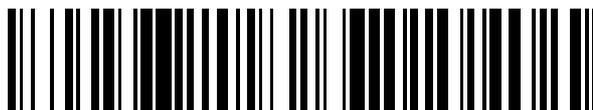


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 666 769**

51 Int. Cl.:

F24F 5/00 (2006.01)

B01D 53/26 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.11.2011 PCT/US2011/060479**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.05.2012 WO12065132**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.11.2011 E 11840687 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.03.2018 EP 2638332**

54 Título: **Sistema y método para la deshumidificación eficiente del aire y recuperación de líquido con enfriamiento por evaporación**

30 Prioridad:

12.11.2010 US 945735

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

07.05.2018

73 Titular/es:

**THE TEXAS A&M UNIVERSITY SYSTEM (100.0%)
3369 TAMU
College Station, TX 77843-3369, US**

72 Inventor/es:

**CLARIDGE, DAVID E.;
CULP, CHARLES H. y
HABERL, JEFFREY S.**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 666 769 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema y método para la deshumidificación eficiente del aire y recuperación de líquido con enfriamiento por evaporación

Antecedentes de la invención

- 5 Los sistemas de calentamiento, ventilación y aire acondicionado (HVAC) tienen frecuentemente sistemas de deshumidificación integrados en el aparato de enfriamiento para deshumidificar el aire que se acondiciona por tales sistemas. Cuando se requiere enfriamiento en ambientes cálidos a calientes, el aire que se enfría y se deshumidifica tendrá usualmente una razón de humedad superior a aproximadamente 0,00408 (0,009) (kilos (libras) de H₂O por kilos (libras) de aire seco). En estos ambientes, los sistemas HVAC usan tradicionalmente compresores refrigerantes para el enfriamiento razonable del aire y la retirada de energía latente (es decir, humedad). El aire es enfriado normalmente hasta aproximadamente 12,78°C (55°F), que condensa el H₂O del aire hasta que el aire esté saturado aproximadamente al 100% (es decir, humedad relativa de aproximadamente el 100%). La temperatura de 12,79°C (55°F) disminuye la razón de humedad hasta aproximadamente 0,00408 kilos (0,009 libras) de H₂O por kilo (libras) de aire seco, que es el punto de saturación de vapor de agua a 12,78°C (55°F), lo que da por resultado una humedad relativa de casi el 100%. Cuando este aire se calienta hasta aproximadamente 23,9°C (75°F), la razón de humedad sigue siendo aproximadamente la misma, y la humedad relativa desciende hasta aproximadamente el 50%. Este método tradicional de deshumidificación requiere que el aire se enfríe hasta aproximadamente 12,78°C (55°F), y pueda lograr usualmente un coeficiente de rendimiento (COP, *coefficient of performance*) de aproximadamente 3-5.
- 20 La patente US número 5681368 y la publicación de El-Dessouky *et al.* "A Novel Air Conditioning System", CHEMICAL ENGINEERING RESEARCH AND DESIGN, PART A, INSTITUTION OF CHEMICAL ENGINEERS, XX, vol. 78, n.º 7, 1 de octubre de 2000 (01-10-2000), páginas 999-1009, dan a conocer ambos un sistema y un método según el preámbulo de las reivindicaciones 1 y 6, respectivamente.

25 El documento JP S63 54920 A da a conocer la deshumidificación de aire en la que permea vapor de agua, succionado por una bomba de vacío, de aire que fluye en el lado de alta presión de una membrana hasta el lado de baja presión de la membrana y se condensa corriente abajo de la bomba de vacío. Se miden la humedad y la temperatura en el lado de alta presión y la presión en el lado de baja presión para controlar la presión de succión óptima de la bomba de vacío.

Sumario de la invención

- 30 Determinadas realizaciones correspondientes en alcance con la presente divulgación se resumen en lo siguiente. Estas realizaciones no pretenden limitar el alcance de la invención reivindicada, sino más bien estas realizaciones pretenden solamente proporcionar una breve descripción de formas posibles de la invención. De hecho, la invención puede incluir una variedad de formas que pueden ser similares a o diferentes de las realizaciones expuestas en lo siguiente.
- 35 Según la presente invención, se proporciona un sistema de deshumidificación y un método según las reivindicaciones independientes adjuntas. Cualquier explicación que se encuentre fuera del alcance de las reivindicaciones es sólo para información.

40 En una primera realización, se proporciona un sistema de deshumidificación para retirar vapor de agua de una corriente de aire. El sistema incluye unos canales primero y segundo separados por una membrana. La membrana está configurada para facilitar la retirada de vapor de agua de una corriente de aire que fluye a través del primer canal al facilitar el paso de H₂O del vapor de agua al segundo canal a través de volúmenes permeables de la membrana al tiempo que impiden sustancialmente que todos los demás componentes de la corriente de aire pasen a través de la membrana. El sistema también incluye una unidad de enfriamiento por evaporación configurada para enfriar la corriente de aire. El sistema incluye además un dispositivo de aumento de presión configurado para crear una menor presión parcial de vapor de agua dentro del segundo canal que en el primer canal, de tal manera que el H₂O se mueve a través de la membrana al segundo canal. El dispositivo de aumento de presión también está configurado para aumentar la presión de vapor de agua en una entrada del dispositivo de aumento de presión a una presión parcial de vapor de agua en un intervalo adecuado para la posterior condensación en agua líquida.

50 En un ejemplo comparativo, un sistema incluye una unidad de deshumidificación para retirar vapor de H₂O de una corriente de aire. La unidad de deshumidificación incluye un canal de aire configurado para recibir una corriente de aire de entrada y descargar una corriente de aire de salida. La unidad de deshumidificación también incluye un material permeable a H₂O adyacente al canal de aire. El material permeable a H₂O está configurado para permitir selectivamente que el H₂O del vapor de H₂O en la corriente de aire de entrada pase a través del material permeable a H₂O a un lado de succión del material permeable a H₂O e impedir sustancialmente que otros componentes en la corriente de aire de entrada pasen a través del material permeable a H₂O al lado de succión del material permeable a H₂O. El sistema también incluye una unidad de enfriamiento por evaporación configurada para enfriar la corriente de aire. El sistema incluye además un dispositivo de aumento de presión configurado para crear una menor presión parcial de vapor de H₂O del material permeable a H₂O que la presión parcial del vapor de H₂O en la corriente de aire

de entrada para dirigir el paso del H₂O del vapor de H₂O en la corriente de aire de entrada a través del material permeable a H₂O, y a aumentar la presión en una salida del dispositivo de aumento de presión a una presión parcial de vapor de H₂O adecuada para condensar el vapor de H₂O en el lado de succión en el H₂O líquida.

5 En un ejemplo comparativo, un método incluye recibir una corriente de aire que incluye vapor de H₂O en un canal de aire en una unidad de deshumidificación, en el que la corriente de aire tiene una primera presión parcial de vapor de H₂O. El método también incluye enfriar la corriente de aire a través de una unidad de enfriamiento por evaporación. El método incluye además succionar H₂O en un canal de vapor de H₂O de la unidad de deshumidificación a través de un material permeable a H₂O de la unidad de deshumidificación que usa un diferencial de presión a través del material permeable a H₂O. El canal de vapor de H₂O tiene una segunda presión parcial de vapor de H₂O menor que la primera presión parcial de vapor de H₂O de la corriente de aire. Además, el método incluye recibir vapor de H₂O del canal de vapor de H₂O en un dispositivo de aumento de presión y aumentar la presión del vapor de H₂O del dispositivo de aumento de presión a una tercera presión parcial de vapor de H₂O que es mayor que la segunda presión parcial de vapor de H₂O.

Breve descripción de las figuras

15 Estas y otras características, aspectos y ventajas de las realizaciones de la presente descripción se entenderán mejor cuando la siguiente descripción detallada se lea con referencia a los dibujos adjuntos en los que caracteres similares representan partes similares en todos los dibujos, en los que:

la figura 1 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC que tiene una unidad de deshumidificación y una o más unidades de enfriamiento por evaporación;

20 la figura 2A es una vista en perspectiva de la unidad de deshumidificación de la figura 1 que tiene múltiples canales de aire paralelos y canales de vapor de agua;

la figura 2B es una vista en perspectiva de la unidad de deshumidificación de figura 1 que tiene un solo canal de aire ubicado dentro de un solo canal de vapor de agua;

25 la figura 3 es una vista en planta de un canal de aire y canales de vapor de agua adyacentes de la unidad de deshumidificación de figuras 1, 2A y 2B;

la figura 4 es una vista en perspectiva de un módulo de separación formado usando una membrana que puede usarse como canal de vapor de agua de la unidad de deshumidificación de las figuras 1-3;

la figura 5 es una gráfica psicrométrica de la temperatura y la razón de humedad del aire húmedo que fluye a través de la unidad de deshumidificación de las figuras 1-3;

30 la figura 6 es un diagrama esquemático del sistema HVAC y la unidad de deshumidificación y una o más unidades de enfriamiento por evaporación de la figura 1 que tiene una bomba de vacío para retirar componentes no condensables del vapor de agua en la cámara de extracción de vapor de agua de la unidad de deshumidificación;

35 la figura 7 es un diagrama esquemático del sistema HVAC y la unidad de deshumidificación y una o más unidades de enfriamiento por evaporación de la figura 6 que tiene un sistema de control para controlar diversas condiciones de funcionamiento del sistema HVAC y la unidad de deshumidificación;

La figura 8 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC que tiene una unidad de enfriamiento por evaporación dispuesta corriente arriba de la unidad de deshumidificación;

40 la figura 9A es una gráfica psicrométrica de la temperatura y la razón de humedad del aire que fluye a través de una unidad de enfriamiento por evaporación directo y la unidad de deshumidificación de la figura 8;

la figura 9B es una gráfica psicrométrica de la temperatura y la razón de humedad del aire que fluye a través de una unidad de enfriamiento por evaporación indirecto y la unidad de deshumidificación de la figura 8;

45 la figura 10 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC que tiene la unidad de enfriamiento por evaporación dispuesta corriente abajo de la unidad de deshumidificación;

la figura 11A es una gráfica psicrométrica de la temperatura y la razón de humedad del aire que fluye a través de la unidad de deshumidificación y una unidad de enfriamiento por evaporación directo de la figura 10;

50 la figura 11B es una gráfica psicrométrica de la temperatura y la razón de humedad del aire que fluye a través de la unidad de deshumidificación y una unidad de enfriamiento por evaporación indirecto de la figura 10;

la figura 12A es una gráfica psicrométrica de la temperatura y la razón de humedad del aire que fluye a través de una pluralidad de unidades de deshumidificación y una pluralidad de unidades de enfriamiento por evaporación directo; y

5 la figura 12B es una gráfica psicrométrica de la temperatura y la razón de humedad del aire que fluye a través de una pluralidad de unidades de deshumidificación y una pluralidad de unidades de enfriamiento por evaporación indirecto.

Descripción detallada de realizaciones específicas

Se describirán en el presente documento realizaciones específicas de la presente descripción. En un esfuerzo por proporcionar una descripción concisa de estas realizaciones, todas las características de una implementación real no pueden describirse en la memoria descriptiva. Debe apreciarse que en el desarrollo de cualquier implementación real, como en cualquier proyecto de diseño o ingeniería, deben tomarse numerosas decisiones específicas de implementación para lograr los objetivos específicos de los desarrolladores, tales como cumplimiento con las limitaciones relacionadas con sistemas y relacionadas con negocios, que pueden variar de una implementación a otra. Por otra parte, debe apreciarse que tal esfuerzo de desarrollo podría ser complejo y llevar mucho tiempo, pero no obstante sería una tarea de rutina de diseño, fabricación y manufactura para los expertos habituales que tengan el beneficio de esta divulgación.

20 Cuando se introducen elementos de diversas realizaciones de la presente invención, los artículos “un”, “una”, “el”, “la” y “dicho” pretenden referirse a que existen uno o más de los elementos. Los términos “que comprende”, “que incluye” y “que tiene” pretenden ser inclusivos y significan que puede haber elementos adicionales diferentes a los elementos enumerados.

El contenido dado a conocer en el presente documento se refiere a sistemas de deshumidificación y, más específicamente a sistemas y métodos capaces de deshumidificar aire sin condensación inicial al establecer un gradiente de humedad en una unidad de deshumidificación. Un material permeable a vapor de agua (es decir, una membrana permeable a vapor de agua) se usa a lo largo de al menos un límite que separa un canal de aire de una cámara o un canal secundario para facilitar la retirada de vapor de agua del aire que pasa a través del canal de aire. La cámara o el canal secundario separado del canal de aire por el material permeable a vapor de agua puede recibir vapor de agua extraído del canal de aire a través del material permeable a vapor de agua.

La unidad de deshumidificación puede usarse junto con una o más unidades de enfriamiento por evaporación. Por ejemplo, una unidad de enfriamiento por evaporación puede estar dispuesta corriente arriba de la unidad de deshumidificación, con el aire expulsado de la unidad de enfriamiento por evaporación dirigido a una entrada de la unidad de deshumidificación. A la inversa, la unidad de deshumidificación puede estar dispuesta corriente arriba de la unidad de enfriamiento por evaporación, con el aire expulsado de la unidad de deshumidificación dirigida a una entrada de la unidad de enfriamiento por evaporación. De hecho, en otros sistemas, pueden usarse múltiples unidades de deshumidificación con múltiples unidades de enfriamiento por evaporación dispuestas entre las unidades de deshumidificación. El uso de múltiples unidades de deshumidificación y múltiples unidades de enfriamiento por evaporación permite una progresión en “dientes de sierra” en una gráfica psicrométrica de las condiciones iniciales de razón de temperatura y humedad del aire de entrada a condiciones finales deseadas de temperatura y razón de humedad del aire de salida. Dicho de otro modo, cada una de las unidades de deshumidificación deshumidifica satisfactoriamente el aire a una temperatura sustancialmente constante, mientras que cada una de las unidades de enfriamiento por evaporación enfría sucesivamente (y humidifica, en el caso de enfriamiento por evaporación directo) el aire hasta que se logren las condiciones finales deseadas de temperatura y razón de humedad.

En funcionamiento, el material permeable a vapor de agua permite el flujo de H₂O (que puede referirse a H₂O como moléculas de agua, vapor de agua gaseoso, agua líquida, moléculas de agua adsorbidas/desorbidas, moléculas de agua absorbidas/desorbidas, o combinaciones de los mismos) a través del material permeable a vapor de agua del canal de aire a la cámara o el canal secundario, mientras que bloquea sustancialmente el flujo de otros componentes del aire que fluye a través del canal de aire que pasa a través del material permeable a vapor de agua. Como tal, el material permeable a vapor de agua reduce la humedad del aire que fluye a través de canal de aire al retirar principalmente solo vapor de agua del aire. De manera correspondiente, la cámara o el canal secundario se llena principalmente con vapor de agua. Debe tenerse en cuenta que el paso de H₂O a través del material permeable a vapor de agua se puede facilitar por un diferencial de presión. De hecho, una presión parcial inferior de vapor de agua (es decir, una menor presión parcial que la presión parcial de vapor de agua en el canal de aire) se puede crear en la cámara o el canal secundario para facilitar adicionalmente el paso del H₂O a través del material permeable a vapor de agua. Por consiguiente, el lado del material permeable a vapor de agua opuesto al canal de aire puede denominarse el lado de succión del material permeable a vapor de agua.

Una vez que el H₂O se ha hecho pasar a través del material permeable a vapor de agua, se usa una bomba de vacío para aumentar la presión parcial de vapor de agua en el lado de succión del material permeable a vapor de agua a una presión de saturación mínima usada para permitir la condensación del vapor de agua por un condensador. Es decir, la bomba de vacío comprime el vapor de agua a una presión en un intervalo adecuado para condensar el

vapor de agua en agua líquida (por ejemplo, un intervalo de aproximadamente 0,11-0,5 kg (0,25-1,1 libras) por pulgada cuadrada absoluta (psia), aplicándose el valor más alto a sistemas que usan múltiples unidades de deshumidificación en serie), dependiendo de las condiciones deseadas para la condensación. En condensador entonces condensa el vapor de agua en un estado líquido, y el agua líquida resultante después se presuriza hasta aproximadamente presión atmosférica, de tal manera que el agua líquida se puede rechazar en condiciones atmosféricas ambientales. Al condensar el vapor de agua a un estado líquido antes de expulsarlo, se proporcionan determinadas eficiencias. Por ejemplo, la presurización de agua líquida hasta la presión atmosférica usa menos energía que la presurización de vapor de agua a presión atmosférica. También se debe tener en cuenta que la unidad de deshumidificación descrita en el presente documento usa en general significativamente menos energía que los sistemas convencionales.

Aunque los sistemas descritos en el presente documento se presentan principalmente para permitir la retirada de vapor de agua del aire, otros sistemas pueden permitir la retirada de otros componentes de H₂O del aire. Por ejemplo, en determinados sistemas, en lugar de un material permeable a vapor de agua, puede usarse un material permeable a H₂O. Como tal, el material permeable a H₂O puede permitir el flujo de uno, todos o cualquier combinación de componentes de H₂O (es decir, moléculas de agua, vapor de agua gaseoso, agua líquida, moléculas de agua adsorbidas/desorbidas, moléculas de agua absorbidas/desorbidas, etcétera) a través del material permeable a H₂O del canal de aire a la cámara o el canal secundario, mientras que bloquea sustancialmente el flujo de otros componentes del aire que fluye a través del canal de aire del paso a través del material permeable a H₂O. Dicho de otro modo, los sistemas dados a conocer no se limitan a la retirada de vapor de agua del aire, sino más bien a la retirada de H₂O (es decir, en cualquiera de sus estados) del aire. Sin embargo, por concisión, los sistemas descritos en el presente documento se centran principalmente en la retirada de vapor de agua del aire.

La figura 1 es un diagrama esquemático de un sistema 8 HVAC que tiene una unidad 10 de deshumidificación y una o más unidades 12 de enfriamiento por evaporación. Tal como se ilustra, en determinados sistemas, la unidad 10 de deshumidificación puede recibir aire 14A de entrada que tiene una humedad relativamente alta de una primera unidad 12 de enfriamiento por evaporación en un lado de entrada de la unidad 10 de deshumidificación. Además, en determinados sistemas, la unidad 10 de deshumidificación puede expulsar aire 14B de salida que tiene una humedad relativamente baja en una segunda unidad 12 de enfriamiento por evaporación dispuesta en un lado de salida de la unidad 10 de deshumidificación. Aspectos de las unidades 12 de enfriamiento por evaporación y su colocación en el sistema 8 HVAC se plantearán con detalle adicional en el presente documento. En particular, aunque la figura 1 muestra unidades 12 de enfriamiento por evaporación en el lado de entrada y el lado de salida de la unidad 10 de deshumidificación, en otros sistemas, el sistema 8 HVAC puede incluir solamente una unidad 12 de enfriamiento por evaporación corriente arriba de la unidad 10 de deshumidificación, o solo una unidad 12 de enfriamiento por evaporación corriente abajo de la unidad 10 de deshumidificación. Además, en disposiciones más complejas, pueden usarse múltiples unidades 10 de deshumidificación con múltiples unidades 12 de enfriamiento por evaporación.

La unidad 10 de deshumidificación puede incluir uno o más canales 16 de aire a través de los cuales el aire 14 (es decir, el aire 14A de entrada y el aire 14B de salida) fluye. Además, la unidad 10 de deshumidificación puede incluir uno o más canales 18 de vapor de agua adyacentes al uno o más canales 16 de aire. Tal como se ilustra en la figura 1, el aire 14 no fluye a través de los canales 18 de vapor de agua. Más bien, los sistemas descritos en el presente documento permiten el paso de vapor de agua del aire 14 en los canales 16 de aire a los canales 18 de vapor de agua, deshumidificando de esta manera el aire 14 y acumulando vapor de agua en los canales 18 de vapor de agua. En particular, el vapor de agua del aire 14 en los canales 16 de aire se puede dejar fluir a través de una interfase 20 (es decir, una barrera o membrana) entre canales 16 de aire y canales 18 de vapor de agua adyacentes, mientras que los otros componentes (por ejemplo, nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, etcétera) del aire 14 se les impide fluir a través de la interfase 20. En general, los canales 18 de vapor de agua se sellan para crear la baja presión que extrae el vapor de agua del aire 14 en los canales 16 de aire a través de las interfases 20 como H₂O (es decir, como moléculas de agua, vapor de agua gaseoso, agua líquida, moléculas de agua adsorbidas/desorbidas, moléculas de agua absorbidas/desorbidas, etcétera, a través de las interfases 20).

Como tal, se establece un gradiente de humedad entre los canales 16 de aire y los canales 18 de vapor de agua adyacentes. El gradiente de humedad se genera por un gradiente de presión entre los canales 16 de aire y los canales 18 de vapor de agua adyacentes. En particular, la presión parcial de vapor de agua en los canales 18 de vapor de agua se mantiene en un nivel menor que la presión parcial de vapor de agua en los canales 16 de aire, de tal manera que el vapor de agua en el aire 14 que fluye a través de los canales 16 de aire tiende a ir hacia el lado de succión (es decir, los canales 18 de vapor de agua que tienen una menor presión parcial de vapor de agua) de las interfases 20.

A los componentes del aire diferentes al H₂O se les puede impedir sustancialmente pasar a través de las interfases 20. Dicho de otro modo, en determinados sistemas, aproximadamente el 95% o más, aproximadamente el 96% o más, aproximadamente el 97% o más, aproximadamente el 98% o más, o aproximadamente el 99% o más de los componentes del aire 14 diferentes al H₂O (por ejemplo, nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, etcétera) se les puede impedir pasar a través de las interfases 20. Cuando se compara con una interfase 20 ideal que bloquea el 100% de los componentes diferentes al H₂O, una interfase 20 que bloquea el 99,5% de componentes diferentes al H₂O experimentará una reducción de la eficiencia de aproximadamente el 2-4%. Como tal, los componentes

diferentes al H₂O se pueden purgar periódicamente para minimizar estos efectos adversos sobre la eficiencia.

La figura 2A es una vista en perspectiva de la unidad 10 de deshumidificación de la figura 1 que tiene múltiples canales 16 de aire y canales 18 de vapor de agua paralelos. En el sistema ilustrado en la figura 2A, los canales 16 de aire y los canales 18 de vapor de agua son canales generalmente rectilíneos, que proporcionan una cantidad sustancial de área superficial de las interfases 20 entre los canales 16 de aire y los canales 18 de vapor de agua adyacentes. Además, los canales 16, 18 generalmente rectilíneos permiten que el vapor 26A de agua se retire a lo largo de la trayectoria de los canales 16 de aire antes de que el aire 14 salga de los canales 16 de aire. Dicho de otro modo, el aire 14A de entrada relativamente húmedo (por ejemplo, aire con un punto de condensación de 12,78°C (55°F) o mayor de tal manera que el aire es apropiado para acondicionamiento de aire) pasa directamente a través de los canales 16 de aire y sale como aire 14B de salida relativamente seco, debido a que se ha retirado la humedad conforme el aire 14 atraviesa a lo largo del lado de presión atmosférica de las interfases 20 (es decir, el lado de las interfases 20 en los canales 16 de aire). En un sistema en el que una sola unidad está deshumidificando a una presión de saturación de 15,56°C (60°F) o inferior, el lado de succión de las interfases 20 (es decir, el lado de las interfases 20 en los canales 18 de vapor de agua) se mantendrá generalmente en una presión parcial de vapor de agua que es menor que la presión parcial de vapor de agua en el lado de presión atmosférica de las interfases 20.

Tal como se ilustra en la figura 2A, cada uno de los canales 18 de vapor de agua se conectan con una salida 22 de canal de vapor de agua a través de la cual se retira el vapor de agua en los canales 18 de vapor de agua. Tal como se ilustra en la figura 2A, en determinados sistemas, las salidas 22 de canal de vapor de agua se pueden conectar a través de un colector 24 de salida de vapor de agua, en el que el vapor 26A de agua de todos los canales 18 de vapor de agua se combina en un solo volumen 28 de vacío de vapor de agua, tal como un tubo o una cámara. Otras configuraciones de los canales 16 de aire y los canales 18 de vapor de agua también se pueden implementar. Como otro ejemplo, la figura 2B es una vista en perspectiva de la unidad 10 de deshumidificación de la figura 1 que tiene un solo canal 16 de aire ubicado dentro de un solo canal 18 de vapor de agua. Tal como se ilustra, el canal 16 de aire puede ser un canal de aire cilíndrico ubicado dentro de un canal 18 de vapor de agua cilíndrico concéntrico más grande. Los sistemas ilustrados en la figuras 2A y 2B son simplemente a modo de ejemplo y no pretenden ser limitativos.

La figura 3 es una vista en planta de un canal 16 de aire y canales 18 de vapor de agua adyacentes de la unidad 10 de deshumidificación de las figuras 1, 2A y 2B. En la figura 3, se exagera una representación del vapor 26 de agua con propósitos de ilustración. En particular, el vapor 26 de agua del aire 14 se muestra fluyendo a través de las interfases 20 entre el canal 16 de aire y los canales 18 de vapor de agua adyacentes como H₂O (es decir, como moléculas de agua, vapor de agua gaseoso, agua líquida, moléculas de agua adsorbidas/desorbidas, moléculas de agua absorbidas/desorbidas, etcétera, a través de las interfases 20). A la inversa, otros componentes 30 (por ejemplo, nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, etcétera) del aire 14 se ilustran como que se les impide fluir a través de las interfases 20 entre el canal 16 de aire y los canales 18 de vapor de agua adyacentes.

En determinados sistemas, las interfases 20 pueden incluir membranas que son permeables a vapor de agua y permiten el flujo de H₂O a través de volúmenes permeables de las membranas mientras que bloquean el flujo de los otros componentes 30. De nuevo, se debe tener en cuenta que cuando el H₂O pasa a través de las interfases 20, puede pasar realmente como uno, todos, o cualquier combinación de estados de agua (por ejemplo, como vapor de agua, agua líquida, moléculas de agua adsorbidas/desorbidas, moléculas de agua absorbidas/desorbidas, etcétera) a través de las interfases 20. Por ejemplo, en un sistema, las interfases 20 pueden adsorber/desorber moléculas de agua. En otro ejemplo, las interfases 20 pueden adsorber/desorber moléculas de agua y permitir el paso de vapor de agua. En otros sistemas, las interfases 20 pueden facilitar el paso de agua en otras combinaciones de estados. Las interfases 20 se extienden a lo largo de la trayectoria de flujo del aire 14. Como tal, el vapor 26 de agua se retira continuamente de un lado de la interfase 20 conforme el aire 14A de entrada relativamente húmedo fluye a través del canal 16 de aire. Por tanto, la deshumidificación del aire 14 que fluye a través del canal 16 de aire se logra al separar el vapor 26 de agua de los otros componentes 30 del aire 14 de manera incremental conforme progresa a lo largo de la trayectoria de flujo del canal 16 de aire y hace contacto continuamente con las interfases 20 adyacentes al canal 16 de aire de la ubicación del aire 14A de entrada a la ubicación del aire 14B de salida.

En determinados sistemas, los canales 18 de vapor de agua se evacúan antes del uso de la unidad 10 de deshumidificación, de tal manera que se crea una menor presión parcial del vapor 26 de agua (es decir, una menor presión parcial que la presión parcial de vapor de agua en los canales 16 de aire) en los canales 18 de vapor de agua. Por ejemplo, la presión parcial del vapor 26 de agua en los canales 18 de vapor de agua pueden estar en el intervalo de aproximadamente 0,10-0,25 psia (689,5-1723,7 Pa) durante el funcionamiento normal que corresponde a la deshumidificación a una presión de saturación de 15,56°C (60°F) o inferior. En este ejemplo, puede usarse una condición inicial en el intervalo de 0,01 psia (69 Pa) para retirar componentes no condensables, mientras que la presión parcial de vapor de agua en los canales 16 de aire puede estar en el intervalo de aproximadamente 0,2-1,0 psia (1,379-6,895 Pa). Sin embargo, determinadas veces, el diferencial de presión entre la presión parcial de vapor de agua en los canales 18 de vapor de agua y los canales 16 de aire puede ser tan baja como (o menor que) aproximadamente 0,01 psia (69 Pa). La menor presión parcial de vapor de agua en los canales 18 de vapor de agua facilita adicionalmente el flujo de vapor 26 de agua de los canales 16 de aire a los canales 18 de vapor de agua, debido a que el aire 14 que fluye a través de los canales 16 de aire está a presión atmosférica local (es decir, de

aproximadamente 14,7 psia a nivel del mar). Puesto que la presión parcial de vapor de agua en el aire 14 en los canales 16 de aire es mayor que la presión parcial del vapor 26 de agua en los canales 18 de vapor de agua, se crea un gradiente de presión de los canales 16 de aire a los canales 18 de vapor de agua. Tal como se describió previamente, las interfases 20 entre los canales 16 de aire y los canales 18 de vapor de agua proporcionan una barrera, y permiten que sustancialmente solo el vapor 26 de agua fluya del aire 14 en los canales 16 de aire hacia los canales 18 de vapor de agua. Como tal, el aire 14 que fluye a través de los canales 16 de aire disminuirá generalmente en cuanto a humedad del aire 14A de entrada al aire 14B de salida.

El uso de membranas permeables a vapor de agua como las interfases 20 entre los canales 16 de aire y los canales 18 de vapor de agua tiene muchas ventajas. En particular, en algunos sistemas, no se usa energía adicional para generar el gradiente de humedad de los canales 16 de aire a los canales 18 de vapor de agua. Además, en algunos sistemas, no está implicada regeneración y no se generan emisiones ambientales (por ejemplo, sólidos, líquidos o gases). De hecho, la separación del vapor 26 de agua de los otros componentes 30 del aire 14 a través de las membranas permeables a agua (es decir, las interfases 20) se puede lograr a eficiencias energéticas mucho mayores que la tecnología de compresores usada para condensar agua directamente a partir de la corriente de aire.

Debido a que las membranas permeables a vapor de agua son altamente permeables a vapor de agua, los costes de funcionamiento de la unidad 10 de deshumidificación se pueden minimizar debido a que el aire 14 que fluye a través de los canales 16 de aire no tiene que presurizarse significativamente para facilitar el paso de H₂O a través de las interfases 20. Las membranas permeables a vapor de agua también son altamente selectivas a la permeación del vapor de agua del aire 14. Dicho de otro modo, las membranas permeables a vapor de agua son muy eficientes en evitar que los componentes 30 del aire 14 diferentes al vapor de agua entren en los canales 18 de vapor de agua. Esto es ventajoso debido a que el H₂O pasa a través de las interfases 20 debido a un gradiente de presión (es decir, debido a las menores presiones parciales de vapor de agua en los canales 18 de vapor de agua) y cualquier permeación o fuga de aire 14 en los canales 18 de vapor de agua aumentará el consumo de energía de la bomba de vacío usada para evacuar los canales 18 de vapor de agua. Además, las membranas permeables a vapor de agua son suficientemente robustas como para ser resistentes a la contaminación del aire, la degradación biológica y erosión mecánica de los canales 16 de aire y los canales 18 de vapor de agua. Las membranas permeables a vapor de agua también pueden ser resistentes a la adhesión y el crecimiento de bacterias en ambientes de aire húmedo, cálidos.

Un ejemplo de un material usado para las membranas permeables a vapor de agua (es decir, las interfases 20) es zeolita soportada sobre láminas de metal poroso, delgadas. En particular, en determinados sistemas, una película de membrana de zeolita densa, ultradelgada (por ejemplo, menor que aproximadamente 2 μm), se puede depositar sobre una lámina de metal porosa de aproximadamente 50 μm de grosor. Las láminas de membrana resultante se pueden empaquetar en un módulo de separación de membrana que va a usarse en la unidad 10 de deshumidificación. La figura 4 es una vista en perspectiva de un módulo 32 de separación formado usando una membrana que puede usarse como canal 18 de vapor de agua de la unidad 10 de deshumidificación de las figuras 1-3. Dos láminas 34, 36 de membrana se pueden plegar y unir conjuntamente en una forma generalmente rectangular con un canal para el vapor de agua que tiene una anchura w_{msm} de aproximadamente 5 mm. El módulo 32 de separación puede situarse dentro de la unidad 10 de deshumidificación de tal manera que la superficie de recubrimiento de membrana se expone al aire 14. La delgadez de la lámina de soporte de metal reduce el peso y coste de la materia prima de metal y también minimiza la resistencia al H₂O que se difunde a través de la película de membrana permeable a vapor de agua depositada sobre las láminas 34, 36 de membrana. El carácter metálico de las láminas 34, 36 proporciona resistencia y flexibilidad mecánicas para el empaquetamiento de tal manera que el módulo 32 de separación puede soportar un gradiente de presión mayor que aproximadamente 60 psi (4,2 kg/cm²) (es decir, aproximadamente 4 veces la presión atmosférica).

La separación del vapor de agua de los otros componentes 30 del aire 14 puede crear un flujo de permeación de vapor de agua de aproximadamente 1,0 kg/m²/h (por ejemplo, en un intervalo de aproximadamente 0,5-2,0 kg/m²/h), y un intervalo de selectividad de vapor de agua a aire de aproximadamente 5-200+. Como tal, la eficiencia de la unidad 12 de deshumidificación es relativamente alta en comparación con otras técnicas de deshumidificación convencionales con un coste de producción relativamente bajo. Como ejemplo, aproximadamente 7-10 m² del área de membrana de las interfases 20 puede usarse para deshumidificar 1 tonelada de carga de enfriamiento de aire en condiciones ambientales. Con el fin de manejar tal carga de enfriamiento de aire, en determinados sistemas, pueden usarse 17-20 módulos 32 de separación que tienen una altura h_{msm} de aproximadamente 450 mm, una longitud l_{msm} de aproximadamente 450 mm y una anchura w_{msm} de aproximadamente 5 mm. Estos módulos 32 de separación se pueden ensamblar unos al lado de otros en la unidad 10 de deshumidificación, dejando aproximadamente espacios de 2 mm entre los módulos 32 de separación. Estos espacios definen los canales 16 de aire a través de los cuales el aire 14 fluye. Las mediciones descritas en este ejemplo son simplemente a modo de ejemplo y no pretenden ser limitativas.

La figura 5 es una gráfica 38 psicrométrica de la temperatura y la razón de humedad del aire 14 húmedo que fluye a través de la unidad 12 de deshumidificación de las figuras 1-3. En particular, el eje 40 x de la gráfica 38 psicrométrica corresponde a la temperatura del aire 14 que fluye a través de los canales 16 de aire de la figura 1, el eje 42 y de la gráfica 38 psicrométrica corresponde a la razón de humedad del aire 14 que fluye a través de los canales 16 de aire, y la curva 44 representa la curva de saturación de vapor de agua del aire 14 que fluye a través

de los canales 16 de aire. Tal como se ilustra mediante la línea 46, debido a que se retira vapor de agua del aire 14 que fluye a través de los canales 16 de aire, la razón de humedad del aire 14B de salida (es decir, el punto 48) de la unidad 12 de deshumidificación de las figuras 1-3 es menor que la razón de humedad del aire 14A de entrada (es decir, el punto 50) en la unidad 12 de deshumidificación de las figuras 1-3, mientras que la temperatura del aire 14B de salida y el aire 14A de entrada es sustancialmente la misma.

Volviendo ahora a la figura 1, tal como se describió previamente, se crea una menor presión parcial del vapor 26 de agua (es decir, una menor presión parcial que la presión parcial de vapor de agua en los canales 16 de aire) en los canales 18 de vapor de agua de la unidad 10 de deshumidificación para facilitar adicionalmente el paso de H₂O a través de las interfases 20 de los canales 16 de aire a los canales 18 de vapor de agua. En determinados sistemas, los canales 18 de vapor de agua se pueden evacuar inicialmente usando una bomba 52 de vacío. En particular, la bomba 52 de vacío puede evacuar los canales 18 de vapor de agua y el volumen 28 de vacío de vapor de agua, así como las salidas 22 de vapor de agua y el colector 24 de vapor de agua de la figura 2A. Sin embargo, en otros sistemas, una bomba separada de la bomba 52 de vacío puede usarse para evacuar los canales 18 de vapor de agua, el volumen 28 de vacío de vapor de agua, las salidas 22 de vapor de agua y el colector 24 de vapor de agua. Tal como se ilustra en la figura 1, el vapor 26 de agua retirado del aire 14 en la unidad 10 de deshumidificación se puede distinguir entre el vapor 26A de agua en el volumen 28 de vacío de vapor de agua (es decir, el lado de succión de la bomba 52 de vacío) y el vapor 26B de agua expulsado en un lado de escape (es decir, una salida) de la bomba 52 de vacío (es decir, el vapor 26B de agua suministrado a una unidad de condensación). En general, el vapor 26B de agua expulsado de la bomba 52 de vacío tendrá una presión ligeramente mayor y una temperatura mayor que el vapor 26A de agua en el volumen 28 de vacío de vapor de agua. La bomba 52 de vacío puede ser un compresor o cualquier otro dispositivo de aumento de presión adecuado capaz de mantener una presión inferior en el lado de succión de la bomba 52 de vacío que la presión parcial de vapor de agua en el aire 14 húmedo.

Por ejemplo, la menor presión parcial del vapor 26A de agua mantenida en el volumen 28 de vacío de vapor de agua puede estar en el intervalo de aproximadamente 0,15-0,25 psia, que corresponde a temperaturas de saturación de aproximadamente 7,22°C a 15,56°C (de 45°F a 60°F), con el vapor 26A de agua normalmente en el intervalo de aproximadamente 18,33-23,89°C (65-75°F). Sin embargo, en otros sistemas, el vapor 26A de agua en el volumen 28 de vacío de vapor de agua se puede mantener en una presión parcial en el vapor de agua en el intervalo de aproximadamente 0,01-0,25 psia y una temperatura en el intervalo de aproximadamente 12,78°C (55°F) hasta la temperatura de aire ambiental mayor. Se puede diseñar un sistema específico para reducir la presión parcial en el volumen 28 de vacío de vapor de agua al intervalo de 0,01 psia (69 Pa) para aumentar la capacidad para retirar vapor de agua del aire 14 para permitir que un enfriador por evaporación procese la carga de acondicionamiento de aire completa cuando las condiciones atmosféricas permitan este modo de funcionamiento.

En determinados sistemas, la bomba 52 de vacío es una bomba de baja presión configurada para disminuir la presión del vapor 26A de agua en el volumen 28 de vacío de vapor de agua a una menor presión parcial que la presión parcial de vapor de agua en el lado atmosférico de las interfases 20 (es decir, la presión parcial del aire 14 en los canales 16 de aire). En el lado de escape de la bomba 52 de vacío, la presión parcial del vapor 26B de agua se ha aumentado solo lo suficientemente alta como para facilitar la condensación del vapor de agua (es decir, en una unidad 54 de condensación). De hecho, la bomba 52 de vacío está configurada para aumentar la presión de tal manera que el vapor 26B de agua en la unidad 54 de condensación está en una presión próxima a una presión de saturación mínima en la unidad 54 de condensación.

Como ejemplo, cuando está en funcionamiento, el aire 14 puede entrar al sistema a una presión parcial de vapor de agua de 0,32 psia (2,206 Pa), que corresponde a una razón de humedad de aproximadamente 0,01 kg (0,014 libras) de H₂O por kilos (libras) de aire seco. El sistema se puede ajustar para retirar aproximadamente 0,00226 kg (0,005 libras) de H₂O por kilos (libras) de aire seco del aire 14. Pueden usarse diferenciales de presión a través de las interfases 20 para crear un flujo de H₂O a través de las interfases 20. Por ejemplo, la presión parcial de vapor de agua en el volumen 28 de vacío de vapor de agua se puede ajustar a aproximadamente 0,1 psia (689,5 Pa). La presión del vapor 26B de agua se aumenta por la bomba 52 de vacío en un procedimiento principalmente adiabático, y conforme la presión del vapor 26B de agua aumenta, la temperatura aumenta también (en contraste con el diferencial de temperatura relativamente insignificante a través de las interfases 20). Como tal, si por ejemplo la presión del vapor 26B de agua se aumenta en la bomba 52 de vacío en aproximadamente 0,3 psi (es decir, hasta aproximadamente 0,4 psia (2.758 Pa)), la unidad 54 de condensación entonces es capaz de condensar el vapor 26B de agua a una temperatura de aproximadamente 22,22-22,78°C (72-73°F), y la temperatura del vapor 26B de agua aumentará hasta una temperatura sustancialmente mayor que la temperatura del condensador. El sistema puede supervisar continuamente las condiciones de presión y temperatura tanto del vapor 26A de agua corriente arriba como del vapor 26B de agua corriente abajo para garantizar que el vapor 26B de agua expulsado de la bomba 52 de vacío tenga una presión parcial de vapor de agua lo bastante alta como para facilitar la condensación en la unidad 54 de condensación. Se debe tener en cuenta que los valores de presión y temperatura presentados en este escenario son simplemente a modo de ejemplo y no pretenden ser limitativos.

Se debe tener en cuenta que conforme aumenta la diferencia de presión del vapor 26A de agua que entra en la bomba 52 de vacío con respecto al vapor 26B de agua que sale de la bomba 52 de vacío, disminuye la eficiencia de la unidad 10 de deshumidificación. Por ejemplo, la bomba 52 de vacío se puede establecer para ajustar la presión del vapor 26B de agua en la unidad 54 de condensación ligeramente por encima de la presión de saturación a la

temperatura ambiental más baja del medio de enfriamiento (es decir, aire o agua) usado por la unidad 54 de condensación para condensar el vapor 26B de agua. En otro sistema, la temperatura del vapor 26B de agua puede usarse para controlar la presión en la unidad 54 de condensación. La temperatura del vapor 26B de agua expulsado de la bomba 52 de vacío puede ser sustancialmente más caliente que el aire 14A húmedo (por ejemplo, esta temperatura podría alcanzar aproximadamente 93,33°C (200°F) o superior dependiendo de una variedad de factores). Debido a que la bomba 52 de vacío solo puede aumentar la presión del vapor 26B de agua en un punto donde se facilita la condensación del vapor 26B de agua (es decir, aproximadamente la presión de saturación), los requisitos de energía de la bomba 52 de vacío son relativamente pequeños, obteniéndose de ese modo una alta eficiencia de la unidad 10 de deshumidificación.

Una vez que el vapor 26B de agua se ha presurizado ligeramente (es decir, comprimido) por la bomba 52 de vacío, el vapor 26B de agua se dirige a la unidad 54 de condensación, en el que el vapor 26B de agua se condensa en un estado líquido. En determinados sistemas, la unidad 54 de condensación puede incluir un serpentín 56 de condensación, un condensador de tubo, un condensador de placa plana, o cualquier otro sistema adecuado para lograr una temperatura por debajo del punto de condensación del vapor 26B de agua. La unidad 54 de condensación puede o bien enfriarse con aire o bien enfriarse con agua. Por ejemplo, en determinados sistemas, la unidad 54 de condensación se puede enfriar por aire ambiental o agua de una torre de enfriamiento. Como tal, los costes de funcionamiento de la unidad 54 de condensación pueden ser relativamente bajos, en la medida en que tanto el aire ambiental como el agua de la torre de enfriamiento presentan un suministro relativamente ilimitado.

Una vez que el vapor 26B de agua se ha condensado en un estado líquido, en determinados sistemas, el agua líquida de la unidad 54 de condensación se puede dirigir a un depósito 58 para almacenamiento temporal de vapor y agua líquida saturados. Sin embargo, en otros sistemas, no puede usarse el depósito 58. En cualquier caso, el agua líquida de la unidad 54 de condensación se puede dirigir a una bomba 60 de líquido (es decir, un dispositivo de transporte de agua), dentro de la que la presión del agua líquida de la unidad 54 de condensación se aumenta hasta aproximadamente la presión atmosférica (es decir, aproximadamente 14,7 psia) de modo que el agua líquida se puede rechazar en condiciones ambientales. Como tal, la bomba 60 de líquido se puede dimensionar justo lo bastante grande como para aumentar la presión del agua líquida de la unidad 54 de condensación hasta aproximadamente la presión atmosférica. Por tanto, los costes de funcionamiento de la bomba 60 de líquido pueden ser relativamente bajos. Además, el agua líquida de la bomba 60 de líquido puede estar a una temperatura ligeramente elevada debido al aumento de la presión del agua líquida. Como tal, en determinados sistemas, el agua líquida calentada se puede transportar para su uso como agua caliente doméstica, aumentando además la eficiencia del sistema al recapturar el calor transferido al agua líquida.

Aunque las interfases 20 entre los canales 16 de aire y los canales 18 de vapor de agua tal como se describieron previamente permiten en general que pase solo el H₂O de los canales 16 de aire a los canales 18 de vapor de agua, en determinados sistemas, cantidades muy mínimas (por ejemplo, menores del 1% del oxígeno (O₂), nitrógeno (N₂) u otros componentes no condensables) de los otros componentes 30 del aire 14 se puede dejar pasar a través de las interfases 20 de los canales 16 de aire a los canales 18 de vapor de agua. A través del tiempo, la cantidad de los otros componentes 30 puede acumularse en los canales 18 de vapor de agua (así como en el volumen 28 de vacío de vapor de agua, las salidas 22 de vapor de agua y el colector 24 de vapor de agua de la figura 2A). En general, estos otros componentes 30 no son condensables en los intervalos de temperatura del condensador usados en la unidad 54 de condensación. Como tal, los componentes 30 pueden afectar adversamente al rendimiento de la bomba 52 de vacío y todos los demás equipos corriente abajo de la bomba 52 de vacío (en particular, la unidad 54 de condensación).

Por consiguiente, en determinados sistemas, puede usarse una segunda bomba de vacío para purgar periódicamente los otros componentes 30 del volumen 28 de vacío de vapor de agua. La figura 6 es un diagrama esquemático del sistema 8 HVAC y la unidad 10 de deshumidificación y las una o más unidades 12 de enfriamiento por evaporación de la figura 1 que tiene una bomba 62 de vacío para retirar componentes 30 no condensables del vapor 26A de agua en el volumen 28 de vacío de vapor de agua de la unidad 10 de deshumidificación. La bomba 62 de vacío puede, en determinados sistemas, ser la misma bomba usada para evacuar el volumen 28 de vacío de vapor de agua (así como los canales 18 de vapor de agua, las salidas 22 de vapor de agua y el colector 24 de vapor de agua) para crear la menor presión parcial de vapor de agua descrita previamente que facilita el paso del H₂O a través de las interfases 20 de los canales 16 de aire a los canales 18 de vapor de agua. Sin embargo, en otros sistemas, la bomba 62 de vacío puede ser diferente de la bomba usada para evacuar el volumen 28 de vacío de vapor de agua para crear la menor presión parcial de vapor de agua.

La unidad 10 de deshumidificación descrita en el presente documento también se puede controlar entre diversos estados de funcionamiento, y se puede modular basándose en las condiciones de funcionamiento de la unidad 10 de deshumidificación. Por ejemplo, la figura 7 es un diagrama esquemático del sistema 8 HVAC y la unidad 10 de deshumidificación y las una o más unidades 12 de enfriamiento por evaporación de la figura 6 que tiene un sistema 64 de control para controlar diversas condiciones de funcionamiento del sistema 8 HVAC y la unidad 10 de deshumidificación y las una o más unidades 12 de enfriamiento por evaporación. El sistema 64 de control puede incluir uno o más procesadores 66, por ejemplo, uno o más microprocesadores "de uso general", uno o más microprocesadores de uso especial y/o ASICS (circuitos integrados específicos de aplicación), o alguna combinación de tales componentes de procesamiento. Los procesadores 66 pueden usar dispositivos 68 de entrada/salida (I/O)

para, por ejemplo, recibir señales de y emitir señales de control a los componentes de la unidad 10 de deshumidificación (es decir, las bombas 52, 62 de vacío, la unidad 54 de condensación, el depósito 58, la bomba 60 de líquido, otros equipos tales como un ventilador que sopla el aire 14A de entrada a través de la unidad 10 de deshumidificación, sensores configurados para generar señales relacionadas con las características del aire 14A, 14B de entrada y salida, etcétera) y la una o más unidades 12 de enfriamiento por evaporación. Los procesadores 66 pueden tomar estas señales como entradas y calcular cómo controlar la funcionalidad de estos componentes de la unidad 10 de deshumidificación y las una o más unidades 12 de enfriamiento por evaporación para enfriar el aire 14 de la forma más eficaz y al mismo tiempo también retirar el vapor 26 de agua del aire 14 que fluye a través de la unidad 10 de deshumidificación. El sistema 64 de control también puede incluir un medio legible por ordenador no transitorio (es decir, una memoria 70) que, por ejemplo, pueda almacenar instrucciones o datos que van a procesarse por el uno o más procesadores 66 del sistema 64 de control.

Por ejemplo, el sistema 64 de control puede estar configurado para controlar la tasa de retirada de los componentes 30 no condensables del vapor 26A de agua del volumen 28 de vacío de vapor de agua de la unidad 10 de deshumidificación al encender o apagar la bomba 62 de vacío, o al modular la tasa a la que la bomba 62 de vacío retira los componentes 30 no condensables del vapor 26A de agua. De manera más específica, en determinados sistemas, el sistema 64 de control puede recibir señales de un sensor en el volumen 28 de vacío de vapor de agua que detecta cuándo están presentes demasiados componentes 30 no condensables en el vapor 26A de agua contenido en el volumen 28 de vacío de vapor de agua. Este procedimiento de retirada de componentes no condensables funcionará de manera cíclica. En funcionamiento "normal" para retirar el vapor 26 de agua del aire 14, la bomba 62 de vacío puede no estar en funcionamiento. Conforme los componentes 30 no condensables se acumulan en el volumen 28 de vacío de vapor de agua, la presión interna en el volumen 28 de vacío de vapor de agua alcanza eventualmente un valor de consigna. En este punto en el tiempo, la bomba 62 de vacío se encenderá y retirará todos los componentes (es decir, tanto los componente 30 no condensables así como el H₂O, incluyendo el vapor de agua) hasta que la presión interna en el volumen 28 de vacío de vapor de agua alcance otro valor de consigna (por ejemplo, menor que la presión de vacío inicial). Entonces la bomba 62 de vacío se apaga y la unidad 10 de deshumidificación vuelve al modo de funcionamiento normal. Los valores de consigna pueden o bien preajustarse o bien determinarse dinámicamente. Un método será tener la bomba 62 de vacío solo en funcionamiento de manera intermitente en el modo de purga.

Otro ejemplo del tipo de control que puede lograrse mediante el sistema 64 de control es modular la menor presión parcial de vapor 26A de agua en el volumen 28 de vacío de vapor de agua (así como los canales 18 de vapor de agua, las salidas 22 de vapor de agua y el colector 24 de vapor de agua) para modificar la razón de capacidad y eficiencia de retirada de vapor de agua de la unidad 10 de deshumidificación. Por ejemplo, el sistema 64 de control puede recibir señales de los sensores de presión en el volumen 28 de vacío de vapor de agua, los canales 18 de vapor de agua, las salidas 22 de vapor de agua y/o el colector 24 de vapor de agua, así como señales generadas por sensores que se relacionan con características (por ejemplo, temperatura, presión, velocidad de flujo, humedad relativa, etcétera) del aire 14A, 14B de entrada y salida, entre otras cosas. El sistema 64 de control puede usar esta información para determinar cómo modular la menor presión parcial de vapor 26A de agua (por ejemplo, con respecto a la presión parcial de vapor de agua en el aire 14 que fluye a través de los canales 16 de aire) para aumentar o disminuir la tasa de retirada del vapor 26 de agua de los canales 16 de aire a los canales 18 de vapor de agua a través de las interfases 20.

Por ejemplo, si se desea más retirada de vapor de agua, la menor presión parcial del vapor 26A de agua en el volumen 28 de vacío de vapor de agua se puede reducir y, a la inversa, si se desea menos retirada de vapor de agua, la menor presión parcial del vapor 26A de agua en el volumen 28 de vacío de vapor de agua se puede aumentar. Además, en determinados sistemas, la cantidad de deshumidificación (es decir, retirada de vapor de agua) se puede ciclar para mejorar la eficiencia de la unidad 10 de deshumidificación. De manera más específica, en determinadas condiciones de funcionamiento, la unidad 10 de deshumidificación puede funcionar más eficientemente a mayores tasas de retirada de vapor de agua. Como tal, en determinados sistemas, la unidad 10 de deshumidificación se puede ciclar para retirar una cantidad máxima de vapor de agua del aire 14 durante un tiempo, luego no retirar relativamente vapor de agua aire 14 durante un tiempo, después retirar una cantidad máxima de vapor de agua aire 14 durante un tiempo, etcétera. Dicho de otro modo, la unidad 10 de deshumidificación puede hacerse funcionar a plena capacidad de retirada de vapor de agua durante periodos de tiempo que se alternan con otros periodos de tiempo en los que no se retira vapor de agua. Además, el sistema 64 de control puede estar configurado para controlar la secuenciación de encendido y apagado de la unidad 10 de deshumidificación.

La unidad 10 de deshumidificación y las unidades 12 de enfriamiento por evaporación se pueden diseñar y hacer funcionar en muchos modos diversos y en condiciones de funcionamiento variables. En general, la unidad 10 de deshumidificación se hará funcionar con el volumen 28 de vacío de vapor de agua (así como los canales 18 de vapor de agua, las salidas 22 de vapor de agua y el colector 24 de vapor de agua) en una presión parcial de vapor de agua inferior a la presión parcial de vapor de agua del aire 14 que fluye a través de los canales 16 de aire. En determinados sistemas, la unidad 10 de deshumidificación y las unidades 12 de enfriamiento por evaporación se pueden optimizar para el uso del sistema de aire exterior dedicado (DOAS), en el que el aire 14 puede tener una temperatura en el intervalo de aproximadamente 12,78-37,78°C (55-100°F) y una humedad relativa en el intervalo de aproximadamente el 55-100%. En otros sistemas, la unidad 10 de deshumidificación y las unidades 12 de enfriamiento por evaporación se pueden optimizar para uso residencial para aire recirculado que tiene una

temperatura en el intervalo de aproximadamente 21,11-29,44°C (70-85°F) y una humedad relativa en el intervalo de aproximadamente el 55-65%. De manera similar, en determinados sistemas, la unidad 10 de deshumidificación y las unidades 12 de enfriamiento por evaporación se pueden optimizar para deshumidificar aire exterior en sistemas de aire recirculado de edificios comerciales, que deshumidifica el aire 14A de entrada que tiene una temperatura en el intervalo de aproximadamente 12,78-43,33°C (55-110°F) y una humedad relativa en el intervalo de aproximadamente el 55-100%. El aire 14B de salida tiene menor humedad y aproximadamente la misma temperatura como el aire 14A de entrada, a menos que se lleve a cabo enfriamiento en el aire 14B de salida.

La unidad 10 de deshumidificación descrita en el presente documento requiere menos potencia de funcionamiento que los sistemas de deshumidificación convencionales debido a las presiones relativamente bajas que se requieren para deshumidificar el aire 14A. Esto se debe al menos en parte a la capacidad de las interfases 20 (es decir, membranas permeables a vapor de agua) para retirar el vapor 26 de agua del aire 14 eficientemente sin requerir presiones excesivas para forzar el vapor 26 de agua a través de las interfases 20. Por ejemplo, en un sistema, la potencia mínima necesaria para hacer funcionar la unidad 10 de deshumidificación incluye solamente la potencia de ventilador requerida para mover el aire 14 a través de la unidad 10 de deshumidificación, la potencia de compresión de la bomba 52 de vacío para comprimir el vapor 26 de agua hasta aproximadamente la presión de saturación (por ejemplo, hasta aproximadamente 1,0 psia, o hasta una presión de saturación que corresponde a una temperatura de condensación dada, por ejemplo, aproximadamente 37,78°C (100°F)), la potencia de bombeo y/o de ventilador de la unidad 54 de condensación (por ejemplo, dependiendo de si se usa agua de torre de enfriamiento o aire ambiental como medio de enfriamiento), la potencia de bombeo de la bomba 60 de líquido para rechazar el agua líquida de la unidad 54 de condensación en condiciones ambientales, y la potencia de la bomba 62 de vacío para purgar componentes 30 no condensables que se fugan al volumen 28 de vacío de vapor de agua de la unidad 10 de deshumidificación. Como tal, el único componente de potencia relativamente importante requerido para hacer funcionar la unidad 10 de deshumidificación es la potencia de compresión de la bomba 52 de vacío para comprimir el vapor 26 de agua hasta aproximadamente la presión de saturación (por ejemplo, solo hasta aproximadamente 1,0 psia (6.895 Pa), o hasta una presión de saturación que corresponde a una temperatura de condensación dada, por ejemplo, aproximadamente 37,78°C (100°F)). Tal como se mencionó previamente, esta potencia es relativamente baja y, por tanto, el funcionamiento de la unidad 10 de deshumidificación es relativamente económica al contrario que en sistemas de humidificación de compresión de refrigeración convencionales. Por otra parte, los cálculos para un sistema indican que la unidad 10 de deshumidificación tiene un coeficiente de rendimiento (COP, *coefficient of performance*) al menos dos veces tan alto (o incluso hasta cinco veces tan alto, dependiendo de las condiciones de funcionamiento) como en estos sistemas de deshumidificación convencionales. Además, la unidad 10 de deshumidificación permite la deshumidificación del aire sin reducir la temperatura del aire por debajo de la temperatura a la que el aire es necesario, tal como se realiza frecuentemente en sistemas de deshumidificación convencionales.

En determinados sistemas, tal como se indicó previamente, la unidad 10 de deshumidificación descrita con respecto a las figuras 1 a 7 puede usarse junto con una o más unidades 12 de enfriamiento por evaporación. Por ejemplo, la figura 8 es un diagrama esquemático de un sistema 72 HVAC que tiene una unidad 74 de enfriamiento por evaporación dispuesta corriente arriba de la unidad 10 de deshumidificación. El sistema 72 HVAC de la figura 8 funciona generalmente igual que el sistema 8 HVAC de las figuras 1, 6 y 7. Sin embargo, tal como se ilustra en la figura 8, el sistema 72 HVAC incluye específicamente la unidad 74 de enfriamiento por evaporación dispuesta corriente arriba de la unidad 10 de deshumidificación. De esta manera, el sistema 72 HVAC en primer lugar recibe el aire 14A de entrada relativamente húmedo en la unidad 74 de enfriamiento por evaporación, en lugar de la unidad 10 de deshumidificación. La unidad 74 de enfriamiento por evaporación reduce la temperatura del aire 14A de entrada relativamente húmedo y expulsa aire 14B más frío (pero todavía relativamente húmedo), que se dirige a la unidad 10 de deshumidificación a través de un conducto 76. Tal como se describió previamente, el aire 14B más frío (pero todavía relativamente húmedo) se deshumidifica entonces en la unidad 10 de deshumidificación y se expulsa como aire 14C relativamente seco en el espacio acondicionado.

La unidad 74 de enfriamiento por evaporación de la figura 8 puede ser o bien una unidad de enfriamiento por evaporación directo o una unidad de enfriamiento por evaporación indirecto. Dicho de otro modo, cuando la unidad 74 de enfriamiento por evaporación usa técnicas de enfriamiento por evaporación directo, un medio 78 relativamente frío y húmedo (por ejemplo, agua relativamente fría) se añade directamente al aire 14A de entrada relativamente húmedo. Sin embargo, cuando la unidad 74 de enfriamiento por evaporación usa técnicas de enfriamiento por evaporación indirecto, el aire 14A relativamente húmedo puede fluir, por ejemplo, a través de un lado de una placa de un intercambiador de calor al tiempo que el medio 78 relativamente frío y húmedo fluye a través del otro lado de la placa del intercambiador de calor. Dicho de otro modo, en términos generales, cierta cantidad de la humedad relativamente fría del medio 78 relativamente frío y húmedo se añade indirectamente al aire 14A relativamente húmedo. El que se usen técnicas de enfriamiento por evaporación directo o indirecto en la unidad 74 de enfriamiento por evaporación afecta a la tasa de retirada de humedad y reducción de temperatura del aire 14 que fluye a través del sistema 72 HVAC de la figura 8. En general, sin embargo, la unidad 74 de enfriamiento por evaporación de la figura 8 enfría inicialmente el aire 14 hasta una temperatura tan baja como sea posible para la aplicación particular, y la unidad 10 de deshumidificación disminuye la razón de humedad a temperatura aproximadamente constante.

Tal como se ilustra, muchos de los componentes del sistema 72 HVAC de la figura 8 se pueden considerar idénticos a los componentes del sistema 8 HVAC de las figuras 1, 6 y 7. Por ejemplo, tal como se describió previamente, el

sistema 72 HVAC de la figura 8 incluye la unidad 54 de condensación que recibe vapor 26B de agua que tiene una presión parcial lo bastante alta como para facilitar la condensación, tal como se describió previamente. En determinados sistemas, el sistema 72 HVAC de la figura 8 también puede incluir el depósito 58 para almacenamiento temporal de vapor saturado y agua líquida. Sin embargo, tal como se describió previamente, en otros sistemas, puede no usarse un depósito. En cualquier caso, el agua líquida de la unidad 54 de condensación se puede dirigir a la bomba 60 de líquido, dentro de la cual la presión del agua líquida de la unidad 54 de condensación se aumenta hasta aproximadamente la presión atmosférica (es decir, aproximadamente 14,7 psia) de modo que el agua líquida se puede rechazar en condiciones ambientales.

Además, el sistema 64 de control de la figura 7 también puede usarse en el sistema 72 HVAC de la figura 8 para controlar el funcionamiento del sistema 72 HVAC de manera similar a como se describió previamente con respecto a la figura 7. Por ejemplo, tal como se describió previamente, el sistema 64 de control puede estar configurado para controlar la tasa de retirada de los componentes 30 no condensables del vapor 26A de agua en el volumen 28 de vacío de vapor de agua al encender o apagar la bomba 52 de vacío (o bomba 62 de vacío independiente), o al modular la tasa a la que la bomba 52 de vacío (o bomba 62 de vacío independiente) retira los componentes 30 no condensables. Más específicamente, el sistema 64 de control puede recibir señales de sensores en el volumen 28 de vacío de vapor de agua que detectan cuándo están presentes demasiados componentes 30 no condensables en el vapor 26A de agua contenido en el volumen 28 de vacío de vapor de agua.

Además, el sistema 64 de control puede modular la menor presión parcial del vapor 26A de agua en el volumen 28 de vacío de vapor de agua para modificar la razón de capacidad y eficiencia de retirada de vapor de agua de la unidad 10 de deshumidificación. Por ejemplo, el sistema 64 de control puede recibir señales de sensores de presión en el volumen 28 de vacío de vapor de agua, los canales 18 de vapor de agua, así como señales generadas por sensores que se relacionan con características (por ejemplo, temperatura, presión, velocidad de flujo, humedad relativa, etcétera) del aire 14 en la unidad 74 de enfriamiento por evaporación, la unidad 10 de deshumidificación, o ambas, entre otras cosas.

El sistema 64 de control puede usar esta información para determinar cómo modular la menor presión parcial del vapor 26A de agua en el volumen 28 de vacío de vapor de agua para aumentar o disminuir la tasa de retirada de vapor 26 de agua de los canales 16 de aire a los canales 18 de vapor de agua a través de las interfases 20 de la unidad 10 de deshumidificación como H₂O (es decir, como moléculas de agua, vapor de agua gaseoso, agua líquida, moléculas de agua adsorbidas/desorbidas, moléculas de agua absorbidas/desorbidas, etcétera, a través de las interfases 20). Por ejemplo, si se desea más retirada de vapor de agua, la menor presión parcial del vapor 26A de agua en el volumen 28 de vacío de vapor de agua se puede reducir y, a la inversa, si se desea menos retirada de vapor de agua, la menor presión parcial del vapor 26A de agua en el volumen 28 de vacío de vapor de agua se puede aumentar. Además, tal como se describió anteriormente, la cantidad de deshumidificación (es decir, retirada de vapor de agua) se puede ciclar para mejorar la eficiencia de la unidad 10 de deshumidificación. Más específicamente, en determinadas condiciones de funcionamiento, la unidad 10 de deshumidificación puede funcionar más eficientemente a mayores tasas de retirada de vapor de agua. Como tal, en determinados sistemas, la unidad 10 de deshumidificación se puede ciclar para retirar una cantidad máxima de vapor de agua del aire 14 durante un tiempo, luego no retira relativamente vapor de agua del aire 14 durante un tiempo, después retira una cantidad máxima de vapor de agua del aire 14 durante un tiempo, etcétera. Dicho de otro modo, la unidad 10 de deshumidificación se puede hacer funcionar a plena capacidad de retirada de vapor de agua durante periodos de tiempo que alternan con otros periodos de tiempo en los que no se retira vapor de agua.

Además, el sistema 64 de control también puede estar configurado para controlar el funcionamiento de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación. Por ejemplo, el sistema 64 de control puede modular selectivamente cuánto enfriamiento por evaporación (directo o indirecto) se produce en la unidad 74 de enfriamiento por evaporación. Como ejemplo, pueden accionarse válvulas para controlar la velocidad de flujo del medio 78 relativamente frío y húmedo a través de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación, afectando directamente en consecuencia a la cantidad de enfriamiento por evaporación (directo o indirecto) en la unidad 74 de enfriamiento por evaporación. Además, el funcionamiento de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación y la unidad 10 de deshumidificación se pueden controlar simultáneamente. Además, el sistema 64 de control puede estar configurado para controlar la secuenciación de encendido y apagado de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación y la unidad 10 de deshumidificación.

Las figuras 9A y 9B son gráficas 80, 82 psicrométricas de la temperatura y la razón de humedad del aire 14 que fluye a través de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación y la unidad 10 de deshumidificación de la figura 8. Más específicamente, la figura 9A es la gráfica 80 psicrométrica de la temperatura y la razón de humedad del aire 14 que fluye a través de una unidad 74 de enfriamiento por evaporación directo y la unidad 10 de deshumidificación de la figura 8, y la figura 9B es la gráfica 82 psicrométrica de la temperatura y la razón de humedad del aire 14 que fluye a través de una unidad 74 de enfriamiento por evaporación y la unidad 10 de deshumidificación de la figura 8. En particular, en cada gráfica 80, 82, el eje 84 x corresponde a la temperatura del aire 14 que fluye a través de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación y la unidad 10 de deshumidificación de la figura 8, el eje 86 y corresponde a la razón de humedad del aire 14 que fluye a través de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación y la unidad 10 de deshumidificación de la figura 8, y la curva 88 representa la curva de saturación de vapor de agua para una humedad relativa dada del aire 14 que fluye a través de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación y la unidad 10

de deshumidificación de la figura 8.

Tal como se ilustra mediante la línea 90 en la figura 9A, debido a que el medio 78 relativamente frío y húmedo se introduce directamente en el aire 14 que fluye a través de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación directo, la razón de humedad del aire 14B (es decir, el punto 92) fuera de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación es sustancialmente mayor que la razón de humedad del aire 14A de entrada (es decir, el punto 94) en la unidad 74 de enfriamiento por evaporación directo. Sin embargo, la temperatura del aire 14B (es decir, el punto 92) fuera de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación directo es sustancialmente menor que la temperatura del aire 14A de entrada (es decir, el punto 94) en la unidad 74 de enfriamiento por evaporación. Tal como se ilustra mediante la línea 96 de la figura 9A, debido a que el vapor 26 de agua se retira del aire 14B que fluye a través de la unidad 10 de deshumidificación, la razón de humedad del aire 14C de salida (es decir, el punto 98) de la unidad 10 de deshumidificación es menor que la razón de humedad del aire 14B (es decir, el punto 92) en la unidad 10 de deshumidificación, al tiempo que la temperatura del aire 14C de salida y el aire 14B son sustancialmente iguales. De hecho, la unidad 74 de enfriamiento por evaporación directo humidifica y enfría el aire 14, al tiempo que la unidad 10 de deshumidificación deshumidifica posteriormente el aire 14 a temperatura sustancialmente constante.

Tal como se ilustra mediante la línea 100 en la figura 9B, debido a que el medio 78 relativamente frío y húmedo enfría indirectamente el aire 14 que fluye a través de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación indirecto, la razón de humedad del aire 14B (es decir, el punto 102) fuera de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación indirecto es sustancialmente la misma que la razón de humedad del aire 14A de entrada (es decir, el punto 104) en la unidad 74 de enfriamiento por evaporación indirecto. Sin embargo, la temperatura del aire 14B (es decir, el punto 102) fuera de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación indirecto es sustancialmente menor que la temperatura del aire 14A de entrada (es decir, el punto 104) en la unidad 74 de enfriamiento por evaporación indirecto. Tal como se ilustra mediante la línea 106 de la figura 9B, debido a que el vapor 26 de agua se retira del aire 14B que fluye a través de la unidad 10 de deshumidificación, la razón de humedad del aire 14C de salida (es decir, el punto 108) de la unidad 10 de deshumidificación es menor que la razón de humedad del aire 14B (es decir, el punto 102) en la unidad 10 de deshumidificación, al tiempo que la temperatura del aire 14C de salida y el aire 14B son sustancialmente iguales. De hecho, la unidad 74 de enfriamiento por evaporación indirecto enfría (sin humidificar sustancialmente) el aire 14, mientras que la unidad 10 de deshumidificación deshumidifica posteriormente el aire 14 a temperatura sustancialmente constante.

Tal como se describió previamente, el sistema 64 de control de la figura 8 puede estar configurado para controlar el funcionamiento de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación y la unidad 10 de deshumidificación. Por ejemplo, el sistema 64 de control puede estar configurado para ajustar dónde se encuentran los puntos 92, 94, 98 y los puntos 102, 104, 108 del aire 14 en las gráficas 80, 82 psicrométricas de las figuras 9A y 9B cuando se usan técnicas de enfriamiento por evaporación directo e indirecto, respectivamente, en la unidad 74 de enfriamiento por evaporación de la figura 8.

La figura 10 es un diagrama esquemático de un sistema 110 HVAC que tiene la unidad 74 de enfriamiento por evaporación dispuesta corriente abajo de la unidad 10 de deshumidificación. El sistema 110 HVAC de la figura 10 funciona generalmente igual que el sistema 8 HVAC de las figuras 1, 6 y 7 y el sistema 72 HVAC de la figura 8. Sin embargo, tal como se ilustra en la figura 10, el sistema 110 HVAC recibe en primer lugar el aire 14A de entrada relativamente húmedo en la unidad 10 de deshumidificación. Tal como se describió previamente, el aire 14A de entrada relativamente húmedo se deshumidifica en primer lugar en la unidad 10 de deshumidificación y se expulsa como aire 14B relativamente seco en el conducto 76. La unidad 74 de enfriamiento por evaporación reduce entonces la temperatura del aire 14B seco y expulsa aire 14C seco más frío en el espacio acondicionado.

Tal como se describió previamente con respecto a la figura 8, la unidad 74 de enfriamiento por evaporación de la figura 10 puede ser o bien una unidad de enfriamiento por evaporación directo o bien una unidad de enfriamiento por evaporación indirecto. Dicho de otro modo, cuando la unidad 74 de enfriamiento por evaporación usa técnicas de enfriamiento por evaporación directo, el medio 78 relativamente frío y húmedo (por ejemplo, agua relativamente fría) se añade directamente al aire 14B relativamente seco en el conducto 76. Sin embargo, cuando la unidad 74 de enfriamiento por evaporación usa técnicas de enfriamiento por evaporación indirecto, el aire 14B relativamente seco puede fluir, por ejemplo, a través de un lado de una placa de un intercambiador de calor al tiempo que el medio 78 relativamente frío y húmedo fluye a través del otro lado de la placa del intercambiador de calor. Dicho de otro modo, en términos generales, cierta cantidad de humedad relativamente fría del medio 78 relativamente frío y húmedo se añade indirectamente al aire 14B relativamente seco en el conducto 76. El que se usen técnicas de enfriamiento por evaporación directo o indirecto en la unidad 74 de enfriamiento por evaporación afecta a la tasa de la retirada de humedad y la reducción de temperatura del aire 14 que fluye a través del sistema 110 HVAC de la figura 10. En general, sin embargo, la unidad 10 de deshumidificación disminuye inicialmente la razón de humedad a temperatura aproximadamente constante, y la unidad 74 de enfriamiento por evaporación enfría el aire 14 hasta una temperatura tan baja como sea posible para la aplicación particular.

Tal como se ilustra, muchos de los componentes del sistema 110 HVAC de la figura 10 se pueden considerar idénticos a los componentes del sistema 8 HVAC de las figuras 1, 6 y 7 y el sistema 72 HVAC de la figura 8. Por ejemplo, tal como se describió previamente, el sistema 110 HVAC de la figura 10 incluye la unidad 54 de condensación que recibe vapor 26B de agua que tiene una presión parcial lo bastante alta como para facilitar la

condensación, tal como se describió previamente. El sistema 110 HVAC de la figura 10 también puede incluir el depósito 58 para almacenamiento temporal de vapor saturado y agua líquida. Sin embargo, tal como se describió previamente, en otros sistemas, puede no usarse un depósito. En cualquier caso, el agua líquida de la unidad 54 de condensación se puede dirigir a la bomba 60 de líquido, dentro de la cual la presión del agua líquida de la unidad 54 de condensación se aumenta hasta aproximadamente la presión atmosférica (es decir, aproximadamente 14,7 psia) de modo que el agua líquida se pueda rechazar en condiciones ambientales.

Además, el sistema 64 de control de las figuras 7 y 8 también puede usarse en el sistema 110 HVAC de la figura 10 para controlar el funcionamiento del sistema 110 HVAC de manera similar a como se describió previamente con respecto a las figuras 7 y 8. Por ejemplo, tal como se describió previamente, el sistema 64 de control puede estar configurado para controlar la tasa de retirada de los componentes 30 no condensables del vapor 26A de agua en el volumen 28 de vacío de vapor de agua al encender o apagar la bomba 52 de vacío (o bomba 62 de vacío independiente), o al modular la tasa a la que la bomba 52 de vacío (o bomba 62 de vacío independiente) retira los componentes 30 no condensables. Más específicamente, el sistema 64 de control puede recibir señales de sensores en el volumen 28 de vacío de vapor de agua que detectan cuándo están presentes demasiados componentes 30 no condensables en el vapor 26A de agua contenido en el volumen 28 de vacío de vapor de agua.

Además, el sistema 64 de control puede modular la menor presión parcial del vapor 26A de agua en el volumen 28 de vacío de vapor de agua para modificar la razón de capacidad y eficiencia de retirada de vapor de agua de la unidad 10 de deshumidificación. Por ejemplo, el sistema 64 de control puede recibir señales de sensores de presión en el volumen 28 de vacío de vapor de agua, los canales 18 de vapor de agua, así como señales generadas por sensores que se relacionan con características (por ejemplo, temperatura, presión, velocidad de flujo, humedad relativa, etcétera) del aire 14 en la unidad 10 de deshumidificación, la unidad 74 de enfriamiento por evaporación, o ambas, entre otras cosas.

El sistema 64 de control puede usar esta información para determinar cómo modular la menor presión parcial del vapor 26A de agua en el volumen 28 de vacío de vapor de agua para aumentar o disminuir la tasa de retirada de vapor 26 de agua de los canales 16 de aire a los canales 18 de vapor de agua a través de las interfases 20 de la unidad 10 de deshumidificación como H₂O (es decir, como agua atómica, vapor de agua gaseoso, agua líquida, etcétera, adsorbidos o absorbidos a través de las interfases 20). Por ejemplo, si se desea más retirada de vapor de agua, la menor presión parcial del vapor 26A de agua en el volumen 28 de vacío de vapor de agua se puede reducir, y a la inversa, si se desea menos retirada de vapor de agua, la menor presión parcial del vapor 26A de agua en el volumen 28 de vacío de vapor de agua se puede aumentar. Además, tal como se describió anteriormente, la cantidad de deshumidificación (es decir, retirada de vapor de agua) se puede ciclar para mejorar la eficiencia de la unidad 10 de deshumidificación. De manera más específica, en determinadas condiciones de funcionamiento, la unidad 10 de deshumidificación puede funcionar más eficientemente a mayores tasas de retirada de vapor de agua. Como tal, en determinados sistemas, la unidad 10 de deshumidificación se puede ciclar para retirar una cantidad máxima de vapor de agua del aire 14 durante un tiempo, luego no retira relativamente vapor de agua del aire 14 durante un tiempo, después retira una cantidad máxima de vapor de agua del aire 14 durante un tiempo, etcétera. Dicho de otro modo, la unidad 10 de deshumidificación se puede hacer funcionar a plena capacidad de retirada de vapor de agua durante periodos de tiempo que alternan con otros periodos de tiempo en los que no se retira vapor de agua.

Además, el sistema 64 de control también puede estar configurado para controlar el funcionamiento de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación. Por ejemplo, el sistema 64 de control puede modular selectivamente cuánto enfriamiento por evaporación (directo o indirecto) se produce en la unidad 74 de enfriamiento por evaporación. Como ejemplo, pueden accionarse válvulas para controlar la velocidad de flujo del medio 78 relativamente frío y húmedo a través de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación, afectando directamente en consecuencia a la cantidad de enfriamiento por evaporación (directo o indirecto) en la unidad 74 de enfriamiento por evaporación. Además, el funcionamiento de la unidad 10 de deshumidificación y la unidad 74 de enfriamiento por evaporación se pueden controlar simultáneamente. Además, el sistema 64 de control puede estar configurado para controlar la secuenciación de encendido y apagado de la unidad 10 de deshumidificación y la unidad 74 de enfriamiento por evaporación.

Las figuras 11A y 11B son gráficas 112, 114 psicrométricas de la temperatura y la razón de humedad del aire 14 que fluye a través de la unidad 10 de deshumidificación y la unidad 74 de enfriamiento por evaporación de la figura 10. Más específicamente, la figura 11A es la gráfica 112 psicrométrica de la temperatura y la razón de humedad del aire 14 que fluye a través de la unidad 10 de deshumidificación y una unidad 74 de enfriamiento por evaporación directo de la figura 10, y la figura 11B es la gráfica 114 psicrométrica de la temperatura y la razón de humedad del aire 14 que fluye a través de la unidad 10 de deshumidificación y una unidad 74 de enfriamiento por evaporación indirecto de la figura 10. En particular, tal como se describió previamente con respecto a las figuras 9A y 9B, el eje 84 x corresponde a la temperatura del aire 14 que fluye a través de la unidad 10 de deshumidificación y la unidad 74 de enfriamiento por evaporación de la figura 10, el eje 86 y corresponde a la razón de humedad del aire 14 que fluye a través de la unidad 10 de deshumidificación y la unidad 74 de enfriamiento por evaporación de la figura 10, y la curva 88 representa la curva de saturación de vapor de agua para una humedad relativa dada del aire 14 que fluye a través de la unidad 10 de deshumidificación y la unidad 74 de enfriamiento por evaporación de la figura 10.

Tal como se ilustra mediante la línea 116 en la figura 11A, debido a que se retira vapor 26 de agua del aire 14A de entrada relativamente húmedo que fluye a través de la unidad 10 de deshumidificación, la razón de humedad del aire 14B relativamente seco (es decir, el punto 118) de la unidad 10 de deshumidificación es menor que la razón de humedad del aire 14A de entrada relativamente húmedo (es decir, el punto 120) en la unidad 10 de deshumidificación, al tiempo que la temperatura del aire 14B relativamente seco y el aire 14A de entrada relativamente húmedo son sustancialmente iguales. Tal como se ilustra mediante la línea 122 de la figura 11A, debido a que el medio 78 relativamente frío y húmedo se introduce directamente en el aire 14B relativamente seco que fluye a través de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación directo, la razón de humedad del aire 14C de salida (es decir, el punto 124) de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación directo es sustancialmente mayor que la razón de humedad del aire 14B relativamente seco (es decir, el punto 118) en la unidad 74 de enfriamiento por evaporación directo. Sin embargo, la temperatura del aire 14C de salida (es decir, el punto 124) de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación directo es sustancialmente menor que la temperatura del aire 14B relativamente seco (es decir, el punto 118) en la unidad 74 de enfriamiento por evaporación directo. De hecho, la unidad 10 de deshumidificación deshumidifica el aire 14 a temperatura sustancialmente constante, al tiempo que la unidad 74 de enfriamiento por evaporación directo humidifica y enfría posteriormente el aire 14.

Tal como se ilustra mediante la línea 126 en la figura 11B, debido a que el vapor 26 de agua se retira del aire 14A de entrada relativamente húmedo que fluye a través de la unidad 10 de deshumidificación, la razón de humedad del aire 14B relativamente seco (es decir, el punto 128) de la unidad 10 de deshumidificación es menor que la razón de humedad del aire 14A de entrada relativamente húmedo (es decir, el punto 130) en la unidad 10 de deshumidificación, al tiempo que la temperatura del aire 14B relativamente seco y el aire 14A de entrada relativamente húmedo son sustancialmente iguales. Tal como se ilustra mediante la línea 132 de la figura 11B, debido a que el medio 78 relativamente frío y húmedo enfría indirectamente el aire 14B relativamente seco que fluye a través de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación indirecto, la razón de humedad del aire 14C de salida (es decir, el punto 134) de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación indirecto es sustancialmente la misma que la razón de humedad del aire 14B relativamente seco (es decir, el punto 128) en la unidad 74 de enfriamiento por evaporación indirecto. Sin embargo, la temperatura del aire 14C de salida (es decir, el punto 134) de la unidad 74 de enfriamiento por evaporación indirecto es sustancialmente menor que la temperatura del aire 14B relativamente seco (es decir, el punto 128) en la unidad 74 de enfriamiento por evaporación indirecto. De hecho, la unidad 10 de deshumidificación deshumidifica el aire 14 a temperatura sustancialmente constante, al tiempo que la unidad 74 de enfriamiento por evaporación indirecto enfría (sin humidificar sustancialmente) el aire 14.

Tal como se describió previamente, el sistema 64 de control de la figura 10 puede estar configurado para controlar el funcionamiento de la unidad 10 de deshumidificación y la unidad 74 de enfriamiento por evaporación. Por ejemplo, el sistema 64 de control puede estar configurado para ajustar dónde se encuentran los puntos 118, 120, 124 y los puntos 128, 130, 134 del aire 14 en las gráficas 112, 114 psicrométricas de las figuras 11A y 11B cuando se usan técnicas de enfriamiento por evaporación directo e indirecto, respectivamente, en la unidad 74 de enfriamiento por evaporación de la figura 10.

Los sistemas 72, 110 HVAC de las figuras 8 y 10 no son las únicas maneras en las que pueden combinarse unidades 10 de deshumidificación con unidades 74 de enfriamiento por evaporación. Más específicamente, mientras que las figuras 8 y 10 ilustran el uso de una sola unidad 10 de deshumidificación y una sola unidad 74 de enfriamiento por evaporación en serie entre sí, en otros sistemas, puede usarse cualquier número de unidades 10 de deshumidificación y unidades 74 de enfriamiento por evaporación en serie entre sí. Por ejemplo, la figura 1 ilustra la unidad 10 de deshumidificación que tiene unidades de enfriamiento por evaporación dispuestas a ambos lados (es decir, tanto corriente arriba como corriente abajo) de la unidad 10 de deshumidificación. Como otro ejemplo, una primera unidad 10 de deshumidificación puede estar seguida por una primera unidad 74 de enfriamiento por evaporación, que está seguida a su vez por una segunda unidad 10 de deshumidificación, que está seguida a su vez por una segunda unidad 74 de enfriamiento por evaporación, etcétera. Sin embargo, de hecho puede usarse cualquier número de unidades 10 de deshumidificación y unidades 74 de enfriamiento por evaporación en serie entre sí, en las que el aire 14 que sale de cada unidad 10, 74 se dirige a la siguiente unidad 10, 74 corriente abajo en la serie (excepto por la última unidad 10, 74 en la serie, de la cual el aire 14 se expulsa en el espacio acondicionado). Dicho de otro modo, el aire 14 que sale de cada unidad 10 de deshumidificación en la serie se dirige a una unidad 74 de enfriamiento por evaporación corriente abajo (o al espacio acondicionado, si es la última unidad en la serie), y el aire 14 que sale de cada unidad 74 de enfriamiento por evaporación en la serie se dirige a una unidad 10 de deshumidificación (o al espacio acondicionado, si es la última unidad en la serie). Como tal, la temperatura del aire 14 se puede disminuir sucesivamente en cada unidad 74 de enfriamiento por evaporación entre las unidades 10 de deshumidificación en la serie, y la razón de humedad del aire 14 se puede disminuir sucesivamente en cada unidad 10 de deshumidificación entre las unidades 74 de enfriamiento por evaporación en la serie. Este procedimiento se puede continuar dentro de cualquier número de unidades 10 de deshumidificación y unidades 74 de enfriamiento por evaporación hasta que se logren las condiciones de temperatura y razón de humedad finales deseadas del aire 14.

Las figuras 12A y 12B son gráficas 136, 138 psicrométricas de la temperatura y la razón de humedad del aire 14 que fluye a través de una pluralidad de unidades 10 de deshumidificación y una pluralidad de unidades 74 de enfriamiento por evaporación. De manera más específica, la figura 12A es una gráfica 136 psicrométrica de la temperatura y la razón de humedad del aire 14 que fluye a través de una pluralidad de unidades 10 de

- deshumidificación y una pluralidad de unidades 74 de enfriamiento por evaporación directo, y la figura 12B es una gráfica 138 psicrométrica de la temperatura y la razón de humedad del aire 14 que fluye a través de una pluralidad de unidades 10 de deshumidificación y una pluralidad de unidades 74 de enfriamiento por evaporación indirecto. En particular, en cada gráfica 136, 138, el eje 84 x corresponde a la temperatura del aire 14 que fluye a través de la pluralidad de unidades 10 de deshumidificación y la pluralidad de unidades 74 de enfriamiento por evaporación, el eje 86 y corresponde a la razón de humedad del aire 14 que fluye a través de la pluralidad de unidades 10 de deshumidificación y la pluralidad de unidades 74 de enfriamiento por evaporación, y la curva 88 representa la curva de saturación de vapor de agua para una humedad relativa dada del aire 14 que fluye a través de la pluralidad de unidades 10 de deshumidificación y la pluralidad de unidades 74 de enfriamiento por evaporación.
- 5 Tal como se ilustra mediante las líneas 140 en la figura 12A, debido a que se retira vapor 26 de agua del aire 14 relativamente húmedo que fluye a través de cada una de la pluralidad de unidades 10 de deshumidificación, la razón de humedad del aire 14 disminuye sustancialmente al tiempo que la temperatura del aire 14 sigue siendo sustancialmente la misma en cada una de la pluralidad de unidades 10 de deshumidificación. Tal como se ilustra mediante las líneas 142 en la figura 12A, debido a que el medio 78 relativamente frío y húmedo se introduce directamente en el aire 14 relativamente seco que fluye a través de cada una de las unidades 74 de enfriamiento por evaporación directo, la razón de humedad del aire 14 se aumenta al tiempo que la temperatura del aire 14 disminuye sustancialmente en cada una de la pluralidad de unidades 74 de enfriamiento por evaporación directo. Dicho de otro modo, cada una de la pluralidad de unidades 10 de deshumidificación deshumidifica sucesivamente el aire 14 a temperatura sustancialmente constante, al tiempo que cada una de la pluralidad de unidades 74 de enfriamiento por evaporación directo humidifica y enfría sucesivamente el aire 14 hasta que se logran las condiciones finales deseadas de temperatura y razón de humedad. Más específicamente, tal como se ilustra en la figura 12A, las líneas 140, 142 forman en general una progresión “de función escalonada” desde las condiciones iniciales de temperatura y razón de humedad del aire 14 de entrada (es decir, el punto 144) hasta las condiciones finales de temperatura y razón de humedad del aire 14 de salida (es decir, el punto 146).
- 10 Tal como se ilustra mediante la líneas 148 en la figura 12B, debido a que se retira vapor 26 de agua del aire 14 relativamente húmedo que fluye a través de cada una de la pluralidad de unidades 10 de deshumidificación, la razón de humedad del aire 14 disminuye sustancialmente al tiempo que la temperatura del aire 14 sigue siendo sustancialmente la misma en cada una de la pluralidad de unidades 10 de deshumidificación. Tal como se ilustra mediante las líneas 150 en la figura 12B, debido a que el medio 78 relativamente frío y húmedo interactúa directamente con el aire 14 relativamente seco que fluye a través de cada una de las unidades 74 de enfriamiento por evaporación indirecto, la razón de humedad del aire 14 sigue siendo sustancialmente la misma al tiempo que la temperatura del aire 14 disminuye sustancialmente en cada una de la pluralidad de unidades 74 de enfriamiento por evaporación indirecto. Dicho de otro modo, cada una de la pluralidad de unidades 10 de deshumidificación deshumidifica sucesivamente el aire 14 a temperatura sustancialmente constante, mientras que cada una de la pluralidad de unidades 74 de enfriamiento por evaporación enfría sucesivamente el aire 14 a una razón de humedad sustancialmente constante hasta que se logran las condiciones finales deseadas de temperatura y razón de humedad. Más específicamente, tal como se ilustra en la figura 12B, las líneas 148, 150 forman en general una progresión en “dientes de sierra” desde las condiciones iniciales de temperatura y razón de humedad del aire 14 de entrada (es decir, el punto 152) hasta las condiciones finales de temperatura y razón de humedad del aire 14 de salida (es decir, el punto 154).
- 15 Debido a que se usan unidades 74 de enfriamiento por evaporación entre las unidades 10 de deshumidificación, cada unidad 10 de deshumidificación recibirá aire 14 que es más frío y a una menor presión parcial de vapor de agua que las unidades 10 de deshumidificación corriente arriba. Como tal, cada una de las unidades 10 de deshumidificación se hará funcionar en condiciones de funcionamiento sustancialmente diferentes. Por consiguiente, el sistema 64 de control puede usarse para modular los parámetros de funcionamiento (por ejemplo, las presiones parciales de vapor de agua en los volúmenes 28 de vacío de vapor de agua, entre otras cosas) de las unidades 10 de deshumidificación para tener en cuenta las variaciones entre las unidades 10 de deshumidificación. De manera similar, debido a que se usan unidades 10 de deshumidificación entre las unidades 74 de enfriamiento por evaporación, cada unidad 74 de enfriamiento por evaporación también recibirá aire 14 que es más frío y a una menor presión parcial de vapor de agua que las unidades 74 de enfriamiento por evaporación corriente arriba. Como tal, cada una de las unidades 74 de enfriamiento por evaporación también se hará funcionar en condiciones de funcionamiento sustancialmente diferentes. Por consiguiente, el sistema 64 de control también puede usarse para modular los parámetros de funcionamiento (por ejemplo, las velocidades de flujo del medio 78 relativamente frío y húmedo, entre otras cosas) de las unidades 74 de enfriamiento por evaporación para tener en cuenta las variaciones entre las unidades 74 de enfriamiento por evaporación. Además, el sistema 64 de control también puede coordinar simultáneamente el funcionamiento de la pluralidad de unidades 10 de deshumidificación y la pluralidad de unidades 74 de enfriamiento por evaporación para tener en cuenta las variaciones.
- 20 Las unidades 74 de enfriamiento por evaporación de las figuras 8 y 10 no solo sirven para reducir la temperatura del aire 14, sino también sirven para limpiar el aire 14, por ejemplo, haciendo pasar el aire 14 a través de una almohadilla fibrosa, húmeda. Además, las unidades 10 de deshumidificación y las unidades 14 de enfriamiento por evaporación se pueden hacer funcionar a velocidades variables o velocidades fijas para el funcionamiento óptimo entre las diferentes condiciones de temperatura y humedad iniciales (es decir, los puntos 144 y 152 de funcionamiento en las figuras 12A y 12B, respectivamente) y las condiciones de temperatura y humedad finales (es

decir, los puntos 146 y 154 de funcionamiento en las figuras 12A y 12B, respectivamente). Además, las unidades 74 de enfriamiento por evaporación son unidades de energía relativamente baja, minimizando de ese modo los costes de funcionamiento totales.

- 5 Aunque la presente divulgación puede ser susceptible de diversas modificaciones y formas alternativas, se han mostrado realizaciones específicas a modo de ejemplo en las figuras y tablas y se han descrito con detalle en el presente documento. Sin embargo, debe entenderse que las realizaciones no pretenden limitarse a las formas particulares dadas a conocer. Más bien, la divulgación es para cubrir todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que se encuentran dentro del espíritu y alcance de la divulgación tal como se define mediante las siguientes reivindicaciones adjuntas. Además, aunque se comentan en el presente documento realizaciones
- 10 individuales, la divulgación pretende para cubrir todas las combinaciones de estas realizaciones.

REIVINDICACIONES

1. Sistema (8) de deshumidificación para retirar vapor de agua de una corriente (14) de aire, que comprende:
 - 5 una unidad (10) de deshumidificación que comprende unos canales primero (16) y segundo (18) separados por una membrana (20), en el que la membrana (20) está configurada para facilitar la retirada de vapor de agua de una corriente (14) de aire que fluye a través del primer canal (16) al facilitar el paso de H₂O del primer canal (16) al segundo canal (18) a través de volúmenes permeables de la membrana (20) al tiempo que impide sustancialmente que todos los demás componentes de la corriente (14) de aire pasen a través de la membrana (20);
 - 10 una unidad (12, 74) de enfriamiento por evaporación configurada para enfriar la corriente (14) de aire; y
 - un dispositivo (52) de aumento de presión en el lado del segundo canal de la membrana configurado para crear una menor presión parcial de vapor de agua dentro del segundo canal (18) que en el primer canal (16), de tal manera que el H₂O se mueve a través de la membrana (20) al segundo canal (18), caracterizado por que se proporciona un dispositivo (54) de condensación configurado para recibir vapor de agua del dispositivo (52) de aumento de presión y condensar el vapor de agua en agua líquida; y
 - 15 un sistema (64) de control configurado para controlar las condiciones de funcionamiento de la unidad (10) de deshumidificación y la unidad (12, 74) de enfriamiento por evaporación, en el que el sistema (64) de control está configurado para controlar el dispositivo (52) de aumento de presión para aumentar la presión del vapor de agua en una salida del dispositivo (52) de aumento de presión en el dispositivo (54) de condensación adecuado para la posterior condensación en agua líquida, y
 - 20 en el que el sistema (64) de control está configurado para supervisar de manera continua las condiciones de presión y temperatura tanto del vapor (26A) de agua corriente arriba del dispositivo (52) de aumento de presión como del vapor (26B) de agua corriente abajo del dispositivo (52) de aumento de presión para garantizar que el vapor de agua expulsado desde la salida del dispositivo (52) de aumento de presión tiene una presión parcial de vapor de agua próxima a una presión de saturación de vapor de agua mínima en el dispositivo (54) de condensación.
2. Sistema (8) según la reivindicación 1, en el que el dispositivo (52) de aumento de presión es una bomba (52) de vacío.
3. Sistema (8) según la reivindicación 2, en el que el sistema (64) de control está configurado para controlar el funcionamiento del sistema (8) de deshumidificación ajustando dónde se encuentran los puntos (92, 94, 98, 102, 104, 108) en la corriente (14) de aire en una gráfica psicrométrica.
4. Sistema (8) según la reivindicación 1, que comprende un dispositivo (60) de transporte de agua configurado para transportar el agua líquida del dispositivo (54) de condensación.
5. Sistema (8) según la reivindicación 1, caracterizado por que la membrana (20) comprende zeolita.
6. Método, que comprende:
 - 35 recibir una corriente (14) de aire que incluye vapor de H₂O en un canal (16) de aire de una unidad (10) de deshumidificación en el que la corriente (14) de aire tiene una primera presión parcial de vapor (12, 74) de H₂O;
 - enfriar la corriente de aire a través de una unidad (12, 74) de enfriamiento por evaporación;
 - 40 succionar H₂O en un canal (18) de vapor de H₂O de la unidad (10) de deshumidificación a través de un material (20) permeable a H₂O de la unidad (10) de deshumidificación que usa un diferencial de presión a través del material (20) permeable a H₂O, en el que el canal (18) de vapor de H₂O tiene una segunda presión parcial de vapor de H₂O menor que la primera presión parcial de vapor de H₂O de la corriente (14) de aire; y
 - 45 recibir vapor de H₂O del canal (18) de vapor de H₂O en un dispositivo (52) de aumento de presión y aumentar la presión del vapor de H₂O del dispositivo (52) de aumento de presión a una tercera presión parcial de vapor de H₂O que es mayor que la segunda presión parcial del vapor de H₂O,
 - caracterizado por que el método comprende además: recibir vapor de H₂O del dispositivo (52) de aumento de presión en un dispositivo (54) de condensación y condensar el vapor de H₂O en H₂O líquida; y
 - 50 supervisar de manera continua las condiciones de presión y temperatura tanto del vapor (26A) de H₂O

corriente arriba del dispositivo (52) de aumento de presión como del vapor (26B) de H₂O corriente abajo del dispositivo (52) de aumento de presión para garantizar que la tercera presión parcial del vapor de H₂O es próxima a una presión de saturación de vapor de H₂O mínima en el dispositivo (54) de condensación y es adecuada para la posterior condensación en H₂O líquida.

- 5 7. Método según la reivindicación 6, que comprende enfriar la corriente (14) de aire a través de la unidad (12, 74) de enfriamiento por evaporación antes de dirigir la corriente (14) de aire a la unidad (10) de deshumidificación.
8. Método según la reivindicación 6, que comprende enfriar la corriente (14) de aire a través de la unidad (12, 74) de enfriamiento por evaporación después de recibir la corriente (14) de aire de la unidad (10) de deshumidificación.
- 10 9. Método según la reivindicación 6, que comprende enfriar la corriente (14) de aire a través de una primera unidad (12, 74) de enfriamiento por evaporación antes de dirigir la corriente (14) de aire a la unidad (10) de deshumidificación, y enfriar la corriente (14) de aire a través de una segunda unidad (12, 74) de enfriamiento por evaporación después de recibir la corriente (14) de aire de la unidad (10) de deshumidificación.
- 15 10. Método según la reivindicación 6, en el que la corriente (14) de aire tiene una primera presión parcial de vapor de H₂O en un intervalo de aproximadamente 1,4-6,9 kPaa (1.379-6.895 Pa), la segunda presión parcial de vapor de H₂O está en un intervalo de aproximadamente 0,7-6,9 kPaa (689,5-6.895 Pa), y la tercera presión parcial de vapor de H₂O está en un intervalo de aproximadamente 1,75-7,6 kPaa (17.723,7-7.584 Pa).

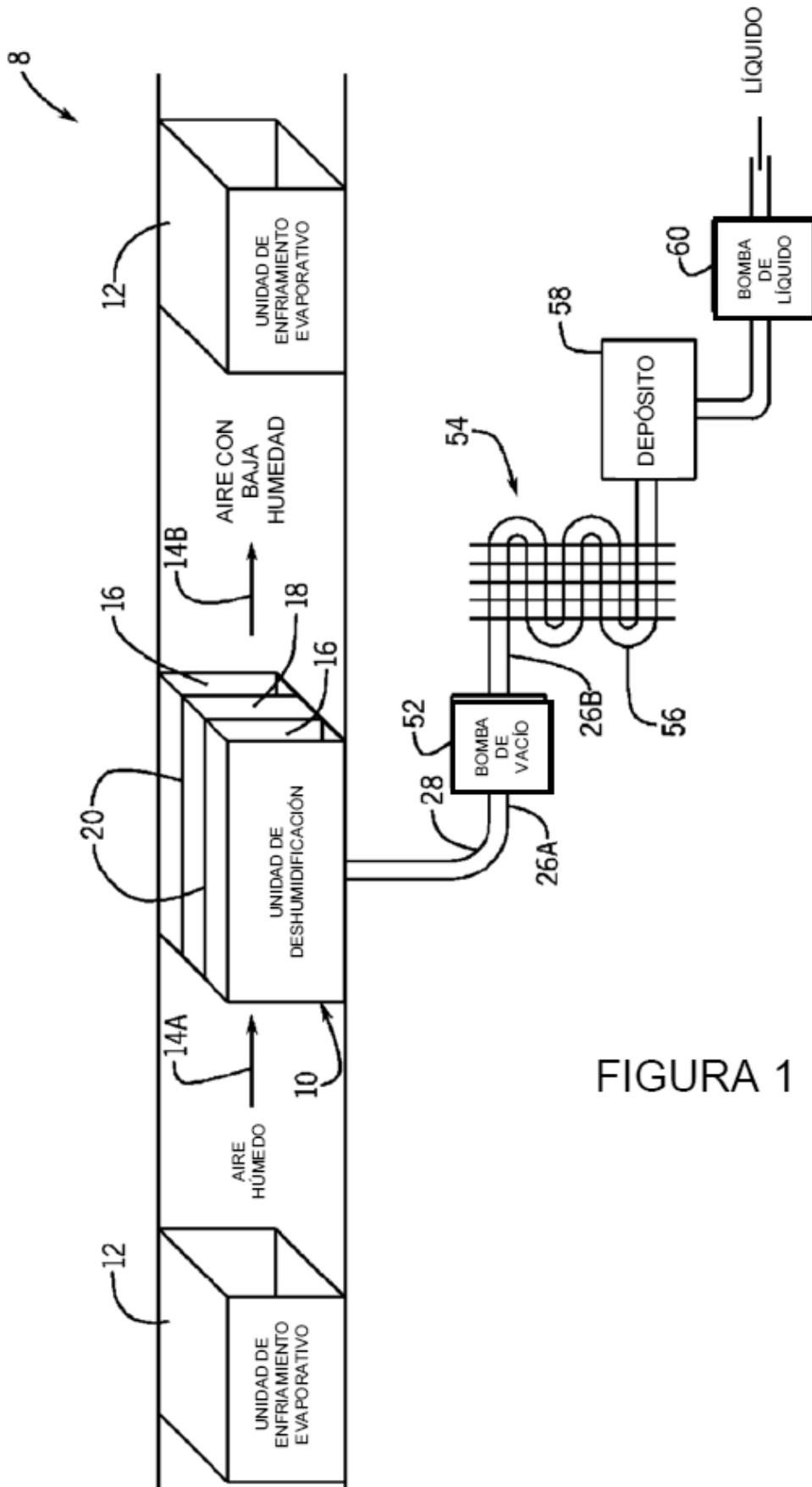


FIGURA 1

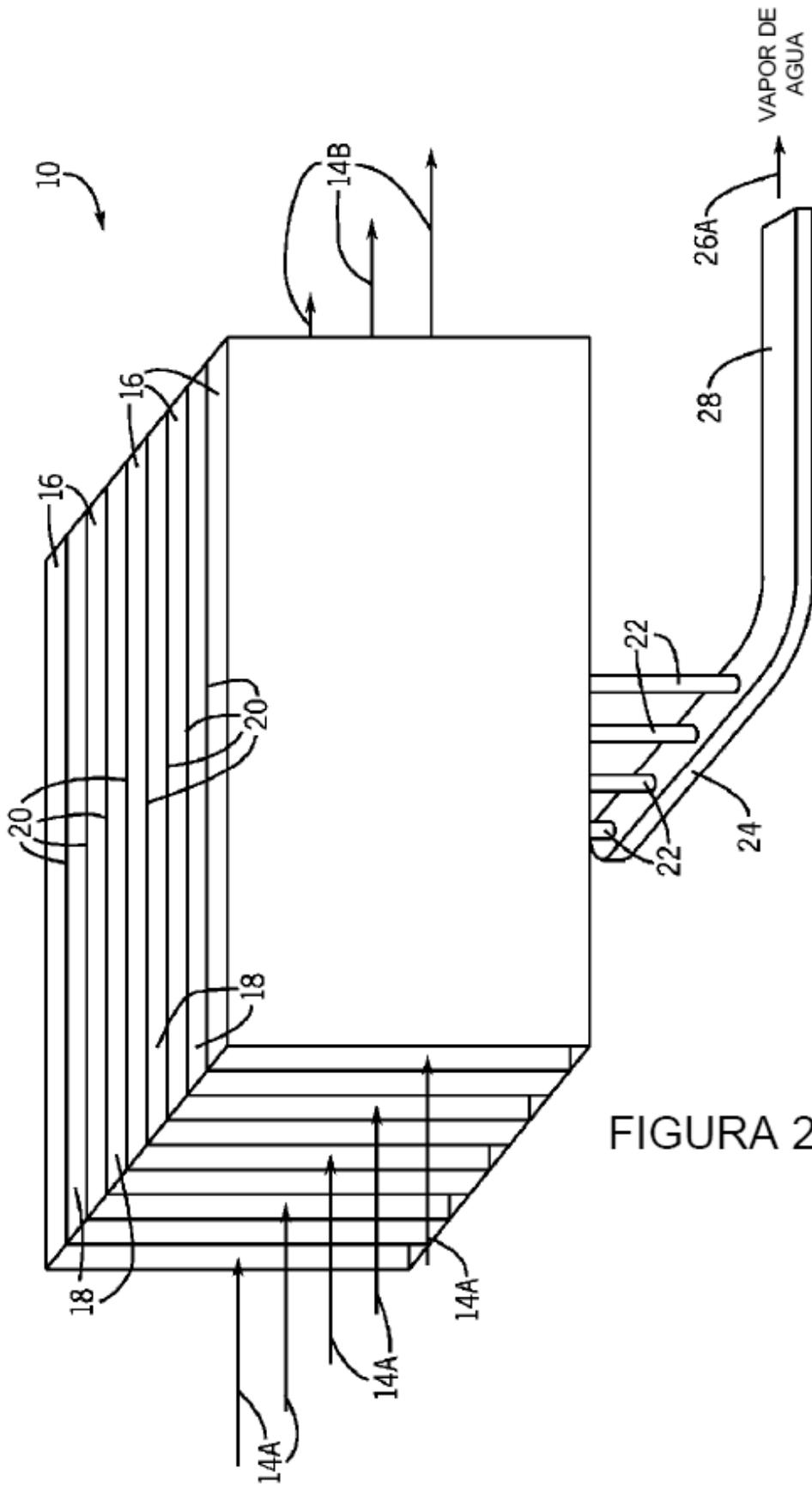
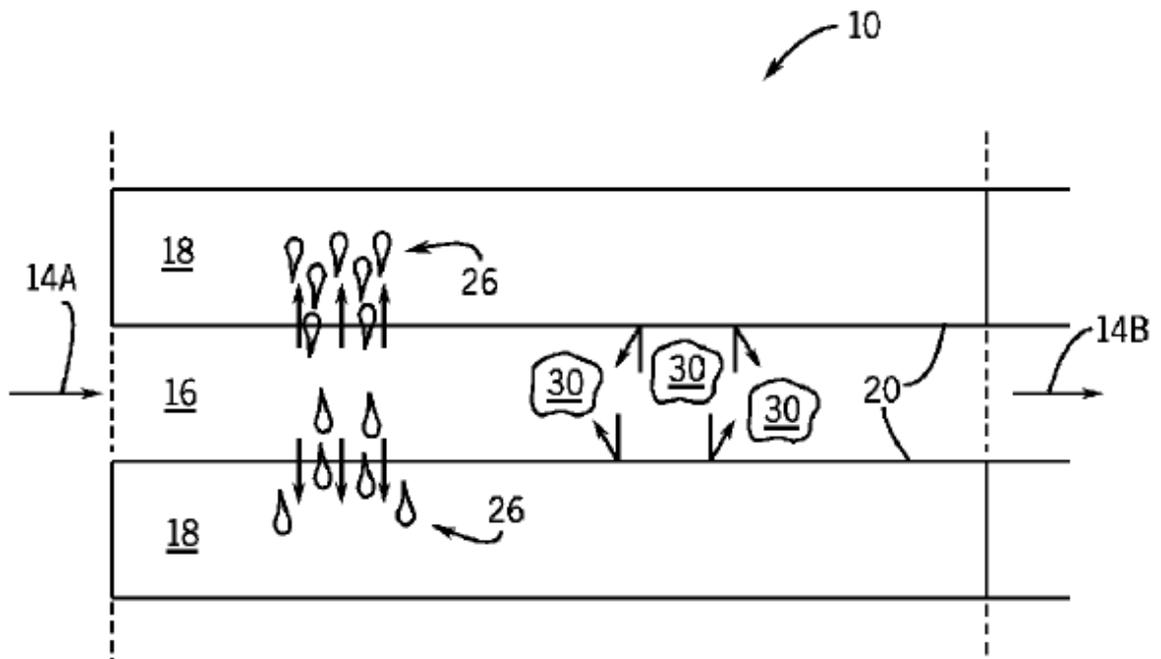
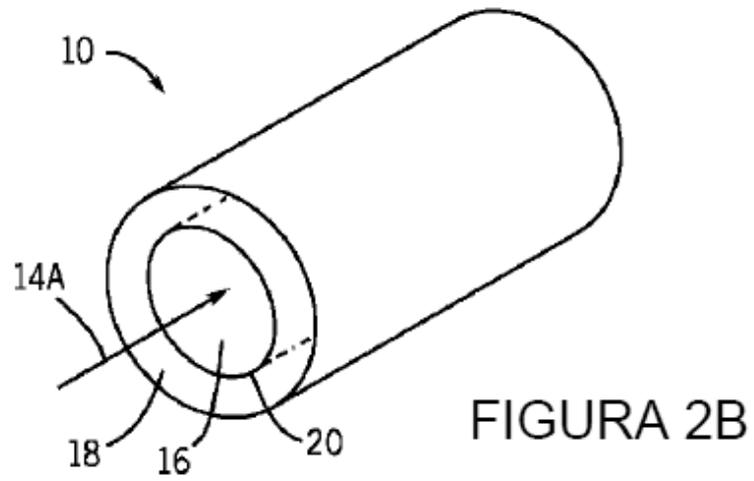


FIGURA 2A



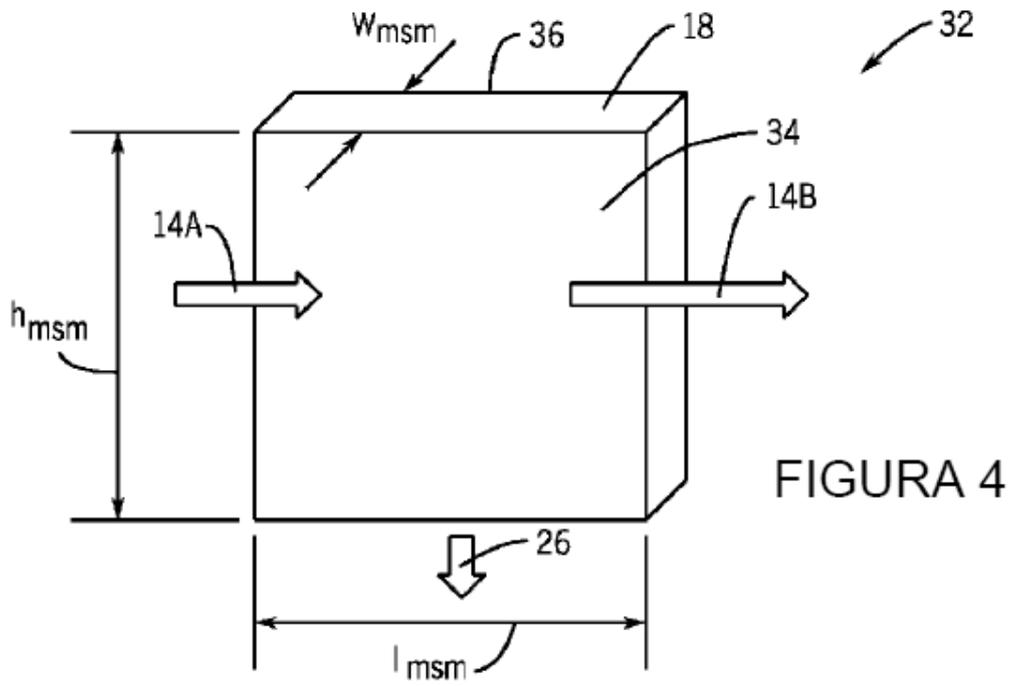


FIGURA 4

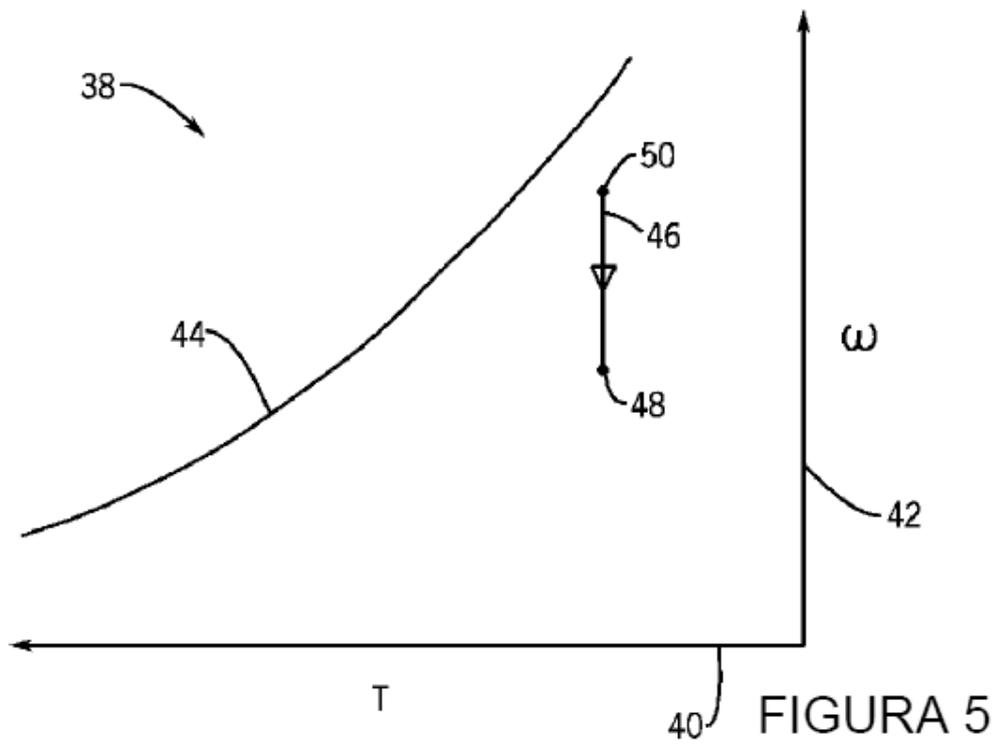


FIGURA 5

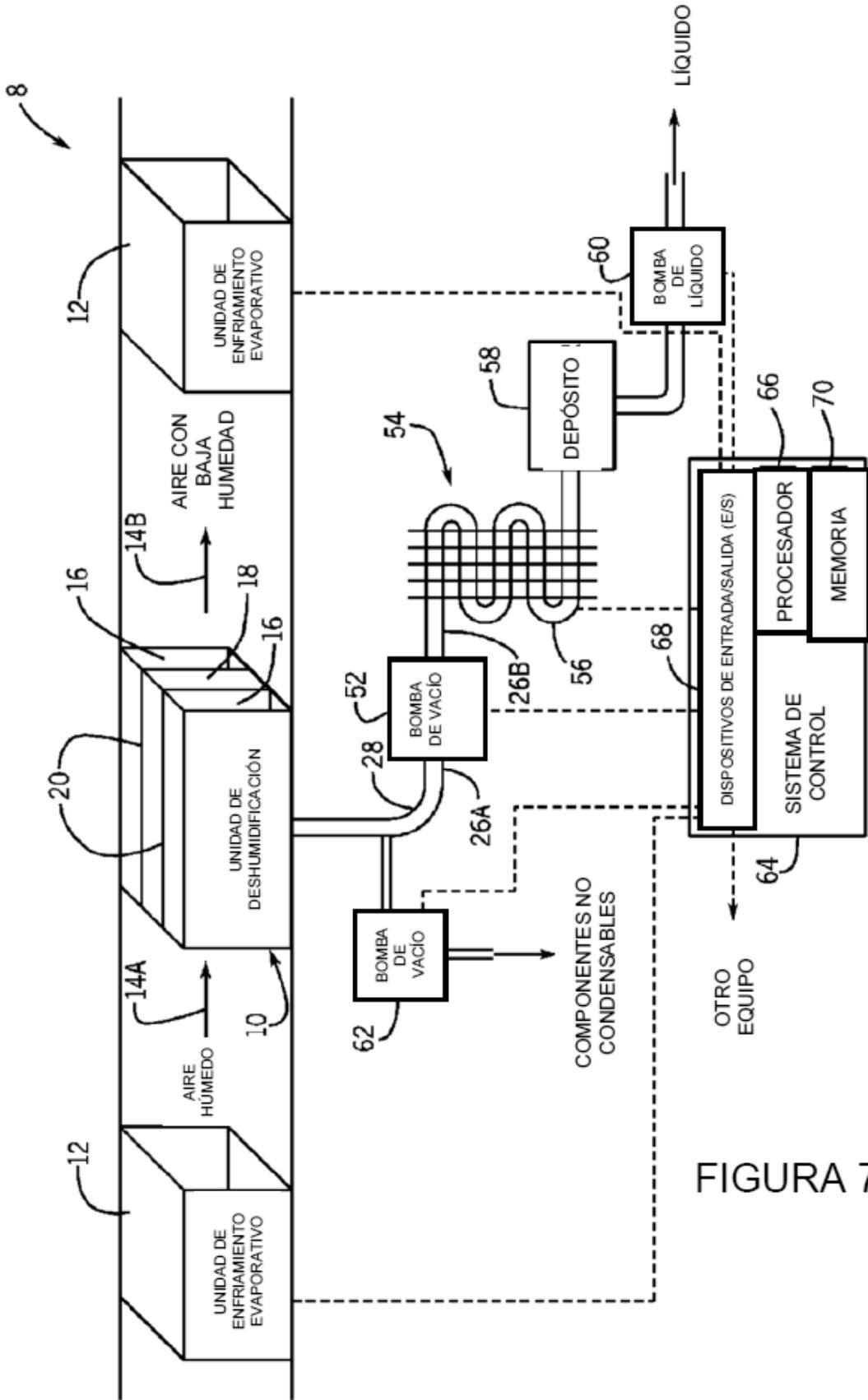


FIGURA 7

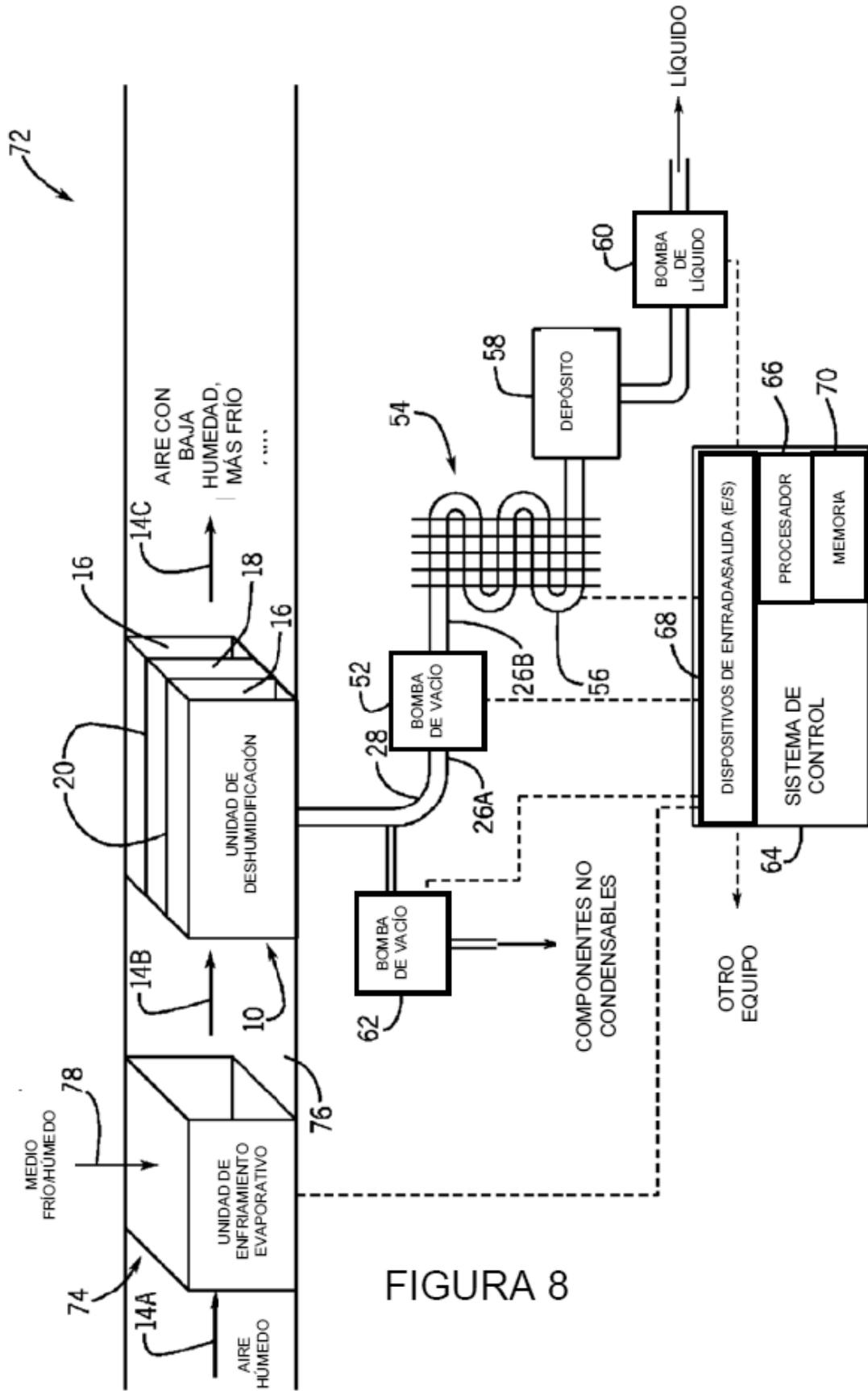


FIGURA 8

