

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 676 516**

51 Int. Cl.:

F24F 3/14 (2006.01)

B01D 53/26 (2006.01)

B01D 53/22 (2006.01)

B01D 63/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.11.2011 PCT/US2011/060486**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.05.2012 WO12065138**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.11.2011 E 11840628 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.05.2018 EP 2638331**

54 Título: **Sistemas y métodos para la deshumidificación del aire y el enfriamiento apreciable utilizando una bomba de múltiples etapas**

30 Prioridad:

11.11.2011 US 201113294952
12.11.2010 US 413327 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.07.2018

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

CULP, CHARLES H. y
CLARIDGE, DAVID E.

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 676 516 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistemas y métodos para la deshumidificación del aire y el enfriamiento apreciable utilizando una bomba de múltiples etapas

Antecedentes

5 Los sistemas de calentamiento, ventilación, y acondicionamiento de aire (HVAC) a menudo tienen sistemas de deshumidificación integrados en el aparato de enfriamiento para deshumidificar el aire que es acondicionado por dichos equipos. Cuando se requiere enfriamiento en ambientes de templados a calientes, el aire que se enfría y deshumidifica normalmente tendrá una relación de humedad por encima de aproximadamente 0,009 (gramos de H₂O por gramo de aire seco (libras de H₂O por libra de aire seco)). En estos ambientes, los sistemas HVAC tradicionalmente usan compresores refrigerantes para un enfriamiento apreciable del aire y la eliminación de la energía latente (esto es la humedad). El aire se enfría normalmente hasta aproximadamente 13°C (55°F), que condensa el H₂O fuera del aire hasta que el aire esté aproximadamente 100% saturado (esto es, una humedad relativa de aproximadamente 100%). La temperatura de 13°C (55°F) reduce la relación de humedad hasta aproximadamente 0,009 gramos de H₂O por gramo de aire seco (libras de H₂O por libra de aire seco), que es el punto de saturación de vapor de agua a 13°C (55°F), lo que resulta en una humedad relativa de casi el 100%. Cuando este aire se calienta a aproximadamente 24°C (75°F), la relación de humedad se mantiene aproximadamente la misma, y la humedad relativa cae a aproximadamente el 50%. Este método tradicional de deshumidificación requiere que el aire se enfríe hasta aproximadamente los 13°C (55°F), y pueda alcanzar normalmente un coeficiente de rendimiento (COP) de aproximadamente 3-5.

20 El documento US 5 681 368 A y la publicación de El-Dessouky et al "Un Nuevo Sistema Acondicionador de aire", INVESTIGACIÓN Y DISEÑO DE INGENIERÍA QUÍMICA, PARTE A. Institución de Ingenieros Químicos, XX, vol. 78, nº 7, 1 de Octubre del 2000 (01-10-2000), páginas 999-1009, ambos describen un sistema/método de deshumidificación de aire en el que se usa una unidad de enfriamiento por evaporación para enfriar una membrana permeable al agua para secar un flujo de aire; el vapor de agua pasa a través de la membrana debido a la aspiración en el lado de filtrado y posteriormente es presurizado mediante una bomba de aspiración.

25 El documento JP S63 54920 A describe una deshumidificación de aire en la que, succionado por una bomba de aspiración, el vapor de agua se filtra desde el aire que fluye en el lado de alta presión de la membrana al lado de baja presión de la membrana y se condensa después de la bomba de aspiración mediante un intercambiador de calor de enfriamiento. La humedad y la temperatura en el lado de alta presión y la presión en el lado de baja presión de la membrana se miden para controlar la presión de succión óptima de la bomba de aspiración.

Según la presente invención se proporciona un sistema y un método de deshumidificación según las reivindicaciones independientes adjuntas. Cualquier explicación que caiga fuera del alcance de las reivindicaciones es únicamente informativa.

Breve descripción de los dibujos

35 Estas y otras características, y ventajas de los sistemas de la presente descripción se entenderán mejor cuando se lea la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos adjuntos en los que los mismos caracteres representan las mismas partes en todos los dibujos, en donde:

La FIG. 1 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC que tiene una unidad de deshumidificación;

40 La FIG. 2A es una vista en perspectiva de la unidad de deshumidificación de la FIG. 1 que tiene múltiples canales de aire y canales de vapor de agua paralelos;

La FIG. 2B es una vista en perspectiva de la unidad de deshumidificación de la FIG. 1 que tiene un canal de aire único ubicado dentro de un canal de vapor de agua único;

La FIG. 3 es una vista en planta de un canal de aire y de unos canales de vapor de agua adyacentes de la unidad de deshumidificación de las FIG. 1, 2A, y 2B;

45 La FIG. 4 es una vista en perspectiva de un módulo de separación formado usando una membrana que se puede usar como canal de vapor de agua de la unidad de deshumidificación de las FIG. 1-3;

La FIG. 5 es una tabla psicrométrica de la relación de temperatura y de humedad del aire húmedo que fluye a través de la unidad de deshumidificación de las FIG. 1-3;

50 La FIG. 6 es un diagrama esquemático del sistema HVAC y de la unidad de deshumidificación de la FIG. 1 que tiene una bomba de aspiración para extraer los componentes no condensables del vapor de agua en la cámara de extracción de vapor de agua de la unidad de deshumidificación;

- La FIG. 7 es un diagrama esquemático del sistema HVAC y de la unidad de deshumidificación de la FIG. 6 que tiene un sistema de control para controlar diversas condiciones de funcionamiento del sistema HVAC y de la unidad de deshumidificación;
- 5 La FIG. 8 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC que tiene una pluralidad de unidades de deshumidificación dispuestas en serie;
- La FIG. 9 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC que tiene una pluralidad de unidades de deshumidificación dispuestas en paralelo;
- 10 La FIG. 10 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC que tiene una primera pluralidad de unidades de deshumidificación dispuestas en serie, y una segunda pluralidad de unidades de deshumidificación también dispuestas en serie, con la primera y la segunda pluralidad de unidades de deshumidificación dispuestas en paralelo;
- La FIG. 11 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC que tiene una unidad de enfriamiento por evaporación dispuesta antes de la unidad de deshumidificación;
- 15 La FIG. 12A es una tabla psicrométrica de la relación de temperatura y de humedad del aire que fluye a través de una unidad de enfriamiento por evaporación directa y la unidad de deshumidificación de la FIG. 11;
- La FIG. 12B es una tabla psicrométrica de la relación de temperatura y de humedad del aire que fluye a través de una unidad de enfriamiento por evaporación indirecta y la unidad de deshumidificación de la FIG. 11;
- La FIG. 13 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC que tiene la unidad de enfriamiento por evaporación dispuesta después de la unidad de deshumidificación;
- 20 La FIG. 14A es una tabla psicrométrica de la relación de temperatura y de humedad del aire que fluye a través de la unidad de deshumidificación y una unidad de enfriamiento por evaporación directa de la FIG. 13;
- La FIG. 14B es una tabla psicrométrica de la relación de temperatura y de humedad del aire que fluye a través de la unidad de deshumidificación y una unidad de enfriamiento por evaporación indirecta de la FIG. 13;
- 25 La FIG. 15A es una tabla psicrométrica de la relación de temperatura y de humedad del aire que fluye a través de una pluralidad de unidades de deshumidificación y una pluralidad de unidades de enfriamiento por evaporación directas;
- La FIG. 15B es una tabla psicrométrica de la relación de temperatura y de humedad del aire que fluye a través de una pluralidad de unidades de deshumidificación y una pluralidad de unidades de enfriamiento por evaporación indirectas;
- 30 La FIG. 16 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC que tiene una unidad mecánica de enfriamiento dispuesta después de la unidad de deshumidificación;
- La FIG. 17 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC que tiene una unidad mecánica de enfriamiento de la FIG. 16 dispuesta antes de la unidad de deshumidificación;
- La FIG. 18 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC que usa mini unidades de deshumidificación;
- 35 La FIG. 19 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC que usa múltiples etapas de enfriamiento y deshumidificación dispuestas en serie, de acuerdo con una realización de la presente descripción;
- La FIG. 20 es un diagrama esquemático del sistema HVAC de la FIG. 19, incluyendo un sistema de control;
- La FIG. 21 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC que usa múltiples etapas de enfriamiento y deshumidificación dispuestas en paralelo y en serie, de acuerdo con una realización de la presente descripción;
- 40 La FIG. 22 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC que usa múltiples etapas de enfriamiento y deshumidificación dispuestas en serie y acopladas de manera fluida a un sistema de enfriamiento dispuesto después de las múltiples unidades de deshumidificación;
- La FIG. 23 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC que usa múltiples etapas de enfriamiento y deshumidificación dispuestas en serie y acopladas de manera fluida a un sistema de enfriamiento dispuesto antes de las múltiples unidades de deshumidificación;
- 45 La FIG. 24 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC que usa múltiples etapas de enfriamiento y deshumidificación dispuestas en paralelo y acopladas de manera fluida a un sistema de enfriamiento dispuesto después de las múltiples unidades de deshumidificación;

La FIG. 25 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC que usa múltiples etapas de enfriamiento y deshumidificación dispuestas en paralelo y acopladas de manera fluida a un sistema de enfriamiento dispuesto antes de las múltiples unidades de deshumidificación;

5 La FIG. 26 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC que usa múltiples etapas de enfriamiento y deshumidificación dispuestas en paralelo y en serie y acopladas de manera fluida a un sistema de enfriamiento dispuesto después de las múltiples unidades de deshumidificación;

Descripción detallada de las realizaciones específicas

10 Las realizaciones específicas de la presente descripción se describirán en el presente documento. En un esfuerzo por proporcionar una descripción concisa de estas realizaciones, pueden no describirse todas las características de una implementación real en la especificación. Se debería apreciar que en el desarrollo de cualquier tipo de implementación real, como en cualquier proyecto de ingeniería o de diseño, se deben tomar numerosas decisiones específicas de la implementación para lograr los objetivos específicos de los desarrolladores, tales como el cumplimiento de las limitaciones relacionadas con el sistema y relacionadas con el negocio, que pueden variar de una implementación a otra. Además, se debería apreciar que dicho esfuerzo de desarrollo puede ser complejo y consume mucho tiempo, pero sin embargo sería una tarea rutinaria de diseño, fabricación y producción para aquellos de habilidad ordinaria que tienen el beneficio de esta descripción.

15 Al introducir los elementos de las diversas realizaciones de la presente invención, los artículos “un”, “una”, “el”, y “dicho” se destinan a significar que existen uno o más de los elementos. Los términos “comprendiendo,” “incluyendo,” y “teniendo” se destinan a ser inclusivos y significar que pueden existir elementos adicionales distintos de los elementos listados.

20 La materia descrita en la presente memoria se relaciona con los sistemas de deshumidificación y, más específicamente, con los sistemas y métodos capaces de deshumidificar aire sin la condensación inicial estableciendo un gradiente de humedad en una unidad de deshumidificación. En una realización, un material permeable al vapor de agua (esto es, una membrana permeable al vapor de agua) se usa a lo largo de al menos un límite que separa un canal de aire de un canal o cámara secundaria para facilitar la extracción del vapor de agua del aire que pasa a través del canal de aire. El canal o cámara secundaria separada del canal de aire por el material permeable al vapor de agua puede recibir el vapor de agua extraído del canal de aire a través del material permeable al vapor de agua.

25 En funcionamiento, el material permeable al vapor de agua permite que el flujo de H₂O (que puede referir 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 al vapor de agua desde el canal de aire hasta el segundo canal o cámara, mientras que sustancialmente bloquea el flujo de otros componentes del aire que fluyen a través del canal de aire de pasar a través del material permeable al vapor de agua. Como tal, el material permeable al vapor de agua reduce la humedad del aire que fluye a través del canal de aire extrayendo principalmente sólo el vapor de agua del aire. Por consiguiente, el canal o cámara secundaria se llena principalmente con el vapor de agua del aire. Se debería observar que el paso del H₂O a través del material permeable al vapor de agua puede ser facilitado por una presión diferencial. De hecho, se puede crear una presión parcial de vapor de agua inferior (esto es, una presión parcial menor que la presión parcial de vapor de agua en el canal de aire) en el canal o cámara secundaria para facilitar de manera adicional el paso del H₂O a través del material permeable al vapor de agua. Por consiguiente, el lado del material permeable al vapor de agua opuesto al canal de aire puede ser referido como el lado de succión del material permeable al vapor de agua.

30 Una vez que el H₂O ha pasado a través del material permeable al vapor de agua, se usa una bomba de aspiración para aumentar la presión parcial del vapor de agua en el lado de succión del material permeable al vapor de agua hasta una presión de saturación mínima usada para permitir la condensación del vapor de agua mediante un condensador. Esto es, la bomba de aspiración comprime el vapor de agua hasta una presión en un intervalo adecuado para condensar el vapor de agua en agua líquida (por ejemplo, un intervalo de aproximadamente 1,7-7,5 KPa (0,25-1,1 libras por pulgada cuadrada absoluta (psia)), aplicando un valor mayor a realizaciones que usen múltiples unidades de deshumidificación en serie), dependiendo de las condiciones deseadas para la condensación. El condensador entonces condensa el vapor de agua a un estado líquido, y el agua líquida resultante se presuriza después hasta aproximadamente la presión atmosférica, de manera tal que el agua líquida se puede rechazar en condiciones atmosféricas ambientales. Condensando el vapor de agua a un estado líquido antes de expulsarlo, se proporcionan ciertas eficiencias. Por ejemplo, presurizar el agua líquida a la presión atmosférica usa menos energía que presurizar vapor de agua a la presión atmosférica. De manera alternativa, el vapor de agua se puede rechazar a condiciones ambientales a través de una unidad de rechazo de vapor de agua de membrana. Se debería observar que la unidad de deshumidificación descrita en la presente memoria en general usa de manera significativa menos energía que los sistemas convencionales.

Mientras que las realizaciones descritas en la presente memoria se presentan principalmente como que permiten la eliminación del vapor de agua del aire, otras realizaciones pueden permitir la eliminación de otros componentes del H₂O del aire. Por ejemplo, en ciertas realizaciones, en lugar de material permeable al vapor de agua, se puede usar

un material permeable al H₂O. Como tal, el material permeable al H₂O puede permitir el flujo de una, todas o alguna combinación de componentes del H₂O (esto es, moléculas de agua, vapor de agua gaseoso, agua líquida, moléculas de agua adsorbidas/desorbidas y así sucesivamente) a través del material permeable al H₂O desde el canal de aire hasta el canal o la cámara secundaria, mientras que sustancialmente bloquea el flujo de otros componentes del aire que fluyen a través del canal de aire de pasar a través del material permeable al H₂O. En otras palabras, las realizaciones descritas no se limitan a la eliminación de vapor de agua del aire, sino que más bien a la eliminación del H₂O (esto es, en cualquiera de sus estados) del aire. Sin embargo, por concisión, las realizaciones descritas en la presente memoria se enfocan principalmente en la eliminación de vapor de agua del aire.

En ciertas realizaciones y ejemplos comparativos, como se describe en más detalle a continuación con respecto a las FIG. 19-26, una o más de las unidades de deshumidificación anteriormente mencionadas se puede combinar con uno o más sistemas de enfriamiento, tales como los sistemas de enfriamiento por evaporación. En un ejemplo, múltiples etapas, incluyendo cada etapa un enfriador mecánico o por evaporación y una unidad de deshumidificación, se pueden combinar en serie y/o paralelo. El aire exterior puede entrar en una primera etapa de las múltiples etapas, y ser posteriormente dirigido a través de las múltiples etapas, saliendo en una etapa final como aire más frío y seco. Esto es, cada etapa posterior puede enfriar y secar el aire de la etapa anterior. En una realización, se puede usar una bomba de aspiración multi etapa para crear un lado de baja presión, que proporcionar una presión parcial diferencial adecuada para permitir al aire exterior moverse a través de las múltiples etapas. En otros ejemplos comparativos, las múltiples bombas se pueden usar de manera alternativa o adicional a la bomba multi etapa. El lado de baja presión puede incluir también una unidad de purga útil para eliminar ciertos componentes del aire, tales como los componentes no condensables (por ejemplo, el oxígeno, el nitrógeno, y otros componentes gaseosos atmosféricos). Se puede proporcionar también un condensador, adecuado para condensar el vapor de agua que se puede dirigir después dentro de un receptor de líquidos. Una bomba puede descargar entonces el líquido del receptor. Los sistemas controladores se pueden acoplar de manera comunicativa a los diversos componentes de las múltiples etapas (por ejemplo, a las bombas, las válvulas, los condensadores, los enfriadores por evaporación) y usarse para controlar de manera más eficiente el secado y enfriado del aire.

Al proporcionar las múltiples etapas antes mencionadas, incluyendo cada etapa un enfriador mecánico o por evaporación y un sistema de deshumidificación, se puede producir aire más seco y frío de manera más eficiente, al compararlo con el uso de una única etapa. De manera adicional, incluir las múltiples etapas puede mejorar la fiabilidad y proporcionar redundancia. Por ejemplo, se pueden usar las válvulas de derivación para derivar ciertas etapas en caso de que se produzca un evento de mantenimiento inesperado. De hecho, el mantenimiento, que incluye la completa eliminación de una o más etapas, se puede realizar, por ejemplo, usando las válvulas de derivación, mientras que las etapas restantes pueden continuar con las operaciones de secado y/o enfriado. Además, cada etapa se puede proporcionar a diferentes capacidades de producción (por ejemplo, capacidad de secado, enfriado), permitiendo así un sistema HVAC adecuado para usar en una gran variedad de condiciones.

Con lo anterior en mente, puede ser útil describir ciertos sistemas y métodos, tales como un sistema HVAC 10 representado en la FIG. 1. Más específicamente, la FIG. 1 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC 10 que tiene una unidad 12 de deshumidificación. Como se ilustra, la unidad 12 de deshumidificación puede recibir el aire 14A de entrada que tiene una humedad relativamente alta y expulsar el aire 14B de salida que tiene una humedad relativamente baja. En concreto, la unidad 12 de deshumidificación puede incluir uno o más canales 16 de aire a través de los cuales el aire 14 (esto es, el aire 14A de entrada y el aire 14B de salida) fluye. Además, la unidad 12 de deshumidificación puede incluir uno o más canales 18 de vapor de agua adyacentes a uno o más canales 16 de aire. Como se ilustra en la FIG. 1, el aire 14 no fluye a través de los canales 18 de vapor de agua. Más bien, las realizaciones descritas en la presente memoria permiten el paso del vapor de agua desde el aire 14 en los canales 16 de aire hasta los canales 18 de vapor de agua, deshumidificando así el aire 14 y acumulando vapor de agua en los canales 18 de vapor de agua. En concreto, se puede permitir al vapor de agua del aire 14 en los canales 16 de aire fluir a través de una interfaz 20 (esto es, una barrera o membrana) entre los canales 16 de aire y los canales 18 de vapor de agua adyacentes, mientras que los otros componentes (por ejemplo, el nitrógeno, el oxígeno, el dióxido de carbono, y así sucesivamente) del aire 14 se bloquean de fluir a través de la interfaz 20. En general, los canales 18 de vapor de agua se sellan para crear la baja presión que elimina el vapor de agua del aire 14 en los canales 16 de aire a través de las interfaces 20 como H₂O (esto es, como moléculas de agua, vapor de agua gaseoso, agua líquida, moléculas de agua adsorbidas/desorbidas, moléculas de agua absorbidas/desorbidas, y así sucesivamente, a través de las interfaces 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 está generado por un gradiente de presión entre los canales 16 de aire y los canales 18 de vapor de agua. En concreto, la presión parcial de vapor de agua en los canales 18 de vapor de agua se mantiene en un nivel inferior que la presión parcial de vapor de agua en los canales 16 de aire, de manera tal que el vapor de agua en el aire 14 que fluye a través de los canales 16 de aire tiende hacia el lado de succión (esto es, hacia los canales 18 de vapor de agua que tienen una presión parcial inferior de vapor de agua) de las interfaces 20.

Los componentes del aire distintos del H₂O pueden ser sustancialmente bloqueados de pasar a través de las interfaces 20 de acuerdo con las presentes realizaciones. En otras palabras, en ciertas realizaciones, 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 distintos del H₂O (por ejemplo, el nitrógeno, el oxígeno, el dióxido de carbono, y así sucesivamente) se pueden bloquear de pasar a través de las interfaces 20. Al compararlo con una interfaz 20 ideal que bloquea el 100% de los componentes distintos del H₂O, una interfaz 20 que bloquea el 99,5% de los componentes distintos del H₂O experimentará una reducción en su eficiencia de aproximadamente 2-4%. Como tal, se pueden purgar los componentes distintos del H₂O para minimizar estos efectos negativos en la eficiencia.

La FIG. 2A es una vista en perspectiva de la unidad 12 de deshumidificación de la FIG. 1 que tiene múltiples canales 16 de aire y canales 18 de vapor de agua paralelos. Como se ilustra en la FIG. 2A, los canales 16 de aire y los canales 18 de vapor de agua generalmente son canales rectilíneos, que proporcionan una cantidad sustancial de área de superficie de las interfaces 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 sea extraído a lo largo de la ruta de los canales 16 de aire antes de que el aire 14 salga de los canales 16 de aire. En otras palabras, el aire 14A de entrada relativamente húmedo (por ejemplo, el aire con un punto de rocío a 13°C (55°F) o más de manera tal que el aire sea apropiado para el acondicionamiento de aire) pasa directo a través de los canales 16 de aire y sale como aire 14B de salida relativamente seco, ya que la humedad se ha eliminado ya que el aire 14 atraviesa el lado de presión atmosférica de las interfaces 20 (esto es, el lado de las interfaces 20 en los canales 16 de aire). Donde una unidad única está deshumidificando a una presión de saturación de 16°C (60°F) o por debajo, el lado de succión de las interfaces 20 (esto es, el lado de las interfaces 20 en los canales 18 de vapor de agua) se mantendrá generalmente en una presión parcial de vapor de agua que es inferior que la presión parcial de vapor de agua en el lado de presión atmosférica de las interfaces 20.

Como se ilustra en la FIG. 2A, cada uno de los canales 18 de vapor de agua se conecta con un canal 22 de salida de vapor de agua a través del cual se elimina el vapor de agua en los canales 18 de vapor de agua. Como se ilustra en la FIG. 2A, las salidas 22 del canal de vapor de agua se puede conectar a través de un colector 24 de salida del vapor de agua, en donde el vapor 26A de agua de todos los canales 18 de vapor de agua se combina en un volumen 28 de aspiración de vapor de agua, tal como un tubo o una cámara. Se pueden implementar también otras configuraciones de los canales 16 de aire y de los canales 18 de vapor de agua. Como otro ejemplo, la FIG. 2B es una vista en perspectiva de la unidad 12 de deshumidificación de la FIG. 1 que tiene un canal 16 de aire único ubicado dentro de un canal 18 de vapor de agua único. 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 mayor. Los sistemas ilustrados en las FIG. 2A y 2B son simplemente ejemplares y no están destinados a ser limitantes.

La Fig. 3 es una vista de planta de un canal 16 de aire y unos canales 18 de vapor de agua adyacentes de la unidad 12 de deshumidificación de las FIG. 1, 2A, y 2B. En la FIG. 3, se exagera una representación del vapor 26 de agua con propósitos ilustrativos. En concreto, el vapor 26 de agua del aire 14 se muestra fluyendo a través de las interfaces 20 entre el canal 16 de aire y los canales 18 de vapor de agua adyacentes como H₂O (esto es, como moléculas de agua, vapor de agua gaseoso, agua líquida, moléculas de agua adsorbidas/desorbidas, moléculas de agua adsorbidas/desorbidas, y así sucesivamente, a través de las interfaces 20). A la inversa, otros componentes 30 (por ejemplo, el nitrógeno, el oxígeno, el dióxido de carbono, y así sucesivamente) del aire 14 se ilustran como siendo bloqueados de fluir a través de las interfaces 20 entre el canal 16 de aire y los canales 18 de vapor de agua.

En ciertas realizaciones, las interfaces 20 pueden incluir membranas que son permeables al vapor de agua y permiten el flujo del H₂O a través de volúmenes permeables de las membranas mientras que bloquean el flujo de los otros componentes 30. De nuevo, se debería observar que cuando el H₂O pasa a través de las interfaces 20, realmente puede pasar como uno, todos, o cualquier combinación de estados del agua (por ejemplo, como vapor de agua, agua líquida, moléculas de agua adsorbidas/desorbidas, moléculas de agua adsorbidas/desorbidas, y así sucesivamente) a través de las interfaces 20. Por ejemplo, las interfaces 20 pueden adsorber/desorber moléculas de agua. En otro ejemplo, las interfaces 20 pueden adsorber/desorber moléculas de agua y permitir el paso de vapor de agua. Las interfaces 20 pueden facilitar el paso del agua en otras combinaciones de estados. Las interfaces 20 se extienden a lo largo de la ruta del flujo del aire 14. Como tal, el vapor 26 de agua es continuamente eliminado de un lado de la interfaz 20 según el aire 14A de entrada relativamente húmedo fluye a través del canal 16 de aire. Por lo tanto, la deshumidificación del aire 14 que fluye a través del canal 16 de aire se logra separando el vapor 26 de agua de los otros componentes 30 del aire 14 de manera incremental según progresa a lo largo de la ruta de flujo del canal 16 de aire y entra en contacto continuo con las interfaces 20 adyacentes al canal 16 de la ubicación del aire 14A de entrada hasta la ubicación 14B del aire de salida.

En ciertos ejemplos comparativos, los canales 18 de vapor de agua son evacuados antes de usar la unidad 12 de deshumidificación, de manera tal que se crea una presión parcial inferior del vapor 26 de agua (esto es, una presión parcial menor que la presión parcial del 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 puede estar en el intervalos de aproximadamente 0,70-1,7 kPa (0,10-0,25 psia) durante un funcionamiento normal, lo que corresponde con una deshumidificación hasta una presión de saturación de 16°C (60°F) o por debajo. En este ejemplo, se puede usar una presión inicial de aproximadamente 0,07 kPa (0,01 psia) para eliminar otros componentes del aire (por ejemplo, no condensables como el oxígeno, el nitrógeno, y el dióxido de carbono), donde la presión parcial del vapor de agua en los canales 16 de aire puede estar en el intervalo de aproximadamente 1,4-6,9 kPa (0,2-1,0 psia). Sin

embargo, en ciertos momentos, el diferencial de presión entre la presión parcial del vapor de agua en los canales 18 de vapor de agua y los canales 16 de aire puede ser tan bajo como (o menos que) aproximadamente 0,07 kPa (0,01 psia). La presión parcial inferior del vapor de agua en los canales 18 de vapor de agua facilita además el flujo del vapor 26 de agua desde los canales 16 de aire hasta los canales 18 de vapor de agua, ya que el aire 14 que fluye a través de los canales 16 de aire está a una presión atmosférica (esto es, aproximadamente 101 kPa (14,7 psia) al nivel del mar). Ya que la presión parcial del 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 desde los canales 16 de aire hasta los canales 18 de vapor de agua. Como se describe anteriormente, las interfaces 20 entre los canales 16 de aire y los canales 18 de vapor de agua adyacentes proporcionan una barrera, y sustancialmente permiten que sólo el vapor 26 de agua fluya desde el aire 14 en los canales 16 dentro de los canales 18 de vapor de agua. Como tal, el aire 14, que fluye a través de los canales 16 de aire generalmente disminuirá en humedad desde el aire 14A de entrada hasta el aire 14B de salida.

El uso de membranas permeables al vapor de agua como las interfaces 20 entre los canales 16 de aire y los canales 18 de vapor de agua tiene muchas ventajas. En concreto, en algunas realizaciones, no se usa energía adicional para generar el gradiente de humedad desde los canales 16 de aire hasta los canales 18 de vapor de agua. Además, en algunas realizaciones, no se involucra regeneración y no se generan emisiones ambientales (por ejemplo, sólidos, líquidos, o gases). De hecho, de acuerdo con una realización, la separación del vapor 26 de agua de los otros componentes 30 del aire 14 a través de membranas permeables al agua (esto es, las interfaces 20) se puede lograr con eficiencias de energía mucho mayores que la tecnología compresora usada para condensar agua directamente desde una corriente de aire.

Ya que las membranas permeables al vapor de agua son altamente permeables al vapor de agua, los costes de hacer funcionar la unidad 12 de deshumidificación se pueden minimizar ya que el aire 14 que fluye a través de los canales 16 de aire no tiene que ser presurizado de manera significativa para facilitar el paso del H₂O a través de las interfaces 20. Las membranas permeables al vapor de agua son también altamente selectivas a la penetración del vapor de agua del aire 14. En otras palabras, las membranas permeables al vapor de agua son muy eficientes al bloquear los componentes 30 del aire 14 distintos del vapor de agua de que entren en los canales 18 de vapor de agua. Esto es ventajoso ya que el H₂O pasa a través de las interfaces 20 debido al gradiente de presión (esto es, debido a las presiones parciales inferiores del vapor de agua en los canales 18 de vapor de agua) y cualquier penetración o filtración de aire 14 en los canales 18 de vapor de agua aumentará el consumo de energía de la bomba de aspiración usada para evacuar los canales 18 de vapor de agua. Además, las membranas permeables al vapor de agua son suficientemente robustas para resistir la contaminación del aire, la degradación biológica, y la erosión mecánica de los canales 16 de aire y los canales 18 de vapor de agua. Las membranas permeables al vapor de agua pueden ser resistentes también a la fijación de bacterias y el crecimiento en ambientes de aire caliente y húmedo.

Un ejemplo de un material usado para las membranas permeables (esto es, las interfaces 20) es la zeolita soportada en láminas de metal porosas delgadas. En concreto, una película de membrana de zeolita ultra delgada (por ejemplo, de menos de aproximadamente 2 µm) puede ser depositada sobre una hoja de metal poroso de aproximadamente 50 µm de espesor. La membrana resultante se puede empaquetar en un módulo de separación de membrana a usar en la unidad 12 de deshumidificación. La FIG. 4 es una vista en perspectiva de un módulo 32 de separación formado usando una membrana que se puede usar como un canal 18 de vapor de agua de la unidad 12 de deshumidificación de las FIG. 1-3. Dos hojas 34, 36 de membrana se pueden doblar y unir entre sí 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 se puede posicionar dentro de la unidad 12 de deshumidificación de manera tal que la superficie de recubrimiento de la membrana se expone al aire 14. El espesor de la hoja de soporte de metal reduce el peso y el coste del material de metal en bruto y minimiza también la resistencia a la difusión del H₂O a través de la película de membrana permeable al vapor de agua depositada en las hojas 34, 36 de membrana. La naturaleza metálica de las hojas 34, 36 proporciona una resistencia para el embalaje de manera tal que el módulo 32 de separación puede resistir un gradiente de presión mayor de aproximadamente 414 kPa (60 psi) (esto es, 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 aire a vapor de agua de aproximadamente 5-200+. Como tal, la eficiencia de la unidad 12 de deshumidificación es relativamente alta comparada con otras técnicas de deshumidificación con un coste de producción relativamente bajo. Como ejemplo, se puede usar aproximadamente 7-10 m² de área de membrana de las interfaces 20 para deshumidificar 1 tonelada de carga de enfriamiento de aire bajo condiciones ambientales. Para manejar dicha carga de enfriamiento se pueden usar 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 de lado a lado en la unidad 12 de deshumidificación, dejando aproximadamente 2 mm de hueco entre los módulos 32 de separación. Estos huecos definen los canales 16 de aire a través de los cuales el aire 14 fluye. Las mediciones descritas en este ejemplo son simplemente ejemplares y no están destinadas a ser limitantes.

La FIG. 5 es una tabla 38 psicrométrica de la relación de temperatura y de humedad del aire 14 húmedo que fluye a través de la unidad 12 de deshumidificación de las FIG. 1-3. En concreto, el eje x 40 de la tabla 38 psicrométrica corresponde a la temperatura del aire 14 que fluye a través de los canales 16 de aire de la FIG. 1, el eje y 42 de la tabla 38 psicrométrica corresponde a la relación 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. Como se ilustra por la línea 46, ya que el vapor de agua se elimina del aire 14 que fluye a través de los canales 16 de aire, la relación de humedad del aire 14B de salida (esto es, el punto 48) desde la unidad 12 de deshumidificación de las FIG. 1-3 es inferior que la relación de humedad del aire 14A de entrada (esto es, el punto 50) dentro de la unidad 12 de deshumidificación de las FIG. 1-3, mientras que la temperatura del aire 14B de salida y del aire 14A de entrada son sustancialmente la misma.

Volviendo ahora a la FIG. 1, como se describe anteriormente, se crea una presión parcial inferior del vapor 26 de agua (esto es, una presión parcial menor que la presión parcial del vapor de agua en los canales 16 de aire) en los canales 18 de vapor de agua de la unidad 12 de deshumidificación para facilitar de manera adicional el paso del H₂O a través de las interfaces 20 desde los canales 16 de aire hasta los canales 18 de vapor de agua. Los canales 18 de vapor de agua se pueden evacuar inicialmente usando una bomba 52 de aspiración. En concreto, la bomba 52 de aspiración puede evacuar los canales 18 de vapor de agua y el volumen 28 de aspiración de vapor de agua, así como las salidas 22 de vapor de agua y el colector 24 de vapor de agua de la FIG. 2A. Sin embargo, se puede usar una bomba separada de la bomba 52 de aspiración para evacuar los canales 18 de vapor de agua, el volumen 28 de aspiración de vapor de agua, las salidas 22 de vapor de agua, y el colector 24 de vapor de agua. Como se ilustra en la FIG. 1, el vapor 26 de agua eliminado del aire 14 en la unidad 12 de deshumidificación se puede distinguir del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua (esto es, el lado de succión de la bomba 52 de aspiración) y el vapor 26B de agua expulsado desde un lado de escape (esto es, una salida) de la bomba 52 de aspiración (esto es, el vapor 26B de agua entregado a una unidad de condensación). En general, el vapor 26B de agua expulsado desde la bomba 52 de aspiración tendrá una presión y una temperatura ligeramente superiores que el vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua. La bomba 52 de aspiración 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 aspiración que la presión parcial de vapor de agua en el aire 14 húmedo.

Por ejemplo, la presión parcial inferior del vapor 26A de agua que se mantiene en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua puede estar en el intervalo de aproximadamente 1,0-1,7 kPa (0,15-0,25 psia), lo que corresponde con temperaturas de saturación de aproximadamente 7,2°C a 16°C (45°F a 60°F), con el vapor 26A de agua en el intervalo de aproximadamente 18-24°C (65-75°F). Sin embargo, el vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua se puede mantener en una presión parcial de vapor de agua en el intervalo de aproximadamente 0,07-1,7 kPa (0,01-0,25 psia) y una temperatura en el intervalo de aproximadamente 13°C (55°F) hasta la temperatura ambiental del aire más alta. Un ejemplo comparativo específico se puede diseñar para disminuir la presión parcial en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua al intervalo de 0,07 kPa (0,01 psia) para aumentar la capacidad de eliminar vapor de agua del aire 14 para permitir que un enfriador por evaporación procese toda la carga de acondicionamiento de aire cuando las condiciones atmosféricas permitan este modo de funcionamiento.

En ciertos sistemas, la bomba 52 de aspiración es una bomba de baja presión configurada para disminuir la presión del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua a una presión parcial inferior que la presión parcial de vapor de agua en el lado atmosférico de las interfaces 20 (esto es, la presión parcial del aire 14 en los canales 16 de aire). En el lado de escape de la bomba 52 de aspiración, la presión parcial del vapor 26B de agua es aumentada lo suficientemente alto como para facilitar la condensación del vapor de agua (esto es, en una unidad 54 de condensación). De hecho, la bomba 52 de aspiración se configura para aumentar la presión de manera tal que el vapor 26B de agua en la unidad 54 de condensación esté a una presión próxima a la presión de saturación mínima en la unidad 54 de condensación. De manera alternativa, la unidad 54 de condensación y los componentes posteriores se pueden reemplazar por una unidad de rechazo de vapor de agua de membrana.

Como un funcionamiento de ejemplo del sistema HVAC 10, el aire 14 puede entrar al sistema a una presión parcial de vapor de agua de 2,2 kPa (0,32 psia), que corresponde a una relación de humedad de aproximadamente 0,014 gramos de H₂O por gramo de aire seco (libras de H₂O por libra de aire seco). El sistema se puede fijar para eliminar aproximadamente 0,005 gramos de H₂O por gramo de aire seco (libras de H₂O por libra de aire seco) del aire 14. Los diferenciales de presión a través de las interfaces 20 se pueden usar para crear un flujo de H₂O a través de las interfaces 20. Por ejemplo, la presión parcial de vapor de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua se puede fijar a aproximadamente 0,7 kPa (0,1 psia). La presión del vapor 26B de agua es aumentada por la bomba 52 de aspiración en un proceso adiabático primario, y según aumenta la presión del vapor 26B de agua, aumenta la temperatura también (en contraste con el diferencial de temperatura relativamente despreciable a través de las interfaces 20). Como tal, si por ejemplo la presión del vapor 26B de agua aumenta en la bomba 52 de aspiración en aproximadamente 2 kPa (0,3 psi) (esto es, aproximadamente hasta los 3 kPa (0,4 psia)), entonces la unidad 54 de condensación es capaz de condensar el vapor 26B de agua a una temperatura de aproximadamente 22-23°C (72-73°F), y la temperatura del vapor 26B de agua aumenta hasta una temperatura sustancialmente mayor que la temperatura del condensador. El sistema puede monitorizar de manera continua las condiciones de presión y temperatura de tanto el vapor 26A de agua anterior como el vapor 26B de agua posterior para asegurar que el vapor

26B de agua expulsado de la bomba 52 de aspiración tiene una presión parcial de vapor de agua suficientemente alta para facilitar la condensación en la unidad 54 de condensación. Se debería observar que los valores de presión y temperatura presentados en este escenario son simplemente ejemplares y no están destinados a ser limitantes.

5 Según aumenta la diferencia de presión desde el vapor 26A de agua que entra a la bomba 52 de aspiración hasta el vapor 26B de agua que sale de la bomba 52 de aspiración, la eficiencia de la unidad 12 de deshumidificación disminuye. Por ejemplo, en una realización, la bomba 52 de aspiración se puede fijar 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 menor temperatura ambiente del medio de enfriamiento (esto es, el aire o el agua) usado por la unidad 54 de condensación para condensar el vapor 26B de agua. La temperatura del vapor 26B de agua se puede usar para controlar la presión en la unidad 54 de condensación. La temperatura del vapor 26B de agua expulsado desde la bomba 52 de aspiración puede estar sustancialmente más caliente que el aire 14A húmedo (por ejemplo, esta temperatura podría alcanzar aproximadamente 93,3°C (200°F) o por encima dependiendo de una variedad de factores). Ya que la bomba 52 de aspiración sólo puede aumentar la presión del vapor 26B de agua a un punto en el que se facilita la condensación del vapor 26B de agua (esto es, aproximadamente la presión de saturación), los requisitos de energía de la bomba 52 de aspiración son relativamente bajos, obteniendo de este modo una gran eficiencia de la unidad 12 de deshumidificación.

Una vez que el vapor 26B de agua ha sido ligeramente presurizado (esto es, comprimido) por la bomba 52 de aspiración, el vapor 26B de agua se dirige dentro de la unidad 54 de condensación, en donde el vapor 26B de agua se condensa en un estado líquido. La unidad 54 de condensación puede incluir una bobina 56 de condensación, un condensador de tubería/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 bien ser aire enfriado o agua enfriada. Por ejemplo, la unidad 54 de condensación puede ser enfriada mediante aire del ambiente o agua de una torre de enfriamiento. Como tal, los costes de funcionamiento de la unidad 54 de condensación pueden ser relativamente bajos, ya que tanto el aire del ambiente como el agua de la torre de enfriamiento son suministros relativamente ilimitados.

Una vez que el vapor 26B de agua se ha condensado a un estado líquido, el agua líquida de la unidad 54 de condensación se puede dirigir a un depósito 58 para el almacenamiento temporal del vapor saturado y del agua líquida. Sin embargo, no se puede usar un depósito 58. En tal caso, el agua líquida de la unidad 54 de condensación se puede dirigir dentro de una bomba 60 de líquidos (esto es, un dispositivo de transporte de agua), dentro de la cual la presión del agua líquida de la unidad 54 de condensación es aumentada hasta aproximadamente la presión atmosférica (esto es, aproximadamente 101 kPa (14,7 psia)) para que el agua líquida se pueda rechazar en condiciones ambientales. Como tal, la bomba 60 de líquidos se puede dimensionar suficientemente grande para aumentar la presión del agua líquida de la unidad 54 de condensación hasta aproximadamente la presión atmosférica. Por lo tanto, los costes de hacer funcionar la bomba 60 de líquidos pueden ser relativamente bajos. Además, el agua líquida de la bomba 60 de líquidos puede estar a una temperatura ligeramente elevada debido al aumento en la presión del agua líquida. Como tal, el agua líquida calentada se puede transportar para usar como agua caliente doméstica para su uso en el hogar, aumentando así la eficiencia del sistema recuperando el calor transferido al agua líquida.

Aunque las interfaces 20 entre los canales 16 de aire y los canales 18 de vapor de agua según se describe anteriormente permiten de manera general que pase sólo el H₂O de los canales 16 de aire hasta los canales 18 de vapor de agua, se pueden permitir pasar cantidades muy mínimas (por ejemplo, menos del 1% de oxígeno (O₂), de nitrógeno (N₂), u otros componentes no condensables) de los otros componentes 30 del aire 14 a través de las interfaces 20 de los canales 16 de aire hasta los canales 18 de vapor de agua. A lo largo del tiempo, la cantidad de los otros componentes 30 se puede acumular en los canales 18 de vapor de agua (así como en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua, en las salidas 22 de vapor de agua, y en los colectores 24 de vapor de agua de la FIG. 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 puede afectar de manera adversa al rendimiento de la bomba 52 de aspiración y de todos los otros equipos corriente debajo de la bomba 52 de aspiración (en concreto, la unidad 54 de condensación).

Por consiguiente, se puede usar una segunda bomba de aspiración, tal como la bomba 62 mostrada en la FIG. 6, para purgar de manera periódica los otros componentes 30 del volumen 28 de aspiración de vapor de agua. La FIG. 6 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC 10 y de la unidad 12 de deshumidificación de la FIG. 1 que tiene la bomba 62 de aspiración para eliminar los componentes 30 no condensables del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua de la unidad 12 de deshumidificación. La bomba 62 de aspiración puede ser la misma bomba usada para evacuar el volumen 28 de aspiración 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 presión parcial más baja de vapor de agua descrita anteriormente que facilita el paso del H₂O a través de las interfaces 20 desde los canales 16 de aire hasta los canales 18 de vapor de agua. Sin embargo, la bomba 62 de aspiración puede ser diferente de la bomba usada para evacuar el volumen 28 de aspiración de vapor de agua para crear la presión parcial inferior de vapor de agua.

La unidad de deshumidificación 12 descrita en la presente memoria se puede controlar también entre diversos estados de funcionamiento, modulada en base a las condiciones de funcionamiento de la unidad 12 de deshumidificación. Por ejemplo, la FIG. 7 es un diagrama esquemático del sistema HVAC 10 y de la unidad 12 de deshumidificación de la FIG. 6 que tiene un sistema 64 de control para controlar diversas condiciones de funcionamiento del sistema HVAC 10 y de la unidad 12 de deshumidificación. El sistema 64 de control puede incluir uno o más procesadores 66, por ejemplo, uno o más microprocesadores de "propósito general", uno o más microprocesadores de propósito especial y/o ASIC (circuitos integrados para aplicaciones específicas), o alguna combinación de dichos componentes de procesamiento. El procesador 66 puede usar dispositivos 68 de entrada/salida (I/O) para, por ejemplo, recibir señales desde y emitir señales de control a los componentes de la unidad 12 de deshumidificación (esto es, las bombas 52, 62 de aspiración, la unidad 54 de condensación, el depósito 58, la bomba 60 de líquidos, otros equipos tales como un ventilador que sopla el aire 14A de entrada a través de la unidad 12 de deshumidificación, sensores configurados para generar señales relacionadas con las características del aire 14A, 14B de entrada y de salida, y así sucesivamente). Los procesadores 66 pueden tomar estas señales como entradas y calcular como controlar la funcionalidad de estos componentes de la unidad 12 de deshumidificación para eliminar de manera más eficiente el vapor 26 de agua del aire 14 que fluye a través de la unidad 12 de deshumidificación. El sistema 64 de control puede incluir también un medio legible por ordenador no transitorio (esto es, una memoria 70) que, por ejemplo, puede almacenar instrucciones o datos a ser procesados por el uno o más procesadores 66 del sistema 64 de control.

Por ejemplo, el sistema 64 de control se puede configurar para controlar la tasa de eliminación de componentes 30 no condensables del vapor 26A de agua del volumen 28 de aspiración de vapor de agua de la unidad 12 de deshumidificación encendiendo o apagando la bomba 62 de aspiración, o modulando la tasa a la que la bomba 62 de aspiración elimina los componentes 30 no condensables del vapor 26A de agua. Más específicamente, el sistema 64 de control puede recibir señales desde un sensor en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua que detecta cuando hay presentes demasiados componentes 30 no condensables en el vapor 26A de agua contenidos en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua. Este proceso de eliminación de componentes no condensables puede funcionar de una manera cíclica. En el funcionamiento "normal" de la eliminación del vapor 26 de agua del aire 14, la bomba 62 de aspiración no está en funcionamiento. Según se acumulan los componentes 30 no condensables en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua, la presión interna en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua alcanza finalmente un valor nominal. En este punto del tiempo, la bomba 62 de aspiración se enciende y elimina todos los componentes (esto es, tanto los componentes no condensables 30 así como el H₂O, que incluye el vapor de agua) hasta que la presión interna en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua alcanza otro valor nominal (por ejemplo, inferior que la presión de aspiración de inicio). Entonces, la bomba 62 de aspiración se apaga y la unidad 12 de deshumidificación vuelve al modo de funcionamiento normal. Los valores nominales bien pueden estar prefijados o se determinan de manera dinámica. Un método será tener la bomba 62 de aspiración funcionando sólo en el modo purga de manera intermitente.

Otro ejemplo del tipo de control que se puede lograr mediante el sistema 64 de control es modular la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua (así como en los canales 18 de vapor de agua, en las salidas 22 de vapor de agua, y en el colector 24 de vapor de agua) para modificar la relación de capacidad y eficiencia de eliminación del vapor de agua de la unidad 12 de deshumidificación. Por ejemplo, el sistema 64 de control puede recibir señales de los sensores de presión en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua, en los canales 18 de vapor de agua, en las salidas 22 de vapor de agua, y/o en el colector 24 de vapor de agua, así como las señales generadas por los sensores en relación a las características (por ejemplo, la temperatura, la presión, la tasa de flujo, la humedad relativa, y así sucesivamente) 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 presión parcial inferior del vapor 26A de agua (por ejemplo, con respecto a la presión parcial del vapor de agua en el aire 14 que fluye a través de los canales 16 de aire) para aumentar o disminuir la tasa de eliminación de vapor 26 de agua de los canales 16 de aire a los canales 18 de vapor de agua a través de las interfaces 20.

Por ejemplo, si se desea eliminar más vapor de agua, la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua se puede reducir y, a la inversa, si se desea eliminar menos vapor de agua, se puede aumentar la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua. Además, la cantidad de deshumidificación (esto es, la eliminación de vapor de agua) se puede repetir en ciclos para mejorar la eficiencia de la unidad 12 de deshumidificación. Más específicamente, bajos ciertas condiciones de funcionamiento, la unidad 12 de deshumidificación puede funcionar de manera más eficiente a mayores tasas de eliminación de vapor de agua. Como tal, la unidad 12 de deshumidificación se puede repetir en ciclos para eliminar la máxima cantidad de vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), para después relativamente no eliminar vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), para después eliminar la máxima cantidad de vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), y así sucesivamente. En otras palabras, la unidad 12 de deshumidificación se puede hacer funcionar a total capacidad de eliminación de vapor de agua durante periodos de tiempo que alternan con otros periodos de tiempo donde no se elimina ningún vapor de agua. Además, el sistema 64 de control se puede configurar para controlar la secuencia de arranque y apagado de la unidad 12 de deshumidificación.

La unidad 12 de deshumidificación se puede diseñar y hacer funcionar de muchos modos diversos, y en condiciones de funcionamiento variantes. En general, la unidad 12 de deshumidificación funciona con el volumen 28 de aspiración 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) a una presión parcial de vapor de agua por debajo de la presión parcial de vapor de agua del aire 14 que fluye a través de los canales 16 de aire. La unidad 12 de deshumidificación se puede optimizar para el uso en un sistema de aire exterior dedicado (DOAS), en donde el aire 14 puede tener una temperatura en el intervalo de aproximadamente 13-37,8°C (55-100°F), y una humedad relativa en el intervalo de aproximadamente 55-100%. La unidad 12 de deshumidificación se puede optimizar para uso residencial para aire recirculado que tiene una temperatura en el intervalo de aproximadamente 21-29°C (70-85°F), y una humedad relativa en el intervalo de aproximadamente 55-65%. De manera similar, la unidad 12 de deshumidificación se puede optimizar para deshumidificar aire exterior en sistemas de aire recirculado de edificios comerciales, que deshumidifica el aire 14A interior que tiene una temperatura en el intervalo de aproximadamente 13-43,3°C (55-110°F) y una humedad relativa en el intervalo de aproximadamente 55-100%. El aire 14B de salida tiene menos humedad y aproximadamente la misma temperatura que el aire 14A de entrada, a menos que se realice el enfriamiento en el aire 14B de salida.

La unidad 12 de deshumidificación descrita en la presente memoria usa menos energía de funcionamiento que los sistemas de deshumidificación convencionales debido a las presiones relativamente bajas que se usan para deshumidificar el aire 14A. Esto es debido al menos en parte a la capacidad de las interfaces 20 (esto es, las membranas permeables al vapor de agua) de eliminar el vapor 26 de agua del aire 14 de manera eficiente sin requerir presiones excesivas para forzar al vapor 26 de agua a través de las interfaces 20. Por ejemplo, la energía mínima usada para hacer funcionar la unidad 12 de deshumidificación incluye sólo la energía del ventilador usada para mover el aire 14 a través de la unidad 12 de deshumidificación, la energía de compresión de la bomba 52 de aspiración para comprimir el vapor 26 de agua hasta aproximadamente la presión de saturación (por ejemplo, hasta aproximadamente 6,9 kPa (1,0 psia), o hasta una presión de saturación que corresponda a una temperatura de condensación dada, por ejemplo, de aproximadamente 37,8°C (100°F)), la energía de bombeo y/o ventilación de la unidad 54 de condensación (por ejemplo, dependiendo de si se usa el agua de la torre de enfriamiento o el aire del ambiente como medio refrigerante), la energía de bombeo de la bomba 60 de líquidos para rechazar el agua líquida de la unidad 54 de condensación en condiciones ambientales, y la energía de la bomba 62 de aspiración para purgar los componentes 30 no condensables que se filtran en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua de la unidad 12 de deshumidificación. Como tal, el único componente de energía relativamente importante usado para hacer funcionar la unidad 12 de deshumidificación es la energía de compresión de la bomba 52 de aspiración para comprimir el vapor 26 de agua hasta aproximadamente la presión de saturación (por ejemplo, sólo hasta aproximadamente 6,9 kPa (1,0 psia), o hasta la presión de saturación que corresponde a una temperatura de condensación dada, por ejemplo, de aproximadamente 37,8°C (100°F)). Como se mencionó anteriormente, esta energía es relativamente baja y, por lo tanto, hacer funcionar la unidad 12 de deshumidificación es relativamente económico al contrario de los sistemas de deshumidificación por compresión de la refrigeración convencionales. Además, los cálculos indican que la unidad 12 de deshumidificación tiene un coeficiente de rendimiento (COP) al menos el doble de alto (o incluso hasta cinco veces más alto, dependiendo de las condiciones de funcionamiento) que estos sistemas de deshumidificación convencionales. Además, la unidad 12 de deshumidificación permite la deshumidificación de aire sin reducir la temperatura del aire por debajo de la temperatura a la que es necesario el aire, como a menudo ocurre en sistemas de deshumidificación convencionales.

Se pueden usar múltiples ejemplos de la unidad 12 de deshumidificación descrita anteriormente con respecto a las FIG 1 hasta la 7 en un sistema HVAC único. Por ejemplo, la FIG. 8 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC 72 que tiene una pluralidad de unidades 12 de deshumidificación (esto es, una primera unidad 74 de deshumidificación, una segunda unidad 76 de deshumidificación, y una tercera unidad 78 de deshumidificación) dispuestas en serie. Aunque se ilustra como teniendo tres unidades 74, 76, 78 de deshumidificación en serie, de hecho cualquier número de unidades 12 de deshumidificación se pueden usar en serie en el sistema HVAC 72. Por ejemplo, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 o incluso más unidades 12 de deshumidificación se pueden usar en serie con el sistema HVAC 72.

El sistema HVAC 72 de la FIG. 8 funciona de manera general igual que el sistema HVAC 10 de las FIG. 1, 6, y 7. Más específicamente, como se ilustra en la FIG. 8, el sistema 72 HVAC recibe el aire 14A de entrada que tiene una humedad relativamente alta. Sin embargo, el aire 14B relativamente seco de la primera unidad 74 de deshumidificación no se expulsa a la atmósfera. En su lugar, como se ilustra en la FIG. 8, el aire 14B expulsado desde la primera unidad 74 de deshumidificación se dirige a la segunda unidad 76 de deshumidificación a través de un primer conducto 80. De manera similar, el aire 14C expulsado desde la segunda unidad 76 de deshumidificación se dirige a la tercera unidad 78 de deshumidificación a través de un segundo conducto 82. El aire 14D de salida de la tercera unidad 78 de deshumidificación se expulsa después al espacio acondicionado. Ya que las unidades 74, 76, 78 de deshumidificación del sistema HVAC 72 se disponen en serie, cada flujo de aire sucesivo estará relativamente más seco que el flujo de aire superior. Por ejemplo, el aire 14D de salida es más seco que el aire 14C, que es más seco que el aire 14B, que es más seco que el aire 14A de entrada.

Como se ilustra, muchos de los componentes del sistema HVAC 72 de la FIG. 8 se pueden considerar idénticos a los componentes del sistema HVAC 10 de las FIG. 1, 6, y 7. Por ejemplo, como se describió anteriormente, las unidades 74, 76, 78 de deshumidificación del sistema HVAC 72 de la FIG. 8 se pueden considerar idénticas a las

- unidades 12 de deshumidificación de las FIG. 1, 6, y 7. Además, el sistema HVAC 72 de la FIG. 8 también incluye la unidad 54 de condensación que recibe el vapor 26B de agua que tiene una presión parcial suficientemente alta para facilitar la condensación, como se describió anteriormente. El sistema HVAC 72 de la FIG. 8 puede incluir también el depósito 58 para el almacenamiento temporal del vapor saturado y del agua líquida. Sin embargo, como se describió anteriormente, no se puede usar ningún depósito. En cualquier caso, el agua líquida de la unidad 54 de condensación se puede dirigir a la bomba 60 de líquidos, dentro de la cual se aumenta la presión del agua líquida de la unidad 54 de condensación hasta aproximadamente la presión atmosférica (esto es, aproximadamente 101 kPa (14,7 psia)) para que el agua líquida se pueda rechazar en condiciones ambientales.
- Como se ilustra en la FIG. 8, cada unidad 74, 76, 78 de deshumidificación se puede asociar con una respectiva bomba 84, 86, 88 de aspiración, cada una de las cuales es similar en funcionalidad a la bomba 52 de aspiración de las FIG. 1, 6, y 7: Sin embargo, ya que el vapor de agua se elimina de cada unidad 74, 76, 78 de deshumidificación sucesiva, la presión parcial del vapor de agua en el aire 14 se puede reducir de manera gradual en cada sucesiva unidad 74, 76, 78 de deshumidificación. Por ejemplo, como se describió anteriormente, la presión parcial del vapor de agua en el aire 14A de entrada puede estar en el intervalo de aproximadamente 1,4-6,9 kPa (0,2-1,0 psia); la presión parcial del vapor de agua en el aire 14B de la unidad 74 de deshumidificación puede estar en el intervalo de aproximadamente 1,2-5,2 kPa (0,17-0,75 psia) (logrando aproximadamente 1/3 de caída); la presión parcial del vapor de agua en el aire 14C de la segunda unidad 76 de deshumidificación puede estar en el intervalo de aproximadamente 0,96-3,7 kPa (0,14-0,54 psia) (logrando aproximadamente el siguiente 1/3 de caída); y la presión parcial del vapor de agua en el aire 14D de la tercera unidad 78 de deshumidificación puede estar en el intervalo de aproximadamente 0,70-1,7 kPa (0,10-0,25 psia), que es consistente con una temperatura de saturación de 16°C (60°F) o inferior. Se pueden usar los valores muy bajos para aumentar la capacidad para uso ocasional.
- Como tal, la presión parcial del vapor de agua en los volúmenes 90, 92, 94 de aspiración de vapor de agua (por ejemplo, que son similares en funcionalidad al volumen 28 de aspiración de vapor de agua descrito anteriormente) asociados con cada respectiva bomba 84, 86, 88 de aspiración se puede modular para asegurar un flujo óptimo de vapor 26 de agua desde cada respectiva unidad 74, 76, 78 de deshumidificación. Por ejemplo, la presión parcial del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua descrita anteriormente se puede mantener en un intervalo de aproximadamente 1,0-1,7 kPa (0,15-0,25 psia). Sin embargo, en el sistema HVAC 72 de la FIG. 8, la presión parcial del vapor 26A de agua en el primer volumen 90 de aspiración de vapor de agua se puede mantener en un intervalo de aproximadamente 1,0-5 kPa (0,15-0,7 psia), la presión parcial del vapor 26A de agua en el segundo volumen 92 de aspiración de vapor de agua se puede mantener en el intervalo de aproximadamente 0,83-3,4 kPa (0,12-0,49 psia), y la presión parcial del vapor 26A de agua en el tercer volumen 94 de aspiración de vapor de agua se puede mantener en el intervalo de aproximadamente 0,6-1,6 kPa (0,09-0,24 psia). Independientemente, se puede esperar que menos vapor 26 de agua se elimine en cada sucesiva unidad 74, 76, 78 de deshumidificación, y generalmente se optimiza el minimizar la energía usada para hacer funcionar el sistema.
- Cada una de las bombas 84, 86, 88 de aspiración puede comprimir el vapor 26 de agua y dirigirlo a un colector 96 común que tiene una presión parcial sustancialmente constante de vapor de agua (esto es, suficientemente alta para facilitar la condensación en la unidad 54 de condensación) de manera tal que el vapor 26 de agua fluya en una dirección opuesta al flujo del aire 14. El vapor 26 de agua extraído desde cada sucesiva unidad 74, 76, 78 de deshumidificación puede ser comprimido por su respectiva bomba 84, 86, 88 de aspiración y después combinado con el vapor 26 de agua extraído desde la unidad 74, 76, 78 de deshumidificación anterior siguiente. Por ejemplo, el vapor 26 de agua de la tercera unidad 78 de deshumidificación puede ser comprimido por la tercera bomba 88 de aspiración y después combinado con el vapor 26 de agua de la segunda unidad 76 de deshumidificación en el segundo volumen 92 de aspiración de vapor de agua. De manera similar, el vapor 26 de agua comprimido por la segunda bomba 86 de aspiración se puede combinar con el vapor 26 de agua de la primera unidad 74 de deshumidificación en el primer volumen 90 de aspiración de vapor de agua. El lado de escape de cada sucesiva bomba 84, 86, 88 de aspiración aumenta la presión parcial del vapor 26 de agua sólo a la presión de funcionamiento de la bomba 84, 86, 88 de aspiración de anterior siguiente. Por ejemplo, la tercera bomba 88 de aspiración puede aumentar sólo la presión del vapor 26 de agua hasta aproximadamente 1,4 kPa (0,2 psia) si la presión parcial del vapor de agua en el segundo volumen 92 de aspiración de vapor de agua es aproximadamente 1,4 kPa (0,2 psia). De manera similar, la segunda bomba 86 de aspiración puede aumentar sólo la presión del vapor 26 de agua hasta aproximadamente 2,4 kPa (0,35 psia) si la presión parcial del vapor de agua en el primer volumen 90 de aspiración de vapor de agua es aproximadamente de 2,4 kPa (0,35 psia). El vapor 26 de agua comprimido por la primera bomba 84 de aspiración se dirige a la unidad 54 de condensación a una presión parcial del vapor de agua suficientemente alta para facilitar la condensación.
- Se debería observar que el sistema específico ilustrado en la FIG. 8 que tiene una pluralidad de unidades 74, 76, 78 de deshumidificación dispuestas en serie se puede configurar de diversas maneras no ilustradas en la FIG. 8. Por ejemplo, aunque se ilustre que se usa una respectiva bomba 84, 86, 88 de aspiración con cada unidad 74, 76, 78 de deshumidificación, se puede usar una bomba 52 de aspiración única con múltiples puertos de entrada conectados al primer, segundo, y tercer volúmenes 90, 92, 94 de aspiración de vapor de agua. Además, aunque se ilustre que se usa una única unidad 54 de condensación, depósito 58, y bomba 60 de líquidos para condensar el vapor 26B de agua a un estado líquido, y almacenar y/o transportar el agua líquida desde el sistema HVAC 72, cada conjunto de unidades 74, 76, 78 de deshumidificación y bombas 84, 86, 88 de aspiración se pueden hacer funcionar de manera

independiente y asociarse con sus propias unidades 54 de condensación, depósitos 58, y bombas 60 de líquidos respectivas.

Además, el sistema 64 de control de la FIG. 7 se puede usar también en el sistema HVAC 72 de la FIG. 8 para controlar el funcionamiento del sistema HVAC 72 de una manera similar a la descrita anteriormente con respecto a la FIG. 7. Por ejemplo, como se describió anteriormente, el sistema 64 de control se puede configurar para controlar la tasa de eliminación de componentes 30 no condensables de vapor 26 de agua en los volúmenes 90, 92, 94 de aspiración de vapor de agua encendiendo o apagando las bombas 84, 86, 88 de aspiración (o las bombas 62 de aspiración separadas, como se describió anteriormente con respecto a las FIG. 6 y 7), o modulando la tasa a la que las bombas 84, 86, 88 de aspiración (o las bombas 62 de aspiración separadas, como se describió anteriormente con respecto a las FIG. 6 y 7) eliminan los componentes 30 no condensables. Más específicamente, el sistema 64 de control puede recibir señales de los sensores en los volúmenes 90, 92, 94 de aspiración de vapor de agua que detectan cuando hay presentes demasiados componentes 30 no condensables en el vapor 26A de agua contenido en los volúmenes 90, 92, 94 de aspiración de vapor de agua.

Además, el sistema 64 de control puede modular la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en los volúmenes 90, 92, 94 de aspiración de vapor de agua para modificar la capacidad de eliminación de vapor de agua y la relación de eficiencia de las unidades 74, 76, 78 de deshumidificación. Por ejemplo, el sistema 64 de control puede recibir señales de los sensores de presión en los volúmenes 90, 92, 94 de aspiración de vapor de agua, los canales 18 de vapor de agua, así como las señales generadas por los sensores relacionadas con las características (por ejemplo, la temperatura, la presión, la tasa de flujo, la humedad relativa, y así sucesivamente) del aire 14, entre otras cosas. El sistema 64 de control puede usar esta información para determinar cómo modular la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en los volúmenes 90, 92, 94 de aspiración de vapor de agua para aumentar o disminuir la tasa de eliminación de vapor 26 de agua desde los canales 16 de aire hasta los canales 18 de vapor de agua a través de las interfaces 20 de las unidades 74, 76, 78 de deshumidificación como H₂O (esto es, como moléculas de agua, vapor de agua gaseosa, agua líquida, moléculas de agua adsorbidas/desorbidas, moléculas de agua absorbidas/desorbidas, y así sucesivamente, a través de las interfaces 20).

Por ejemplo, si se desea eliminar más vapor de agua, se puede reducir la presión parcial del vapor 26A de agua en los volúmenes 90, 92, 94 de aspiración de vapor de agua y, a la inversa, si se desea eliminar menos vapor de agua, se puede aumentar la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en los volúmenes 90, 92, 94 de vapor de agua. Además, como se describió anteriormente, la cantidad de deshumidificación (esto, vapor de agua eliminado) se puede repetir en ciclos para mejorar la eficiencia de las unidades 74, 76, 78 de deshumidificación. Más específicamente, bajo ciertas condiciones de funcionamiento, las unidades 74, 76, 78 de deshumidificación pueden funcionar de manera más eficiente a tasas mayores de eliminación de vapor de agua. Como tal, las unidades 74, 76, 78 de deshumidificación se pueden ciclar para eliminar la máxima cantidad de vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), para después relativamente no eliminar vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), para después eliminar la máxima cantidad de vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), y así sucesivamente. En otras palabras, las unidades 74, 76, 78 de deshumidificación se pueden hacer funcionar a plena capacidad de eliminación de vapor de agua durante periodos de tiempo que alternan con otros periodos de tiempo en los que no se elimina vapor de agua. Además, el sistema 64 de control se puede configurar para controlar la secuencia de arranque y apagado de las unidades 74, 76, 78 de deshumidificación.

Mientras que la FIG. 8 incluye una disposición en serie de múltiples unidades 12 de deshumidificación, los sistemas presentes incluyen otras maneras en la que se pueden disponer las unidades 12 de deshumidificación en un sistema HVAC único. Por ejemplo, la FIG. 9 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC 98 que tiene una pluralidad de unidades 12 de deshumidificación (esto es, una primera unidad 100 de deshumidificación, una segunda unidad 102 de deshumidificación, y una tercera unidad 104 de deshumidificación) dispuestas en paralelo. Aunque se ilustra como que tiene tres unidades 100, 102, 104 de deshumidificación en paralelo, se puede usar de hecho cualquier número de unidades 12 de deshumidificación en el sistema HVAC 98. Por ejemplo, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, o incluso se pueden usar más unidades 12 de deshumidificación en paralelo en el sistema HVAC 98.

El sistema HVAC 98 de la FIG. 9 funciona generalmente igual que el sistema HVAC 10 de las FIG. 1, 6, y 7 y el sistema HVAC 72 de la FIG. 8. Más específicamente, como se ilustra en la FIG. 9, cada unidad 100, 102, 104 de deshumidificación del sistema HVAC 98 recibe el aire 14A de entrada que tiene una humedad relativamente alta y expulsa el aire 14B de salida que tiene una humedad relativamente baja. Como se ilustra, muchos de los componentes del sistema HVAC 98 de la FIG. 9 se pueden considerar idénticos a los componentes del sistema HVAC 10 de las FIG. 1, 6, y 7 y al sistema HVAC 72 de la FIG. 8. Por ejemplo, las unidades 100, 102, 104 de deshumidificación del sistema HVAC 98 de la FIG. 9 se puede considerar idéntico a las unidades 12 de deshumidificación de las FIG. 1, 6, y 7 y a las unidades 74, 76, 78 de la FIG. 8. Además, el sistema HVAC 98 de la FIG. 9 incluye también la unidad 54 de condensación que recibe el vapor 26B de agua que tiene una presión parcial suficientemente alta para facilitar la condensación, como se describió anteriormente. En ciertos sistemas, el sistema HVAC 98 de la FIG. 9 puede incluir también el depósito 58 para el almacenamiento temporal del vapor saturado y

del agua líquida. Sin embargo, como se describió anteriormente, en otros sistemas, no se pueden usar depósitos. En cualquier caso, el agua líquida de la unidad 54 de condensación se puede dirigir a la bomba 60 de líquidos, dentro de la cual se aumenta la presión del agua líquida de la unidad 54 de condensación hasta aproximadamente la presión atmosférica (esto es, aproximadamente 101 kPa (14,7 psia)) para que el agua líquida se pueda rechazar en condiciones ambientales.

Como se ilustra en la FIG. 9, en ciertos sistemas, cada unidad 100, 102, 104 de deshumidificación se puede asociar con una respectiva bomba 106, 108, 110 de aspiración cada una de las cuales es similar en funcionalidad a la bomba 52 de aspiración de las FIG. 1, 6, y 7 y a las bombas 84, 86, 88 de aspiración de la FIG. 8. Sin embargo, en contraposición al sistema HVAC 72 de la FIG. 8, ya que las unidades 100, 102, 104 de deshumidificación y las bombas 106, 108, 110 de aspiración se disponen en paralelo, la presión parcial del vapor de agua en el aire 14 será aproximadamente la misma en cada unidad 100, 102, 104 de deshumidificación. Como tal, en general, la presión parcial del vapor de agua en los volúmenes 112, 114, 116 de aspiración de vapor de agua asociados con cada respectiva bomba 106, 108, 110 de aspiración será también aproximadamente la misma. Por ejemplo, como se describió anteriormente con respecto al sistema HVAC 10 de las FIG. 1, 6, y 7 la presión parcial del vapor 26A de agua en los volúmenes 112, 114, 116 de aspiración de vapor de agua se puede mantener en un intervalo de aproximadamente 0,70-1,7 kPa (0,10-0,25 psia).

Como se ilustra en la FIG. 9, en ciertos sistemas, cada una de las bombas 106, 108, 110 de aspiración puede comprimir el vapor 26 de agua y dirigirlo dentro de un colector 118 común que tiene una presión parcial de vapor de agua sustancialmente constante (esto es, suficientemente alta para facilitar la condensación en la unidad 54 de condensación). En otros sistemas, el vapor 26 de agua extraído desde cada sucesiva unidad 100, 102, 104 de deshumidificación (esto es, desde la parte superior a la inferior) puede ser comprimido por su respectiva bomba 106, 108, 110 de aspiración y después combinado con el vapor 26 de agua extraído de la siguiente unidad 100, 102, 104 de deshumidificación posterior (esto es, con respecto al colector común). Por ejemplo, en otros sistemas, el vapor 26 de agua de la primera unidad 100 de deshumidificación puede ser comprimido por la primera bomba 106 de aspiración y después combinado con el vapor 26 de agua de la segunda unidad 102 de deshumidificación en el segundo volumen 114 de aspiración de vapor de agua. De manera similar, el vapor 26 de agua comprimido por la segunda bomba 108 de aspiración se puede combinar con el vapor 26 de agua de la tercera unidad 104 de deshumidificación en el tercer volumen 116 de aspiración de vapor de agua. En este sistema, el lado de escape de cada sucesiva bomba 106, 108, 110 de aspiración aumenta la presión parcial del vapor 26 de agua sólo a la presión de funcionamiento de la bomba 106, 108, 110 de aspiración de vapor de agua posterior siguiente. Por ejemplo, la primera bomba 106 de aspiración puede aumentar sólo la presión del vapor 26 de agua hasta aproximadamente 1,4 kPa (0,2 psia) si la presión parcial del vapor de agua en el segundo volumen 114 de aspiración de vapor de agua es aproximadamente 1,4 kPa (0,2 psia). De manera similar, la segunda bomba 108 de aspiración sólo puede aumentar la presión del vapor 26 de agua hasta aproximadamente 2,4 kPa (0,35 psia) si la presión parcial del vapor de agua en el tercer volumen 116 de aspiración de vapor de agua es aproximadamente 2,4 kPa (0,35 psia). En este sistema, el vapor 26 de agua comprimido por la tercera bomba 110 de aspiración se dirigirá a la unidad 54 de condensación a una presión parcial del vapor de agua suficientemente alta para facilitar la condensación.

Se debería observar que el sistema específico ilustrado en la FIG. 9 que tiene una pluralidad de unidades 100, 102, 104 de deshumidificación dispuestas en paralelo se puede configurar de varias maneras no ilustradas en la FIG. 9. Por ejemplo, aunque se ilustra como que usa una respectiva bomba 106, 108, 110 de aspiración con cada unidad 100, 102, 104 de deshumidificación en ciertos sistemas se puede usar una bomba 52 de aspiración única con múltiples puertos de entrada conectados al primer, segundo, y tercer volúmenes 112, 114, 116 de aspiración de vapor de agua. Además, aunque se ilustra como que usa una única unidad 54 de condensación, depósito 58, y bomba 60 de líquidos para condensar el vapor 26B de agua a un estado líquido, y almacenar y/o transportar el agua líquida desde el sistema HVAC 98, en otros sistemas, cada conjunto de unidades 100, 102, 104 de deshumidificación y bombas 106, 108, 110 de aspiración se puede hacer funcionar de manera independiente y asociarse con sus respectivas unidades 54 de condensación, depósitos 58, y bombas 60 de líquidos.

Además, el sistema 64 de control de la FIG. 7 se puede usar también en el sistema HVAC 98 de la FIG. 9 para controlar el funcionamiento del sistema HVAC 98 de una manera similar a la descrita anteriormente con respecto a la FIG. 7. Por ejemplo, como se describió anteriormente, el sistema 64 de control se puede configurar para controlar la tasa de eliminación de los componentes 30 no condensables del vapor 26A de agua en los volúmenes 112, 114, 116 de aspiración de vapor de agua encendiendo o apagando las bombas 106, 108, 110 de aspiración (o las bombas 62 de aspiración separadas, como se describió anteriormente con respecto a las FIG. 6 y 7), o modulando la tasa a la que las bombas 106, 108, 110 de aspiración (o las bombas 62 de aspiración separadas, como se describió anteriormente con respecto a las FIG. 6 y 7) eliminan los componentes 30 no condensables. Más específicamente, en ciertos sistemas, el sistema 64 de control puede recibir señales de los sensores en los volúmenes 112, 114, 116 de aspiración de vapor de agua que detectan cuando hay presentes demasiados componentes 30 no condensables en el vapor 26A de agua contenido en los volúmenes 112, 114, 116 de aspiración de vapor de agua.

Además, el sistema 64 de control puede modular la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en los volúmenes 112, 114, 116 de aspiración de vapor de agua para modificar la capacidad de eliminación de vapor de agua y la

relación de eficiencia de las unidades 100, 102, 104 de deshumidificación. Por ejemplo, el sistema 64 de control puede recibir las señales desde los sensores de presión en los volúmenes 112, 114, 116 de aspiración de vapor de agua, los canales 18 de vapor de agua, así como las señales generadas por los sensores relacionados con las características (por ejemplo, la temperatura, la presión, la tasa de flujo, la humedad relativa, y así sucesivamente) del aire 14, entre otras cosas. El sistema 64 de control puede usar esta información para determinar cómo modular la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en los volúmenes 112, 114, 116 de aspiración de vapor de agua para aumentar o disminuir la tasa de eliminación de vapor 26 de agua desde los canales 16 de aire a los canales 18 de vapor de agua a través de las interfaces 20 de las unidades 100, 102, 104, de deshumidificación como H₂O (esto es, como moléculas de agua, vapor de agua gaseoso, agua líquida, moléculas de agua adsorbidas/desorbidas, moléculas de agua absorbidas/desorbidas, y así sucesivamente, a través de las interfaces 20).

Por ejemplo, si se desea eliminar más vapor de agua, se puede reducir la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en los volúmenes 112, 114, 116 de aspiración de vapor de agua y, a la inversa, si se desea menos eliminación de vapor de agua, se puede aumentar la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en los volúmenes 112, 114, 116 de aspiración de vapor de agua. Además, como se describió anteriormente, la cantidad de deshumidificación (esto es, de eliminación de vapor de agua) se puede repetir en ciclos para mejorar la eficiencia de las unidades 100, 102, 104 de deshumidificación. Más específicamente, bajo ciertas condiciones de funcionamiento, las unidades 100, 102, 104 de deshumidificación pueden funcionar de manera más eficiente a mayores tasas de eliminación de vapor de agua. Como tal, en ciertos sistemas, las unidades 100, 102, 104 de deshumidificación se puede repetir en ciclos para eliminar una cantidad máxima de vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), para después relativamente no eliminar vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), para después eliminar la máxima cantidad de vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), y así sucesivamente. En otras palabras, las unidades 100, 102, 104 de deshumidificación se pueden hacer funcionar a total capacidad de eliminación de vapor de agua durante periodos de tiempo que alternan con otros periodos de tiempo donde no se elimina ningún vapor de agua. Además, el sistema 64 de control se puede configurar para controlar la secuencia de arranque y apagado de las unidades 100, 102, 104 de deshumidificación.

Además de la disposición en serie de las unidades 12 de deshumidificación ilustrada en la FIG. 8 y la disposición en paralelo de las unidades 12 de deshumidificación ilustrada en la FIG. 9, se pueden usar múltiples unidades 12 de deshumidificación de otras maneras. De hecho, se pueden usar disposiciones mucho más complejas y caras. Por ejemplo, la FIG. 10 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC 120 que tiene un primer conjunto 122 de unidades 12 de deshumidificación (esto es, una primera unidad 124 de deshumidificación y una segunda unidad 126 de deshumidificación) dispuestas en serie, y un segundo conjunto 128 de unidades 12 de deshumidificación (esto es, una tercera unidad 130 de deshumidificación y una cuarta unidad 132 de deshumidificación) también dispuestas en serie, con el primer y segundo conjuntos 122, 128 de unidades 12 de deshumidificación dispuestos en paralelo. En otras palabras, el primer conjunto 122 de primera y segunda unidades 124, 126 de deshumidificación en serie se dispone en paralelo con el segundo conjunto 128 de terceras y cuartas unidades 130, 132 de deshumidificación en serie.

Aunque se ilustra como que tiene dos conjuntos 122, 128 de unidades 12 de deshumidificación dispuestos en paralelo, se puede usar de hecho cualquier número de pluralidades de unidades 12 de deshumidificación en paralelo en el sistema HVAC 120. Por ejemplo, en otros sistemas se pueden usar 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, o incluso más conjuntos de unidades 12 de deshumidificación en el sistema HVAC 120. De manera similar, aunque se ilustra como que tiene dos unidades 12 de deshumidificación dispuestas en serie dentro de cada conjunto 122, 128 de unidades 12 de deshumidificación, se puede usar de hecho cualquier número de unidades 12 de deshumidificación en serie dentro de cada conjunto 122, 128 de unidades 12 de deshumidificación en el sistema HVAC 120. Por ejemplo, en otros sistemas, se pueden usar 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, o incluso más unidades 12 de deshumidificación en serie dentro de cada conjunto 122, 128 de unidades 12 de deshumidificación en el sistema HVAC 120.

Todas las características de funcionamiento del sistema HVAC 120 de la FIG. 10 son similares a las descritas anteriormente con respecto a los sistemas HVAC 72, 98 de las FIG. 8 y 9 (así como el sistema HVAC 10 de las FIG. 1, 6, y 7). Por ejemplo, como se ilustra, cada una de las unidades 124, 126, 130, 132 de deshumidificación se pueden asociar con su propia bomba 134, 136, 138, 140 de aspiración respectiva (por ejemplo, similar a la bomba 52 de aspiración de las FIG. 1, 6, y 7). Sin embargo, en otros sistemas, una bomba 52 de aspiración se puede usar para cada conjunto 122, 128 de unidades 12 de deshumidificación con múltiples puertos de entrada conectados a los respectivos volúmenes 142, 144, 146, 148 de aspiración de vapor de agua. De hecho, en otros sistemas, todas las unidades 124, 126, 130, 132 de deshumidificación se pueden asociar con una bomba 52 de aspiración única con múltiples puertos de entrada conectados a todos los volúmenes 142, 144, 146, 148 de aspiración de vapor de agua.

Además, aunque se ilustra como que usa una única unidad 54 de condensación, un depósito 58, y una bomba 60 de líquidos para condensar el vapor 26B de agua a un estado líquido, y almacenar y/o transportar el agua líquida desde el sistema HVAC 120, en otros sistemas, cada conjunto de unidades 124, 126, 130, 132 de deshumidificación y de bombas 134, 136, 138, 140 de aspiración se puede hacer funcionar de manera independientemente y se puede asociar con sus propias unidades 54 de condensación, depósitos 58, y bombas 60 de líquidos respectivos. Además,

el sistema 64 de control descrito anteriormente se puede usar también en el sistema HVAC 120 de la FIG. 10 para controlar el funcionamiento del sistema HVAC 120 de una manera similar al descrito anteriormente.

Los sistemas descritos anteriormente con respecto a las FIG. 8 hasta la 10 son ligeramente más complejos que los sistemas descritos anteriormente con respecto a las FIG. 1 hasta la 7, en la medida de que se usan múltiples unidades 12 de deshumidificación en serie, paralelo, o alguna combinación de los mismos. Como tal, el control de las presiones y las temperaturas de los sistemas HVAC 72, 98, 120 de las FIG. 8 hasta la 10 es ligeramente más complicado que el control de una unidad 12 de deshumidificación única. Por ejemplo, las presiones parciales en los volúmenes de aspiración de vapor de agua pueden necesitar ser monitorizadas y moduladas de cerca mediante el sistema 64 de control para tener en cuenta las variaciones en la temperatura y la presión parcial del vapor de agua en el aire 14 dentro de las respectivas unidades 12 de deshumidificación, las presiones de funcionamiento de los volúmenes de aspiración de vapor de agua adyacentes y las bombas de aspiración (que se pueden canalizar entre sí como se describió anteriormente para facilitar el control de las presiones, los flujos, y así sucesivamente), entre otras cosas. En ciertos sistemas, se pueden usar orificios variables o fijos para controlar las presiones y los cambios en las presiones en y entre las unidades 12 de deshumidificación. Además, como se describió anteriormente, cada una de las bombas de aspiración se puede controlar para ajustar las presiones parciales del vapor de agua en los volúmenes de aspiración de vapor de agua para contar las variaciones entre las unidades 12 de deshumidificación.

En ciertos sistemas, se puede usar la unidad 12 de deshumidificación descrita con respecto a las FIG. 1 hasta la 7 en conjunción con una o más unidades 12 de enfriamiento por evaporación. Por ejemplo, la FIG. 11 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC 150 que tiene una unidad 152 de enfriamiento por evaporación dispuesta antes de la unidad 12 de deshumidificación. El sistema HVAC 150 de la FIG. 11 funciona de manera general igual que el sistema HVAC 10 de las FIG. 1, 6, y 7. Sin embargo, como se ilustra en la FIG. 11, el sistema HVAC 150 incluye de manera específica la unidad 152 de enfriamiento por evaporación dispuesta antes de la unidad 12 de deshumidificación. Por tanto, el sistema HVAC 150 recibe primero el aire 14A de entrada relativamente húmedo en la unidad 152 de enfriamiento por evaporación, en lugar de en la unidad 12 de deshumidificación. La unidad 152 de enfriamiento por evaporación reduce la temperatura del aire 14A de entrada relativamente húmedo y expulsa aire 14B más frío (pero aun relativamente húmedo), que se dirige a la unidad 12 de deshumidificación a través de un conducto 154. Como se describió anteriormente, el aire 14B más frío (pero aun relativamente húmedo) se deshumidifica después en la unidad 12 de deshumidificación y se expulsa como aire 14C relativamente seco al espacio acondicionado.

La unidad 152 de enfriamiento por evaporación de la FIG. 11 puede bien ser una unidad de enfriamiento por evaporación directa o una unidad de enfriamiento por evaporación indirecta. En otras palabras, cuando la unidad 152 de enfriamiento por evaporación usa técnicas de enfriamiento por evaporación directas, un medio 156 relativamente frío y húmedo (por ejemplo, agua relativamente fría) se añade de manera directa al aire 14A de entrada relativamente húmedo. Sin embargo, cuando la unidad 152 de enfriamiento por evaporación usa técnicas de enfriamiento por evaporación indirectas, el aire 14A relativamente húmedo puede, por ejemplo, fluir a través de un lado de una placa de un intercambiador de calor. Mientras que el medio 156 relativamente frío y húmedo fluye a través de otro lado de la placa del intercambiador de calor. En otras palabras, hablando de manera general, algo de la humedad relativamente fría del medio 156 relativamente frío y húmedo se añade de manera indirecta al aire 14A relativamente húmedo. Si se usan técnicas de enfriamiento por evaporación directas o indirectas en la unidad 152 de enfriamiento por evaporación afecta a la tasa de eliminación de humedad y reducción de temperatura del aire 14 que fluye a través del sistema HVAC 150 de la FIG.11. En general, sin embargo, la unidad 152 de enfriamiento por evaporación de la FIG. 11 inicialmente enfría el aire 14 a una temperatura tan baja como sea posible para la aplicación concreta, y la unidad 12 de deshumidificación disminuye la relación de humedad a una temperatura aproximadamente constante.

Como se ilustra, muchos de los componentes del sistema HVAC 150 de la FIG. 11 se pueden considerar idénticos a los componentes del sistema HVAC 10 de las FIG. 1, 6, y 7. Por ejemplo, como se describió anteriormente, el sistema HVAC 150 de la FIG. 11 incluye la unidad 54 de condensación que recibe el vapor 26B de agua que tiene una presión parcial suficientemente alta para facilitar la condensación, como se describió anteriormente. En ciertos sistemas, el sistema HVAC 150 de la FIG. 11 puede incluir también el depósito 58 para el almacenamiento temporal de vapor saturado y agua líquida. Sin embargo, como se describió anteriormente, en otros sistemas, no se pueden usar depósitos. En tal caso, el agua líquida de la unidad 54 de condensación se puede dirigir a la bomba 60 de líquidos, dentro de la cual se aumenta la presión del agua líquida de la unidad 54 de condensación hasta aproximadamente la presión atmosférica (esto es, aproximadamente 101 kPa (14,7 psia)) para que el agua líquida se pueda rechazar en condiciones ambientales.

Además, el sistema 64 de control de la FIG. 7 se puede usar en el sistema HVAC 150 de la FIG. 11 para controlar el funcionamiento del sistema HVAC 150 de una manera similar a la descrita anteriormente con respecto a la FIG. 7. Por ejemplo, como se describió anteriormente, el sistema 64 de control se puede configurar para controlar la tasa de eliminación de los componentes 30 no condensables del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua encendiendo o apagando la bomba 52 de aspiración (o la bomba 62 de aspiración separada), o modulando la tasa a la que la bomba 52 de aspiración (o la bomba 62 separada) elimina los componentes 30 no condensables. De manera más específica, en ciertos sistemas, el sistema 64 de control puede recibir las señales

desde los sensores en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua que detectan cuando hay presentes demasiados componentes 30 no condensables en el vapor 26A de agua contenidos en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua.

5 Además, el sistema 64 de control puede modular la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua para modificar la capacidad de eliminación de vapor de agua y la relación de eficiencia de la unidad 12 de deshumidificación. Por ejemplo, el sistema 64 de control puede recibir las señales de los sensores de presión en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua, los canales 18 de vapor de agua, así como las señales generadas por los sensores relacionadas con las características (por ejemplo, la temperatura, la presión, la tasa de flujo, la humedad relativa, y así sucesivamente) del aire 14 en la unidad 152 de enfriamiento por evaporación, la unidad 12 de deshumidificación, o ambas, entre otras cosas.

10 El sistema 64 de control puede usar esta información para determinar cómo modular la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua para aumentar o disminuir la tasa de eliminación de vapor 26 de agua desde los canales 16 de aire hasta los canales 18 de vapor a través de las interfaces 20 de la unidad 12 de deshumidificación como H₂O (esto es, como moléculas de agua, vapor de agua gaseoso, agua líquida, moléculas de agua adsorbidas/desorbidas, moléculas de agua absorbidas/desorbidas, y así sucesivamente a través de las interfaces 20). Por ejemplo, si se desea más eliminación de vapor de agua, se puede reducir la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua y, a la inversa, si se desea menos eliminación de vapor de agua, se puede aumentar la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua. Además, como se describió anteriormente, la cantidad de deshumidificación (esto es, de eliminación de vapor de agua) se puede repetir en ciclos para mejorar la eficiencia de la unidad 12 de deshumidificación. Más específicamente, bajo ciertas condiciones de funcionamiento, la unidad 12 de deshumidificación puede funcionar de manera más eficiente a mayores tasas de eliminación de vapor de agua. Como tal, en ciertos sistemas, la unidad 12 de deshumidificación se puede repetir en ciclos para eliminar la máxima cantidad de vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), para después relativamente no eliminar vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), para después eliminar la máxima cantidad de vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), y así sucesivamente. En otras palabras, la unidad 12 de deshumidificación se puede hacer funcionar a total capacidad de eliminación de vapor de agua durante periodos de tiempo que alternan con otros periodos de tiempo donde no se elimina ningún vapor de agua

35 Además, el sistema 64 de control se puede configurar también para controlar el funcionamiento de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación. Por ejemplo, el sistema 64 de control puede modular de manera selectiva cuánto enfriamiento por evaporación (directo o indirecto) ocurre en la unidad 152 de enfriamiento por evaporación. Como un ejemplo, se pueden accionar las válvulas para controlar la tasa de flujo del medio 156 relativamente frío y húmedo a través de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación, afectando directamente de este modo la cantidad de enfriamiento por evaporación (directo o indirecto) en la unidad 152 de enfriamiento por evaporación. Además, se puede controlar el funcionamiento de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación y la unidad 12 de deshumidificación de manera simultánea. Además, el sistema 64 de control se puede configurar para controlar la secuencia de arranque y apagado de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación y de la unidad 12 de deshumidificación.

45 Las FIG. 12A y 12B son tablas 158, 160 psicrométricas de la relación de temperatura y de humedad del aire 14 que fluye a través de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación y la unidad 12 de deshumidificación de la FIG. 11. Más específicamente, la FIG. 12A es la tabla 158 psicrométrica de la relación de temperatura y de humedad del aire 14 que fluye a través de una unidad 152 de enfriamiento por evaporación directa y la unidad 12 de deshumidificación de la FIG. 11, y la FIG. 12B es la tabla 160 psicrométrica de la relación de temperatura y de humedad del aire 14 que fluye a través de una unidad 152 de enfriamiento por evaporación indirecta y la unidad 12 de deshumidificación de la FIG. 11. En concreto, en cada tabla 158, 160, el eje x 162 corresponde a la temperatura del aire 14 que fluye a través de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación y la unidad 12 de deshumidificación de la FIG. 11, el eje y 164 corresponde a la relación de humedad del aire 14 que fluye a través de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación y la unidad 12 de deshumidificación de la FIG. 11, y la curva 166 representa la curva de saturación de vapor de agua para una humedad relativa dada del aire 14 que fluye a través de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación y la unidad 12 de deshumidificación de la FIG. 11.

55 Como se ilustra mediante la línea 168 en la FIG. 12A, ya que el medio 156 relativamente frío y húmedo es introducido en el aire 14 que fluye a través de unidad 152 de enfriamiento por evaporación directa, la relación de humedad del aire 14B (esto es, el punto 170) fuera de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación directa es sustancialmente mayor que la relación de humedad del aire 14A de entrada (esto es, el punto 172) en la unidad 152 de enfriamiento por evaporación directa. Sin embargo, la temperatura del aire 14B (esto es, el punto 170) fuera de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación directa es sustancialmente menor que la temperatura del aire 14A de entrada (esto es, el punto 172) dentro de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación. Como se ilustra mediante la línea 174 de la FIG. 12A, ya que el vapor 26 de agua se elimina del aire 14B que fluye a través de la unidad 12 de

5 deshumidificación, la relación de humedad del aire 14C de salida (esto es, el punto 176) desde la unidad 12 de deshumidificación es menor que la relación de humedad del aire 14B (esto es, el punto 170) dentro de la unidad 12 de deshumidificación, mientras que la temperatura del aire 14C y del aire 14B de salida son sustancialmente la misma. De hecho, la unidad 152 de enfriamiento por evaporación directa humidifica y enfría el aire 14, mientras que la unidad 12 de deshumidificación posteriormente deshumidifica el aire 14 a una temperatura sustancialmente constante.

10 Como se ilustra mediante la línea 178 en la FIG. 12B, ya que el medio 156 relativamente frío y húmedo enfría de manera indirecta el aire 14 que fluye a través de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación indirecta, la relación de humedad del aire 14B (esto es, el punto 180) fuera de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación indirecta es sustancialmente la misma que la relación de humedad del aire 14A de entrada (esto es, el punto 182) dentro de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación indirecta. Sin embargo, la temperatura del aire 14B (esto es, el punto 180) fuera de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación indirecta es sustancialmente menor que la temperatura del aire 14A de entrada (esto es, el punto 182) dentro de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación indirecta. Como se ilustra mediante la línea 184 de la FIG. 12B, ya que el vapor 26 de agua se elimina del aire 14B que fluye a través de la unidad 12 de deshumidificación, la relación de humedad del aire 14C de salida (esto es, el punto 186) de la unidad 12 de deshumidificación es menor que la relación de humedad del aire 14B (esto es, el punto 180) dentro de la unidad 12 de deshumidificación, mientras que la temperatura del aire 14C y del aire 14B de salida son sustancialmente la misma. De hecho, la unidad 152 de enfriamiento por evaporación indirecta enfría (sustancialmente sin humidificar) el aire 14, mientras que la unidad 12 de deshumidificación posteriormente deshumidifica el aire 14 a una temperatura sustancialmente constante.

15 Como se describió anteriormente, el sistema 64 de control de la FIG. 11 se puede configurar para controlar el funcionamiento de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación y de la unidad 12 de deshumidificación. Por ejemplo, el sistema 64 de control se puede configurar para ajustar donde caen los puntos 170, 172, 176 y los puntos 180, 182, 186 del aire 14 en las tablas 158, 160 psicrométricas de las FIG. 12A y 12B cuando se usan, respectivamente, técnicas de enfriamiento por evaporación directas e indirectas en la unidad 152 de enfriamiento por evaporación de la FIG. 11.

20 La FIG. 13 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC 188 que tiene la unidad 152 de enfriamiento por evaporación dispuesta después de la unidad 12 de deshumidificación. El sistema HVAC 188 de la FIG. 13 funciona de manera general igual que el sistema HVAC 10 de las FIG. 1, 6, y 7 y el sistema HVAC 150 de la FIG. 11. Sin embargo, como se ilustra en la FIG. 13, el sistema HVAC 188 recibe primero el aire 14A de entrada relativamente húmedo en la unidad 12 de deshumidificación. Como se describió anteriormente, el aire 14A de entrada relativamente húmedo se deshumidifica primero en la unidad 12 de deshumidificación y se expulsa como aire 14B relativamente seco dentro del conducto 154. La unidad 152 de enfriamiento por evaporación reduce después la temperatura del aire 14B seco y expulsa el aire 14C seco más frío dentro del espacio acondicionado.

25 Como se describió anteriormente con respecto a la FIG. 11, la unidad 152 de enfriamiento por evaporación de la FIG. 13 puede ser bien una unidad de enfriamiento por evaporación directa o una unidad de enfriamiento por evaporación indirecta. En otras palabras, cuando la unidad 152 de enfriamiento por evaporación usa técnicas de enfriamiento por evaporación directas, el medio 156 relativamente frío y húmedo (por ejemplo, agua relativamente fría) se añade directamente al aire 14B relativamente seco en el conducto 154. Sin embargo, cuando la unidad 152 de enfriamiento por evaporación usa técnicas de enfriamiento indirectas, el aire 14B relativamente seco puede, por ejemplo, fluir a través de un lado de una placa de un intercambiador de calor mientras que el medio 156 relativamente frío y húmedo fluye a través del otro lado de la placa del intercambiador de calor. En otras palabras, hablando de manera general, algo de la humedad relativamente fría del medio 156 relativamente frío y húmedo se añade de manera indirecta al aire 14B relativamente seco en el conducto 154. Que se usen técnicas de enfriamiento por evaporación directas o indirectas en la unidad 152 de enfriamiento por evaporación afecta a la tasa de humedad eliminada y reducción de temperatura del aire 14 que fluye a través del sistema HVAC 188 de la FIG. 13. En general, sin embargo, la unidad 12 de deshumidificación disminuye la relación de humedad a una temperatura aproximadamente constante, y la unidad 152 de enfriamiento por evaporación enfría el aire 14 a una temperatura tan baja como sea posible para la aplicación concreta.

30 Como se ilustra, muchos de los componentes del sistema HVAC 188 de la FIG. 13 se pueden considerar idénticos a los componentes del sistema HVAC 10 de las FIG. 1, 6, y 7 y el sistema HVAC 150 de la FIG. 11. Por ejemplo, como se describió anteriormente, el sistema HVAC 188 de la FIG. 13 incluye la unidad 54 de condensación que recibe el vapor 26B de agua que tiene una presión parcial suficientemente alta para facilitar la condensación, como se describió anteriormente. En ciertos sistemas, el sistema HVAC 188 de la FIG. 13 puede incluir también el depósito 58 para el almacenamiento temporal de vapor saturado y agua líquida. Sin embargo, como se describió anteriormente, en otros sistemas, no se puede usar depósito. En tal caso, el agua líquida de la unidad 54 de condensación se puede dirigir dentro de la bomba 60 de líquidos, dentro del cual se aumenta la presión del agua líquida de la unidad 54 de condensación hasta aproximadamente la presión atmosférica (esto es, aproximadamente 101 kPa (14,7 psia)) para que el agua líquida se puede rechazar en condiciones ambientales.

Además, el sistema 64 de control de las FIG. 7 y 11 se puede usar también en el sistema HVAC 188 de la FIG. 13 para controlar el funcionamiento del sistema HVAC 188 de una manera similar a la descrita anteriormente con respecto a las FIG. 7 y 11. Por ejemplo, como se describió anteriormente, el sistema 64 de control se puede configurar para controlar la tasa de eliminación de componentes 30 no condensables del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua encendiendo o apagando la bomba 52 de aspiración (o la bomba 62 de aspiración separada), o modulando la tasa a la que la bomba 52 de aspiración (o la bomba 62 de aspiración separada) elimina los componentes 30 no condensables. Más específicamente, en ciertos sistemas, el sistema 64 de control puede recibir las señales de los sensores en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua que detectan cuando hay presentes demasiados componentes 30 no condensables en el vapor 26A de agua contenido en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua.

Además, el sistema 64 de control puede modular la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua para modificar la capacidad de eliminación de vapor de agua y la relación de eficiencia de la unidad 12 de deshumidificación. Por ejemplo, el sistema 64 de control puede recibir las señales de los sensores de presión en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua, los canales 18 de vapor de agua, así como las señales generadas por los sensores relacionadas con las características (por ejemplo, la temperatura, la presión, la tasa de flujo, la humedad relativa, y así sucesivamente) del aire 14 en la unidad 12 de deshumidificación, la unidad 152 de enfriamiento por evaporación, o ambas, entre otras cosas.

El sistema 64 de control puede usar esta información para determinar cómo modular la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua para aumentar o disminuir la tasa de eliminación de vapor 26 de agua desde los canales 16 de aire hasta los canales 18 de vapor de agua a través de las interfaces 20 de la unidad 12 de deshumidificación como H₂O (esto es, como moléculas de agua, vapor de agua gaseoso, agua líquida, moléculas de agua adsorbidas/desorbidas, moléculas de agua absorbidas/desorbidas, y así sucesivamente, a través de las interfaces 20). Por ejemplo, si se desea más eliminación de vapor de agua, se puede reducir la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua y, a la inversa, si se desea menos eliminación de vapor de agua, se puede aumentar la presión parcial inferior de vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua. Además, como se describió anteriormente, la cantidad de deshumidificación (esto es, de eliminación de vapor de agua) se puede repetir en ciclos para mejorar la eficiencia de la unidad 12 de deshumidificación. Más específicamente, bajo ciertas condiciones de funcionamiento, la unidad 12 de deshumidificación puede funcionar de manera más eficiente a tasas mayores de eliminación de vapor de agua. Como tal, en ciertos sistemas, la unidad 12 de deshumidificación se puede repetir en ciclos para eliminar la máxima cantidad de vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), para después relativamente no eliminar vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), para después eliminar la máxima cantidad de vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), y así sucesivamente. En otras palabras, la unidad 12 de deshumidificación se puede hacer funcionar a total capacidad de eliminación de vapor de agua durante periodos de tiempo que alternan con otros periodos de tiempo donde no se elimina ningún vapor de agua.

Además, el sistema 64 de control se puede configurar también para controlar el funcionamiento de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación. Por ejemplo, el sistema 64 de control puede modular de manera selectiva cuánto enfriamiento por evaporación (directo o indirecto) se produce en la unidad 152 de enfriamiento por evaporación. Como ejemplo, se pueden accionar las válvulas para controlar la tasa de flujo del medio 156 relativamente frío y húmedo a través de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación, afectando de este modo de manera directa a la cantidad de enfriamiento por evaporación (directo o indirecto) en la unidad 152 de enfriamiento por evaporación. Además, se puede controlar el funcionamiento de la unidad 12 de deshumidificación y la unidad 152 de enfriamiento por evaporación de manera simultánea. Además, el sistema 64 de control se puede configurar para controlar la secuencia de arranque y apagado de la unidad 12 de deshumidificación y de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación.

Las FIG. 14A y 14B son tablas 190, 192 psicrométricas de la relación de temperatura y de humedad del aire 14 que fluye a través de la unidad 12 de deshumidificación y la unidad 152 de enfriamiento por evaporación de la FIG. 13. Más específicamente, la FIG. 14A es la tabla 190 psicrométrica de la relación de temperatura y de humedad del aire 14 que fluye a través de la unidad 12 de deshumidificación y una unidad 152 de enfriamiento por evaporación directa de la FIG. 13, y la FIG. 14B es la tabla 192 psicrométrica de la relación de temperatura y de humedad del aire 14 que fluye a través de la unidad 12 de deshumidificación y una unidad 152 de enfriamiento por evaporación indirecta de la FIG. 13. En concreto, como se describió anteriormente con respecto a las FIG. 12A y 12B, el eje x 162 corresponde a la temperatura del aire 14 que fluye a través de la unidad 12 de deshumidificación y de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación de la FIG. 13, el eje y 164 corresponde a la relación de humedad del aire 14 que fluye a través de la unidad 12 de deshumidificación y de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación de la FIG. 13, y la curva 166 representa la curva de saturación de vapor de agua para una humedad relativa dada del aire 14 que fluye a través de la unidad 12 de deshumidificación y de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación de la FIG. 13.

Como se ilustra mediante la línea 194 en la FIG. 14A, ya que se elimina el vapor 26 de agua del aire 14A relativamente húmedo que fluye a través de la unidad 12 de deshumidificación, la relación de humedad del aire 14B relativamente seco (esto, el punto 196) de la unidad 12 de deshumidificación es menor que la relación de humedad del aire 14A de entrada relativamente húmedo (esto es, el punto 198) dentro de la unidad 12 de deshumidificación, mientras que la temperatura del aire 14B relativamente seco y del aire 14A de entrada relativamente húmedo son sustancialmente la misma. Como se ilustra mediante la línea 200 de la FIG. 14A, ya que el medio 156 relativamente frío y húmedo se introduce de manera directa dentro del aire 14B relativamente seco que fluye a través de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación directa, la relación de humedad del aire 14C de salida (esto es, el punto 202) de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación directa es sustancialmente mayor que la relación de humedad del aire 14B relativamente seco (esto es, el punto 196) dentro de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación directa. Sin embargo, la temperatura del aire 14C de salida (esto es, el punto 202) de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación directa es sustancialmente inferior que la temperatura del aire 14B relativamente seco (esto es, el punto 196) dentro de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación directa. De hecho, la unidad 12 de deshumidificación deshumidifica el aire 14 a una temperatura sustancialmente constante, mientras que la unidad 152 de enfriamiento por evaporación directa posteriormente humidifica y enfría el aire 14.

Como se ilustra mediante la línea 204 en la FIG. 14B, ya que se elimina el vapor 26 de agua del aire 14A de entrada relativamente húmedo que fluye a través de la unidad 12 de deshumidificación, la relación de humedad del aire 14B relativamente seco (esto es, el punto 206) de la unidad 12 de deshumidificación es menor que la relación de humedad del aire 14A de entrada relativamente húmedo (esto es, el punto 208) dentro de la unidad 12 de deshumidificación, mientras que la temperatura del aire 14B relativamente seco y del aire 14A de entrada relativamente húmedo son sustancialmente la misma. Como se ilustra mediante la línea 210 de la FIG. 14B, ya que el medio 156 relativamente frío y húmedo enfría de manera indirecta el aire 14B relativamente seco que fluye a través de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación indirecta, la relación de humedad del aire 14C de salida (esto es, el punto 212) de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación indirecta es sustancialmente la misma que la relación de humedad del aire 14B relativamente seco (esto es, punto 206) dentro de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación indirecta. Sin embargo, la temperatura del aire 14C de salida (esto es, el punto 212) de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación indirecta es sustancialmente inferior que la temperatura del aire 14B relativamente seco (esto es, el punto 206) dentro de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación. De hecho, la unidad 12 de deshumidificación deshumidifica el aire 14 a una temperatura sustancialmente constante, mientras que la unidad 152 de enfriamiento por evaporación enfría (sustancialmente sin humidificar) el aire 14.

Como se describió anteriormente, el sistema 64 de control de la FIG. 13 se puede configurar para controlar el funcionamiento de la unidad 12 de deshumidificación y de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación. Por ejemplo, el sistema 64 de control se puede configurar para ajustar donde caen los puntos 196, 198, 202 y los puntos 206, 208, 212 del aire 14 en las tablas psicrométricas 190, 192 de las FIG. 14A y 14B cuando se usan, respectivamente, las técnicas de enfriamiento por evaporación directas e indirectas, en la unidad 152 de enfriamiento por evaporación de la FIG. 13.

Los sistemas HVAC 150, 188 de las FIG. 11 y 13 no son las únicas maneras en las que las unidades 12 de deshumidificación se pueden combinar con las unidades 152 de enfriamiento por evaporación. Más específicamente, donde las FIG. 11 y 13 ilustran el uso de una única unidad 12 de deshumidificación y una única unidad 152 de enfriamiento por evaporación en serie la una con la otra, en otros sistemas, se pueden usar cualquier número de unidades 12 de deshumidificación y unidades 152 de enfriamiento por evaporación en serie las unas con las otras. Como otro ejemplo, en un sistema, una primera unidad 12 de deshumidificación puede ser seguida de una primera unidad 152 de enfriamiento por evaporación, que a su vez puede ser seguida por una segunda unidad 12 de deshumidificación, que a su vez puede ser seguida por una segunda unidad 152 de enfriamiento por evaporación, y así sucesivamente. Sin embargo, se pueden usar de hecho cualquier número de unidades 12 de deshumidificación y de unidades 152 de enfriamiento por evaporación en serie las unas con las otras, en donde el aire 14 que sale de cada unidad 12, 152 se dirige a la siguiente unidad 12, 152 posterior en la serie (excepto para las últimas unidades 12, 152 en la serie, desde las cuales el aire 14 es expulsado dentro del espacio acondicionado). En otras palabras, el aire 14 que sale de cada unidad 12 de deshumidificación en la serie se dirige dentro de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación posterior (o al espacio acondicionado, si es la última unidad en la serie), y el aire 14 que sale de cada unidad 152 de enfriamiento por evaporación en la serie se dirige dentro de la unidad 12 de deshumidificación posterior (o al espacio acondicionado, si es la última unidad en la serie). Como tal, la temperatura del aire 14 puede ser disminuida de manera sucesiva en cada unidad 152 de enfriamiento por evaporación entre las unidades 12 de deshumidificación en la serie, y la relación de humedad del aire 14 puede ser sucesivamente disminuida en cada unidad 12 de deshumidificación entre las unidades 152 de enfriamiento por evaporación en la serie. Este proceso se puede continuar durante cualquier número de unidades 12 de deshumidificación y de unidades 152 de enfriamiento por evaporación (por ejemplo, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, o más unidades 12 y/o unidades 152) hasta que se logren las condiciones deseadas de relación de temperatura y de humedad finales del aire 14. En un sistema, cada unidad 12 de deshumidificación se puede combinar con una unidad 152 de enfriamiento por evaporación correspondiente. En otro sistema, se pueden combinar más de una unidad 12 de deshumidificación con una única unidad 152 de enfriamiento por evaporación, o viceversa. La combinación puede incluir la unidad 12 de deshumidificación anterior a la unidad 152 de enfriamiento por evaporación, o posterior a la unidad 152 de enfriamiento por evaporación.

Las FIG. 15A y 15B son tablas 214, 216 psicrométricas de la relación de temperatura y de humedad del aire 14 que fluye a través de una pluralidad de unidades 12 de deshumidificación y de una pluralidad de unidades 152 de enfriamiento por evaporación. Más específicamente, la FIG. 15A es una tabla 214 psicrométrica de la relación de temperatura y de humedad del aire 14 que fluye a través de una pluralidad de unidades 12 de deshumidificación y una pluralidad de unidades 152 de enfriamiento por evaporación directas, y la FIG. 15B es una tabla 216 psicrométrica de la relación de temperatura y de humedad del aire 14 que fluye a través de una pluralidad de unidades 12 de deshumidificación y una pluralidad de unidades 152 de enfriamiento por evaporación indirectas. En concreto, en cada tabla 214, 216, el eje x 162 corresponde a la temperatura del aire 14 que fluye a través de la pluralidad de unidades 12 de deshumidificación y la pluralidad de unidades 152 de enfriamiento por evaporación, el eje y 164 corresponde a la relación de humedad del aire 14 que fluye a través de la pluralidad de unidades 12 de deshumidificación y la pluralidad de unidades 152 de enfriamiento por evaporación, y la curva 166 representa la curva de saturación de vapor de agua para una humedad dada del aire 14 que fluye a través de la pluralidad de unidades 12 de deshumidificación y la pluralidad de unidades 152 de enfriamiento por evaporación.

Como se ilustra mediante las líneas 218 en la FIG. 15A, ya que el vapor 26 de agua se elimina del aire 14 relativamente húmedo que fluye a través de cada una de las unidades 12 de deshumidificación, la relación de humedad del aire 14 sustancialmente disminuye mientras que la temperatura del aire 14 se mantiene sustancialmente igual en cada una de la pluralidad de unidades 12 de deshumidificación. Como se ilustra mediante las líneas 220 en la FIG. 15A, ya que el medio 156 relativamente frío y húmedo se introduce directamente en el aire 14 relativamente seco que fluye a través de cada una de las unidades 152 de enfriamiento por evaporación directas, la relación de humedad del aire 14 aumenta mientras que la temperatura del aire 14 sustancialmente disminuye en cada una de la pluralidad de unidades 152 de enfriamiento por evaporación directas. En otras palabras, cada una de la pluralidad de unidades 12 de deshumidificación deshumidifica de manera sucesiva el aire 14 a una temperatura sustancialmente constante, mientras que cada una de las unidades 152 de enfriamiento por evaporación directas humidifica y enfría de manera sucesiva el aire 14 hasta que se alcancen las condiciones finales de relación de temperatura y de humedad. Más específicamente, como se ilustra en la FIG. 15A, las líneas 218, 220 generalmente forman una progresión de “función de paso” desde las condiciones iniciales de relación de temperatura y de humedad del aire 14 de entrada (esto es, el punto 222) hasta las condiciones finales de relación de temperatura y humedad del aire 14 de salida (esto es, el punto 224).

Como se ilustra mediante las líneas 226 en la FIG. 15B, ya que se elimina el vapor 26 de agua del aire 14 relativamente húmedo que fluye a través de cada una de las unidades 12 de deshumidificación, la relación de humedad del aire 14 sustancialmente disminuye mientras que la temperatura del aire 14 se mantiene sustancialmente igual en cada una de la pluralidad de unidades 12 de deshumidificación. Como se ilustra mediante las líneas 228 en la FIG. 15B, ya que el medio 156 relativamente frío y húmedo interactúa de manera indirecta con el aire 14 relativamente seco que fluye a través de cada una de las unidades 152 de enfriamiento por evaporación indirectas, la relación de humedad del aire 14 se mantiene sustancialmente igual mientras que la temperatura del aire 14 sustancialmente disminuye en cada una de la pluralidad de unidades 152 de enfriamiento por evaporación indirectas. En otras palabras, cada una de la pluralidad de unidades 12 de deshumidificación deshumidifica de manera sucesiva el aire 14 a una temperatura sustancialmente constante, mientras que cada una de la pluralidad de unidades 152 de enfriamiento por evaporación indirectas enfría de manera sucesiva el aire 14 a una relación de humedad sustancialmente constante hasta que se alcancen las condiciones finales de relación de temperatura y de humedad deseadas. Más específicamente, como se ilustra en la FIG. 15B, las líneas 226, 228 forman generalmente una progresión en “diente de sierra” desde las condiciones iniciales de la relación de temperatura y de humedad del aire 14 de entrada (esto es, el punto 230) a las condiciones finales de la relación de temperatura y de humedad del aire 14 de salida (esto es, el punto 232).

Ya que se usan las unidades 152 de enfriamiento por evaporación entre las unidades 12 de deshumidificación, cada unidad 12 de deshumidificación recibe el aire 14 que está más frío y a una presión parcial inferior que el vapor de agua de las unidades 12 de deshumidificación anteriores. Como tal, cada una de las unidades 12 de deshumidificación funciona con condiciones de funcionamiento sustancialmente diferentes. Por consiguiente, se puede usar el sistema 64 de control para modular los parámetros de funcionamiento (por ejemplo, las presiones parciales del vapor de agua en los volúmenes 28 de aspiración de vapor de agua, entre otras cosas) de las unidades 12 de deshumidificación para tener en cuenta las variaciones entre las unidades 12 de deshumidificación. De manera similar, ya que las unidades 12 de deshumidificación se usan entre las unidades 152 de enfriamiento por evaporación, cada unidad 152 de enfriamiento por evaporación también recibe el aire 14 que está más frío y a una presión parcial de vapor de agua menor que las unidades 152 de enfriamiento por evaporación de antes. Como tal, cada una de las unidades 152 de enfriamiento por evaporación también funciona con unas condiciones de funcionamiento sustancialmente diferentes. Por consiguiente, el sistema 64 de control se puede usar también para modular los parámetros de funcionamiento (por ejemplo, las tasas de flujo del medio 156 relativamente frío y húmedo, entre otras cosas) de las unidades 152 de enfriamiento por evaporación para tener en cuenta las variaciones entre las unidades 152 de enfriamiento por evaporación. Además, el sistema 64 de control puede coordinar también de manera simultánea el funcionamiento de la pluralidad de unidades 12 de deshumidificación y la pluralidad de unidades 152 de enfriamiento por evaporación para tener en cuenta las variaciones.

Las unidades 152 de enfriamiento por evaporación de las FIG. 11 y 13 no sirven sólo para disminuir la temperatura del aire 14, sino que también sirven para limpiar el aire 14 mediante, por ejemplo, el paso del aire 14 a través de una estera fibrosa y húmeda. Además, las unidades 12 de deshumidificación y las unidades 14 de enfriamiento por evaporación se puede hacer funcionar a velocidades variables o a velocidades fijas para un óptimo funcionamiento entre las diferentes condiciones de temperatura y humedad iniciales (esto es, los puntos 222 y 230 de funcionamiento en las FIG. 15A y 15B, respectivamente) y las condiciones finales de temperatura y humedad (esto es, los puntos 224 y 232 de funcionamiento en la FIG. 15A y 15B, respectivamente). Además, las unidades 152 de enfriamiento por evaporación son unidades de relativamente baja energía, que minimizan de este modo los costes de funcionamiento generales.

Además de los sistemas descritos anteriormente, en otros sistemas, se pueden usar una o más unidades 12 de deshumidificación descritas en la presente memoria en conjunción con una o más unidades mecánicas de enfriamiento. Por ejemplo, la FIG. 16 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC 234 que tiene una unidad 236 de enfriamiento mecánico dispuesta después de la unidad 12 de deshumidificación, y la FIG. 17 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC 238 que tiene la unidad 236 de enfriamiento de la FIG. 16 descrita antes de la unidad 12 de deshumidificación. En cada uno de estos sistemas, la unidad 236 mecánica de enfriamiento puede incluir componentes típicos de las unidades 236 mecánicas de enfriamiento tales como un compresor 240 (por ejemplo, un compresor de velocidad variable), un condensador 242, y así sucesivamente. Se recicla el refrigerante a través de los componentes para enfriar el aire recibido desde la unidad 12 de deshumidificación (esto es, la FIG. 16) o el aire entregado a la unidad de deshumidificación (esto es, la FIG. 17) para proporcionar un enfriamiento por compresión apreciable y no latente al aire. Aunque los sistemas ilustrados en las FIG. 16 y 17 ilustran el uso de una unidad 12 de deshumidificación y una unidad 236 mecánica de enfriamiento en serie, en otros sistemas, se puede usar cualquier número de unidades 12 de deshumidificación y unidades 236 mecánicas de enfriamiento en serie, en paralelo, o en alguna combinación de los mismos (de manera similar a los sistemas descritos anteriormente). En ciertos sistemas, se puede adaptar una o más unidades 12 de deshumidificación a los sistemas HVAC existentes que tienen unidades 236 mecánicas de enfriamiento.

Además, en ciertos sistemas, las unidades 12 de deshumidificación descritas en la presente memoria se pueden usar como unidades 12 de deshumidificación distribuidas que pueden, por ejemplo, ser portátiles y se pueden adaptar a los sistemas HVAC existentes. Por ejemplo, la FIG. 18 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC 244 que usa mini unidades 246 de deshumidificación, en donde las mini unidades 246 de deshumidificación incluyen todas las funcionalidades de las unidades 12 de deshumidificación descritas anteriormente. Como se ilustra, las mini unidades 246 de deshumidificación se pueden conectar a los conductos 248 existentes de los componentes 250 del sistema HVAC 244 para mejorar las capacidades de deshumidificación del sistema HVAC 244. En ciertos sistemas, se pueden usar los ventiladores 252 (por ejemplo, ventiladores de velocidad variable) para soplar aire desde los componentes HVAC 250 existentes del sistema HVAC 244 dentro de las unidades 246 de deshumidificación. Las mini unidades 246 de deshumidificación se pueden dimensionar para facilitar la coordinación con los componentes estándar de los sistemas HVAC existentes.

Además, en ciertos sistemas, las unidades 12 de deshumidificación descritas en la presente memoria se pueden modificar ligeramente para usarlas como ventiladores de recuperación de entalpía (ERV). Por ejemplo, en un primer sistema ERV, aire de relativamente alta humedad y aire de relativamente baja humedad pueden fluir en una disposición de contraflujo en los lados opuestos de una interfaz 20 (por ejemplo, una membrana permeable al vapor de agua) como se describió anteriormente. De manera alternativa, en un segundo sistema ERV, aire de relativamente alta humedad y aire de relativamente baja humedad pueden fluir en una disposición de flujos paralelos en los lados opuestos de una interfaz 20 como se describió anteriormente. En ambos sistemas, la bomba 52 de aspiración descrita anteriormente puede no ser usada. Más bien, se puede recuperar tanto la humedad como el calor apreciables a través de la transferencia entre el aire de relativamente alta humedad y el aire de relativamente baja humedad a través de la interfaz 20. Además, ambos sistemas ERV pueden tener secciones insertadas entre la interfaz 20 para aumentar la transferencia de calor entre el aire de relativamente alta humedad y el aire de relativamente baja humedad en los lados opuestos de la interfaz 20.

Además, los sistemas ERV descritos anteriormente se pueden combinar con otras etapas para mejorar el rendimiento general del sistema. Por ejemplo, en ciertos sistemas se puede conectar, una unidad 12 de deshumidificación de membrana única de sección con la bomba 52 de aspiración asociada y la unidad 54 de condensación (por ejemplo, tal como el sistema HVAC 10 de las FIG. 1, 6 y 7) antes o después (o ambos) de uno de los sistemas ERV. En otros sistemas, se puede conectar una unidad 12 de deshumidificación de membrana multi etapa con la bomba 52 de aspiración asociada y la unidad 54 de condensación (por ejemplo, tal como los sistemas HVAC 72, 98, 120 de las FIG. 8 hasta la 10) antes o después (o ambos) de uno de los sistemas ERV. En otros sistemas, se puede conectar una unidad 12 de deshumidificación de membrana de etapa única o multi etapa con la bomba 52 de aspiración asociada y la unidad 54 de condensación, y una o más unidades 152 de enfriamiento por evaporación (por ejemplo, tal como los sistemas HVAC 150, 188 de las FIG. 11 y 13) antes o después (o ambos) de uno de los sistemas ERV. En otros sistemas, se puede conectar una unidad 12 de deshumidificación de membrana de etapa única o multi etapa con enfriamiento por compresión apreciable (por ejemplo, tales como los sistemas HVAC 234, 238 de las FIG. 16 y 17) antes o después (o ambos) de uno de los sistemas ERV.

Además, en otros sistemas, la bomba 52 de aspiración descrita anteriormente puede ser una bomba de aspiración multi etapa. Esta bomba 52 de aspiración multi etapa mejorará la eficiencia de los sistemas HVAC 72, 98, 120 multi etapa de las FIG 8 hasta la 10 y de los sistemas HVAC 150, 188 de enfriamiento por evaporación de las FIG. 11 hasta la 13 más fácilmente realizables en la práctica. En ciertos sistemas, la bomba 52 de aspiración multi etapa puede ser una bomba de aspiración de tipo turbina que tiene múltiples entradas, tal como la bomba 52 de aspiración multi etapa puede succionar el vapor 26A de agua dentro de la bomba 52 de aspiración multi etapa a presiones crecientes en un proceso de flujo continuo. La tasa de flujo aumenta según la presión aumenta, ya que el vapor 26A de agua adicional es succionado dentro de la bomba 52 de aspiración multi etapa. La bomba 52 de aspiración multi etapa se puede combinar con las unidades 12 de deshumidificación (por ejemplo, las unidades 74, 76, 78 de deshumidificación de la FIG. 8, las unidades 100, 102, 104 de deshumidificación de la FIG. 9, o las unidades 124, 126, 130, 132 de deshumidificación de la FIG. 10). El extremo de alta presión en la bomba 52 de aspiración multi etapa elimina la humedad de la etapa de mayor humedad de la turbina, mientras que la etapa de menor humedad de la turbina de la bomba 52 multi etapa se acopla a la etapa de menor humedad. El controlador 64 descrito anteriormente se puede usar para controlar el flujo dentro de las diversas etapas. Además, en ciertas realizaciones, dos o más turbinas pueden funcionar en paralelo de manera que las turbinas puedan tener mayor diferencia de presión entre las entradas que a que pueda existir entre las etapas secuenciales. La bomba 52 de aspiración multi etapa se puede combinar también con las unidades 12 de deshumidificación y las unidades 152 de enfriamiento por evaporación de las FIG. 11 y 13. Además, la bomba 52 de aspiración multi etapa se puede combinar también con un deshumidificador multi etapa que es seguido de un enfriador por compresión para proporcionar un enfriamiento apreciable (por ejemplo, tal como los sistemas HVAC 234, 238 de las FIG. 16 y 17)

Además, en ciertos sistemas, la unidad 54 de condensación descrita anteriormente se puede reemplazar con un módulo por membrana, que incluye una o más interfaces 20 (por ejemplo, membranas permeables al vapor de agua) similares a aquellas usadas en las unidades 12 de deshumidificación descritas en la presente memoria. En estos sistemas, el vapor 26B de agua de la bomba 52 de aspiración se puede dirigir dentro del módulo de membrana, donde parte del vapor 26B de agua pasa a través de las interfaces 20 y es rechazado a la atmósfera, donde se bloquean otros componentes en el vapor 26B de agua de fluir dentro de un canal de vapor de agua del módulo de membrana. Además, en otros sistemas, este módulo de membrana se puede usar en combinación con la unidad 54 de condensación.

Volviendo ahora a la FIG. 19, la figura es un diagrama esquemático de un sistema HVAC 300 que incluye una bomba 302 de aspiración multi etapa acoplada a múltiples etapas 304 y 306 de enfriamiento y deshumidificación. Aunque se ilustra como que tiene dos etapas 304 y 306 dispuestas en serie, se puede usar cualquier número de etapas de enfriamiento y deshumidificación. Por ejemplo, en otros sistemas, se pueden usar 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, o incluso más etapas de deshumidificación y enfriamiento en serie en el sistema HVAC 300. Como se ilustra, cada etapa 304 y 306 incluye la unidad 152 de enfriamiento por evaporación dispuesta antes de la unidad 12 de deshumidificación, de acuerdo con una realización de la presente descripción. El sistema HVAC 300 de la FIG. 19 funciona de manera general igual que el sistema HVAC 10 de las FIG. 1, 6, y 7 y el sistema HVAC 150 de la FIG. 11. Sin embargo, como se ilustra en la FIG. 19, el sistema HVAC 300 recibe primero el aire 14A de entrada relativamente húmedo dentro de la unidad 152 de enfriamiento por evaporación. Por consiguiente, el aire 14A relativamente húmedo se puede enfriar primero. La unidad 152 de enfriamiento por evaporación expulsa después el aire 14B más frío dentro del conducto 154. La unidad 12 de deshumidificación entonces seca el aire más frío, y expulsa el aire 14C más frío y seco dentro del espacio acondicionado, aproximado a una sección 308.

Como se ilustra, la sección 308 del sistema HVAC 300 puede incluir una etapa de enfriamiento y deshumidificación más, incluyendo cada etapa la unidad 152 de enfriamiento por evaporación dispuesta antes de la unidad 12 de deshumidificación. De hecho, se pueden disponer 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 o más etapas de enfriamiento y deshumidificación en la sección 308 del sistema HVAC. Las etapas encontradas en la sección 308 pueden entonces enfriar y deshumidificar más el aire 14C, lo que resulta en un aire 14D más frío y más seco. En el sistema representado, el aire 14D puede ser procesado además por la etapa 306 final. Esto es, el aire 14D se puede enfriar primero dentro de un aire 14E más frío por la etapa final, y después el aire 14E se puede deshumidificar, produciendo así un aire 14F más frío, de baja humedad. Proporcionando múltiples etapas (cada etapa subsecuente enfría y deshumidifica adicionalmente el aire 14A inicial), se puede producir un aire 14F más frío, de baja humedad de una manera más eficiente. Por ejemplo, se puede usar una única bomba 302 de aspiración multi etapa para llevar la conversión entre el aire 14A y el aire 14F.

En ciertos sistemas, la bomba 302 de aspiración multi etapa incluye una bomba centrífuga (por ejemplo, una bomba de aspiración de tipo turbina) que tiene múltiples entradas 310 y 312. Aunque se representan dos entradas 310 y 312, se pueden usar 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 o más entradas. Según pasa el vapor de agua a través de la bomba 302, la bomba 302 de turbina puede succionar el vapor a presiones crecientes en un proceso de flujo continuo. La tasa de flujo aumenta según la presión aumenta ya que el vapor adicional se succiona dentro de la bomba 302 de turbina. En otros sistemas, la bomba de aspiración multi etapa se puede combinar con un deshumidificador multi etapa y el extremo de alta presión de la bomba 302 de turbina puede eliminar la humedad de la etapa de mayor humedad del deshumidificador multi etapa, mientras que la etapa de menor presión de la turbina se acopla a la etapa de menor humedad del deshumidificador. De manera adicional, mientras que cada una de las etapas 304 y 306 se representan como que tiene una unidad 152 de enfriamiento por evaporación única y una unidad 12 de deshumidificación única,

otras etapas pueden tener múltiples unidades 152 de enfriamiento por evaporación y/o múltiples unidades 12 de deshumidificación. Además, en otros sistemas, la unidad 152 de enfriamiento por evaporación se puede reemplazar o añadir a la unidad 236 mecánica de enfriamiento descrita en la FIG. 16.

5 Como se describió anteriormente con respecto a la FIG. 13, cada unidad 152 de enfriamiento por evaporación de la FIG. 19 puede bien ser una unidad de enfriamiento por evaporación directa o una unidad de enfriamiento por evaporación indirecta. En otras palabras, cuando la unidad 152 de enfriamiento por evaporación usa técnicas de enfriamiento por evaporación directas, el medio 156 relativamente frío y húmedo (por ejemplo, agua relativamente fría) se añade directamente, por ejemplo, al aire 14B y 14E relativamente seco. Sin embargo, cuando la unidad 152 de enfriamiento por evaporación usa técnicas de enfriamiento por evaporación indirectas, el aire 14B y 14E relativamente seco, por ejemplo, fluye a través de un lado de una paca de un intercambiador de calor mientras que el medio 156 relativamente frío y húmedo fluye a través del otro lado de la placa del intercambiador de calor. En otra palabras, hablando de manera general, algo de la humedad relativamente fría del medio 156 relativamente frío y húmedo se añade de manera indirecta al aire 14B y 14E relativamente seco. Que se usen técnicas de enfriamiento por evaporación directa o indirectas en la unidad 152 de enfriamiento por evaporación afecta a la tasa de eliminación de humedad y reducción de temperatura del aire 14 que fluye a través del sistema HVAC 300 de la FIG. 19. En general, sin embargo, cada una de las unidades 12 de deshumidificación disminuye inicialmente la relación de humedad a una temperatura aproximadamente constante, y cada una de las unidades 152 de enfriamiento por evaporación enfría el aire 14 a una temperatura tan baja como sea posible para la etapa concreta.

20 Como se ilustra, muchos de los componentes del sistema HVAC 300 de la FIG. 19 se pueden considerar idénticos a los componentes del sistema HVAC 10 de las FIG. 1, 6, y 7, del sistema HVAC 150 de la FIG. 11, y del sistema HVAC 188 de la FIG. 13. Por ejemplo, como se describió anteriormente, el sistema HVAC 300 de la FIG. 19 incluye la unidad 54 de condensación que recibe el vapor 26A de agua, como se describió anteriormente. En ciertos sistemas, el sistema HVAC 300 de la FIG. 19 puede incluir también el depósito 58 para el almacenamiento temporal de vapor saturado y agua líquida. Sin embargo, como se describió anteriormente, en otros sistemas, no se puede usar un depósito. En tal caso, el agua líquida de la unidad 54 de condensación se puede dirigir dentro de la bomba 60 de líquidos, dentro de la cual la presión del agua líquida de la unidad 54 de condensación es aumentada hasta aproximadamente la presión atmosférica (esto es aproximadamente 101 kPa (14,7 psia)) para que el agua líquida se pueda rechazar en condiciones ambientales. De manera adicional, o alternativa, un lado de baja presión puede incluir las bombas 62 de aspiración útiles en la purga de componentes no condensables.

30 En cierto sistema, el sistema HVAC 300 puede proporcionar una fiabilidad y redundancia aumentada usando conductos y válvulas de derivación, tales como los conductos 314, 316 representados (por ejemplo, los conductos de derivación) y la válvula 318 de derivación. En estos sistemas, los conductos 314, 316 y la válvula 318 de derivación pueden derivar ciertas etapas de enfriamiento y derivación. Por ejemplo, si se desea realizar el mantenimiento de las etapas dispuestas en la sección 308, se puede accionar la válvula de derivación y el aire 14C se puede dirigir para entrar a la etapa 306 final en lugar de las etapas dispuestas en la sección 308. Por consiguiente, los componentes del sistema HVAC 300 se pueden mantener o reemplazar sin interrumpir las operaciones de enfriamiento y/o deshumidificación. La válvula se puede accionar de manera manual, o mediante el uso de un sistema de control, tal como el sistema 64 de control de la realización representada en la FIG. 20. De manera adicional, la válvula 316 de derivación se puede usar para optimizar el enfriamiento y el secado. Por ejemplo, la válvula 316 de derivación se puede usar para reducir el número de etapas de enfriamiento y secado en uso por el sistema HVAC 300 cuando se desee disminuir las capacidades de enfriamiento y secado del sistema HVAC 300 (por ejemplo, en climas cálidos, secos). Asimismo, la válvula 318 de derivación se puede accionar a abierta (o parcialmente abierta) en un clima más cálido y húmedo, para incluir el uso de las etapas de enfriamiento y deshumidificación dispuestas en la sección 308.

45 La FIG. 20 es un diagrama esquemático de un sistema HVAC 300 de la FIG. 19 que incluye el sistema 64 de control. El sistema 64 de control se puede acoplar de manera comunicativa a los diversos componentes del sistema HVAC 300, incluyendo las bombas 60, 62 y 302, las unidades 152 de enfriamiento por evaporación, y la válvula 318 de derivación. En ciertos sistemas, el sistema 64 de control se puede configurar para controlar la tasa de eliminación de los componentes 30 no condensables del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua encendiendo o apagando las bombas 62 de aspiración, o modulando la tasa a la que la bomba 302 de aspiración multi etapa elimina los componentes no condensables 30. Más específicamente, en ciertos sistemas, el sistema 64 de control puede recibir señales de los sensores en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua que detectan cuando hay presentes demasiados componentes 30 no condensables en el vapor 26A de agua contenido en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua.

55 El sistema 64 de control puede modular la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua de cada etapa 304 y 306 para modificar la capacidad de eliminación de vapor de agua y la relación de eficiencia de las unidades 12 de deshumidificación. Por ejemplo, el sistema 64 de control puede recibir las señales desde los sensores de presión en los volúmenes 28 de aspiración de vapor de agua, los canales 18 de vapor de agua, así como las señales generadas por los sensores relacionadas con las características (por ejemplo, la temperatura, la presión, la tasa de flujo, la humedad relativa, y así sucesivamente) del aire 14 en las unidades 12

60

de deshumidificación, las unidades 152 de enfriamiento por evaporación, o ambas unidades 12 y 152, entre otros componentes.

5 El sistema 64 de control puede usar esta información para determinar cómo modular la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua para aumentar o disminuir la tasa de
 10 eliminación de vapor 26 de agua desde los canales 16 de aire hasta los canales 18 de vapor de agua a través de las interfaces 20 de las unidades 12 de deshumidificación como H₂O (esto es, como moléculas de agua, vapor de agua gaseoso, agua líquida, moléculas de agua adsorbidas/desorbidas, moléculas de agua absorbidas/desorbidas, y así sucesivamente, a través de las interfaces 20). Por ejemplo, si se desea una mayor eliminación de vapor de agua, la
 15 presión parcial inferior del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua se puede reducir y, a la inversa, si se desea menos eliminación de vapor de agua, se puede aumentar la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua. Además, como se describió anteriormente, la cantidad de deshumidificación (esto es, la eliminación de vapor de agua) se puede repetir en ciclos para mejorar la
 20 eficiencia de las unidades 12 de deshumidificación. Más específicamente, bajo ciertas condiciones de funcionamiento, las unidades 12 de deshumidificación pueden funcionar más eficientemente a mayores tasas de eliminación de vapor de agua. Como tal, en ciertos sistemas, las unidades 12 de deshumidificación se pueden repetir en ciclos para eliminar la cantidad máxima de vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), para después relativamente no
 25 eliminar vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), para después eliminar la máxima cantidad de vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), y así sucesivamente. En otras palabras, las unidades 12 de deshumidificación se pueden hacer funcionar a total capacidad de eliminación de vapor de agua durante periodos de tiempo que alternan con otros periodos de tiempo donde no se elimina ningún vapor de agua. En un sistema, se puede lograr la modulación de la presión parcial del vapor 26A de agua abriendo y cerrando (parcial o completamente) una o más válvulas (no mostradas) dispuestas en
 cada entrada 310 y 312. De hecho, cada entrada 310 y 312 puede incluir una o más válvulas adecuadas para controlar el flujo a través de la entrada.

Además, el sistema 64 de control se puede configurar también para controlar el funcionamiento de las unidades 152 de enfriamiento por evaporación. Por ejemplo, el sistema 64 de control puede modular de manera selectiva cuánto enfriamiento por evaporación (directo o indirecto) ocurre en las unidades 152 de enfriamiento por evaporación.
 30 Como ejemplo, la válvulas se puede accionar para controlar la tasa de flujo del medio 156 relativamente frío y húmedo a través de las unidades 152 de enfriamiento por evaporación, afectando de este modo directamente a la cantidad de enfriamiento por evaporación (directo o indirecto) en las unidades 152 de enfriamiento por evaporación. Además, el funcionamiento de las unidades 12 de deshumidificación y de las unidades 152 de enfriamiento por evaporación se puede controlar de manera simultánea. Además, el sistema 64 de control se puede configurar para
 35 controlar la secuencia de arranque y apagado de las unidades 12 de deshumidificación y de las unidades 152 de enfriamiento por evaporación. De hecho, controlando las distintas etapas 304, 306 de enfriamiento y deshumidificación, y la bomba 302 multi etapa del sistema HVAC 300, el sistema 64 de control puede permitir un sistema HVAC 300 más eficiente energéticamente y fiable adecuado para producir aire 14F más frío y de menor humedad.

40 Se ha de observar que la etapa 304 y/o la etapa 306 se pueden reemplazar por otros sistemas de enfriamiento y/o deshumidificación. Por ejemplo, se puede usar una unidad mecánica de enfriamiento en lugar de usar una unidad de enfriamiento por evaporación. De hecho, el sistema HVAC 300 puede incluir ejemplos comparativos donde una unidad mecánica de enfriamiento tal como la unidad 236 mecánica de enfriamiento descrita anteriormente con respecto a la FIG. 16 y 17, puede reemplazar cada una de las unidades 152 de enfriamiento por evaporación
 45 representadas en la FIG. 20. En este sistema, se puede proporcionar un enfriamiento por compresión apreciable mediante la unidad 236 mecánica de enfriamiento. De manera adicional o alternativa, la bomba 302 de aspiración multi etapa se puede usar con etapas 304 y 306 de enfriamiento y deshumidificación dispuestas en paralelo, como se describe en mayor detalle a continuación con respecto a la FIG. 21. Además, la bomba 302 multi etapa se puede reemplazar por múltiples bombas de etapa única (por ejemplo, las bombas 52). Adicionalmente, las múltiples bombas 52 descritas en todos los sistemas de la presente memoria, se pueden reemplazar por una única bomba
 50 302 multi etapa con cada etapa de la bomba 302 multi etapa correspondiendo a una de las bombas 52.

La FIG. 21 es una vista esquemática que ilustra una realización de un sistema HVAC 320 que usa la bomba 302 de aspiración multi etapa con las etapas 304 y 306 de enfriamiento y deshumidificación dispuestas en paralelo. También se representa una sección 322 de un sistema HVAC 320 que puede incluir una o más etapas de
 55 enfriamiento y deshumidificación también dispuestas en paralelo. De hecho, se pueden disponer 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 o más etapas de enfriamiento y deshumidificación en paralelo y conectar a la bomba 302 de aspiración multi etapa que tiene múltiples entradas 310 y 312. De manera adicional, las secciones 324 y 326 pueden incluir etapas de enfriamiento y deshumidificación dispuestas en serie. Así el sistema HVAC 320 puede incluir etapas de enfriamiento y deshumidificación dispuestas en paralelo y en serie. Además, el sistema 64 de control, se puede usar
 60 también para controlar el sistema HVAC 320.

Como se ilustra muchos de los componentes, que incluyen pero no se limita a los componentes 152, 12, 62, 54, 58, 302, y 60 se pueden considerar idénticos a los componentes del sistema HVAC 300 de la FIG. 20. Por ejemplo, como se describió anteriormente con respecto al sistema HVAC 300 de la FIG. 20, cada etapa 304 y 306 incluye la unidad 152 de enfriamiento por evaporación de la FIG. 19 y 20, que puede bien ser una unidad de enfriamiento por evaporación directa o una unidad de enfriamiento por evaporación indirecta que funciona como se describió anteriormente. La unidad 152 de enfriamiento por evaporación se puede disponer antes de la unidad 12 de deshumidificación. El aire 14A relativamente húmedo puede entrar en paralelo dentro de las unidades 152 de enfriamiento por evaporación. El aire 14A relativamente húmedo es enfriado después primero en paralelo en cada una de las unidades 152 de enfriamiento por evaporación y expulsado como el aire 14B más frío dentro de los conductos 154. Entonces las unidades 12 de deshumidificación reducen la humedad del aire 14B y expulsan el aire 14C seco más frío dentro del espacio acondicionado. Las secciones 324 y 326 pueden incluir múltiples etapas de enfriamiento y deshumidificación adecuadas para un enfriamiento y secado adicional del aire 14C.

En la realización representada, cada una de las unidades 12 de deshumidificación se representa como acoplada de manera fluida a las entradas 310 y 312 de la bomba 302 multi etapa. De hecho, la bomba 302 multi etapa puede incluir una etapa y una entrada correspondiente a cada etapa de enfriamiento y deshumidificación. Por lo tanto, si se usan 2 etapas, se incluyen 2 entradas, si se usan 4 etapas, se incluyen 4 entradas, si se usan 10 etapas, se incluyen 10 entradas, y así sucesivamente. En el sistema representado, se puede usar la bomba 402 multi etapa, por ejemplo por el sistema 64 de control, para modular la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua de cada etapa 304 y 306 para modificar la capacidad de eliminación de vapor de agua y la relación de eficiencia de las unidades 12 de deshumidificación. En un ejemplo, la capacidad de eliminación de vapor de agua y la relación de eficiencia de cada una de las unidades 12 de deshumidificación puede ser aproximadamente similar. En otros ejemplos, la capacidad de eliminación de vapor de agua y la relación de eficiencia puede variar entre las unidades 12 de deshumidificación, por ejemplo, para proporcionar aire más frío o más caliente, y para aire más seco o más húmedo. Por ejemplo, si se desea más eliminación de vapor de agua, la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua se puede reducir y, a la inversa, si se desea menos eliminación de vapor de agua, se puede aumentar la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua. Además, como se describió anteriormente, la cantidad de deshumidificación (esto es, la eliminación de vapor de agua) se puede repetir en ciclos para mejorar la eficiencia de las unidades 12 de deshumidificación.

La unidad 54 de condensación recibe el vapor 26B de agua que tiene una presión parcial suficientemente alta para facilitar la condensación desde una salida de la bomba 302 multi etapa. El sistema HVAC 320 de la FIG. 21 puede incluir también el depósito 58 para el almacenamiento temporal de vapor saturado y agua líquida. Sin embargo, como se describió anteriormente, en otros sistemas, no se puede usar el depósito. En tal caso, el agua líquida de la unidad 54 de condensación se puede dirigir dentro de la bomba 60 de líquidos, dentro de la cual la presión del agua líquida de la unidad 54 de condensación es aumentada hasta aproximadamente la presión atmosférica (esto es, aproximadamente 101 kPa (14,7 psia)) para que el agua líquida pueda ser rechazada en condiciones ambientales. De manera adicional, o alternativa, un lado de baja presión puede incluir la bomba 62 de aspiración útil en la purga de los componentes 30 no condensables.

De manera adicional se puede proporcionar flexibilidad al sistema HVAC 320 encendiendo o apagando cierto número de etapas de enfriamiento y deshumidificación. Por ejemplo, el sistema 64 de control puede encender o apagar la etapa 304 o la etapa 306 para proporcionar diferentes capacidades de enfriamiento y/o deshumidificación, o para el mantenimiento del sistema. Por ejemplo, si se desea realizar el mantenimiento en la etapa 304, se puede apagar mientras que se permite a la etapa 306 continuar sus operaciones. De igual forma la etapa 306 se puede apagar mientras que la etapa 304 está funcionando. De manera adicional, cada etapa 304 y 306 se puede disponer en una planta o habitación diferentes de un edificio, permitiendo así un enfriamiento y una deshumidificación multi zona. Además, la bomba de aspiración multi etapa se puede usar para modular el enfriamiento y la deshumidificación de cualquier etapa dispuesta en paralelo, en serie, o una combinación de las mismas, proporcionando así un enfriamiento y deshumidificación diferentes para las diversas zonas.

La FIG. 22 es una vista esquemática que ilustra un sistema HVAC 330 que incluye múltiples unidades 74 y 78 de deshumidificación dispuestas en serie con la unidad 236 mecánica de enfriamiento dispuesta después de las unidades 74 y 78 de deshumidificación. Las unidades 74 y 78 de deshumidificación son equivalentes a la unidad 12 de deshumidificación descrita anteriormente. También se representa una sección 332 que puede incluir 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 o más unidades de deshumidificación dispuestas en serie. Ya que se elimina el vapor de agua de cada sucesiva unidad 74, 78 de deshumidificación, la presión parcial de vapor de agua en el aire 14 se reducirá de manera gradual en cada sucesiva unidad 74, 78. Por ejemplo, como se describió anteriormente, la presión parcial de vapor de agua en el aire 14A de entrada puede estar en el intervalo de aproximadamente 1,4-6,9 kPa (0,2-1,0 psia); la presión parcial de vapor de agua en el aire 14B de la primera unidad 74 de deshumidificación puede estar en el intervalo de aproximadamente 1,2-5,2 kPa (0,17-0,75 psia) (logrando aproximadamente 1/3 de caída); la presión parcial de vapor de agua en el aire 14C desde una segunda unidad de deshumidificación (no mostrada) dispuesta en la sección 332 puede estar en el intervalo de aproximadamente 0,96-3,7 kPa (0,14-0,54 psia) (logrando aproximadamente 1/3 de caída); y la presión parcial del vapor de agua en el aire 14D de salida desde la tercera unidad 78 de deshumidificación puede estar en el intervalo de aproximadamente 0,70-1,7 kPa (0,10-0,25 psia), que

es consistente con una temperatura de saturación de 16°C (60°F) o inferior. Los valores muy bajos se pueden usar para aumentar la capacidad para un uso ocasional.

Como tal, en ciertos sistemas, la presión parcial de vapor de agua en los volúmenes 90, 94 de aspiración de vapor de agua (por ejemplo, que son similares en funcionalidad al volumen 28 de aspiración de vapor de agua descrito anteriormente) asociados con cada respectiva bomba 84, 88 de aspiración se pueden modular para asegurar un flujo óptimo de vapor 26A de agua desde cada respectiva unidad 74, 78 de deshumidificación. Por ejemplo, la presión parcial del vapor 26A de agua en el volumen 28 de aspiración de vapor de agua descrito anteriormente se puede mantener en un intervalo de aproximadamente 1,0-1,7 kPa (0,15-0,25 psia). Sin embargo, en el sistema HVAC 330 de la FIG. 22, la presión parcial del vapor 26A de agua en el primer volumen 90 de aspiración de vapor de agua se puede mantener en un intervalo de aproximadamente 1,0-5 kPa (0,15-0,7 psia), la presión parcial del vapor 26A de agua en un segundo volumen de aspiración de vapor de agua de una unidad de deshumidificación única (no mostrada) dispuesta en la sección 332 se puede mantener en un intervalo de aproximadamente 0,83-3,4 kPa (0,12-0,49 psia), y la presión parcial del vapor 26A de agua en el tercer volumen 94 de aspiración de vapor de agua se puede mantener en un intervalo de aproximadamente 0,6-1,6 kPa (0,09-0,24 psia). Independientemente, se puede esperar que se elimine menos vapor 26 de agua en cada unidad 74, 78 de deshumidificación sucesiva, y se puede optimizar de manera general para minimizar la energía usada para hacer funcionar el sistema 330.

En ciertos sistemas, cada una de las bombas 84, 88 de aspiración puede comprimir el vapor 26 de agua y dirigirlo a un colector 96 común que tiene una presión parcial de vapor de agua sustancialmente constante (esto es, suficientemente alta para facilitar la condensación en la unidad 54 de condensación) de manera tal que el vapor 26 de agua fluya en una dirección opuesta al flujo del aire 14. En otros sistemas, el vapor 26 de agua extraído de cada unidad 74, 78 de deshumidificación sucesiva puede ser comprimido por su respectiva bomba 84, 88 de aspiración y después combinado con el vapor 26 de agua extraído de la unidad 74, 78 de deshumidificación anterior. Por ejemplo, en otros sistemas, el vapor 26 de agua de la unidad 78 de deshumidificación puede ser comprimido por la tercera bomba 88 de aspiración y después combinado con el vapor 26 de agua desde la unidad 74 de deshumidificación en el segundo volumen 90 de aspiración de vapor de agua. En este sistema, el lado de escape de cada bomba 84, 88 de aspiración sucesiva aumenta la presión parcial del vapor 26 de agua sólo a la presión de funcionamiento de la bomba 84, 88 de aspiración anterior. En este sistema, el vapor 26 de agua comprimido mediante la primera bomba 84 de aspiración se dirigirá dentro de la unidad 54 de condensación a una presión parcial de vapor de agua suficientemente alta para facilitar la condensación, aumentando así la eficiencia.

Se debería observar que el sistema específico ilustrado en la FIG. 22 que tiene una pluralidad de unidades 74, 78 de deshumidificación dispuestas en serie se puede configurar de diversas maneras no ilustradas en la FIG. 22. Por ejemplo, aunque se ilustra como que usa una respectiva bomba 84, 88 de aspiración con cada unidad 74, 78 de deshumidificación, en ciertos sistemas, la bomba 302 de aspiración multi etapa descrita anteriormente con respecto a las FIG. 19, 20, y 21 se puede usar con múltiples puertos 310 y 312 de entrada conectados al primer, y segundo volúmenes 90, 94 de aspiración de vapor de agua, respectivamente. Además, aunque se ilustra como que usa una única unidad 54 de condensación, un depósito 58, y una bomba 60 de líquidos para condensar el vapor 26B de agua a un estado líquido, y almacenarlo y/o transportar el agua líquida desde el sistema HVAC 330, en otros sistemas, cada conjunto de unidades 74, 78 de deshumidificación y bombas 84, 88 de aspiración se pueden hacer funcionar de manera independiente y ser asociados con sus propias unidades 54 de condensación, depósitos 58, y bombas 60 de líquidos respectivas.

De manera adicional, el aire 14D de baja humedad se puede enfriar después mediante la unidad 236 mecánica de enfriamiento. De manera alternativa o adicional a la unidad 236 mecánica de enfriamiento, se puede usar la unidad 152 de enfriamiento por evaporación descrita anteriormente. Además, el sistema 64 de control se puede usar para controlar el funcionamiento del sistema HVAC 330 de una manera similar a la descrita anteriormente con respecto a las FIG. 7 y 8. Por ejemplo, como se describió anteriormente, el sistema 64 de control se puede configurar para controlar la tasa de eliminación de componentes 30 no condensables del vapor 26 de agua en los volúmenes 90, 94 de aspiración de vapor de agua encendiendo o apagando las bombas 84, 88 de aspiración (o las bombas 62 de aspiración separadas, como se describió anteriormente con respecto a las FIG. 7 y 8), o modulando la tasa a la que las bombas 84, 88 de aspiración (o las bombas 62 de aspiración separadas, como se describió anteriormente con respecto a las FIG. 7 y 8) eliminan los componentes 30 no condensables. Más específicamente, en ciertos sistemas, el sistema 64 de control puede recibir señales desde los sensores en los volúmenes 90, 94 de aspiración de vapor de agua que detectan cuando hay presentes demasiados componentes 30 no condensables en el vapor 26A de agua contenidos en los volúmenes 90, 94 de aspiración de vapor de agua.

Además, el sistema 64 de control puede modular la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en los volúmenes 90, 94 de aspiración de vapor de agua para modificar la capacidad de eliminación de vapor de agua y la relación de eficiencia de las unidades 74, 78 de deshumidificación. Por ejemplo, el sistema 64 de control puede recibir las señales de los sensores de presión en los volúmenes 90, 94 de aspiración de vapor de agua, los canales 18 de vapor de agua, así como las señales generada por los sensores relacionadas con las características (por ejemplo, la temperatura, la presión, la tasa de flujo, la humedad relativa, y así sucesivamente) del aire 14, entre otras cosas. El sistema 64 de control puede usar esta información para determinar cómo modular la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en los volúmenes 90, 94 de aspiración de vapor de agua para aumentar o disminuir la tasa de

eliminación de vapor 26 de agua desde los canales 16 de aire hasta los canales 18 de vapor de agua a través de las interfaces 20 de las unidades 74, 78 de deshumidificación como H₂O (esto es, como moléculas de agua, vapor de agua gaseoso, agua líquida, moléculas de agua adsorbidas/desorbidas, moléculas de agua absorbidas/desorbidas, y así sucesivamente, a través de las interfaces 20).

5 Por ejemplo, si se desea eliminar más vapor de agua, se puede reducir la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en los volúmenes 90, 94 de aspiración de vapor de agua y, a la inversa, si se desea eliminar menos vapor de agua, se puede aumentar la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en los volúmenes 90, 94 de vapor de agua. Además, como se describió anteriormente, la cantidad de deshumidificación (esto es, la eliminación de vapor de agua) se puede repetir en ciclos para mejorar la eficiencia de las unidades 74, 78 de deshumidificación. Más
10 específicamente, bajo ciertas condiciones de funcionamiento, las unidades 74, 78 de deshumidificación pueden funcionar de manera más eficiente a tasas mayores de eliminación de vapor de agua. Como tal, en ciertos sistemas, las unidades 74, 78 de deshumidificación se puede repetir en ciclos para eliminar la máxima cantidad de vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), para después relativamente no eliminar vapor de agua del aire 14 durante un periodo de
15 tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), para después eliminar la máxima cantidad de vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), y así sucesivamente. En otras palabras, las unidades 74, 78 de deshumidificación se pueden hacer funcionar a plena capacidad de eliminación de vapor de agua durante periodos de tiempo que alternan con otros periodos de tiempo en los que no se elimina vapor de agua. Además, el sistema 64 de control se puede usar para controlar la unidad 236 de enfriamiento mecánica, por ejemplo, accionando el compresor para aumentar o disminuir la compresión y el enfriamiento. Además, el sistema 64 de control se puede configurar para controlar la secuencia de arranque y apagado de las unidades 74, 78 de deshumidificación, la unidad 236 mecánica de enfriamiento, y el sistema HVAC 330. Mientras la FIG. 22 incluye una disposición de la unidad 236 mecánica de enfriamiento posterior de las unidades 74, 78 de deshumidificación y enfriamiento, se contemplan otras
20 disposiciones en la presente memoria. Por ejemplo, la FIG. 23 representa una disposición anterior de la unidad 236 mecánica de enfriamiento.

Más específicamente, la FIG. 23 es una vista esquemática de un sistema HVAC 334 que incluye el enfriamiento 236 mecánico dispuesto en serie antes de las unidades 74, 78 de deshumidificación, y de la sección 332. Ya que la figura incluye elementos similares a la FIG. 22, se usan los mismos números para denotar los mismos elementos. En
30 el sistema representado, el aire 14A caliente, húmedo entra a la unidad 236 mecánica de enfriamiento. La unidad 236 mecánica de enfriamiento puede enfriar entonces (y secar ligeramente) el aire 14, lo que resulta en un aire 14B más frío (y ligeramente más seco). El aire 14B puede ser secado de manera adicional mediante las unidades 74, 78 de enfriamiento, y la sección 332 como se describió anteriormente, para producir el aire 14E que tiene un estado más seco al compararlo con el aire 14B. De manera adicional, el sistema 64 de control se puede configurar para controlar la secuencia de arranque y apagado de las unidades 74, 78 de deshumidificación, de la unidad 236 mecánica de enfriamiento, y del sistema HVAC 334. De manera adicional o alternativa a la unidad 236 mecánica de enfriamiento, se puede proporcionar la unidad 152 de enfriamiento por evaporación, mejorando así las capacidades de enfriamiento del sistema HVAC 334.
35

Mientras que la FIG. 23 incluye una disposición en serie de múltiples unidades 74, 78 de deshumidificación, los sistemas actuales incluyen otras maneras en las que se pueden disponer las múltiples unidades 74, 78 de deshumidificación en un sistema HVAC único. Por ejemplo, la FIG. 24 representa una disposición en paralelo de las unidades 100 y 104 de deshumidificación. Más específicamente, la FIG. 24 es una vista esquemática de un sistema HVAC 336 que incluye las unidades 100, 104 de deshumidificación dispuestas en paralelo, y la unidad 236 mecánica de enfriamiento dispuesta después de las unidades 100, 104 de deshumidificación. Cada una de las unidades 100,
45 104 es sustancialmente la misma que la unidad 12 de deshumidificación. Aunque se ilustra como que tiene dos unidades 100, 104 de deshumidificación en paralelo, se puede usar de hecho cualquier número de unidades de deshumidificación en paralelo en el sistema HVAC 336. Por ejemplo, en otros sistemas, se pueden usar 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 o incluso más unidades de deshumidificación en paralelo en el sistema HVAC 336. Por ejemplo, se puede usar una sección 338 para disponer más unidades de deshumidificación en paralelo.

50 El sistema HVAC 336 de la FIG. 24 funciona de manera general igual que el sistema HVAC 10 de las FIG. 1, 6, y 7 y el sistema HVAC 98 de la FIG. 9, pero con el añadido de una unidad 236 mecánica de enfriamiento única. Se ha de entender que, en otros sistemas, cada una de las unidades 100, 104 de deshumidificación puede incluir una correspondiente unidad 236 mecánica de enfriamiento. Como se ilustra en la FIG. 24, cada unidad 100, 104 de deshumidificación del sistema HVAC 336 recibe el aire 14A de entrada que tiene una humedad relativamente alta y expulsa el aire 14B de salida que tiene una humedad relativamente baja. Como se ilustra, muchos de los componentes del sistema HVAC 336 de la FIG. 24 se pueden considerar idénticos a los componentes del sistema HVAC 10 de las FIG. 1, 6, y 7, el sistema HVAC 98 de la FIG. 9, y el sistema HVAC 334 de la FIG. 23. Por ejemplo, las unidades 100, 104 de deshumidificación del sistema HVAC 336 de la FIG. 24 se pueden considerar idénticas a las unidades 12 de deshumidificación de las FIG. 1, 6, y 7. Demás, el sistema HVAC 336 de la FIG. 24 incluye también la unidad 54 de condensación que recibe el vapor 26B de agua que tiene una presión parcial suficientemente alta para facilitar la condensación, como se describió anteriormente. El sistema HVAC 336 de la FIG. 24 puede incluir también el depósito 58 para el almacenamiento temporal de vapor saturado y agua líquida. Sin
60

embargo, como se describió anteriormente, en otras realizaciones, no se puede usar un depósito. En tal caso, el agua líquida de la unidad 54 de condensación se puede dirigir dentro de una bomba 60 de líquidos, dentro de la cual la presión del agua líquida de la unidad 54 de condensación es aumentada hasta aproximadamente la presión atmosférica (esto es, aproximadamente 101 kPa (14,7 psia)) para que el agua líquida se pueda rechazar en condiciones ambientales.

Como se ilustra en la FIG. 24, en ciertos sistemas, cada unidad 100, 104 de deshumidificación se puede asociar con una respectiva bomba 106, 110 de aspiración, cada una de las cuales es similar en funcionalidad a la bomba 52 de aspiración de las FIG. 1, 6, y 7. Sin embargo, en contraposición al sistema HVAC 334 de la FIG. 23, ya que las unidades 100, 104 de deshumidificación y las bombas 106, 110 de aspiración asociadas se disponen en paralelo, la presión parcial del vapor de agua en el aire 14 será aproximadamente la misma en cada unidad 100, 104 de deshumidificación. Como tal, en general, la presión parcial del vapor de agua en los volúmenes 112, 116 de aspiración de vapor de agua asociados con cada respectiva bomba 106, 110 de aspiración será aproximadamente la misma. Por ejemplo, como se describió anteriormente con respecto al sistema HVAC 10 de las FIG. 1, 6, y 7, la presión parcial del vapor 26A de agua en los volúmenes 112, 116 de aspiración de vapor de agua se puede mantener en el intervalo de aproximadamente 0,70-1,7 kPa (0,10-0,25 psia).

Como se ilustra en la FIG. 24, en ciertos sistemas, cada una de las bombas 106, 110 de aspiración puede comprimir el vapor 26 de agua y dirigirlo dentro de un colector 118 común que tiene una presión parcial sustancialmente constante de vapor de agua (esto es, suficientemente alta para facilitar la condensación en la unidad 54 de condensación). En otros sistemas, el vapor 26 de agua extraído de cada unidad 100, 104 de deshumidificación sucesiva (esto es, desde la parte superior hasta la parte inferior) puede ser comprimido mediante su respectiva bomba 106, 110 de aspiración y después combinado con el vapor 26 de agua extraído de la unidad 100, 104 de deshumidificación posterior siguiente (esto es, con respecto al colector común). Por ejemplo, en otros sistemas, el vapor 26 de agua de la primera unidad 100 de deshumidificación puede ser comprimido por la bomba 106 de aspiración y después combinado con el vapor 26 de agua de la segunda unidad 104 de deshumidificación en el segundo volumen 116 de aspiración de vapor de agua. En este sistema, el lado de escape de cada bomba 106, 110 de aspiración sucesiva aumenta la presión parcial del vapor 26 de agua sólo hasta la presión de funcionamiento de la siguiente bomba 106, 110 de aspiración posterior. Por ejemplo, la primera bomba 106 de aspiración sólo puede aumentar la presión del vapor 26 de agua hasta aproximadamente 1,4 kPa (0,2 psia) si la presión parcial del vapor de agua en el segundo volumen 116 de aspiración de vapor de agua es aproximadamente 1,4 kPa (0,2 psia). En este sistema, el vapor 26 de agua comprimido por la bomba 110 de aspiración se dirigirá dentro de la unidad 54 de condensación a una presión parcial de vapor de agua suficientemente alta para facilitar la condensación.

Se debería observar que el sistema específico ilustrado en la FIG. 24 que tiene una pluralidad de unidades 100, 104 de deshumidificación dispuestas en paralelo se puede configurar de diversas maneras no ilustradas en la FIG. 24. Por ejemplo, aunque se ilustra como que usa una respectiva bomba 106, 110 de aspiración con cada unidad 100, 104 de deshumidificación, en ciertos sistemas, se puede usar la bomba 302 de aspiración multi etapa única con múltiples puertos 310, 312 conectados al primer y segundo volúmenes 112, 116 de aspiración de vapor de agua. Además, aunque se ilustra como que usa una única unidad 54 de condensación, depósito 58, y bomba 60 de líquidos para condensar el vapor 26B de agua a estado líquido, y almacenar y/o transportar el agua líquida desde el sistema HVAC 336, en otros sistemas, cada conjunto de unidades 100, 104 de deshumidificación y bombas 106, 110 de aspiración se pueden hacer funcionar de manera independiente y ser asociadas con sus propias unidades 54 de condensación, depósitos 58, y bombas 60 de líquidos respectivas.

Además el sistema 64 de control puede ser usado también en el sistema HVAC 336 de la FIG. 24 para controlar el funcionamiento del sistema HVAC 336 de una manera similar a la descrita anteriormente con respecto a la FIG. 9. Por ejemplo, como se describió anteriormente, el sistema 64 de control se puede configurar para controlar la tasa de eliminación de los componentes 30 no condensables del vapor 26A de agua en los volúmenes 112, 116 de vapor de agua encendiendo o apagando las bombas 106, 110 de aspiración (o las bombas 62 de aspiración separadas, como se describió anteriormente con respecto a las FIG. 7 y 9), o modulando la tasa a la que las bombas 106, 110 de aspiración (o las bombas 62 de aspiración separadas, como se describió anteriormente con respecto a las FIG. 7 y 9) eliminan los componentes 30 no condensables. Más específicamente, en ciertos sistemas, el sistema 64 de control puede recibir las señales de los sensores en los volúmenes 112, 116 de aspiración de vapor de agua que detectan cuando hay presentes demasiados componentes 30 no condensables en el vapor 26A de agua contenido en los volúmenes 112, 116 de aspiración de vapor de agua.

Además, el sistema 64 de control puede modular la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en los volúmenes 112, 116 de aspiración de vapor de agua para modificar la capacidad de eliminación de vapor de agua y la relación de eficiencia de las unidades 100, 104 de deshumidificación. Por ejemplo, el sistema 64 de control puede recibir las señales de los sensores de presión en los volúmenes 112, 116 de aspiración de vapor de agua, los canales 18 de vapor de agua, así como las señales generadas por los sensores relacionadas con las características (por ejemplo, la temperatura, la presión, la tasa de flujo, la humedad relativa, y así sucesivamente) del aire 14, entre otras cosas. El sistema 64 de control puede usar esta información para determinar cómo modular la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en los volúmenes 112, 116 de aspiración de vapor de agua para aumentar o disminuir la tasa de eliminación de vapor 26 de agua desde los canales 16 de aire hasta los canales 18 de vapor de agua a través de las

interfaces 20 de las unidades 100, 102, 104 de deshumidificación como H₂O (esto es, como moléculas de agua, vapor de agua gaseoso, agua líquida, moléculas de agua adsorbidas/desorbidas, moléculas de agua absorbidas/desorbidas, y así sucesivamente, a través de las interfaces 20).

5 Por ejemplo, si se desea eliminar más vapor de agua, la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en los volúmenes 112, 116 de aspiración de vapor de agua se puede reducir y, a la inversa, si se desea eliminar menos vapor de agua, se puede aumentar la presión parcial inferior del vapor 26A de agua en volúmenes 112, 116 de aspiración de vapor de agua. Además, la cantidad de deshumidificación (esto es, la eliminación de vapor de agua) se puede ciclar para mejorar la eficiencia de las unidades 100, 104 de deshumidificación. Más específicamente, 10 bajos ciertas condiciones de funcionamiento, las unidades 100, 104 de deshumidificación pueden funcionar de manera más eficiente a mayores tasas de eliminación de vapor de agua. Como tal, en ciertos sistemas, las unidades 100, 104 de deshumidificación se pueden ciclar para eliminar la máxima cantidad de vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), para después relativamente no eliminar vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), para después eliminar la máxima cantidad 15 de vapor de agua del aire 14 durante un periodo de tiempo (por ejemplo, aproximadamente 1 segundo, 10 segundos, 100 segundos, 10 minutos), y así sucesivamente. En otras palabras, las unidades 100, 104 de deshumidificación se pueden hacer funcionar a total capacidad de eliminación de vapor de agua durante periodos de tiempo que alternan con otros periodos de tiempo donde no se elimina ningún vapor de agua. Además, el sistema 64 de control se puede configurar para controlar la secuencia de arranque y apagado de las unidades 100, 104 de deshumidificación, la unidad 236 mecánica de enfriamiento y el sistema HVAC 336. 20

Mientras que la FIG. 24 incluye una disposición de la unidad 236 mecánica de enfriamiento posterior de las unidades 100, 104 de deshumidificación y enfriamiento, se contemplan otras disposiciones en la presente memoria. Por ejemplo, la FIG. 25 representa una disposición anterior de la unidad 236 mecánica de enfriamiento. Más específicamente, la FIG. 25 es una vista esquemática de un sistema HVAC 340 que incluye el enfriamiento 236 25 mecánico dispuesto en serie después de las unidades 100, 104 de deshumidificación, y la sección 338. Ya que la figura incluye elementos similares a la FIG. 24, los mismos números se usan para denotar los mismos elementos. En el sistema representado, el aire 14A caliente, húmedo entra a la unidad 236 mecánica de enfriamiento. La unidad 236 mecánica de enfriamiento puede enfriar entonces (y secar ligeramente) el aire 14, lo que resulta en un aire 14B más frío (y ligeramente más seco). El aire 14B puede entonces ser secado por las unidades 100, 104 de enfriamiento y la sección 338 como se describió anteriormente, para producir el aire 14C que tiene un estado más seco al compararlo con el aire 14B. De manera adicional, el sistema 64 de control se puede configurar también para controlar la secuencia de arranque y apagado de las unidades 100, 104 de deshumidificación., la unidad 236 mecánica de enfriamiento, y el sistema HVAC 340. De manera adicional o alternativa a la unidad 236 mecánica de enfriamiento, se puede proporcionar la unidad 152 de enfriamiento por evaporación, mejorando así las capacidades 30 de enfriamiento del sistema HVAC 340. 35

Además de la disposición en serie de las unidades 74, 78 ilustrada en las FIG. 22 y 23, y la disposición en paralelo de las unidades 100, 104 de deshumidificación ilustrada en las FIG. 24 y 25, se pueden usar múltiples unidades de deshumidificación de otras maneras. De hecho, se pueden usar también disposiciones mucho más complejas y caras. Por ejemplo, la FIG. 26 es una diagrama esquemático de un sistema HVAC 342 que tiene un primer conjunto 40 122 de unidades de deshumidificación (esto es, una primera unidad 124 de deshumidificación y una segunda unidad 126 de deshumidificación) dispuestas en serie, y un segundo conjunto 128 de unidades de deshumidificación (esto es, una tercera unidad 130 de deshumidificación y una cuarta unidad 132 de deshumidificación) también dispuestas en serie, con el primer y segundo conjuntos 122, 128 de unidades de deshumidificación dispuestos en paralelo. De manera adicional, se puede usar una sección 344 para disponer unidades de deshumidificación adicionales en serie y en paralelo. En otras palabras, el primer conjunto 122 de la primera y la segunda unidades 124, 126 de deshumidificación en serie se dispone en paralelo con el segundo conjunto 128 de la tercera y cuarta unidades 130, 132 de deshumidificación en serie. Las unidades 124, 126, 130, y 132 de deshumidificación son funcionalmente equivalentes a la unidad 12 de deshumidificación descrita anteriormente. 45

Aunque se ilustra como que tiene dos conjuntos 122, 128 de unidades 12 de deshumidificación dispuestas en paralelo, se puede usar de hecho cualquier número de pluralidades de unidades 12 de deshumidificación en paralelo en el sistema HVAC 342. Por ejemplo, en otros sistemas se pueden usar 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 o incluso más conjuntos en paralelo de unidades de deshumidificación en el sistema HVAC 342. De manera similar, aunque se ilustra como que tiene dos unidades de deshumidificación dispuestas en serie dentro de cada conjunto 122, 128 de unidades de deshumidificación, se puede usar de hecho cualquier número de unidades de deshumidificación en serie dentro de cada conjunto 122, 128 de unidades 12 de deshumidificación en el sistema HVAC 342. Por ejemplo, 50 en otros sistemas, se pueden usar 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 o incluso más unidades de deshumidificación en serie dentro de cada conjunto 122, 128 de unidades 12 de deshumidificación en el sistema HVAC 342, tal como las unidades de deshumidificación dispuestas en las secciones 346 y 348. 55

Sustancialmente todas las características de funcionamiento del sistema HVAC 342 de la FIG. 26 son similares a las descritas anteriormente con respecto a los sistemas HVAC descritos en las FIG. 22-25. Por ejemplo, como se ilustra, 60 cada una de las unidades 124, 126, 130, 132 de deshumidificación se puede asociar con su propia bomba 134, 136,

138, 140 de aspiración respectiva (por ejemplo, similar a la bomba 52 de aspiración de las FIG. 1, 6, y 7). Sin embargo, en otros sistemas, se puede usar una bomba 302 de aspiración multi etapa para cada conjunto 122, 128 de unidades de deshumidificación con múltiples puertos de entrada conectados a los respectivos volúmenes 142, 144, 146, 148 de aspiración de vapor de agua. De hecho, en otros sistemas, todas las unidades 124, 126, 130, 132 de deshumidificación se pueden asociar con una única bomba 302 de aspiración multi etapa con múltiples puertos de entrada conectados a todos los volúmenes 142, 144, 146, 148 de aspiración de vapor de agua.

Además, aunque se ilustra como que usa una única unidad 54 de condensación, depósito 58, y bomba 60 de líquidos para condensar el vapor 26B de agua a estado líquido, y almacenar y/o transportar el agua líquida desde el sistema HVAC 342, en otros sistemas, cada conjunto de unidades 124, 126, 130, 132 de deshumidificación y de bombas 134, 136, 138, 140 se pueden hacer funcionar de manera independiente y asociarse con sus propias unidades 54 de condensación, depósitos 58, y bombas 60 de líquidos respectivas. Además, el sistema 64 de control descrito anteriormente se puede usar también en el sistema HVAC 342 de la FIG. 26 para controlar el funcionamiento del sistema HVAC 342 de una manera similar a la descrita anteriormente.

Los sistemas descritos anteriormente con respecto a las FIG. 19 hasta la 26 son ligeramente más complejos que los sistemas descritos anteriormente con respecto a las FIG. 1 hasta la 7 ya que se usan múltiples unidades de deshumidificación en serie, paralelo, o alguna combinación de los mismos. Como tal, el control de las presiones y las temperaturas de los sistemas HVAC de las FIG. 19 hasta la 26 son ligeramente más complicados que el control de una unidad 12 de deshumidificación única. Por ejemplo, las presiones parciales en los volúmenes de aspiración de vapor de agua pueden necesitar ser monitorizadas y moduladas de cerca por el sistema 64 de control para tener en cuenta las variaciones en la temperatura y la presión parcial del vapor de agua en el aire 14 dentro de las respectivas unidades 12 de deshumidificación, funcionando con presiones de volúmenes de aspiración de vapor de agua adyacentes y bombas de aspiración (que se pueden canalizar entre sí como se describió anteriormente para facilitar el control de las presiones, los flujos, y así sucesivamente), entre otras cosas. En ciertos sistemas, se pueden usar orificios variables o fijos para controlar las presiones y los cambios en las presiones en y entre las unidades 12 de deshumidificación. Además, como se describió anteriormente, cada una de las bombas de aspiración se puede controlar para ajustar las presiones parciales del vapor de agua en los volúmenes de aspiración de vapor de agua para contar las variaciones entre las unidades 12 de deshumidificación.

Esta descripción escrita usa ejemplos para describir la invención, incluyendo el mejor modo, y también permite a cualquier persona experta en la técnica poner en práctica la invención, lo que incluye hacer y usar cualquier dispositivo o sistema y realizar cualquiera de los métodos incorporados. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a aquellos expertos en la técnica. Dichos otros ejemplos están destinados a estar dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias no sustanciales del lenguaje literal de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de deshumidificación para eliminar el vapor de agua de un flujo de aire, comprendiendo el sistema:
- una pluralidad de etapas de deshumidificación y enfriamiento, comprendiendo cada etapa de deshumidificación y enfriamiento una unidad (152) de enfriamiento por evaporación y una unidad (12) de deshumidificación, teniendo la
- 5 unidad de deshumidificación unos primeros (16) y unos segundos (18) canales separados por una membrana (20), en donde la membrana se configura para facilitar la eliminación de vapor de agua de un flujo de aire que fluye a través el primer canal facilitando el paso del H₂O desde el primer canal hasta el segundo canal a través de los volúmenes permeables de la membrana mientras sustancialmente bloquea todos los demás componentes del flujo de aire de pasar a través de la membrana;
- 10 un sistema (64) de control configurado para controlar las condiciones de funcionamiento de las unidades (12) de deshumidificación y las unidades (152) de enfriamiento por evaporación;
- un dispositivo (302) de aumento de la presión acoplado de manera fluida con cada una de la pluralidad de etapas de deshumidificación y enfriamiento, en donde el dispositivo (302) de aumento de presión está en el segundo lado del canal de la membrana y se configura para crear una presión parcial inferior de vapor de agua dentro de tanto los
- 15 primeros (16) como los segundos (18) canales, siendo la presión parcial en los segundos canales inferior que en los primeros canales, de manera tal que el H₂O se mueve a través de las membranas a los segundos canales;
- al menos un dispositivo (54) de condensación configurado para recibir el vapor de agua del dispositivo de aumento de presión y condensar el vapor de agua en agua líquida; y
- 20 al menos un dispositivo (60) de transporte de agua configurado para transportar el agua líquida desde al menos un dispositivo de condensación,
- en donde el sistema (64) de control se configura para monitorizar de manera continua las condiciones de presión y temperatura de tanto el vapor (26A) de agua anterior al dispositivo (302) de aumento de la presión como el vapor (26B) de agua posterior al dispositivo (302) de aumento de la presión para asegurar que el vapor de agua expulsado desde la salida del dispositivo (302) de aumento de la presión tiene una presión parcial de vapor de agua próxima a una presión de saturación del vapor de agua mínima en el al menos un dispositivo (54) de condensación, y
- 25 en donde el sistema (64) de control) se configura para controlar el dispositivo (302) de aumento de presión para aumentar la presión del vapor de agua en una salida del dispositivo (302) de aumento de presión hasta una presión parcial del vapor de agua próxima a una presión de saturación de vapor de agua mínima en el al menos un dispositivo (54) de condensación adecuado para la posterior condensación en agua líquida.
- 30 2. El sistema de la reivindicación 1, en donde el dispositivo (302) de aumento de presión comprende una bomba de turbina que tiene una pluralidad de etapas de bombeo, teniendo cada etapa de bombeo una entrada de etapa, y en donde la pluralidad de etapas de bombeo están acopladas de manera fluida a la pluralidad de unidades de deshumidificación a través de las entradas de etapa.
- 35 3. El sistema de la reivindicación 1, en donde la unidad de enfriamiento por evaporación se combina con una unidad mecánica de enfriamiento.
4. El sistema de la reivindicación 1, en donde la pluralidad de etapas de deshumidificación y enfriamiento se disponen en serie las unas con las otras de manera tal que los flujos de la corriente de aire fluyan a través de la pluralidad de etapas de deshumidificación y enfriamiento en serie.
- 40 5. El sistema de la reivindicación 1, en donde la pluralidad de etapas de deshumidificación y enfriamiento se disponen en paralelo las unas con las otras de manera tal que los flujos de la corriente de aire fluyan a través de la pluralidad de etapas de deshumidificación y enfriamiento en paralelo.
6. El sistema de la reivindicación 1, en donde un primer conjunto de la pluralidad de etapas de deshumidificación y enfriamiento se disponen en serie las unas con las otras, un segundo conjunto de la pluralidad de etapas de deshumidificación y enfriamiento se disponen en serie las unas con las otras, y el primer y segundo conjunto de la pluralidad de etapas de deshumidificación y enfriamiento se disponen en paralelo el uno con el otro.
- 45 7. El sistema de la reivindicación 1, que comprende una válvula de derivación, en donde la válvula de derivación se configura para dirigir el aire de una primera etapa de deshumidificación y enfriamiento hasta una segunda etapa de deshumidificación y enfriamiento, derivándolo a una tercera etapa de deshumidificación y enfriamiento.
- 50 8. El sistema de la reivindicación 1, en donde el sistema de control se configura para aumentar la eficiencia del funcionamiento del sistema de deshumidificación sustancialmente reduciendo el uso de energía.

9. El sistema de la reivindicación 8, en donde el dispositivo (302) de aumento de presión comprende una bomba de turbina, y en donde el sistema de control se configura para sustancialmente reducir el uso de energía sustancialmente reduciendo la energía de bombeo usada para activar la bomba de turbina.
- 5 10. El sistema de la reivindicación 8, en donde cada etapa de deshumidificación y enfriamiento comprende una bomba (62) de aspiración de purga acoplada de manera fluida a la unidad de deshumidificación de la etapa de deshumidificación y enfriamiento y configurada para purgar otros componentes del aire, y en donde el sistema de control se configura para sustancialmente reducir el uso de energía sustancialmente reduciendo la energía de bombeo usada para activar la bomba (62) de aspiración de purga.
11. Un método que comprende:
- 10 la recepción de una pluralidad de corrientes de aire (14) que incluyen el vapor de H₂O dentro de los canales (16) de aire de una pluralidad de unidades (12) de deshumidificación, en donde los flujos de aire tienen una primera presión parcial de vapor de H₂O;
- 15 la succión del H₂O dentro de los canales (18) de vapor de H₂O de la pluralidad de unidades de deshumidificación a través de materiales (20) permeables al H₂O de la pluralidad de unidades de deshumidificación que usan diferenciales de presión a través de los materiales (20) permeables al H₂O, en donde los canales de vapor de H₂O tienen una segunda presión parcial de vapor de H₂O inferior que la primera presión parcial del vapor de H₂O de los flujos de aire;
- 20 la recepción del vapor de H₂O de todos los canales de vapor de H₂O dentro de un dispositivo (302) de aumento de presión, teniendo el dispositivo (302) de aumento de presión una pluralidad de entradas configuradas para acoplarse de manera fluida con la pluralidad de unidades de deshumidificación;
- el aumento de la presión del vapor de H₂O desde el dispositivo (302) 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;
- 25 la recepción del vapor de H₂O desde el dispositivo (302) de aumento de presión dentro de un dispositivo (54) de condensación y condensar el vapor de H₂O en H₂O líquido;
- 30 la monitorización de manera continua de las condiciones de presión y temperatura de tanto el vapor (26A) de H₂O anterior al dispositivo (302) de aumento de presión como del vapor de H₂O (26B) posterior al dispositivo (302) de aumento de presión para asegurar que la tercera presión parcial del vapor de H₂O esté próxima a la presión de saturación del vapor de H₂O mínima en el dispositivo (54) de condensación y sea adecuada para la posterior condensación en H₂O líquida;
- el transporte del H₂O líquido desde el dispositivo de condensación a las condiciones ambientales; y
- el enfriamiento de la pluralidad de flujos de aire usando una unidad (152) de enfriamiento por evaporación antes de cada unidad de deshumidificación, después de cada unidad de deshumidificación, o una combinación de los mismos.
- 35 12. El método de la reivindicación 11, que comprende la recepción de la pluralidad de flujos de aire que incluyen el vapor de H₂O dentro de los canales de aire de la pluralidad de unidades de deshumidificación dispuestas en serie las unas con las otras de manera tal que cada uno de los flujos de aire fluya a través del canal de aire de cada unidad de deshumidificación en serie.
- 40 13. El método de la reivindicación 11, que comprende la recepción de la pluralidad de flujos de aire que incluyen el vapor de H₂O dentro de los canales de aire de la pluralidad de unidades de deshumidificación dispuestas en paralelo las unas con las otras de manera tal que cada uno de los flujos de aire fluya a través del canal de aire de cada unidad de deshumidificación en paralelo.
- 45 14. El método de la reivindicación 11, en donde los flujos de aire tienen la primera presión parcial del vapor de H₂O en un intervalo de aproximadamente 1,4-6,9 kPa, la segunda presión parcial del vapor de H₂O en un intervalo de aproximadamente 0,7-6,9 kPa, y la tercera presión parcial del vapor de H₂O en un intervalo de aproximadamente 1,75-7,6 kPa.

4

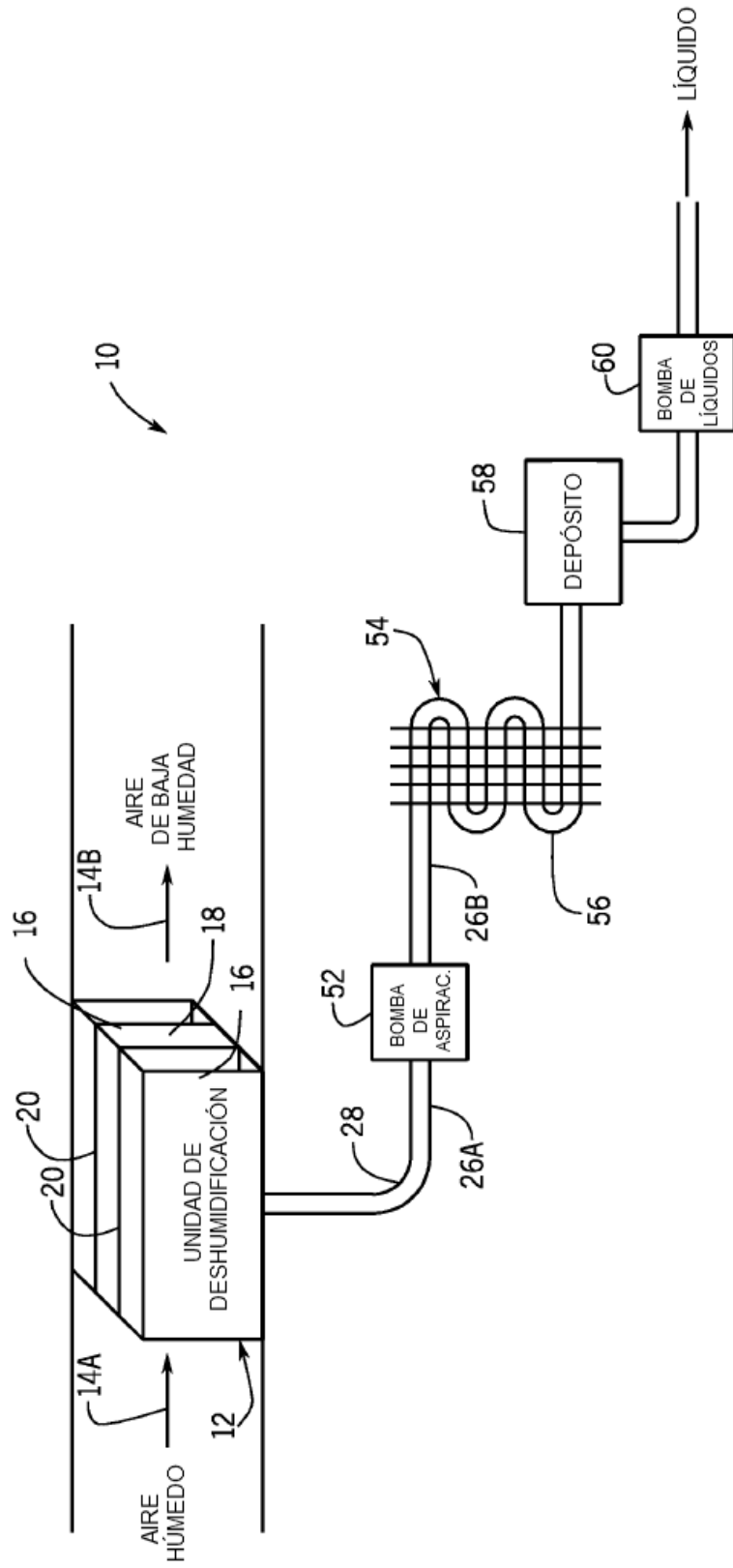


FIG. 1

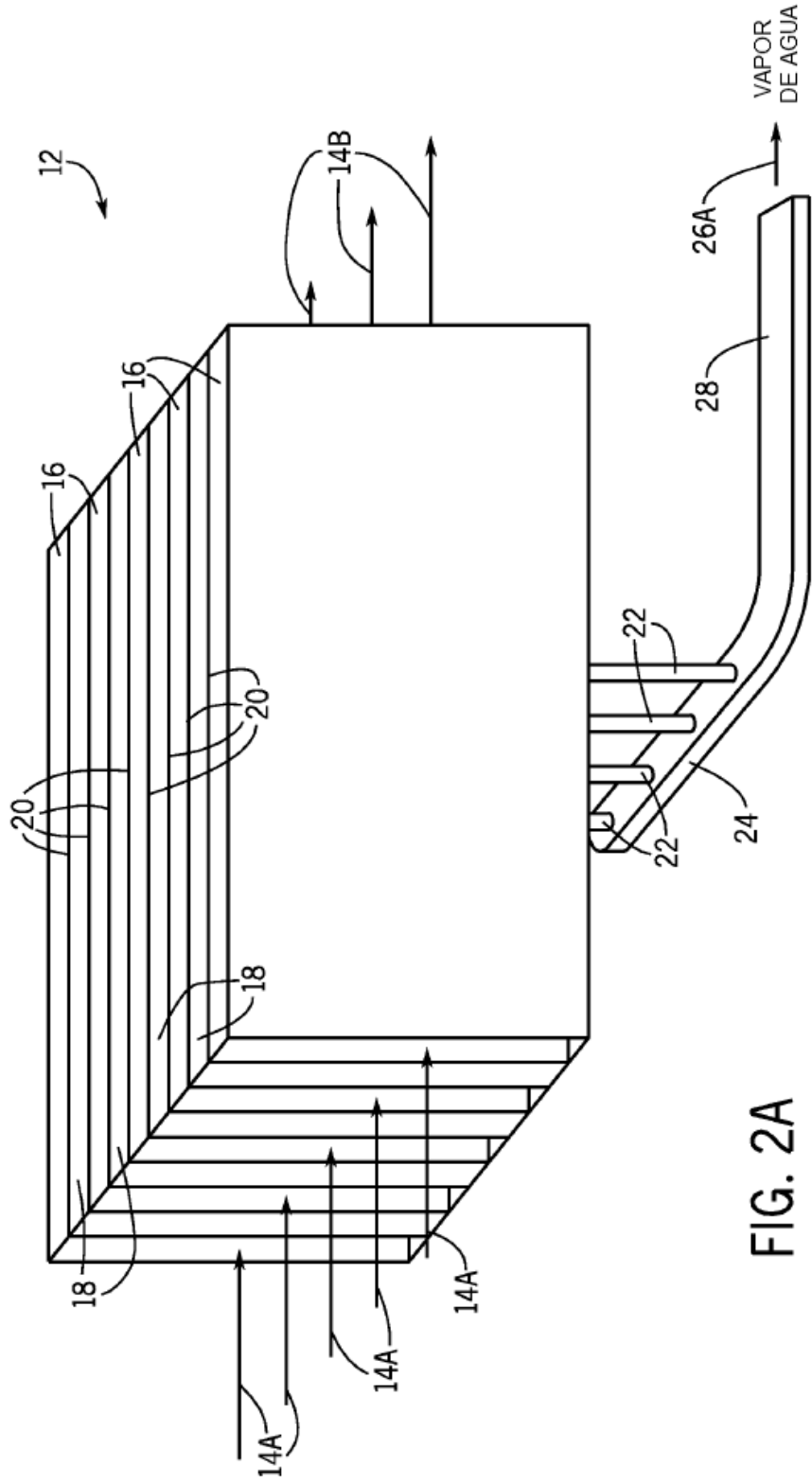


FIG. 2A

4

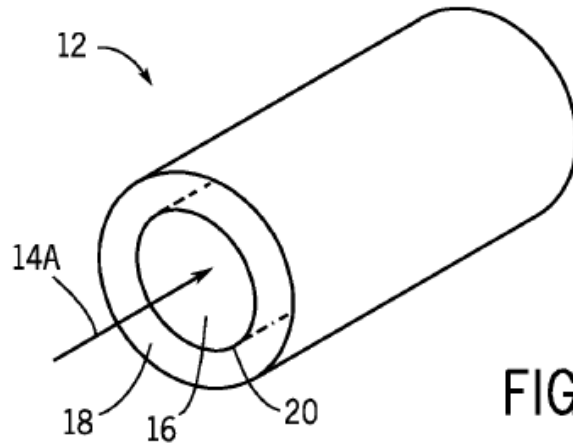


FIG. 2B

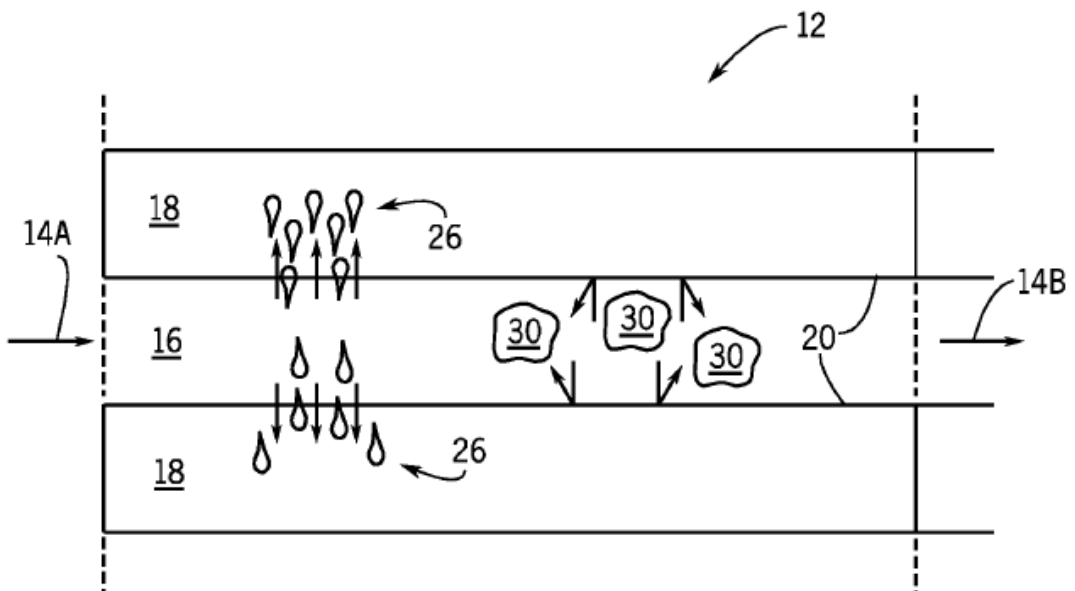


FIG. 3

⊕

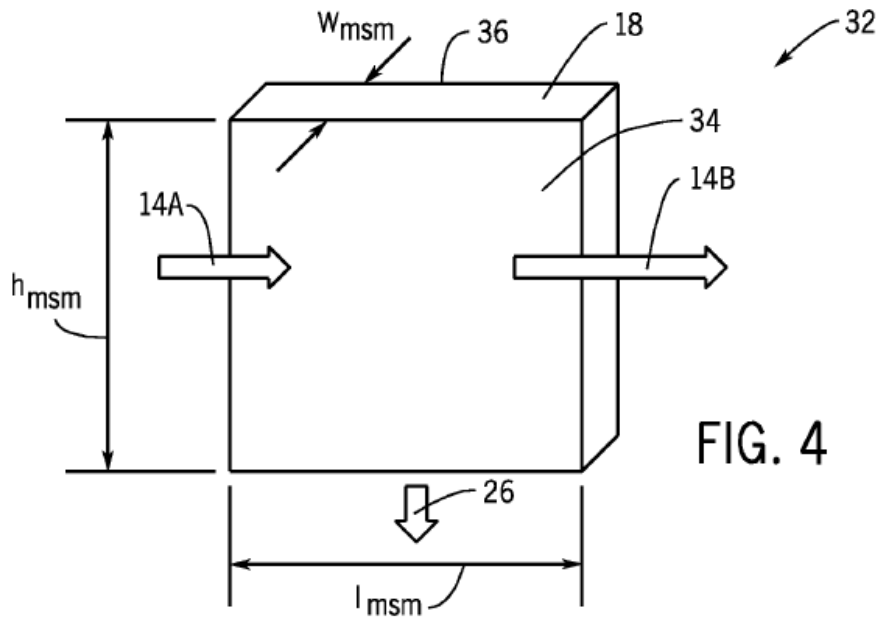


FIG. 4

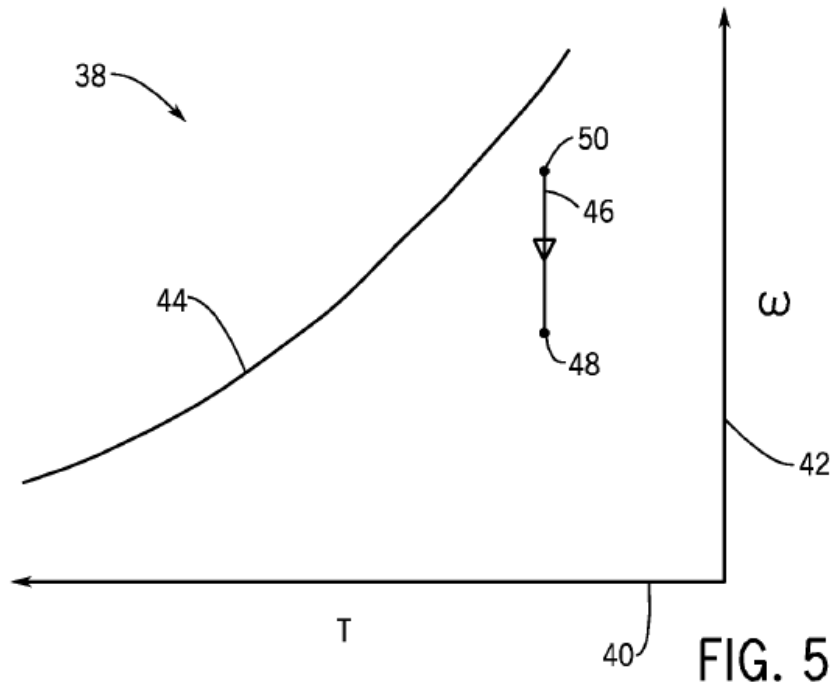


FIG. 5

⊕

4

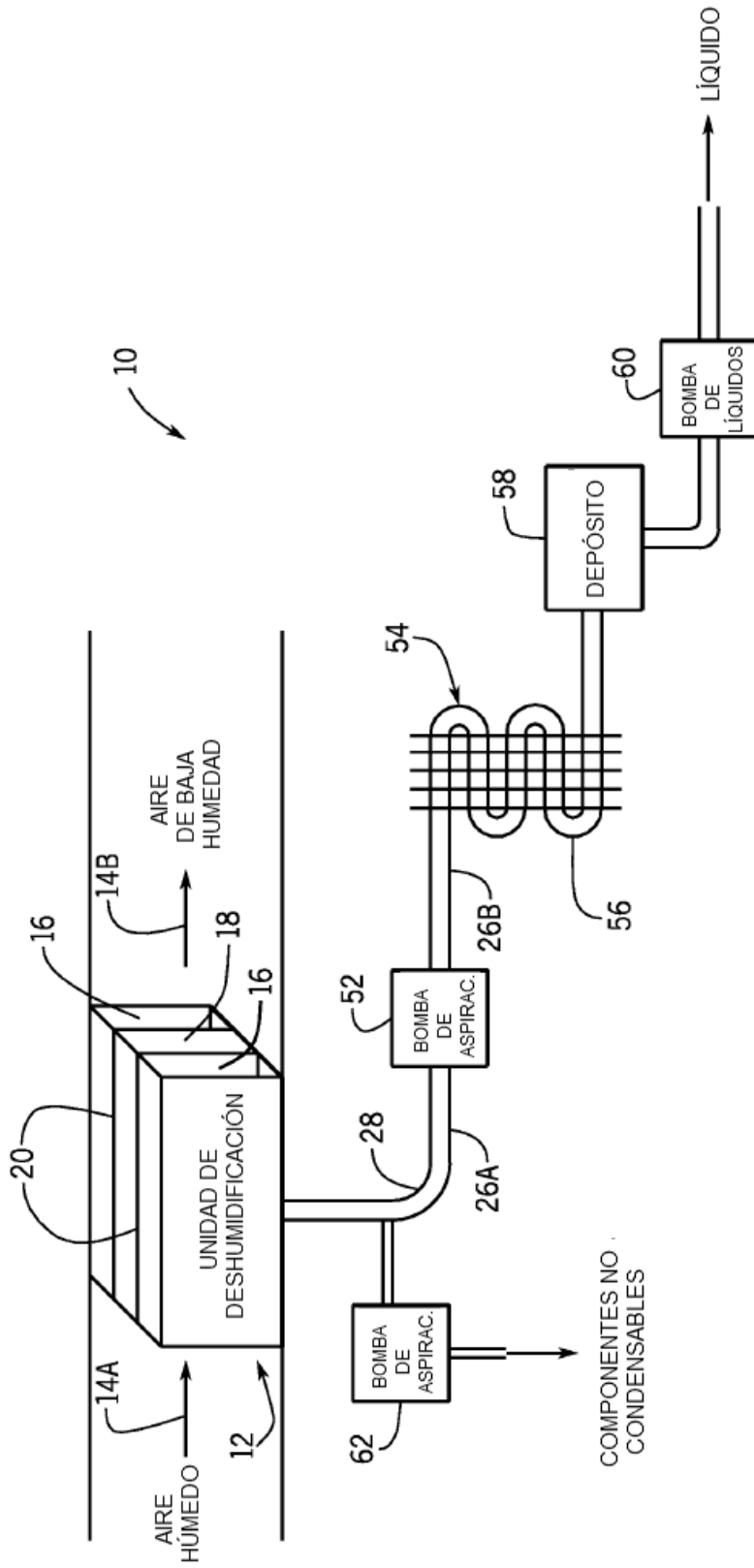


FIG. 6

4

4

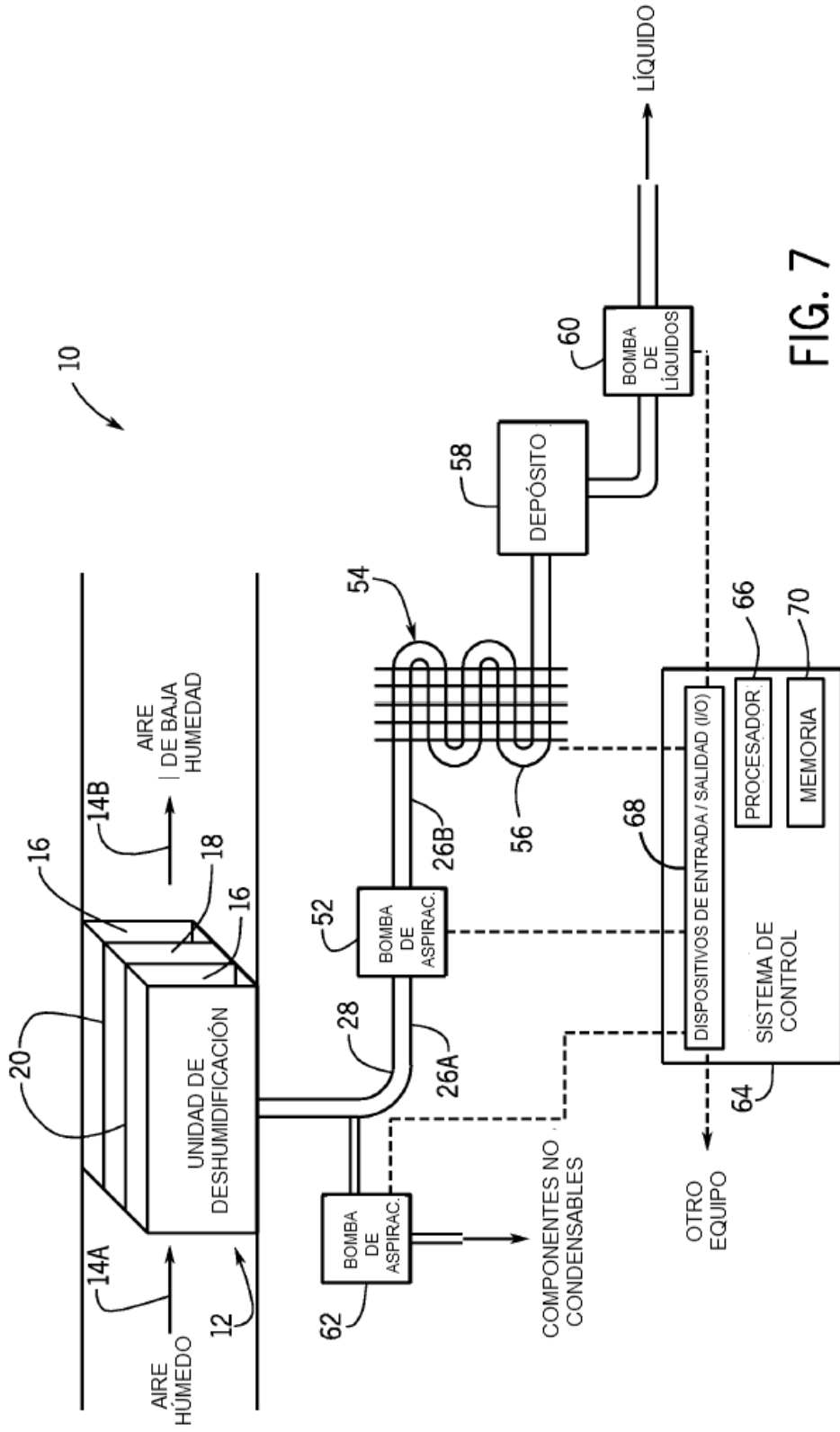


FIG. 7

4

4

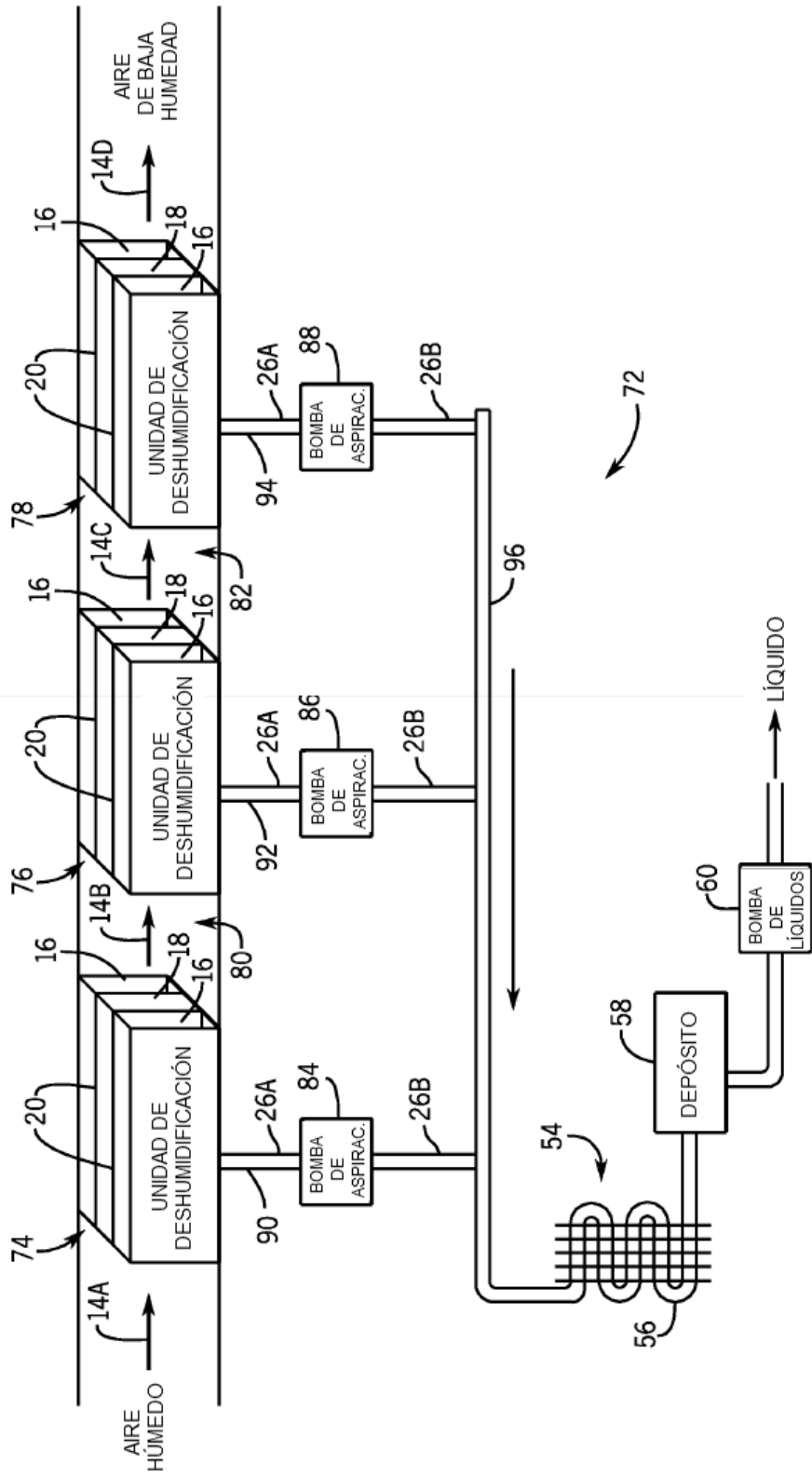
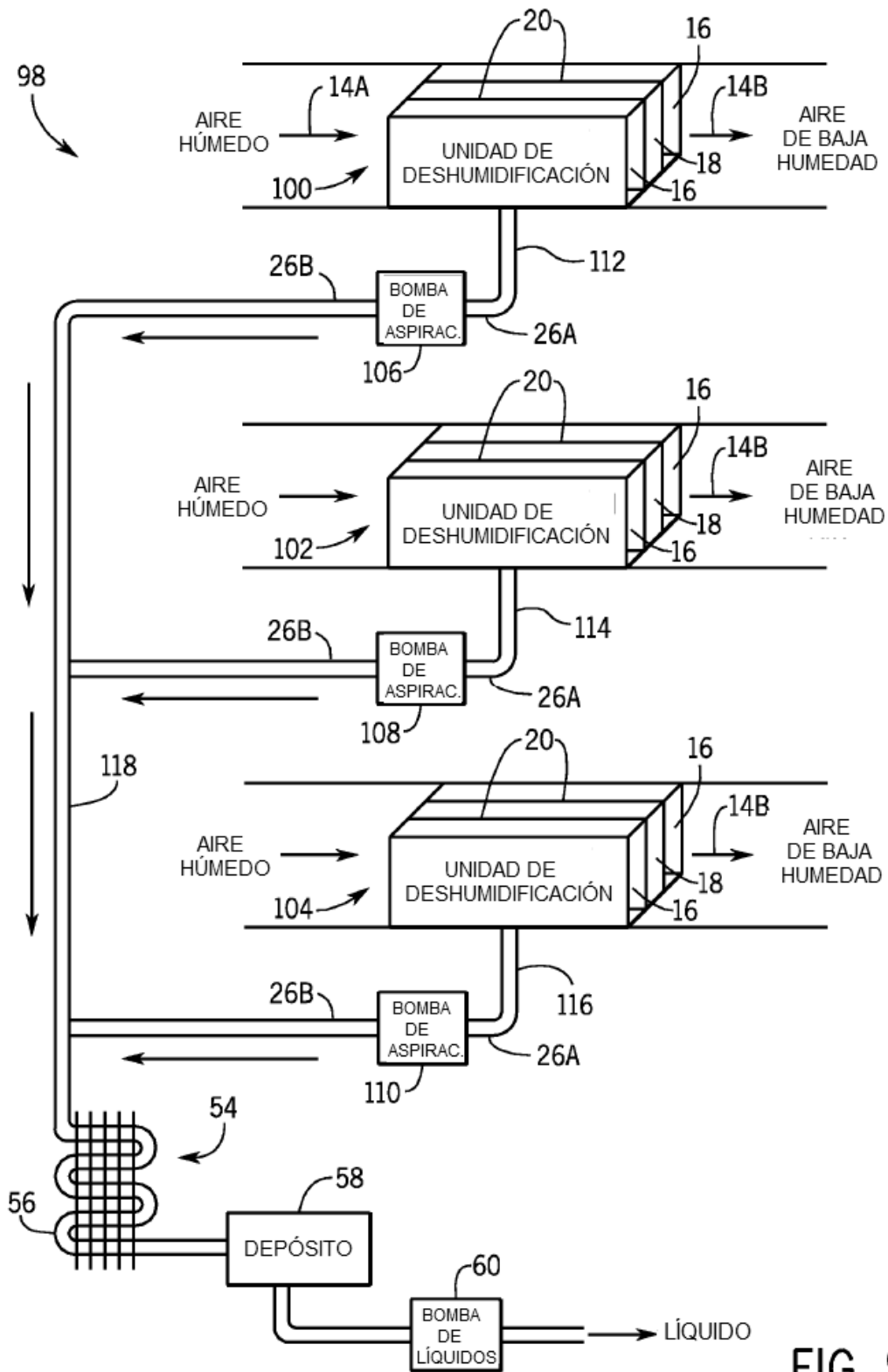


FIG. 8

4

+



+

4

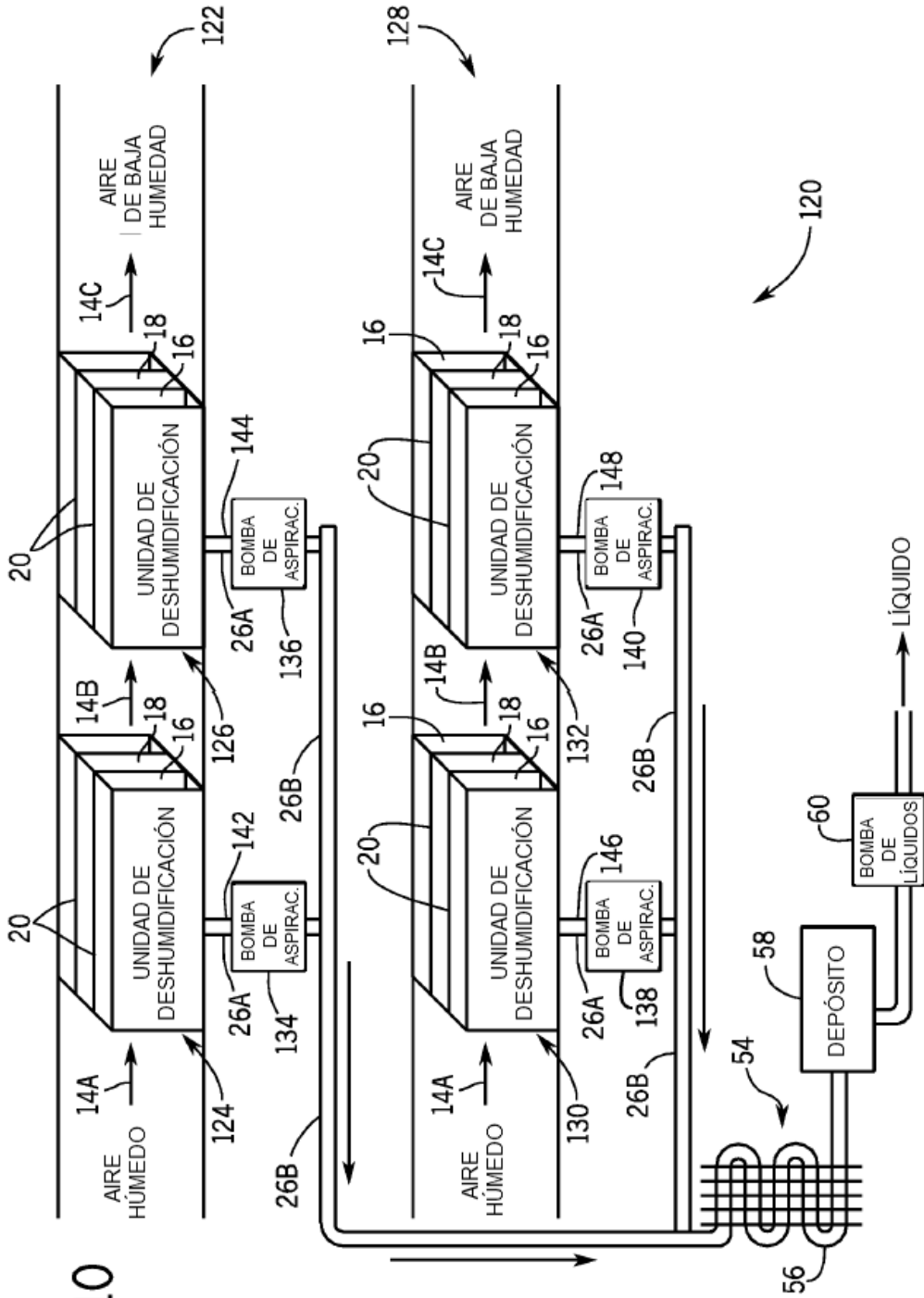


FIG. 10

4

4

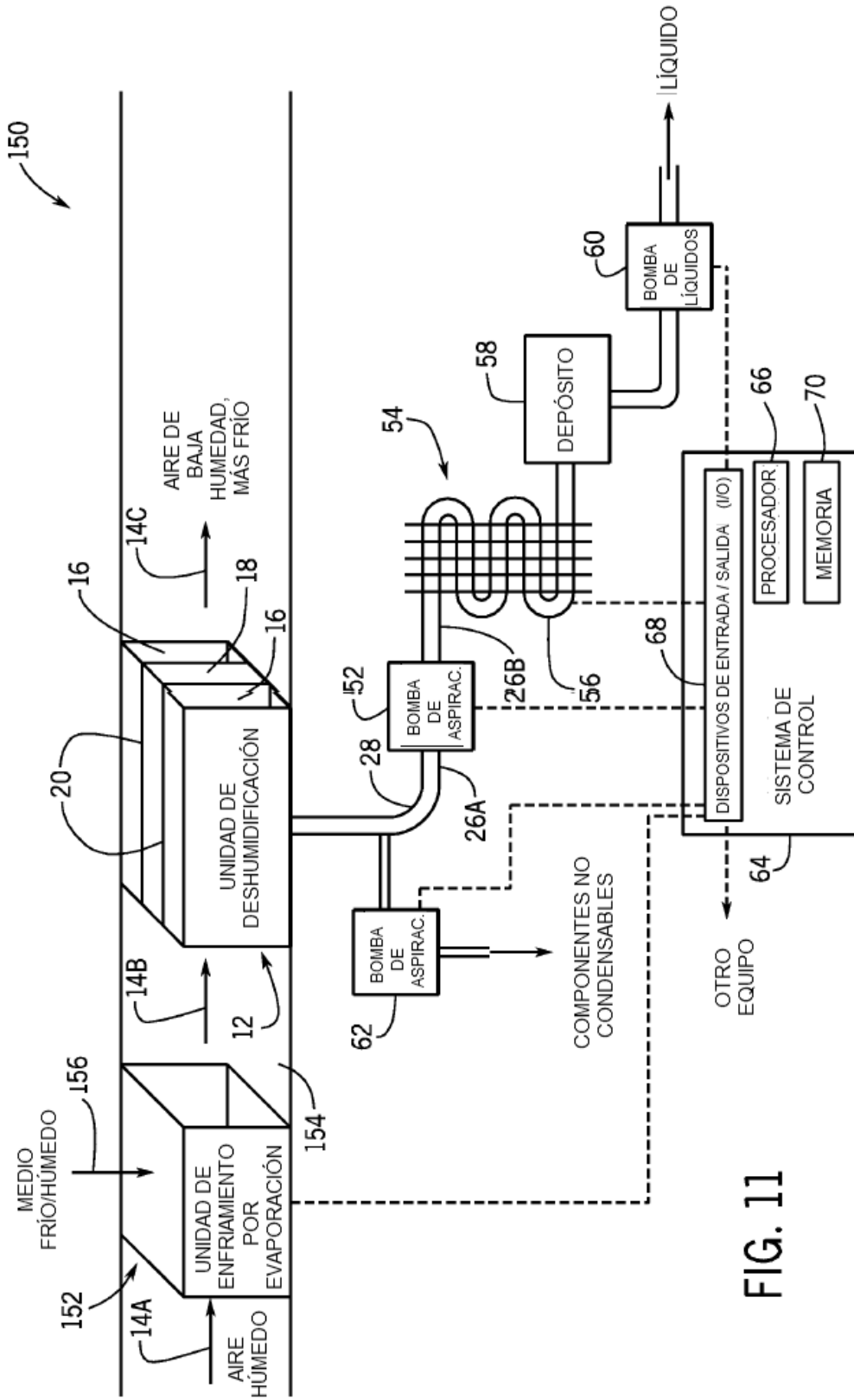
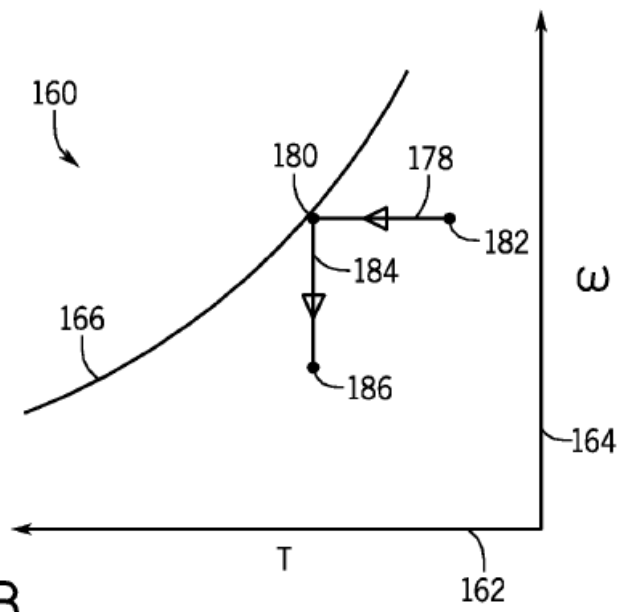
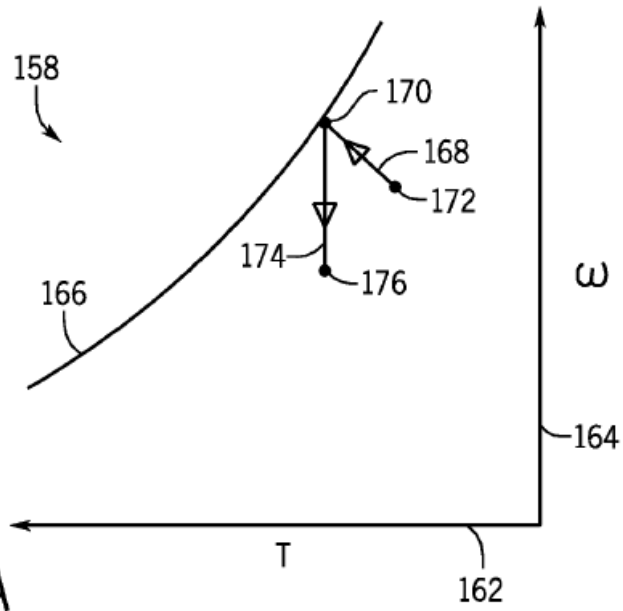


FIG. 11

4

⊕



⊕

4

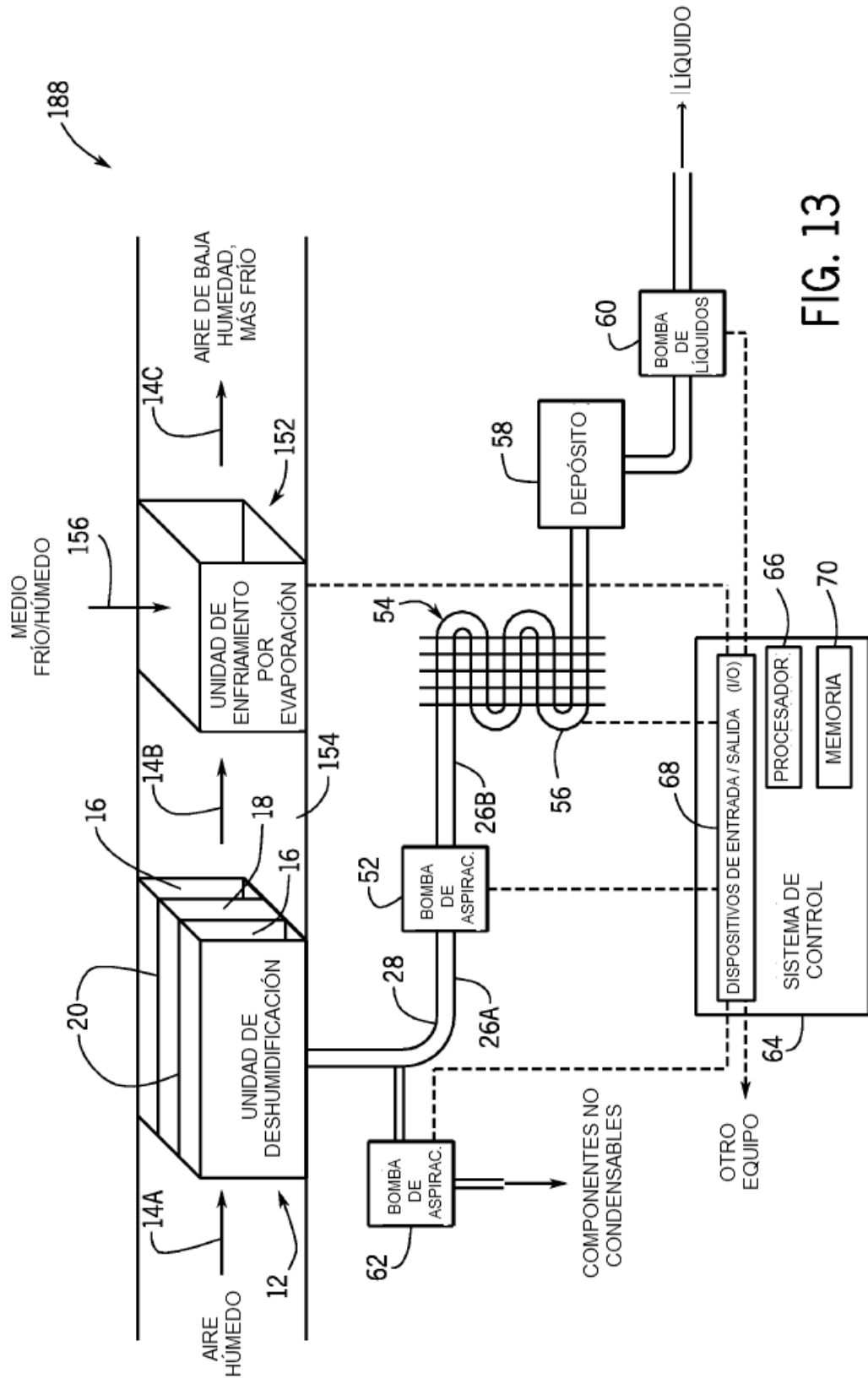


FIG. 13

4

4

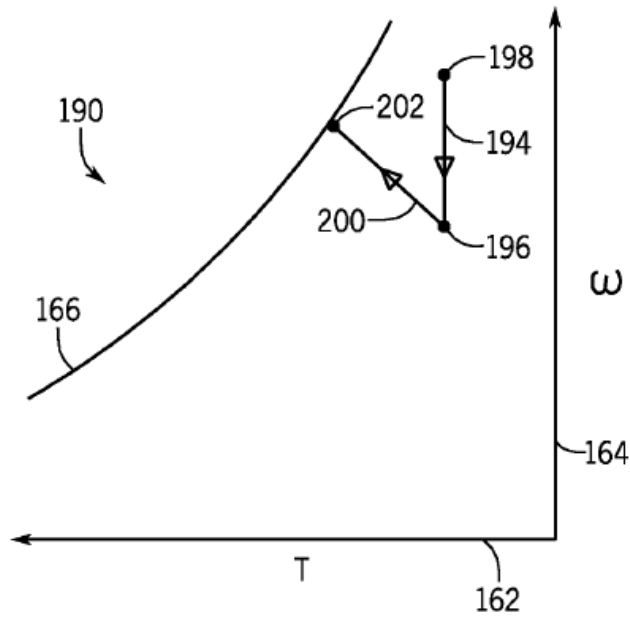


FIG. 14A

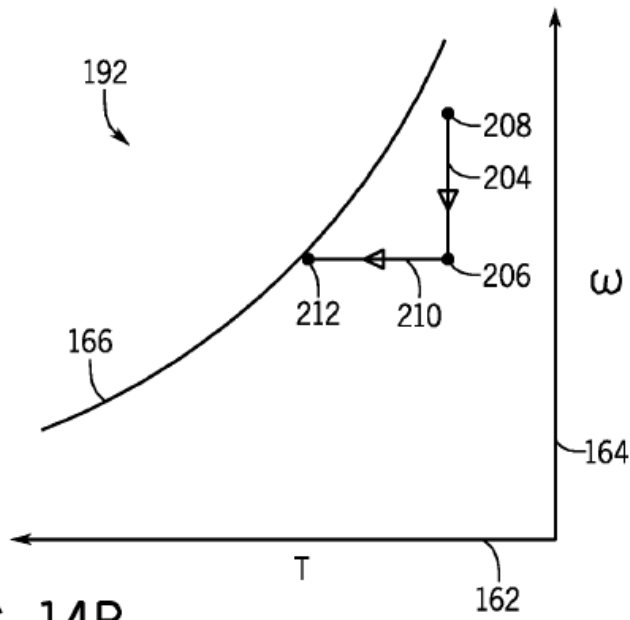


FIG. 14B

4

⊕

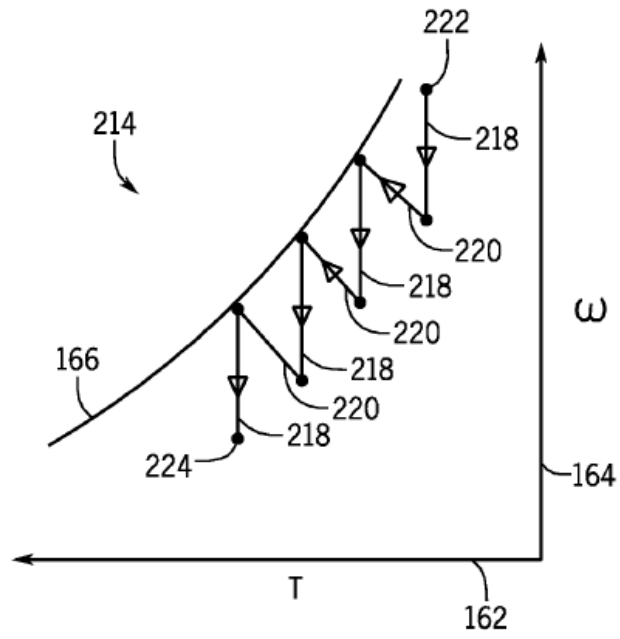


FIG. 15A

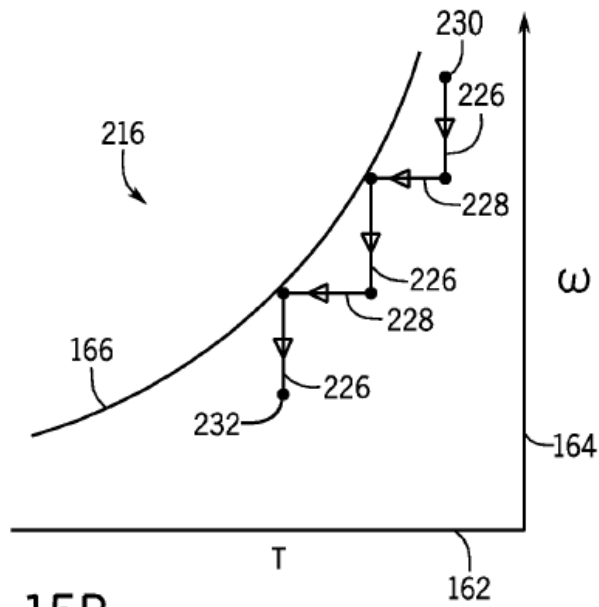


FIG. 15B

⊕

4

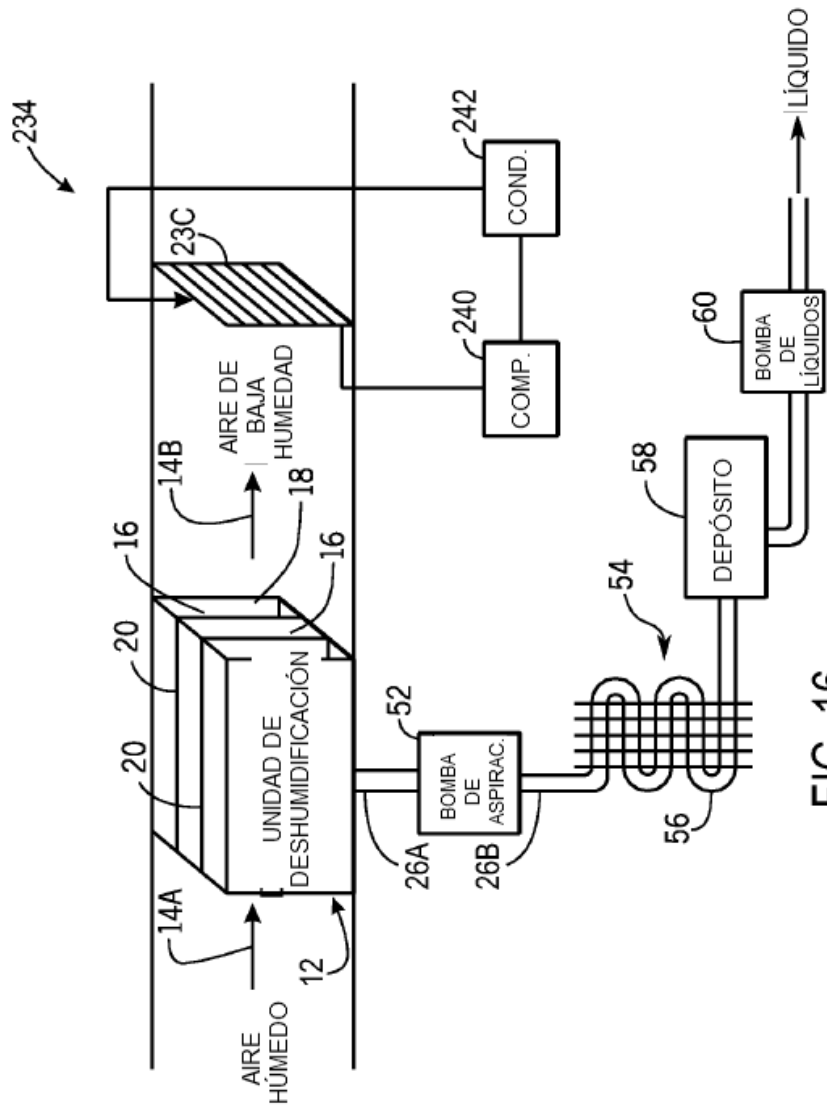


FIG. 16

4

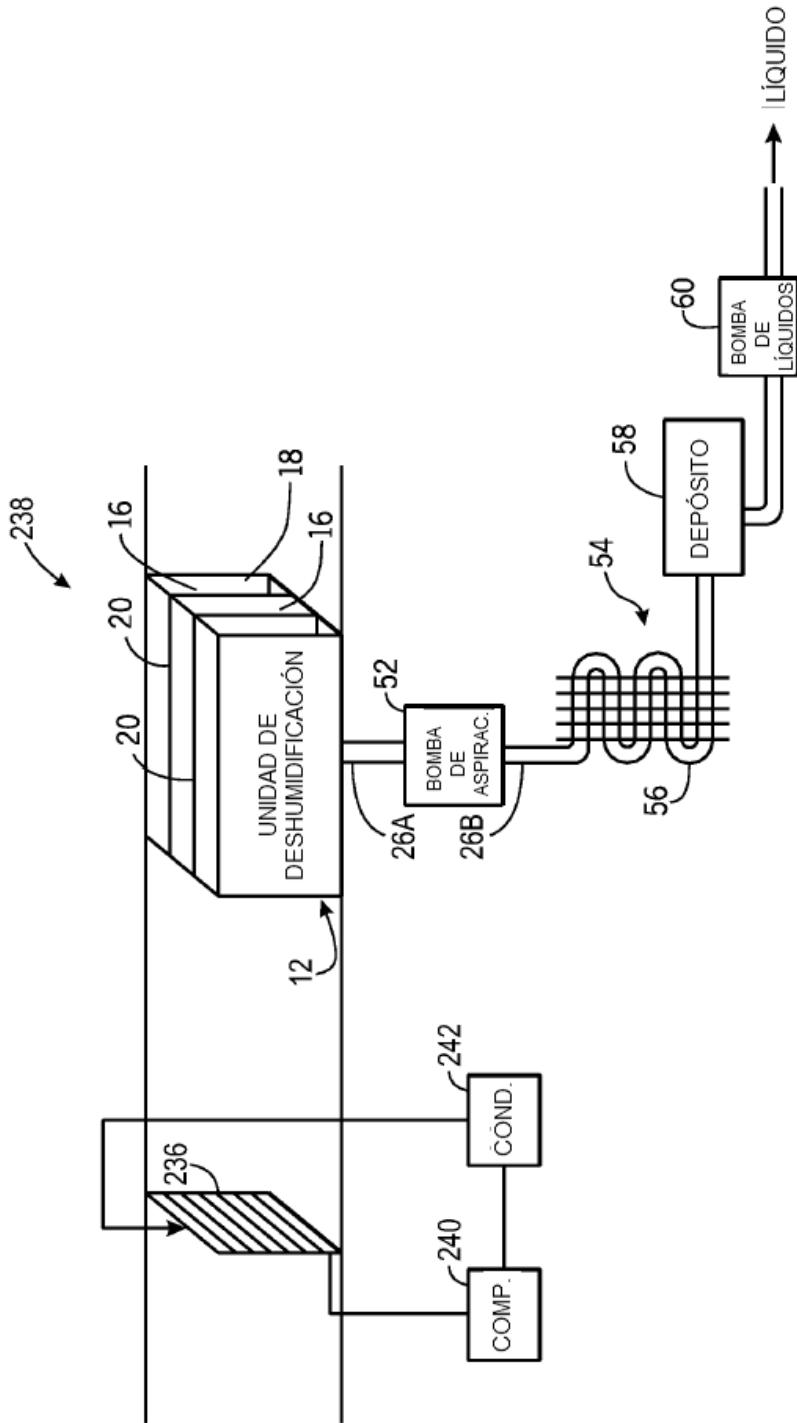


FIG. 17

4

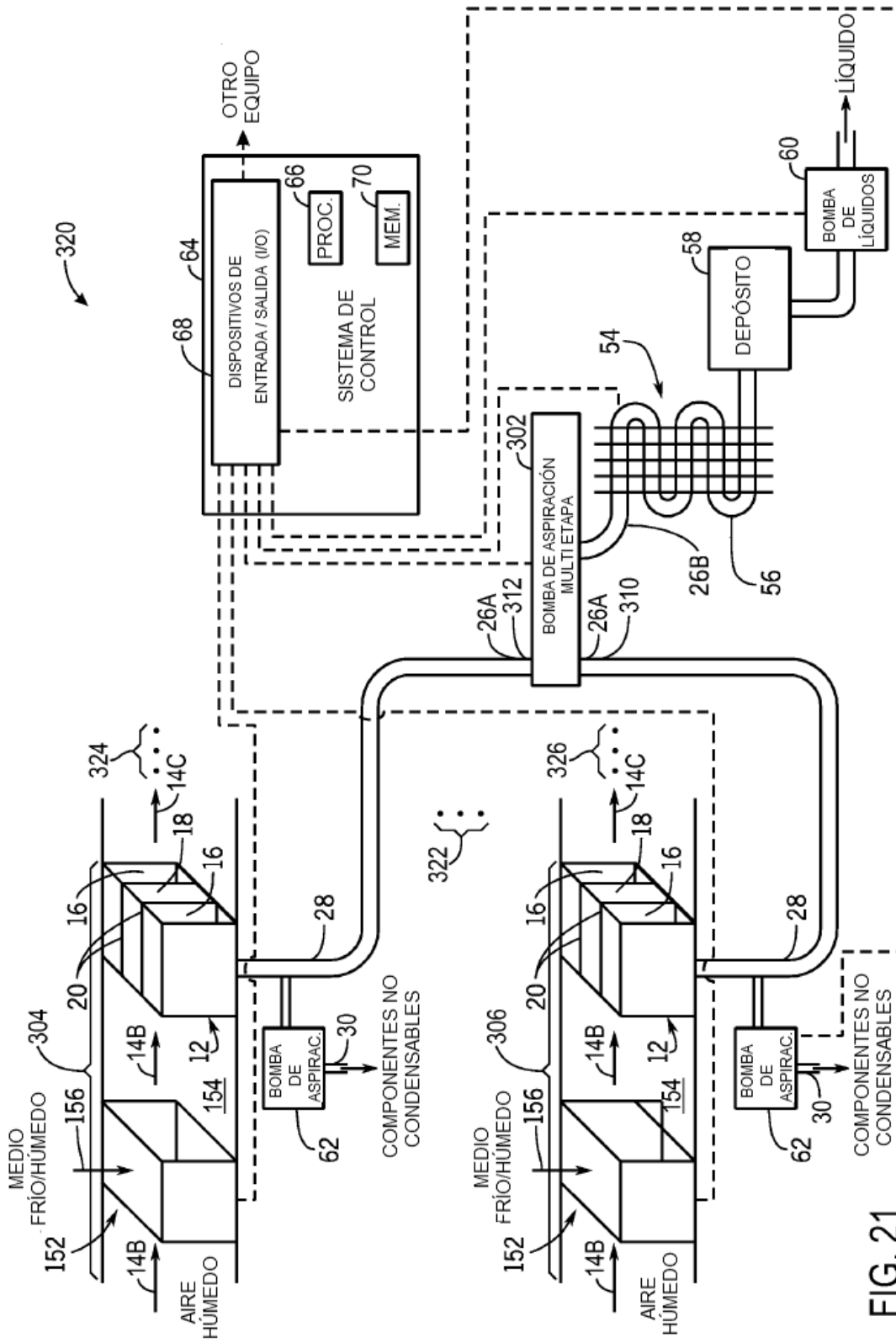


FIG. 21

4

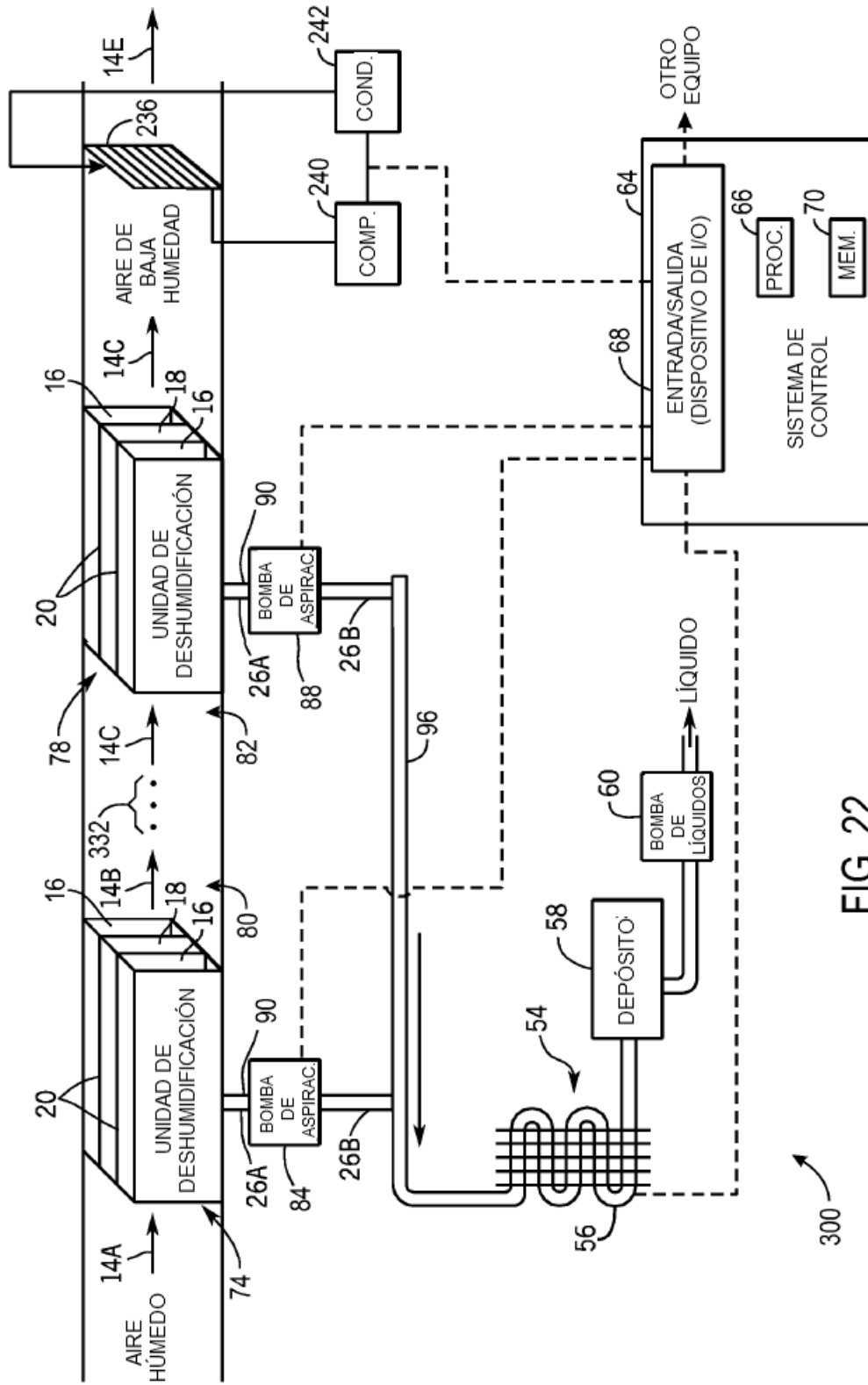


FIG. 22

4

4

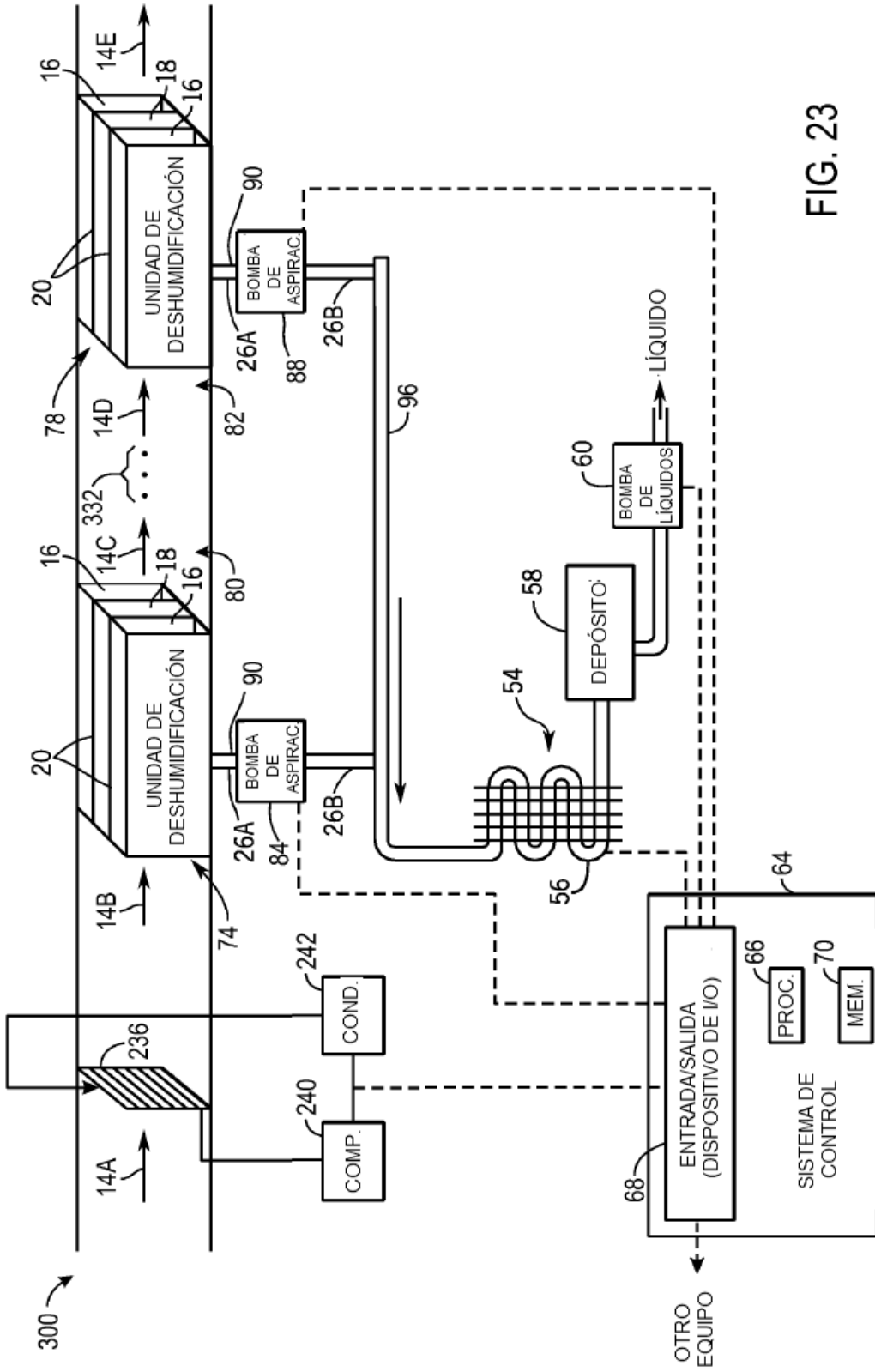


FIG. 23

4

4

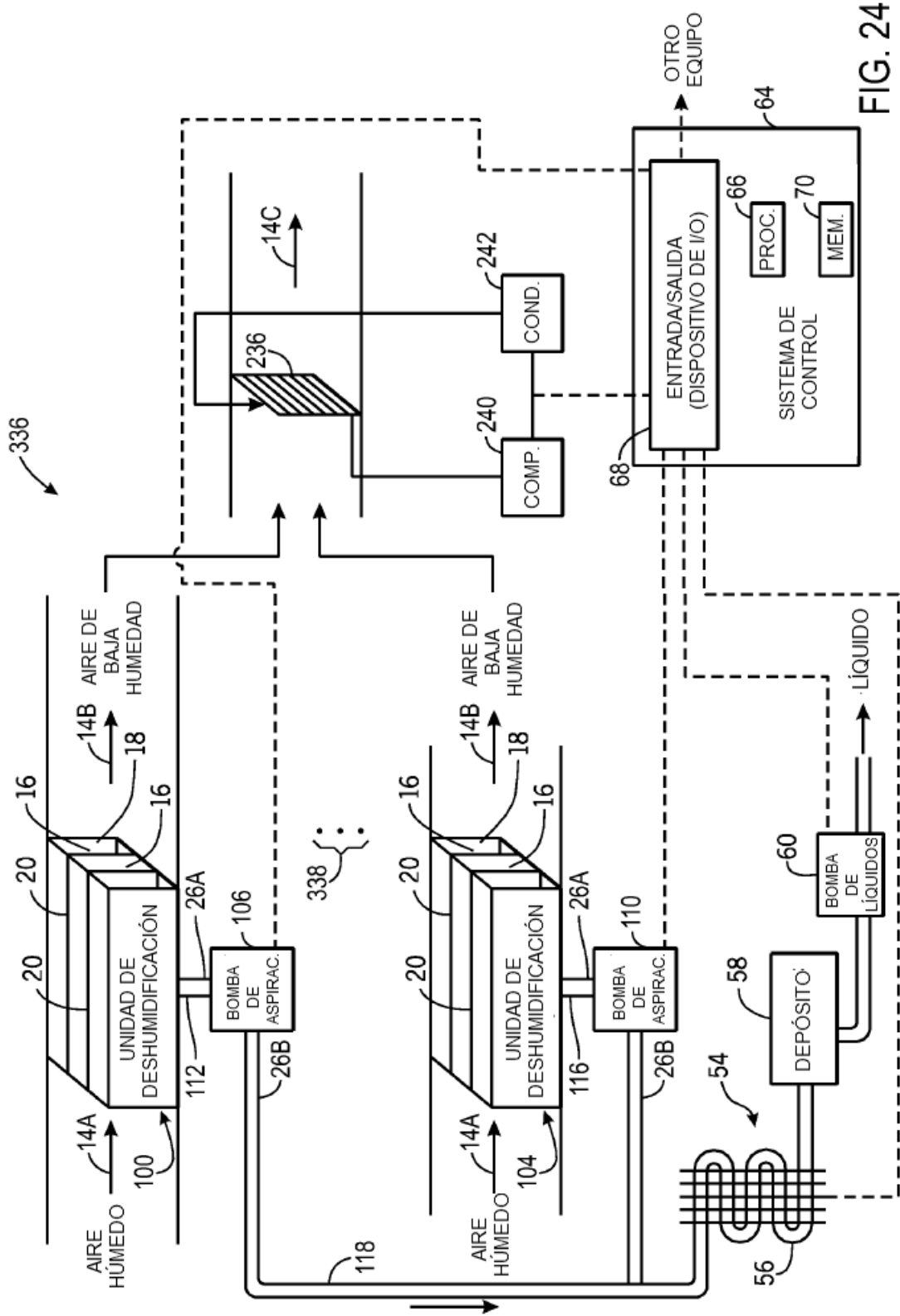
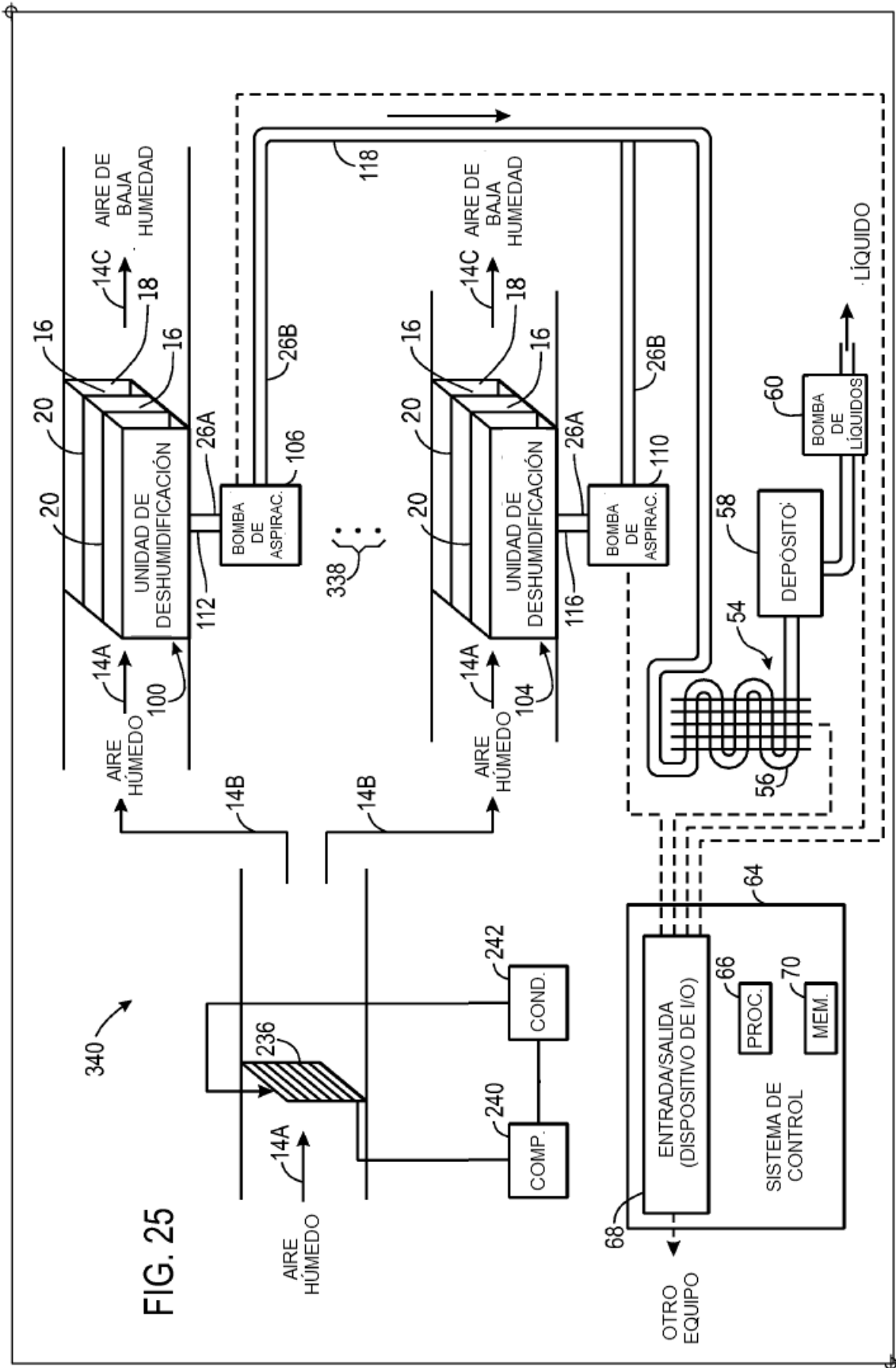


FIG. 24

4



4

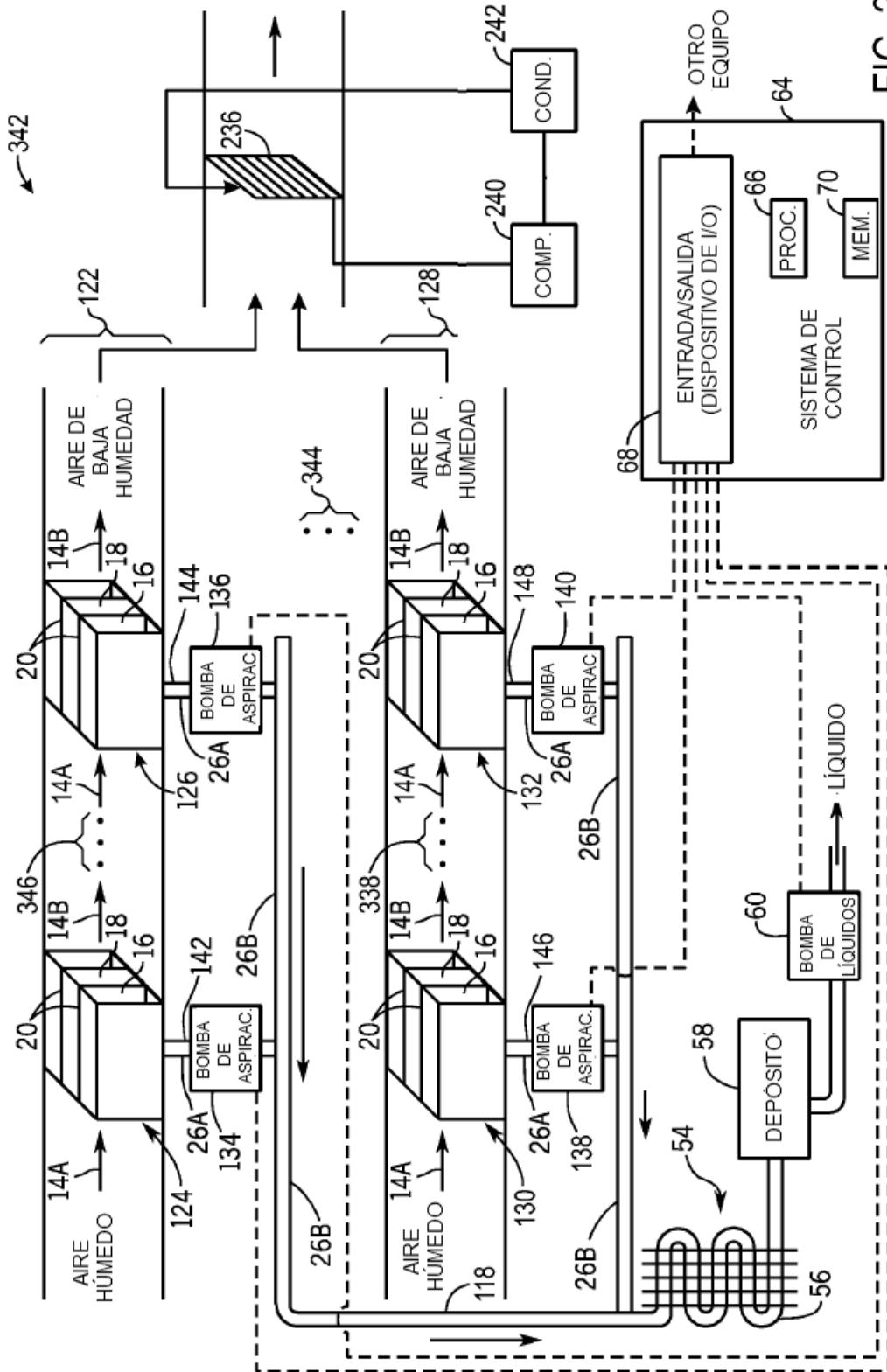


FIG. 26

4