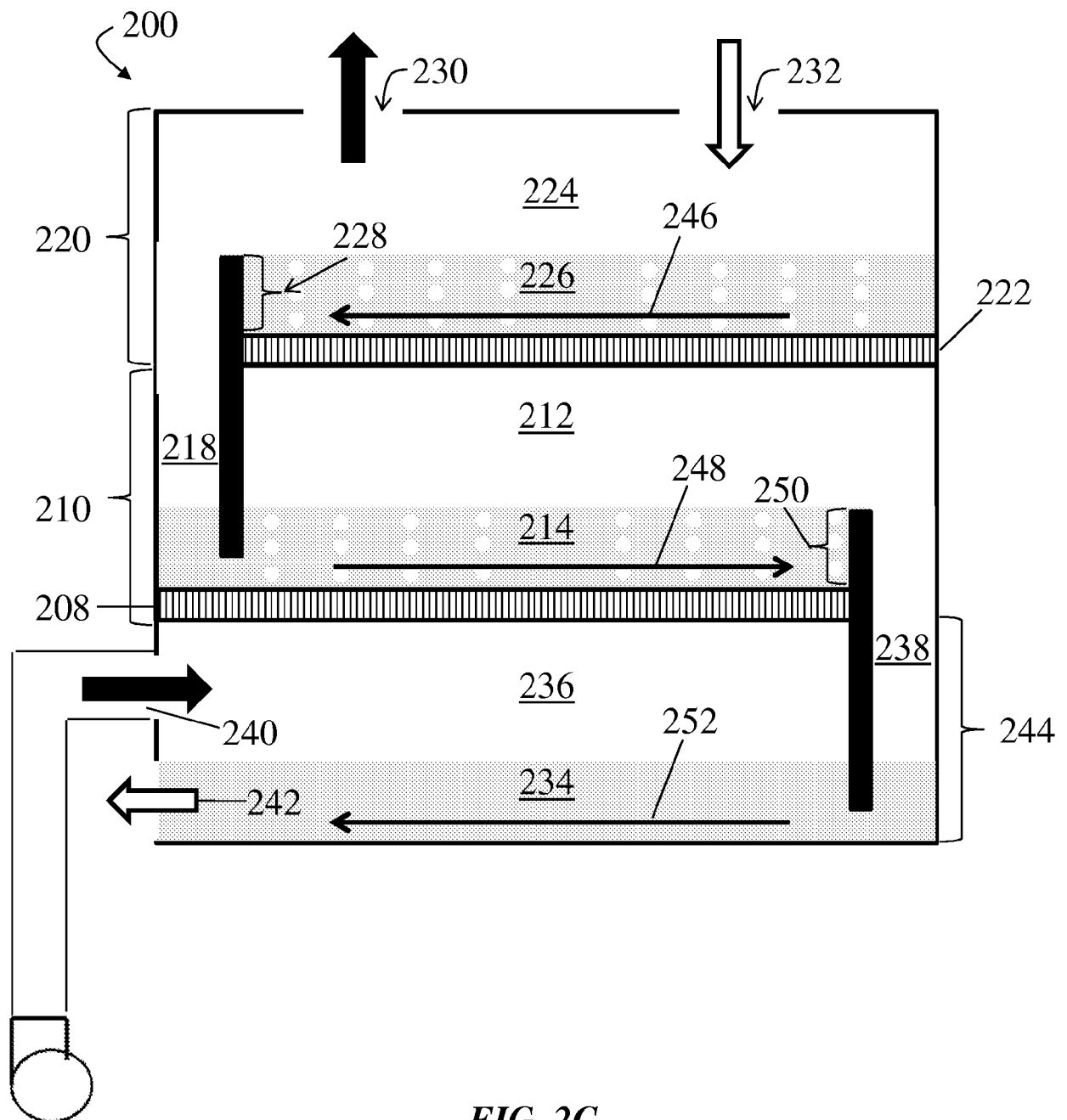


FIG. 2C

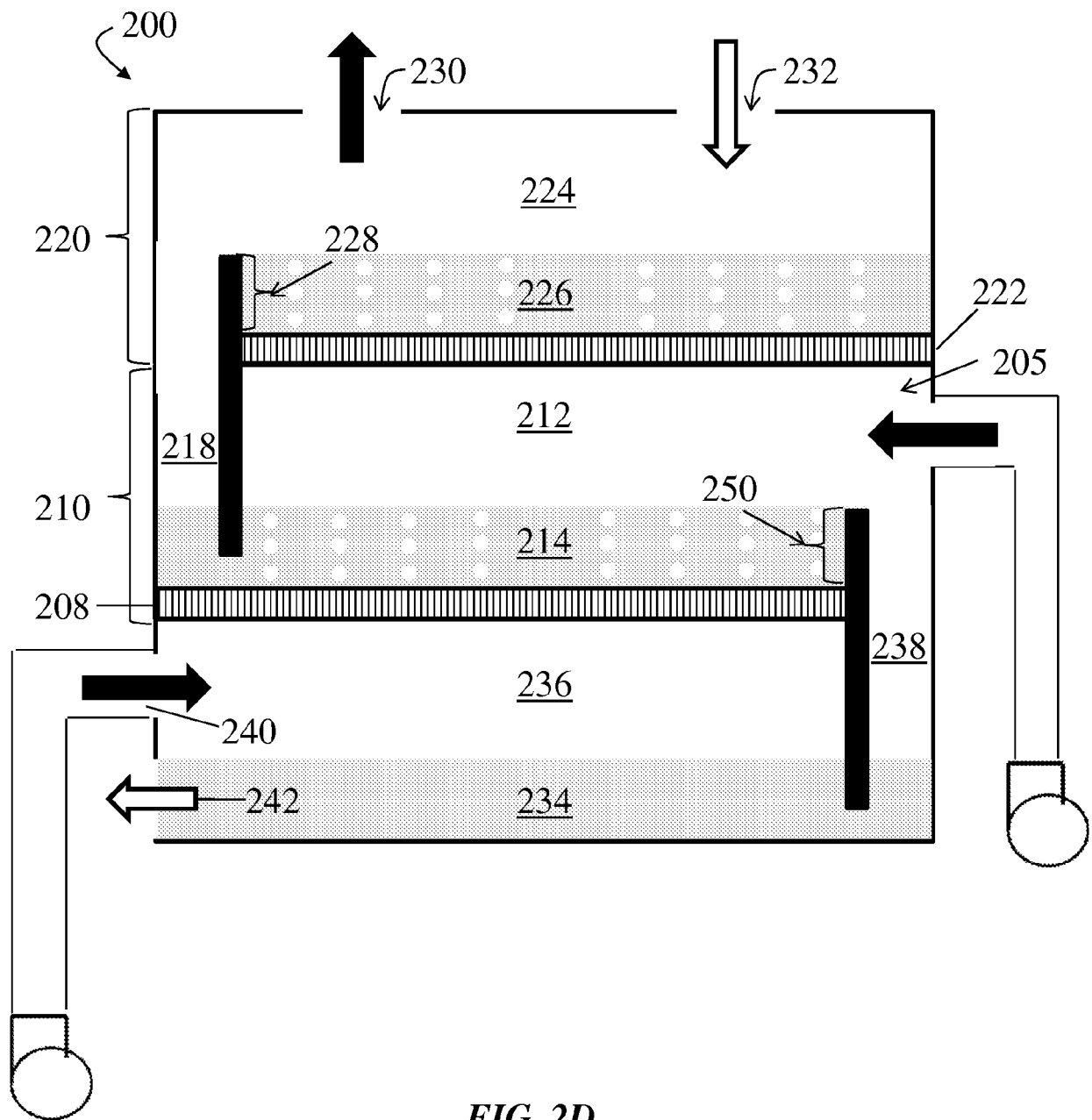


FIG. 2D

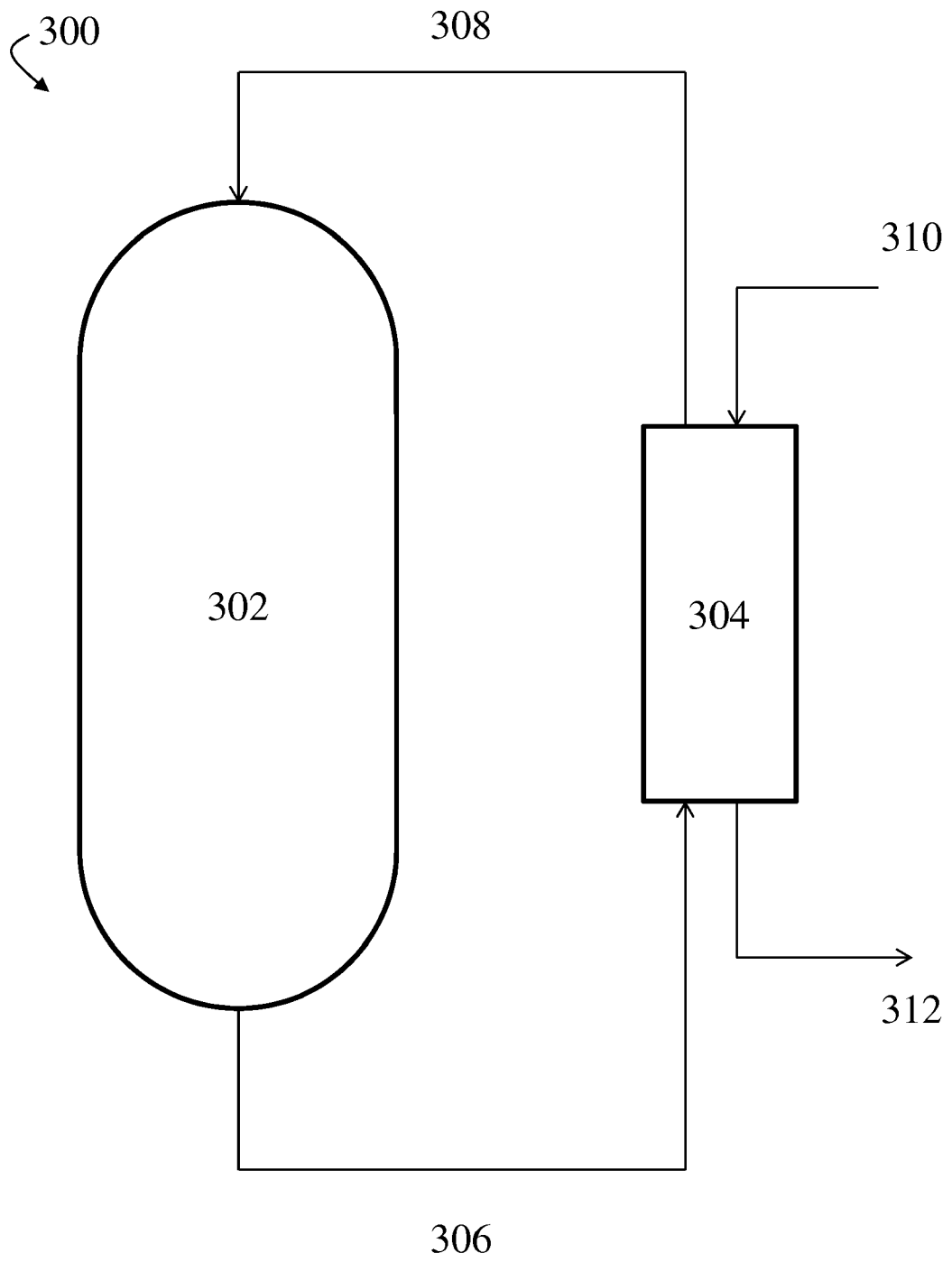


FIG. 3A

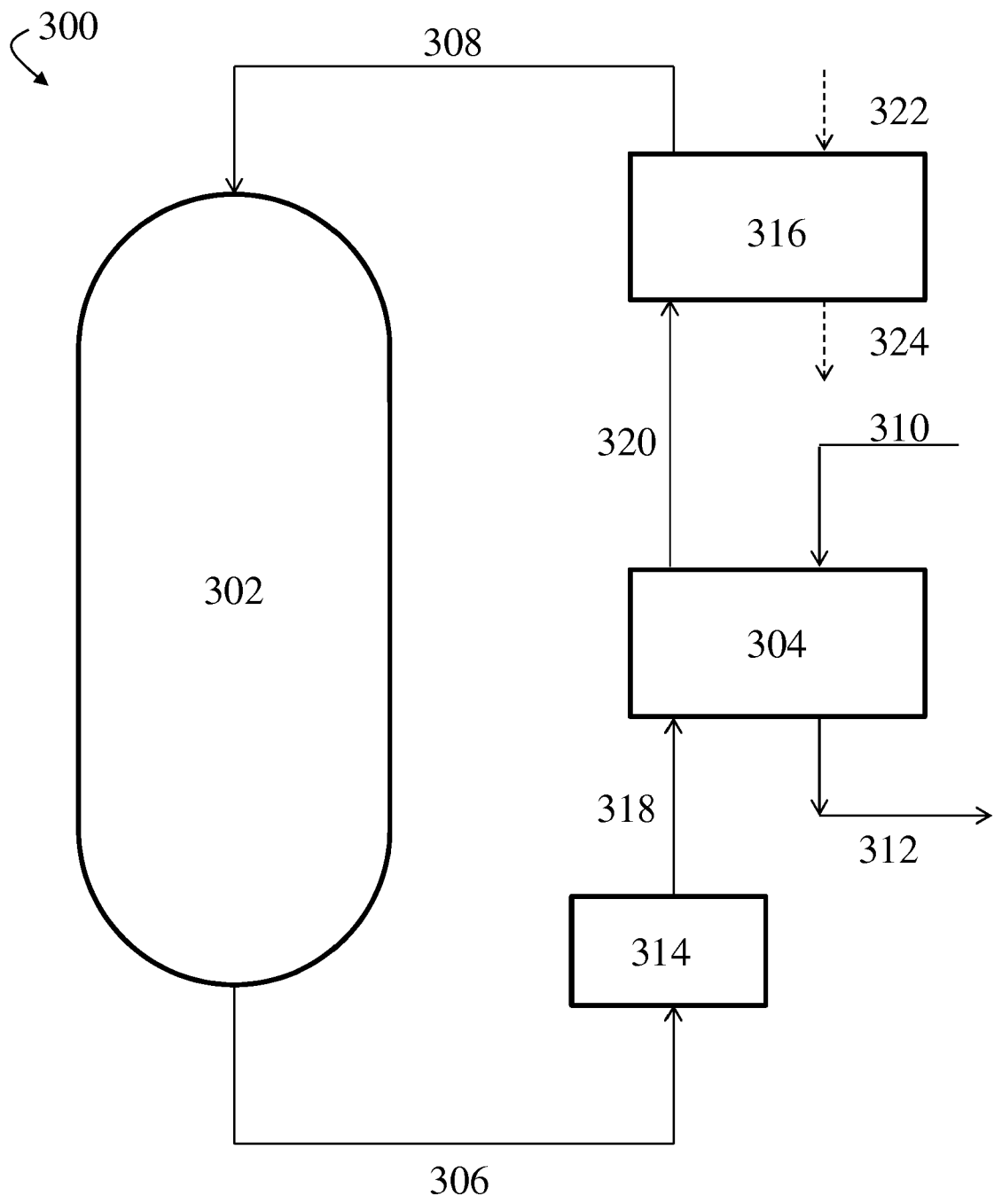


FIG. 3B

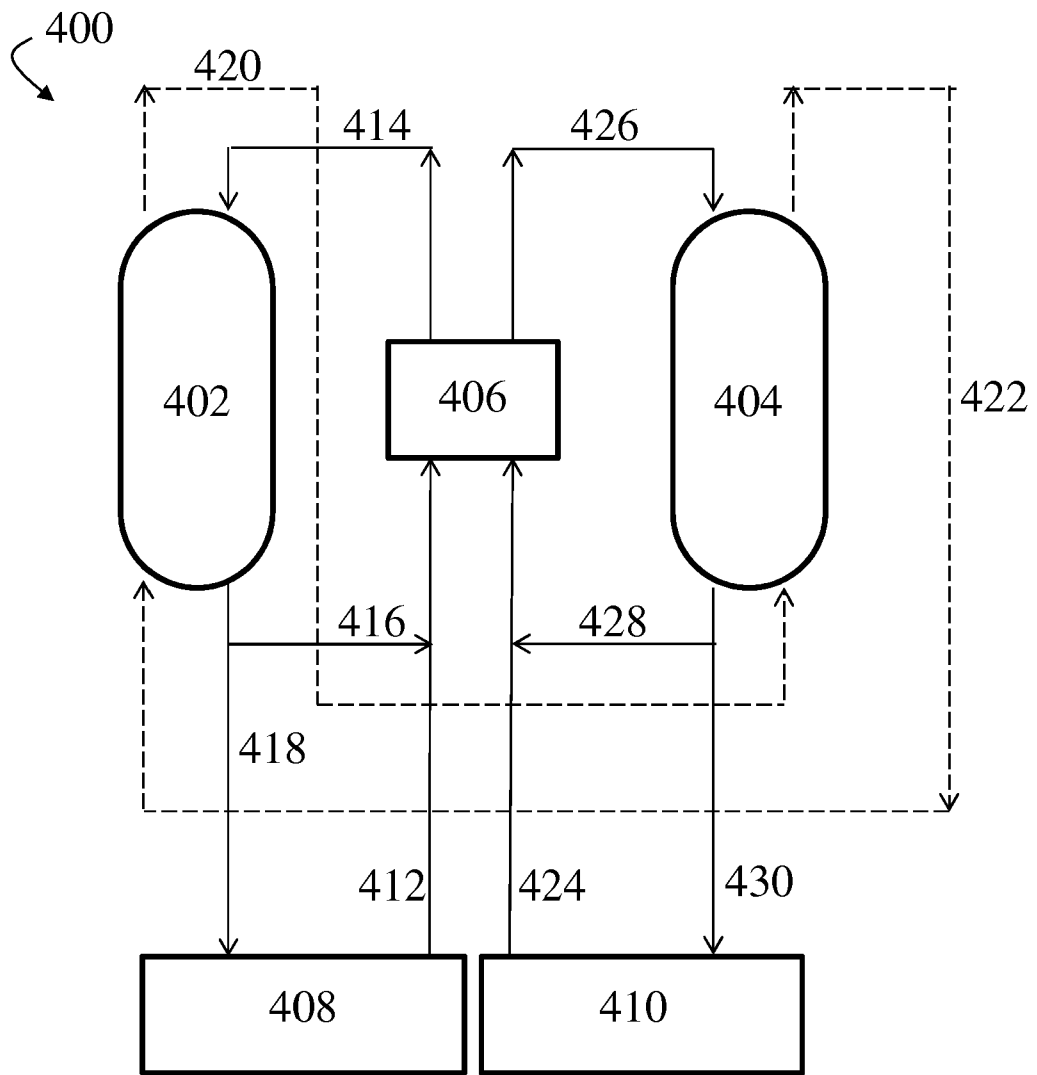


FIG. 4A

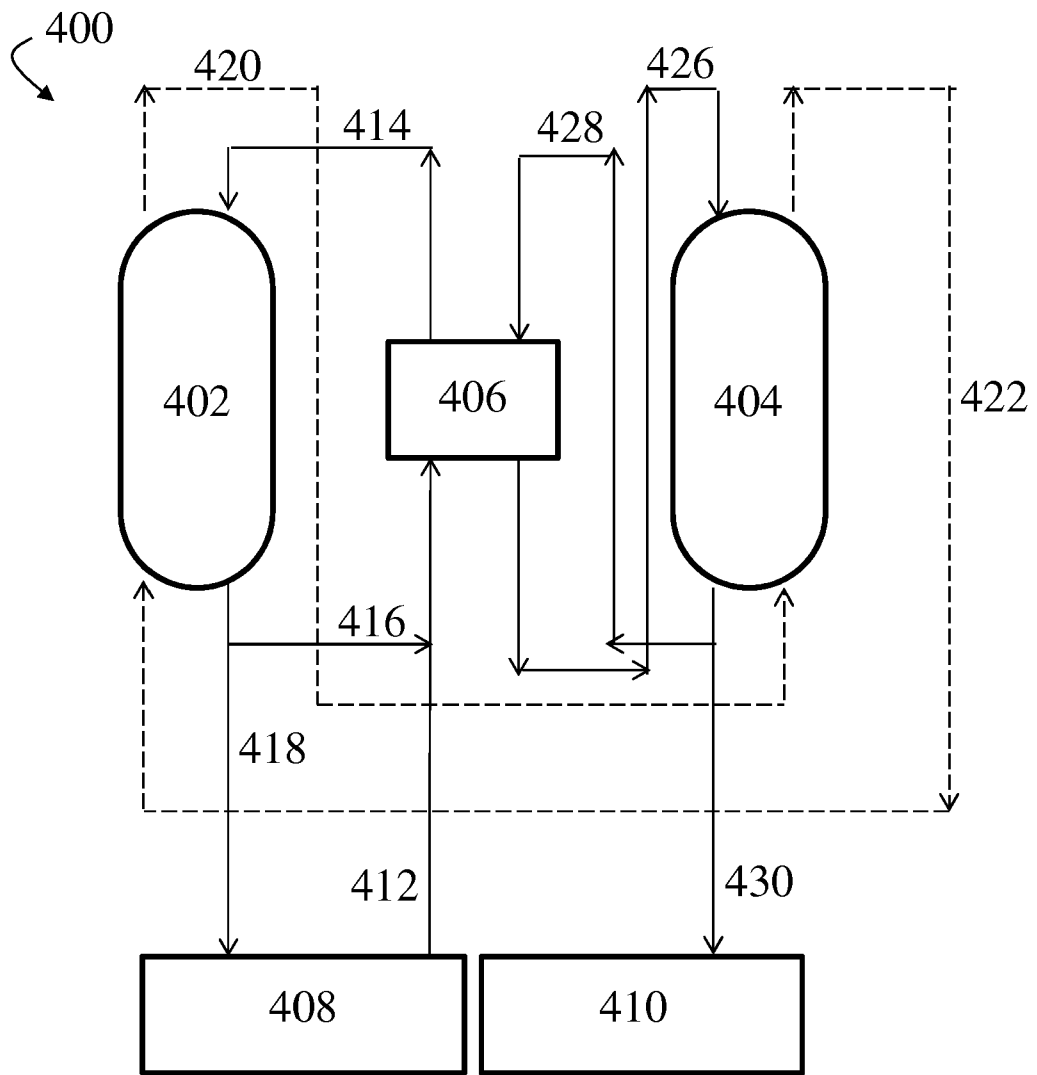


FIG. 4B

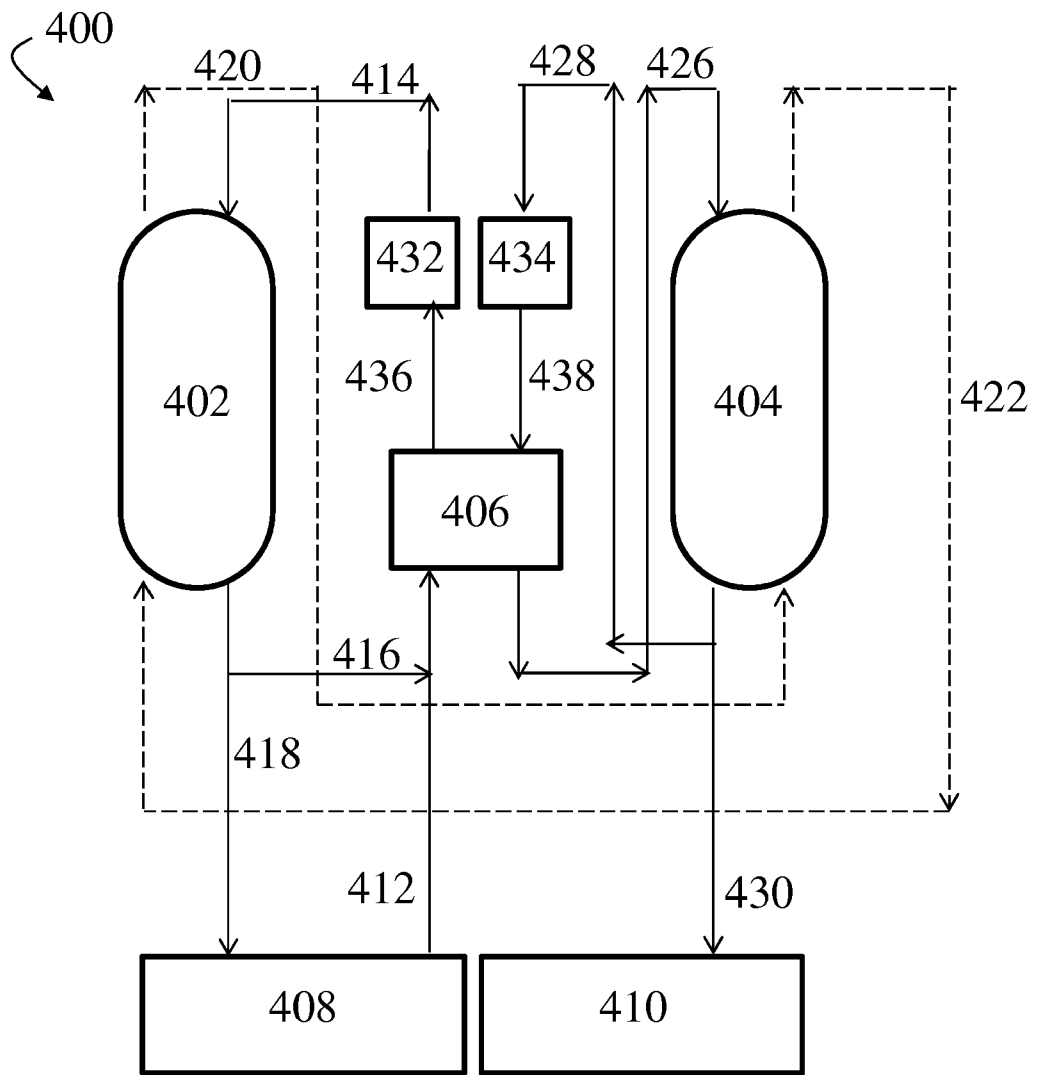
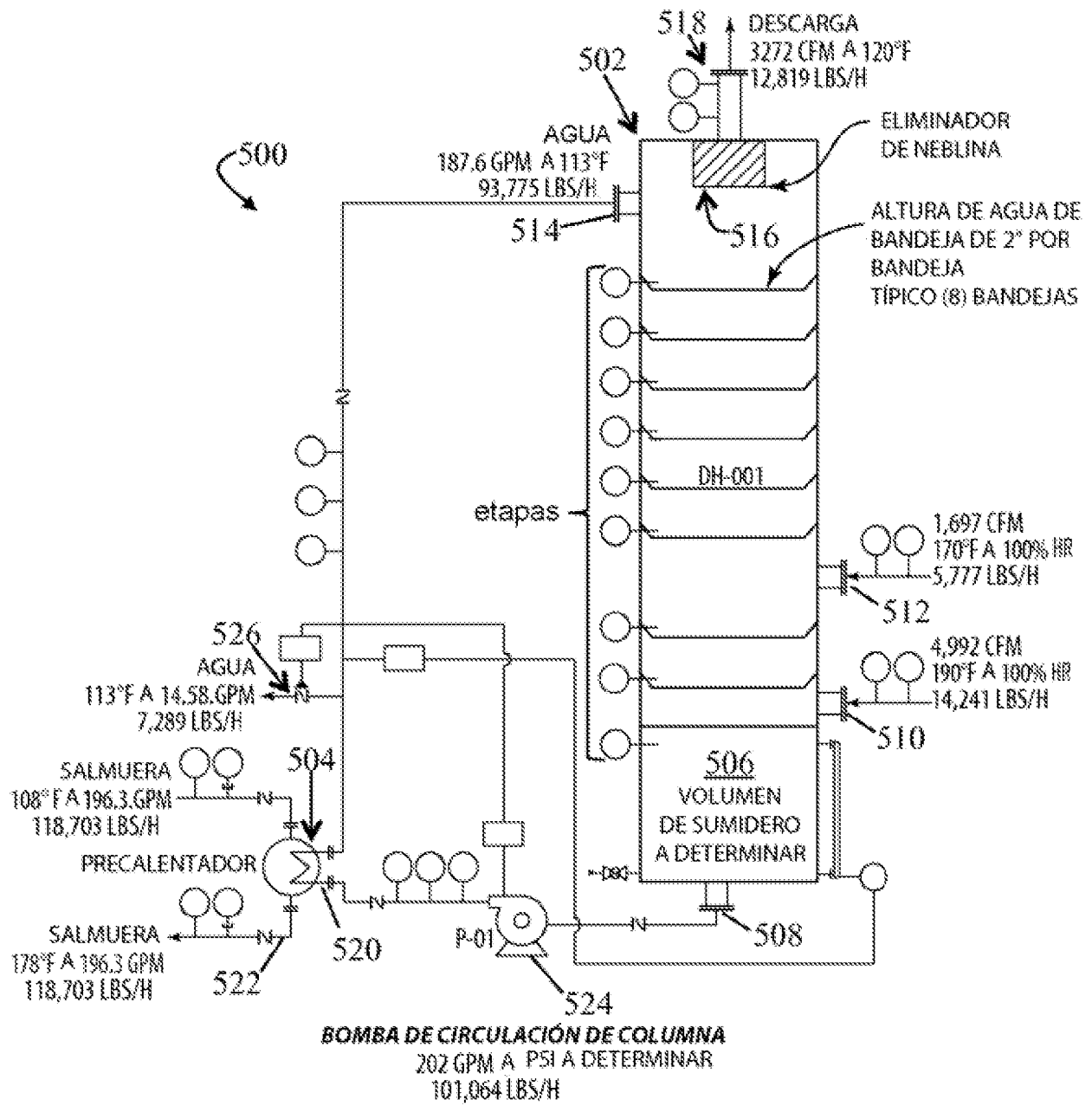


FIG. 4C

**FIG. 5**

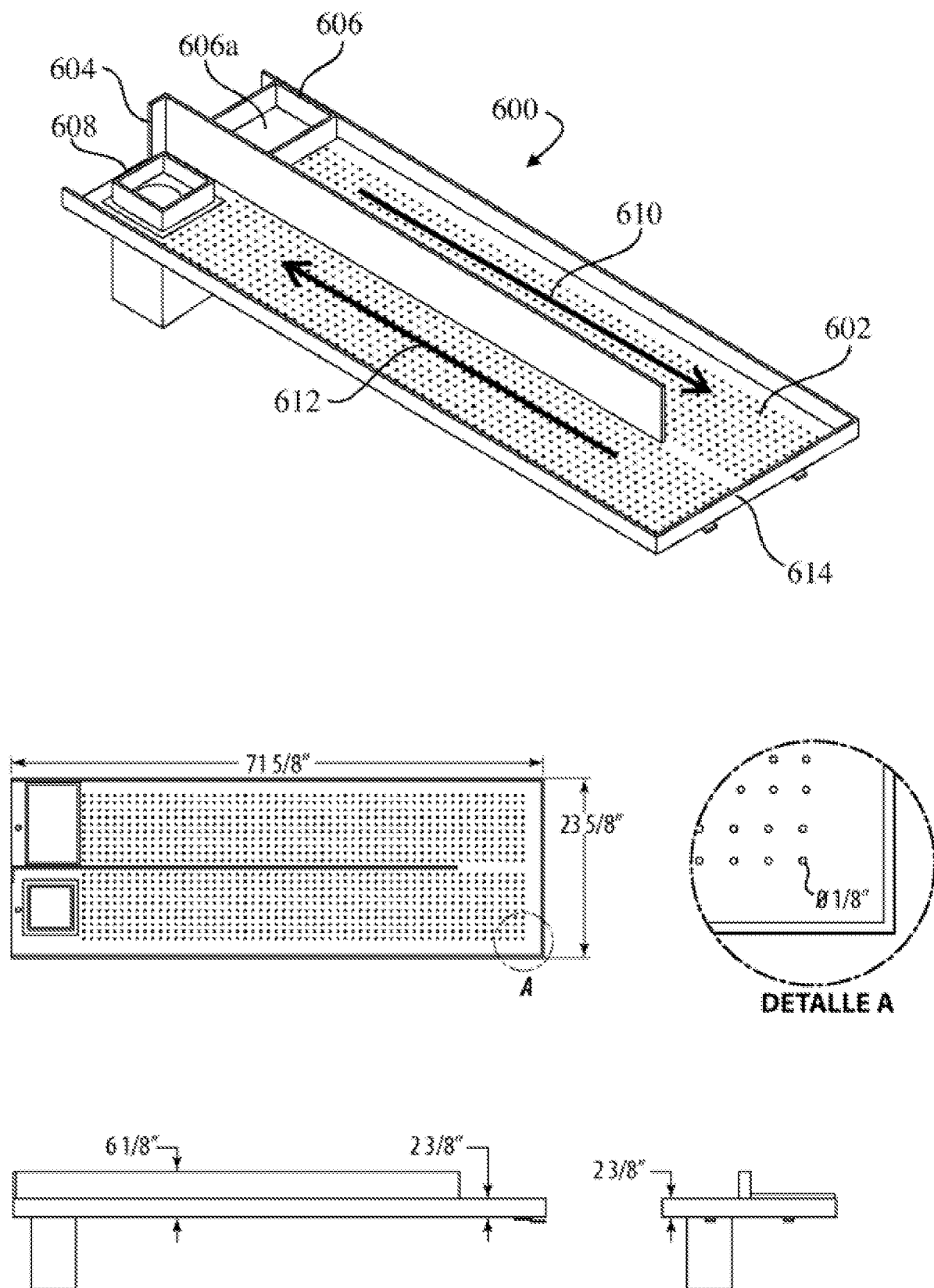


FIG. 6

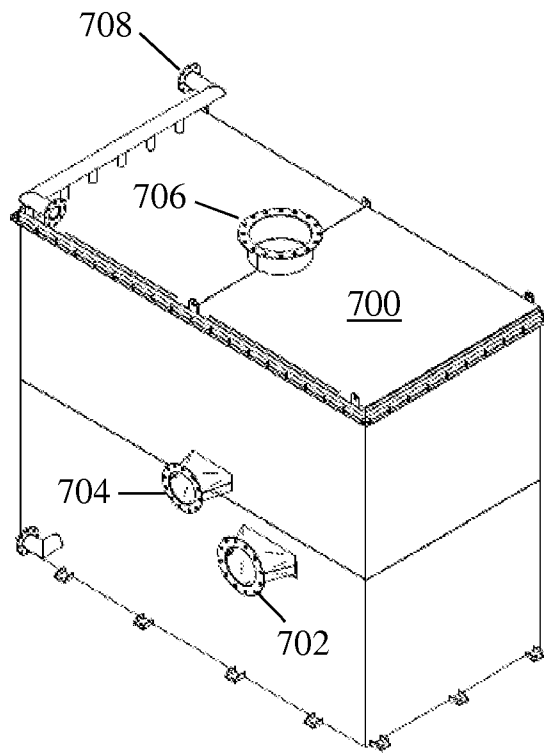


FIG. 7A

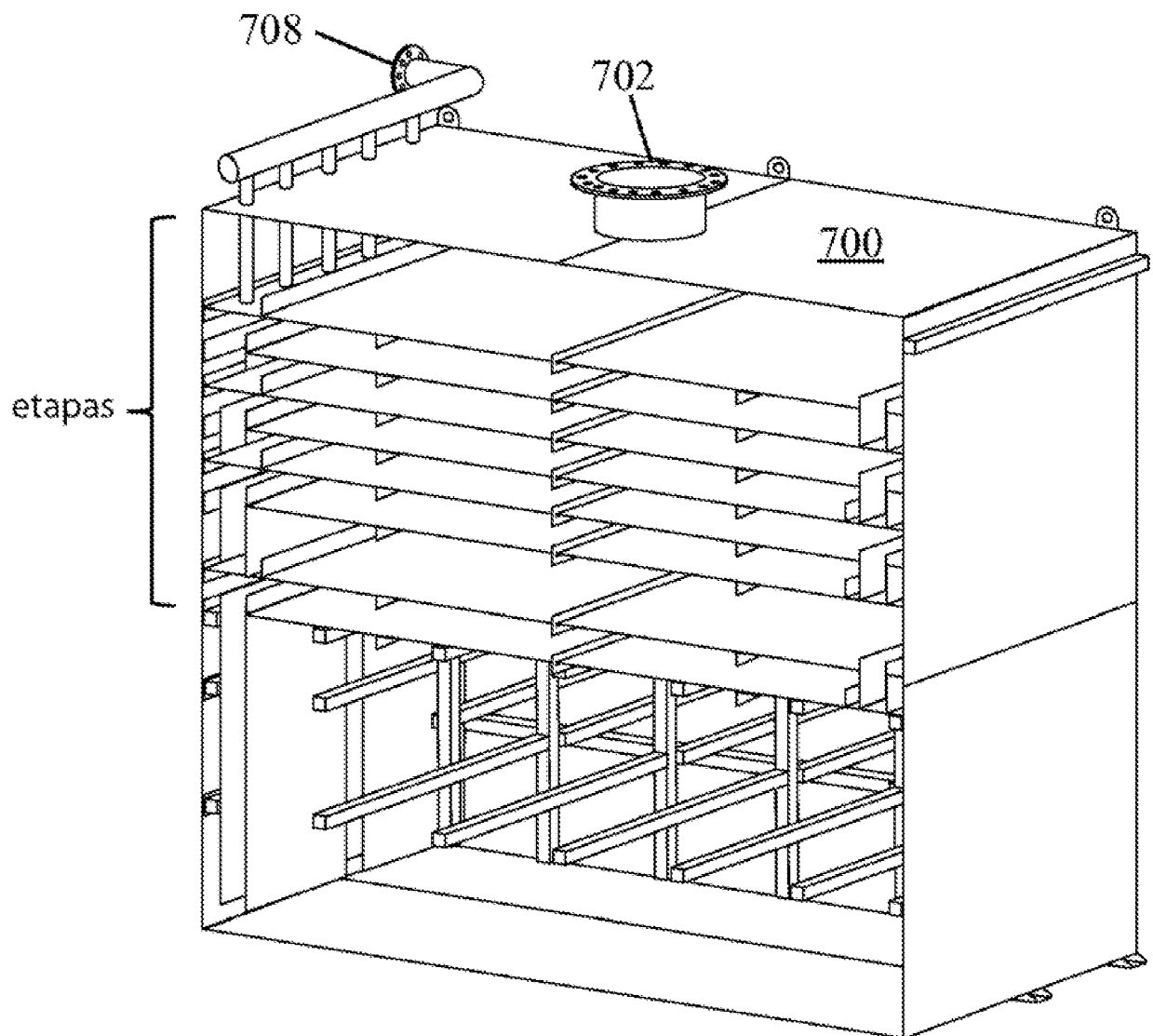


FIG. 7B

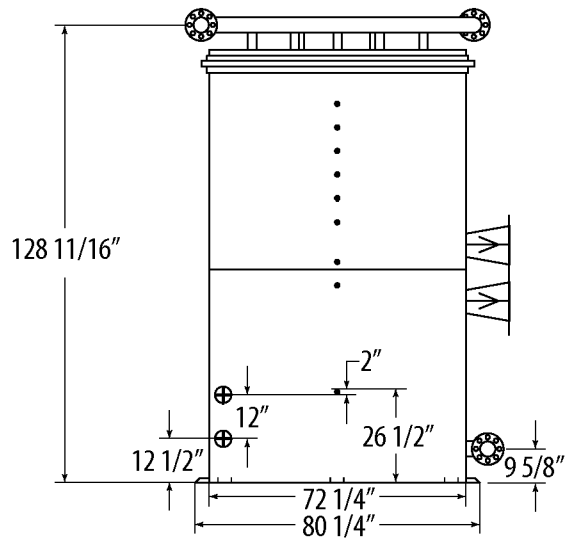


FIG. 7C

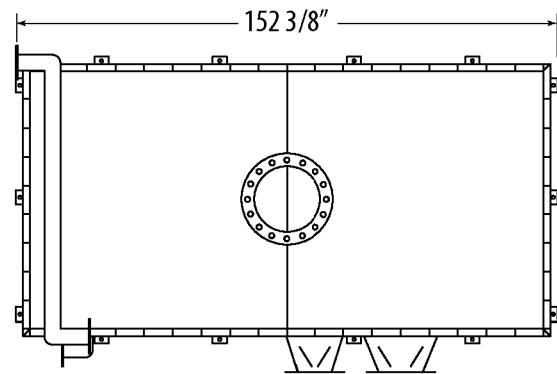


FIG. 7D

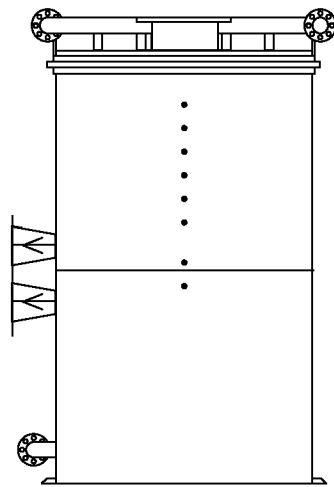


FIG. 7E

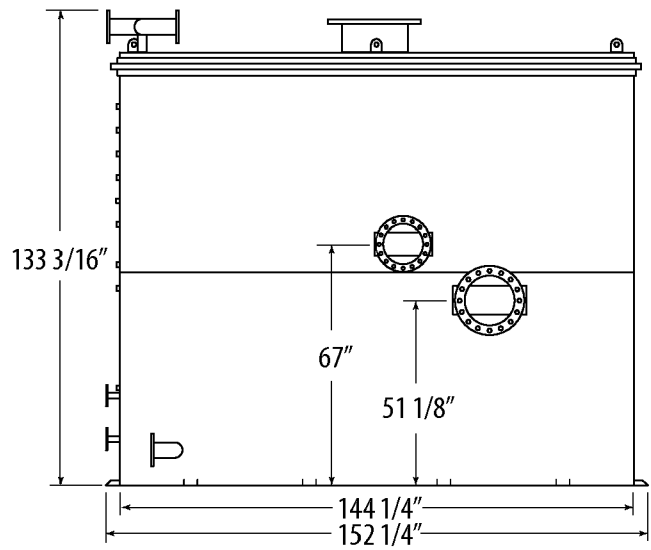


FIG. 7F

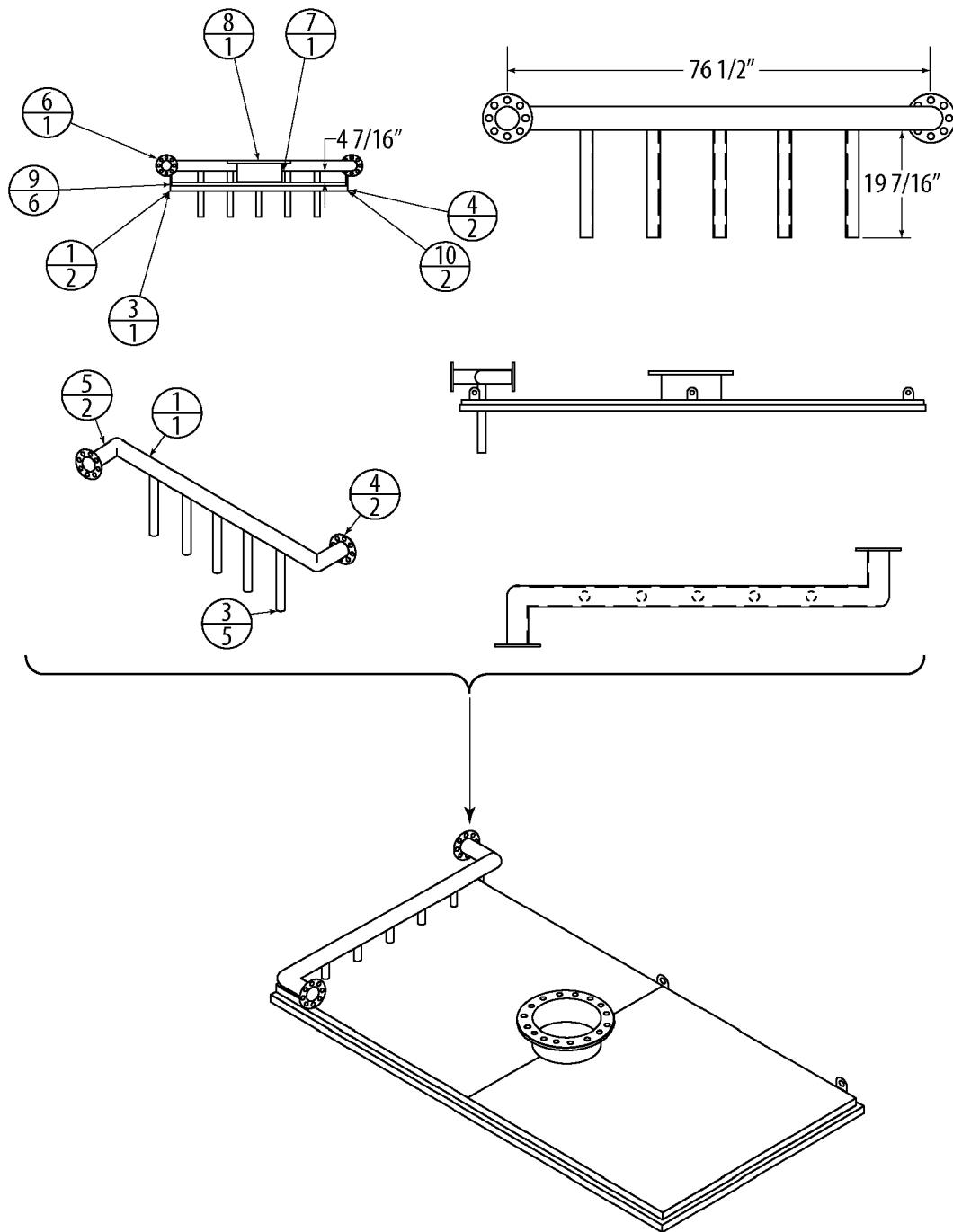


FIG. 7G

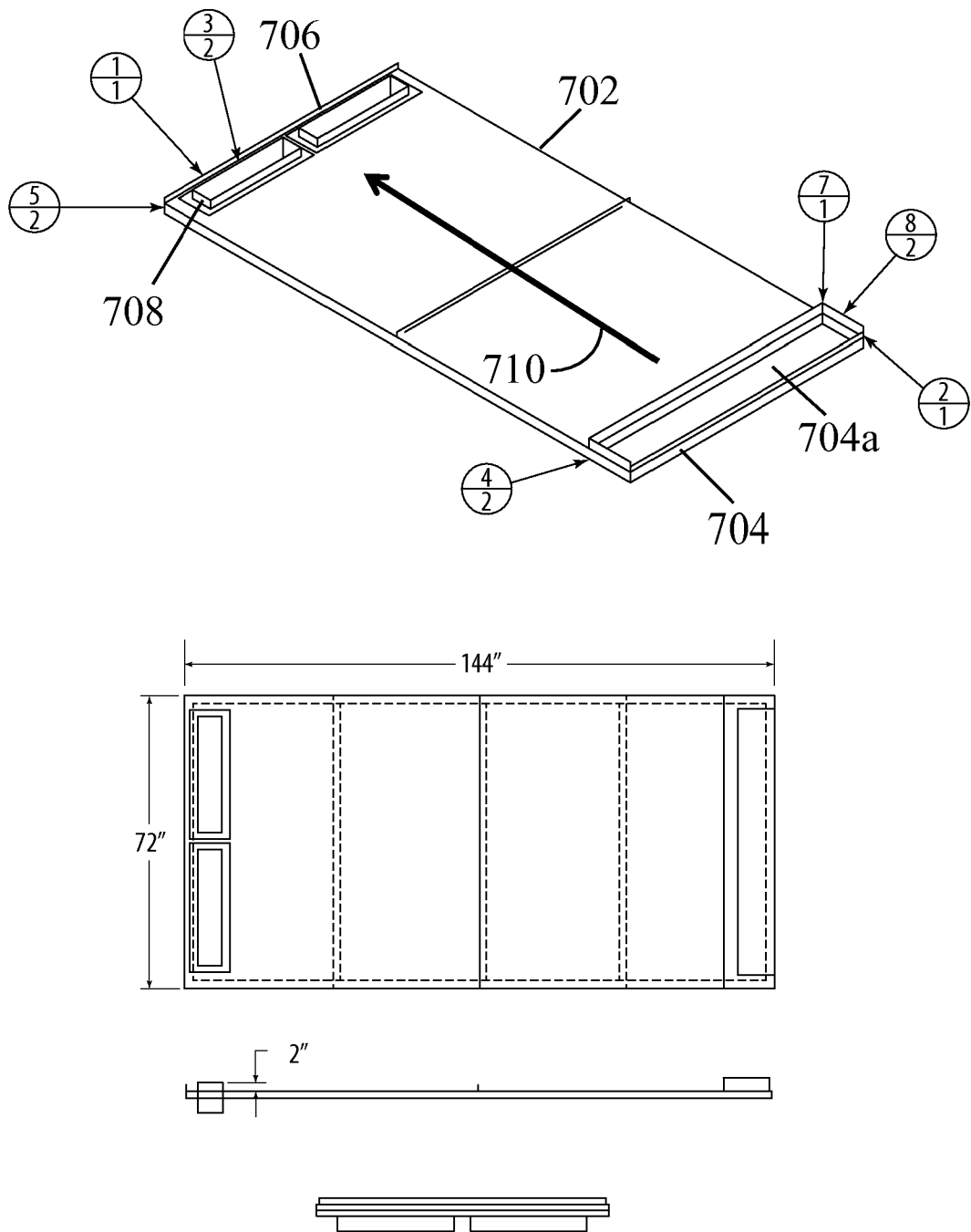


FIG. 7H

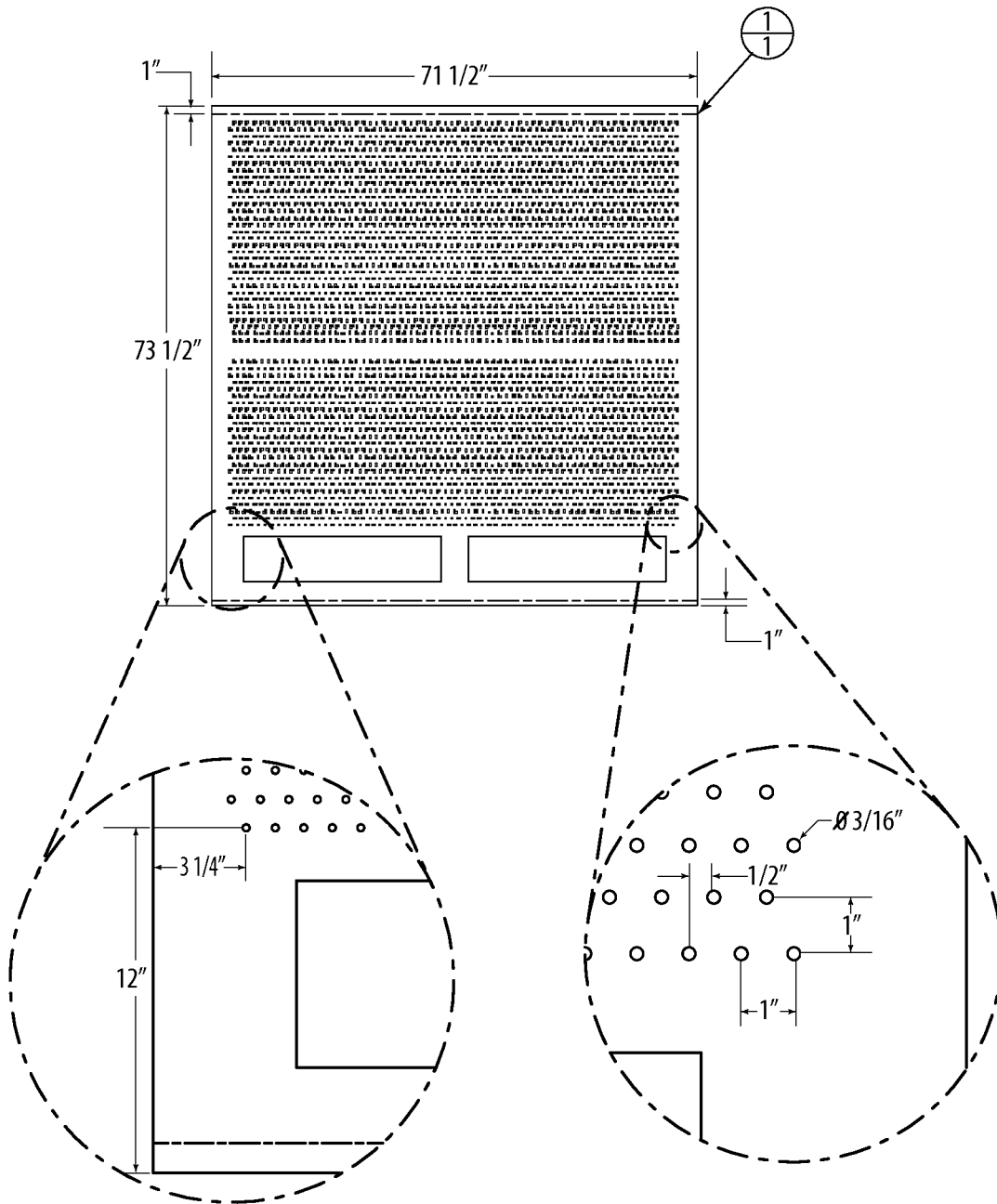


FIG. 71

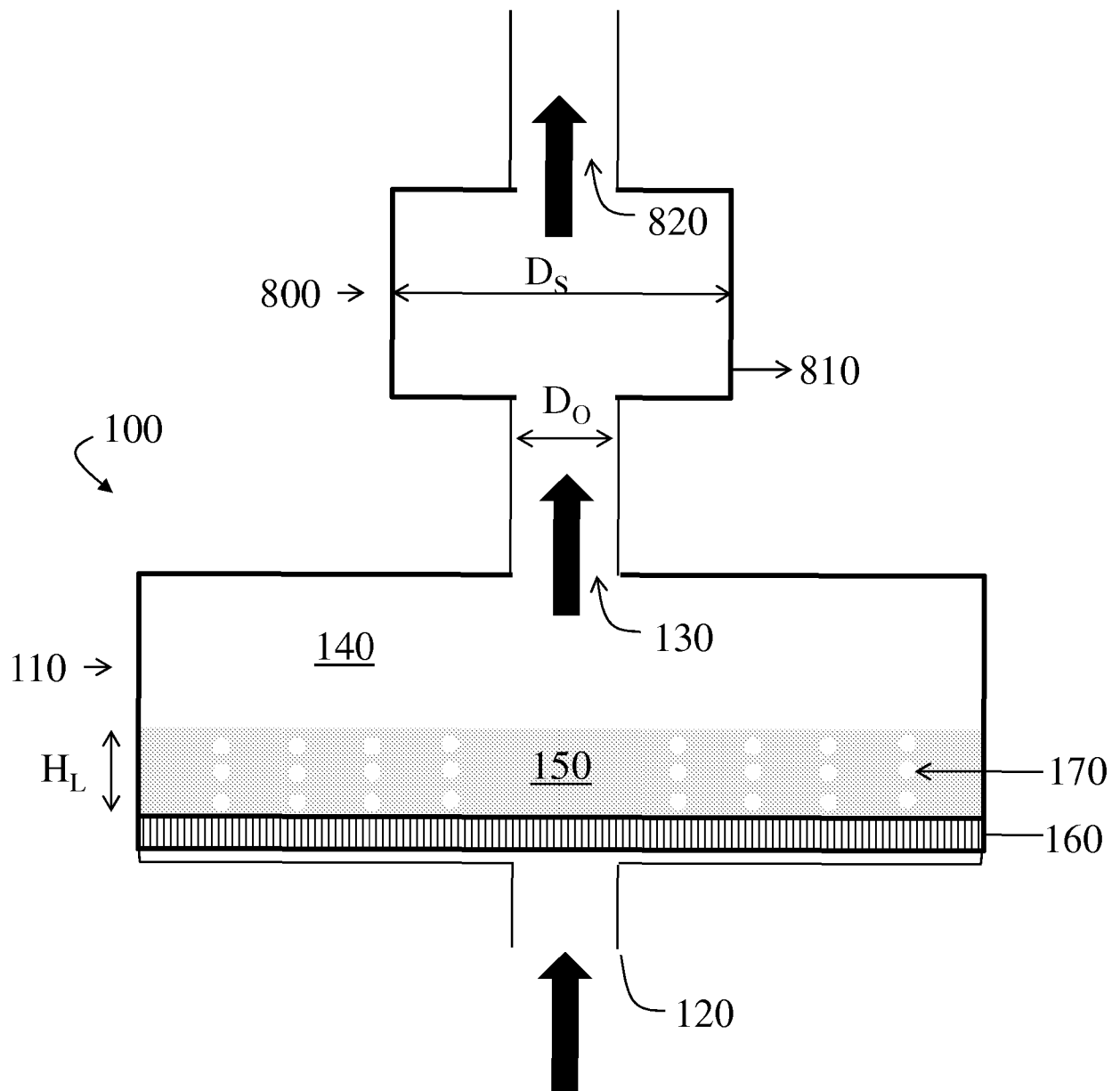


FIG. 8

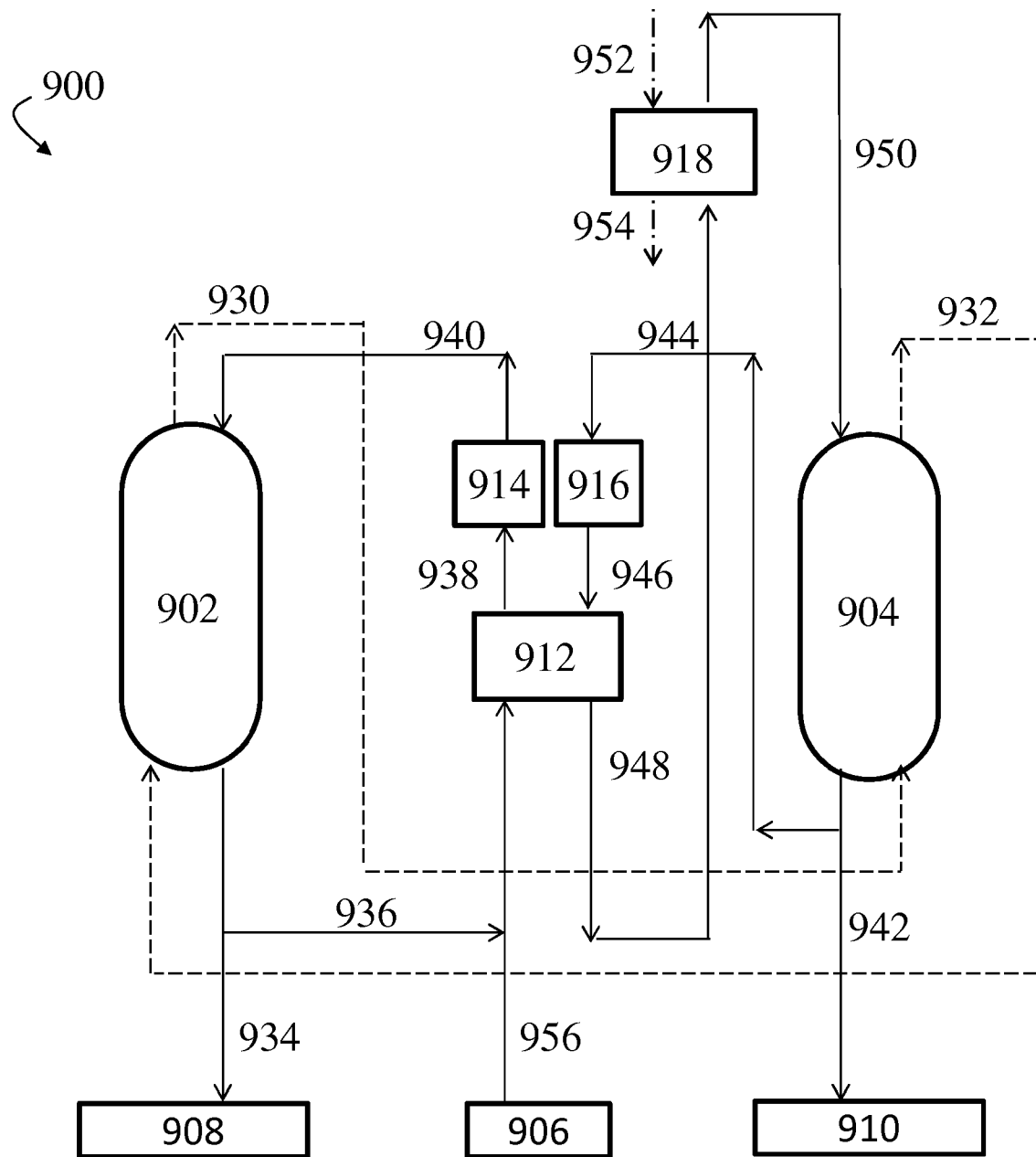


FIG. 9

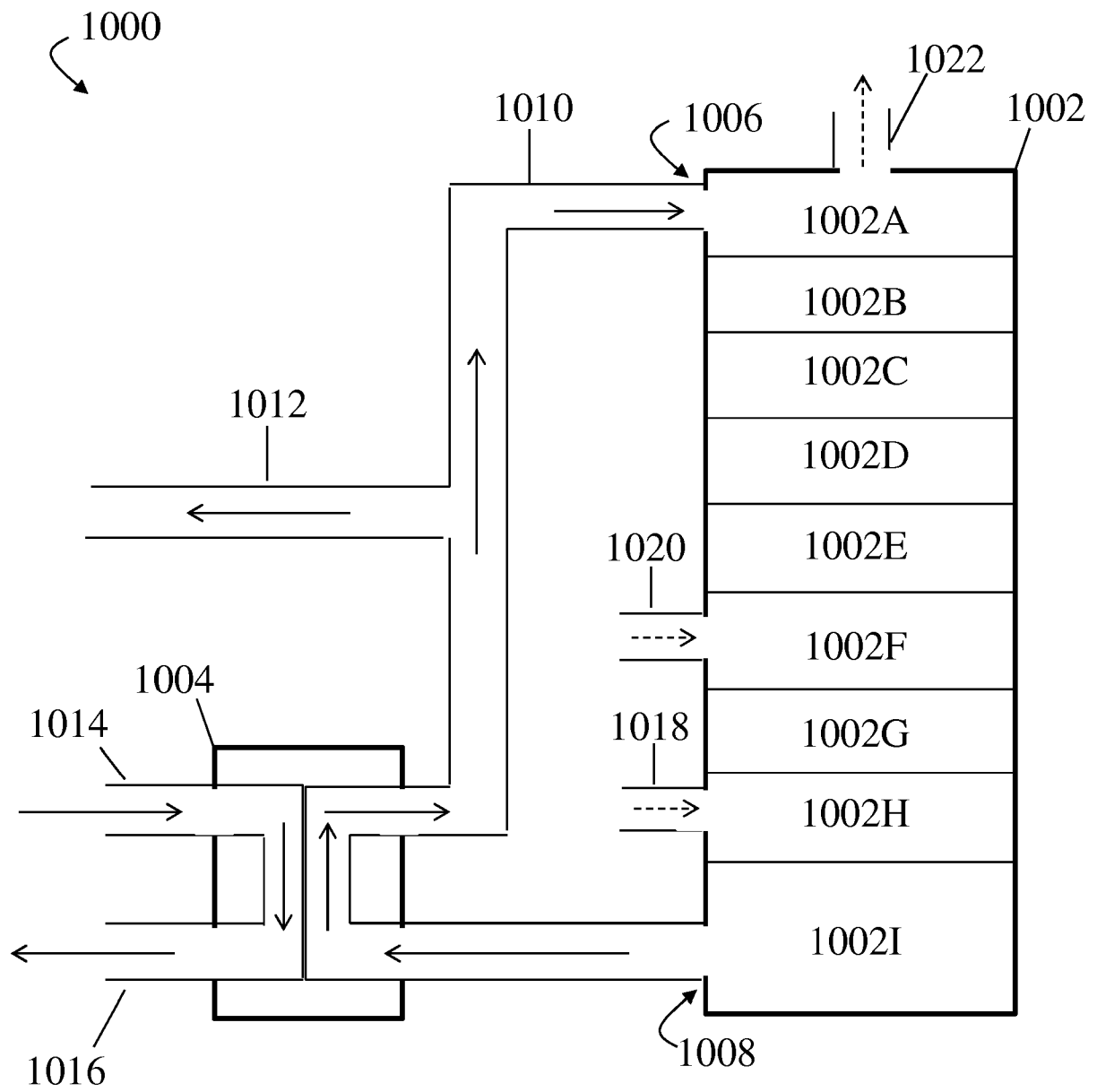


FIG. 10A

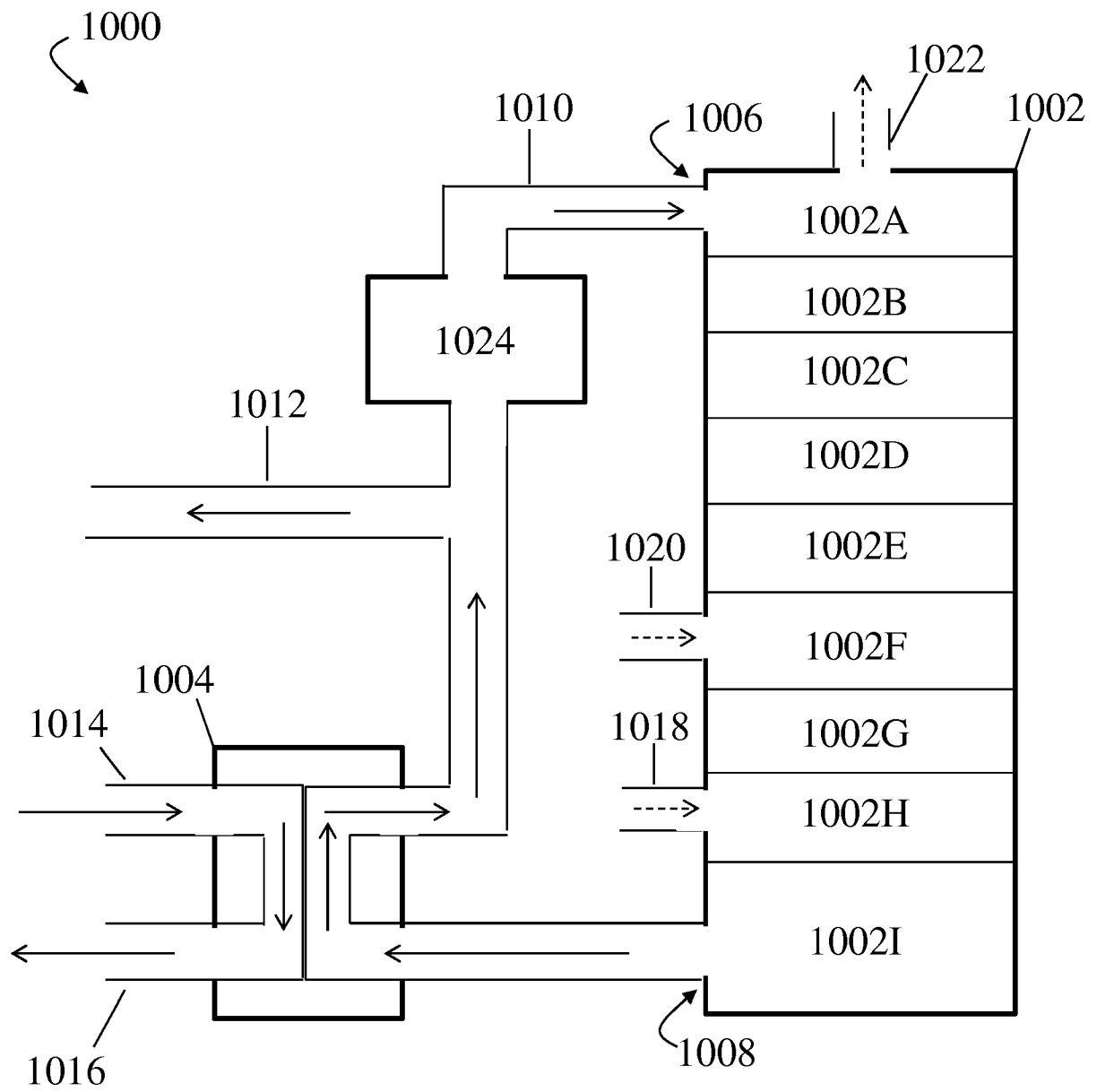


FIG. 10B

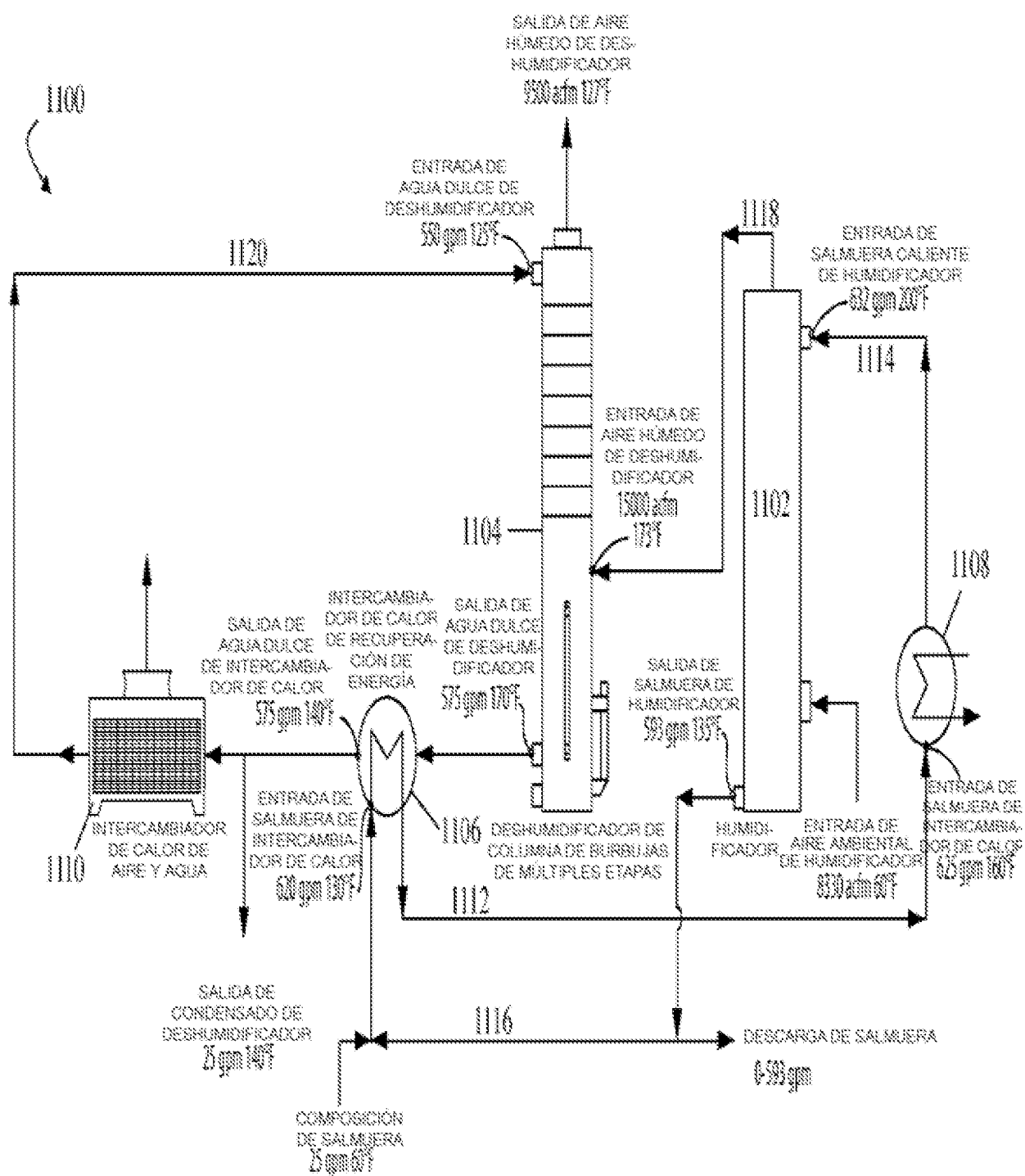


FIG. 11A

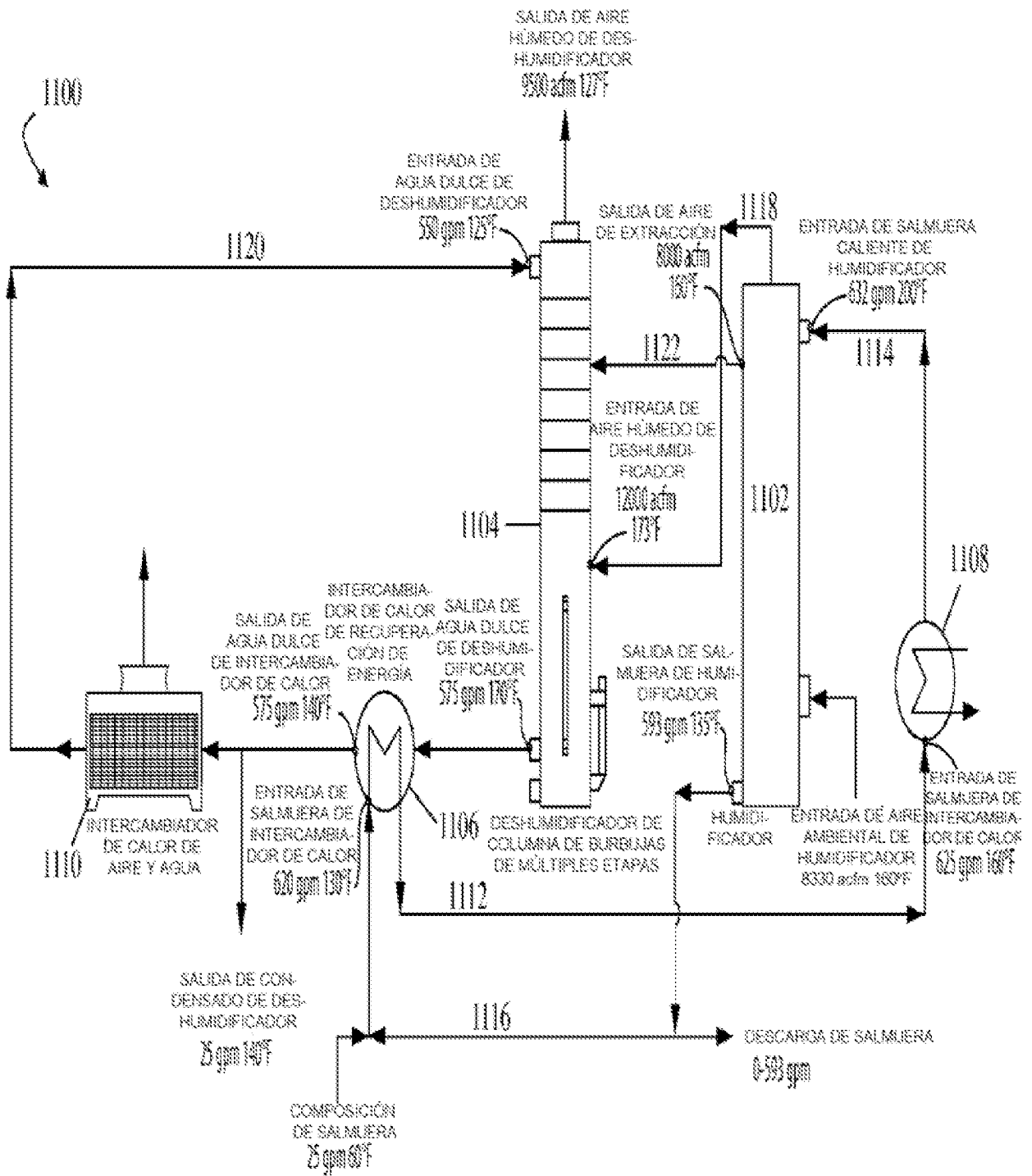


FIG. 11B

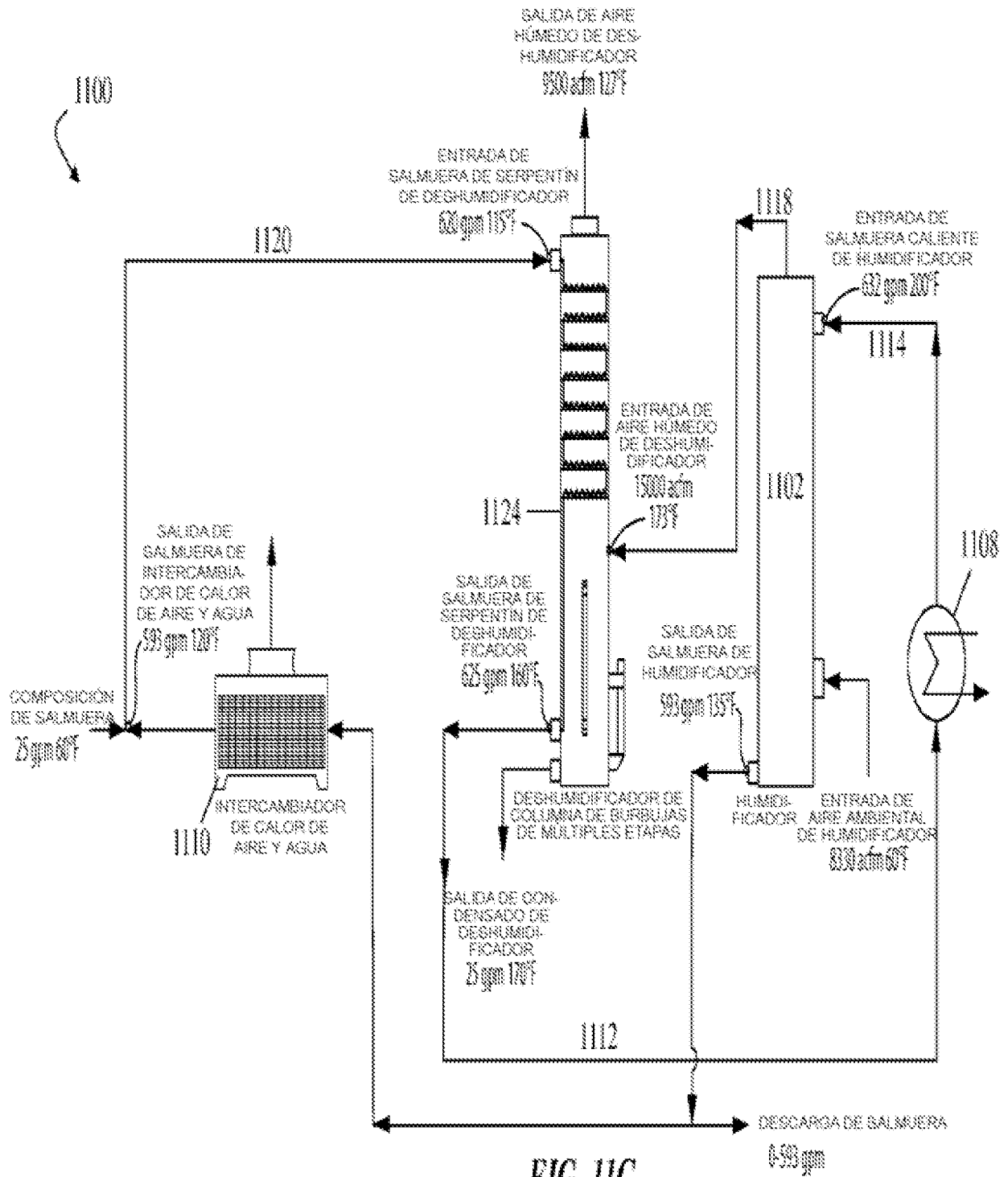
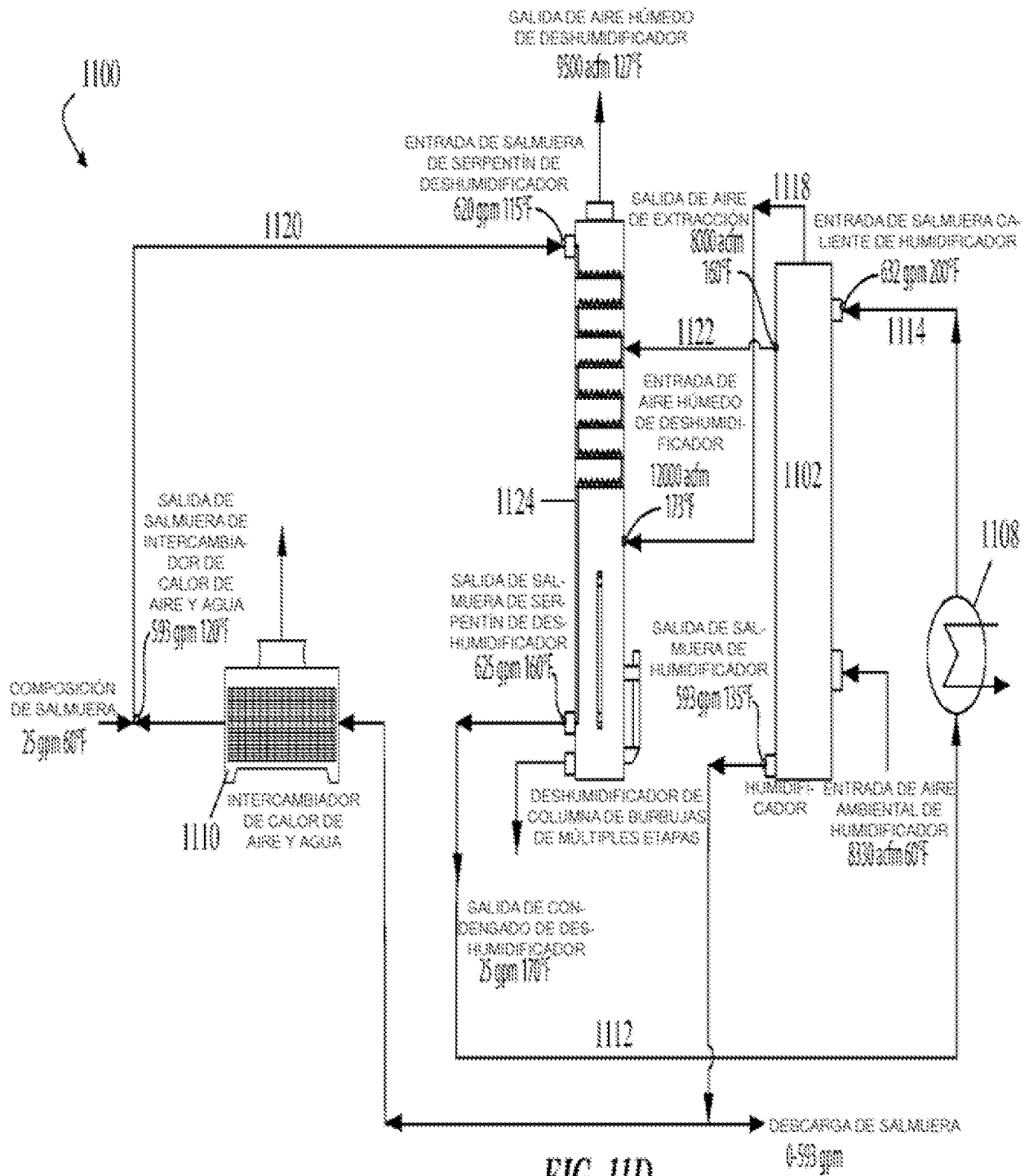


FIG. 11C



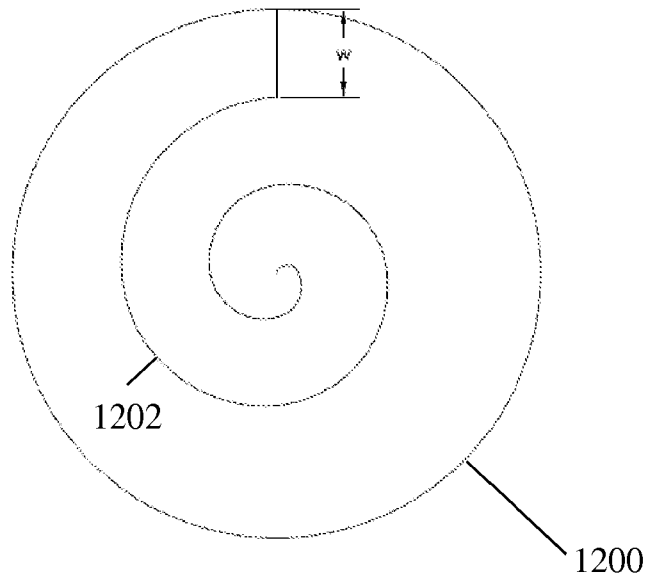


FIG. 12

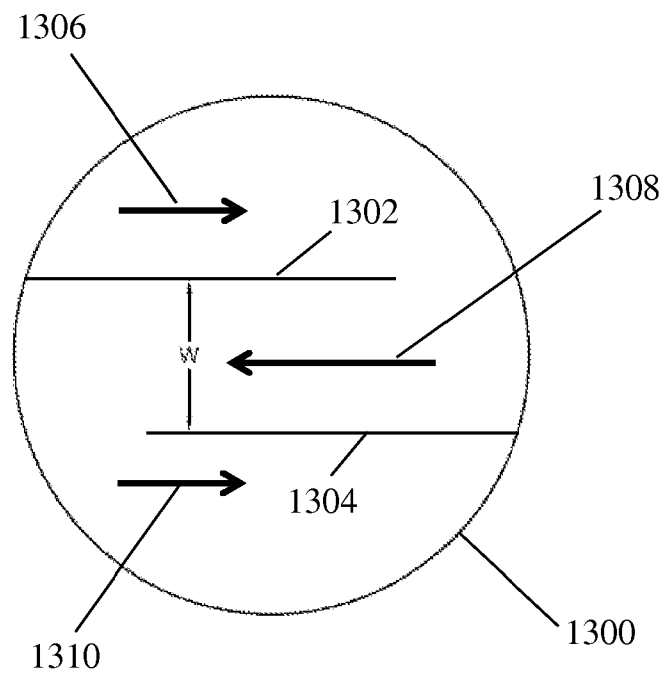


FIG. 13