

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 715 250**

51 Int. Cl.:

F25B 1/10 (2006.01)
F25B 5/04 (2006.01)
F25B 11/02 (2006.01)
F25B 40/00 (2006.01)
F24F 1/02 (2011.01)
F24F 3/14 (2006.01)
F24F 3/153 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.08.2007 PCT/US2007/076333**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **15.05.2008 WO08057647**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.08.2007 E 07841126 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.11.2018 EP 2087301**

54 Título: **Sistema de deshumidificación y método de deshumidificación**

30 Prioridad:

07.11.2006 US 857672 P
05.01.2007 US 878890 P
26.03.2007 US 919968 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.06.2019

73 Titular/es:

TIAX LLC (100.0%)
15 Acorn Park
Cambridge, MA 02140-2390, US

72 Inventor/es:

DIECKMANN, JOHN T. y
WESTPHALEN, DETLEF

74 Agente/Representante:

CUETO PRIEDE, Sénida Remedios

ES 2 715 250 T3

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

DESCRIPCIÓN

Sistema de deshumidificación y método de deshumidificación

Campo técnico

La invención se refiere a la deshumidificación o eliminación de la humedad.

5 Antecedentes

La deshumidificación puede ser importante para una variedad de aplicaciones incluyendo comodidad, salud, industria y fabricación, descongelación o desempañado de ventanas, recogida de agua del aire para beber u otros usos, mantenimiento de alimentos congelados, conservación de materiales de construcción y otros objetos, y prevención de moho, ácaros del polvo y otras plagas dañinas.

Haciendo referencia a la fig. 1A, en un sistema de deshumidificación de ciclo de compresión de vapor 20, la humedad se elimina refrigerando aire 22 para deshumidificarlo por debajo de su punto de rocío, lo que hace que la humedad se condense fuera del aire. El aire se enfría mediante un serpentín de refrigeración refrigerado (un evaporador 24) y la humedad se condensa sobre la superficie del serpentín y se drena del serpentín por gravedad a una bandeja de condensado 26 y se envía al desagüe 28. El aire refrigerado 30 se re-calienta entonces pasando a través de un condensador 32 (refrigerando el condensador en el proceso).

Haciendo referencia a la fig. 1B, el rendimiento (tanto la eficiencia como la cantidad de humedad eliminada para una capacidad de compresor refrigerante dada) puede mejorarse utilizando el aire refrigerado 30 que sale del evaporador 24 para enfriar previamente el aire 22 antes de que entre al evaporador, es decir, mediante recuperación, reduciendo la cantidad de enfriamiento que realiza el evaporador y un compresor 34. Como se muestra, un serpentín corriente arriba 36 y un serpentín corriente abajo 38 en relación con el evaporador 24 proporcionan el enfriamiento previo recuperativo, con el calor que se elimina del aire entrante 22 transportado por los caloductos (tubos termosifones bifásicos) 40 al serpentín corriente abajo, donde se transfiere al aire seco enfriado 30 que sale del evaporador.

25 US4270362A divulga un sistema de deshumidificación de ciclo de compresión de vapor de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

Otros métodos de recuperación incluyen bombear un fluido de transferencia de calor independiente entre una corriente de aire entrante y una corriente de aire posterior al evaporador, e intercambiar directamente calor entre una corriente de aire entrante y la corriente de aire que sale del evaporador sin el uso de un fluido de transferencia de calor.

BREVE RESUMEN DE LA INVENCION

La invención se refiere a un sistema de deshumidificación de ciclo de compresión de vapor como se define en la reivindicación 1 y un método para la deshumidificación de acuerdo a la reivindicación 7. Realizaciones preferentes se definen en las reivindicaciones dependientes.

.En un aspecto de la invención, el rendimiento (por ejemplo, la capacidad y la eficiencia) de un ciclo de compresión de vapor en un sistema de deshumidificación se mejora mediante recuperación utilizando un flujo refrigerante dentro del sistema para transportar calor entre dos partes de un recuperador. Por ejemplo, en un deshumidificador autónomo, el aire frío que sale de un evaporador se utiliza para enfriar previamente el aire antes de que entre al evaporador, lo que reduce la cantidad de enfriamiento que realiza el evaporador. Esta recuperación se puede realizar mediante un par de serpentines (una unidad de refrigeración y una unidad de calefacción) conectadas mediante pases alternos de un fluido refrigerante de un ciclo de refrigeración.

La recuperación descrita en el presente documento también se puede aplicar a un sistema de aire acondicionado o de bombeo de calor. En un sistema de aire acondicionado, el aire en un espacio interior se enfría, mientras que el calor se expulsa fuera del espacio. La recuperación se puede lograr enfriando el aire a una temperatura más baja, reduciendo la temperatura de evaporación y, opcionalmente, volviendo a calentar. Añadir recuperación para enfriar aire previamente antes de que entre al evaporador y volver a calentarlo al salir del evaporador, permite operar con una proporción de calor sensible más baja. Se puede lograr más deshumidificación sin enfriar

demasiado el espacio. Además, el enfriamiento previo, la recuperación por recalentamiento (término que debe entenderse como "repetir un calentamiento" o "calentar de nuevo") se pueden usar para controlar proporcionalmente la proporción de calor sensible. Al controlar cuánto y con qué frecuencia se desvía el refrigerante a través de las unidades de recuperación (por ejemplo, serpentines), la capacidad de deshumidificación se puede controlar a un nivel deseado.

La recuperación en la presente invención se realiza utilizando unidades (por ejemplo, un par serpentines) conectadas por un refrigerante de dos fases que se provee mediante la reducción de la presión de un líquido refrigerante de un ciclo de enfriamiento que deja un condensador a una temperatura / presión de saturación adecuada para una función de transporte de calor, antes de que el refrigerante fluya hacia un dispositivo de expansión y a un evaporador.

En otro aspecto, la invención se refiere a un método para deshumidificación, incluyendo proporcionar un sistema de deshumidificación como el aquí definido; la introducción del refrigerante desde compresor al condensador; la introducción del refrigerante desde condensador a la unidad de calefacción; la introducción del refrigerante desde la unidad de calefacción a una unidad de refrigeración a lo largo de una primera trayectoria de flujo del fluido; la introducción del refrigerante desde la unidad de refrigeración a la unidad de calefacción a lo largo de una segunda trayectoria de flujo del fluido, diferente a la primera trayectoria de flujo del fluido; la introducción del refrigerante desde la unidad de calefacción a la unidad de refrigeración a lo largo de una tercera trayectoria de flujo del fluido, diferente a la primera trayectoria de flujo del fluido; opcionalmente introducir el refrigerante desde la unidad de refrigeración a la unidad de calefacción a lo largo de una cuarta trayectoria de flujo, diferente a la segunda trayectoria de flujo; la introducción del refrigerante desde la unidad de refrigeración o desde la unidad de calefacción al evaporador por vía de un dispositivo de expansión; retornar el refrigerante desde el evaporador al compresor; y secuencialmente conectar la unidad de refrigeración, el evaporador y la unidad de calefacción con una primera corriente de gas.

Las realizaciones pueden incluir una o más de las siguientes características. El método incluye además la condensación de un líquido de la primera corriente de gas, la condensación del líquido entre la unidad de refrigeración y la unidad de calefacción a lo largo de una trayectoria de flujo de la primera corriente de gas. El método incluye además calentar la primera corriente de gas después de que la primera corriente de gas entre en contacto con la unidad de calefacción. El método incluye además evitar la introducción del refrigerante de un condensador a la unidad de calefacción. El método incluye además recoger un líquido condensado. El método incluye, en secuencia, poner en contacto la unidad de refrigeración con la primera corriente de gas, condensar un líquido de la primera corriente de gas, poner en contacto la unidad de calefacción con la primera corriente de gas y calentar la primera corriente de gas. El método incluye además enfriar un condensador con una segunda corriente de gas diferente de la primera corriente de gas. El método incluye además enfriar el condensador con la primera corriente de gas. La primera corriente de gas no enfría sustancialmente el condensador. El método incluye hacer circular el refrigerante entre la unidad de calefacción y la unidad de refrigeración durante tres o más ciclos.

Las realizaciones pueden incluir además una o más de las siguientes ventajas.

Los métodos y sistemas descritos en este documento pueden proporcionar un mayor control sobre la deshumidificación y una mayor eficiencia a bajo costo, lo que puede proporcionar una ventaja competitiva y hacer que la deshumidificación efectiva esté disponible para un grupo más amplio.

Los métodos y sistemas descritos en este documento pueden implementarse de una manera relativamente sencilla y económica para mejorar la deshumidificación, por ejemplo, en sistemas de aire acondicionado. Por ejemplo, la implementación puede ser relativamente compacta y puede dar como resultado un sistema general relativamente económico porque hay menos desviación, por ejemplo, de la norma de las técnicas de fabricación de acondicionadores de aire. La implementación se puede lograr sin un sistema de fluido completamente separado teniendo una serie de válvulas y una bomba de circulación, sin una cantidad de electroválvulas que se adapten a las condiciones de operación (por ejemplo, en condiciones de calor seco que pueden requerir una temperatura de suministro del sistema fría pero no mucha deshumidificación), y / o sin amortiguadores e intercambiador de calor de *bypass*.

Las realizaciones descritas aquí son completamente escalables. Los tamaños totales de las unidades de recuperación y los tamaños proporcionales de los distintos serpentines se pueden ajustar entre una amplia gama de valores y se pueden aplicar a una amplia gama de tamaños / capacidades de deshumidificador o acondicionador de aire.

Los métodos y sistemas descritos aquí pueden proporcionar la recogida del agua que se elimina del aire. El agua recogida, por ejemplo, puede tratarse (por ejemplo, para beber), almacenarse para dispensar cuando sea necesario, y / o calentarse o enfriarse.

Aún otros aspectos, características y ventajas serán evidentes a partir de la descripción de las realizaciones de los mismos y de las reivindicaciones.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

5 FIG. 1A es un diagrama esquemático de un ejemplo de un sistema de deshumidificación; y la fig. 1B es un diagrama esquemático de un ejemplo de un sistema de deshumidificación por recuperación del estado de la técnica.

FIG. 2 es un diagrama esquemático de una realización de un sistema de deshumidificación en el que un refrigerante transporta calor desde un serpentín de enfriamiento previo a un serpentín para recalentar (término que debe entenderse como “volver a calentar” o “calentar de nuevo”).

10 FIG. 3 es un diagrama esquemático de una realización de un sistema de aire acondicionado en el que un refrigerante transporta calor desde un serpentín de enfriamiento previo a un serpentín para para recalentar.

FIG. 4 es un diagrama esquemático de una realización de un sistema de aire acondicionado en el que un refrigerante transporta calor desde un serpentín de enfriamiento previo a un serpentín para recalentar e incluye además un *bypass* de un sistema de recuperación.

15 FIG. 5 es un diagrama esquemático de una realización de un sistema de aire acondicionado en el que se produce un paso final de refrigerante por un serpentín de recalentamiento, por lo que el refrigerante entra en un dispositivo de expansión con una temperatura más baja.

20 FIG. 6A es un diagrama esquemático de un sistema de deshumidificación comparativo no cubierto por la invención en el cual se reduce la presión de un refrigerante que sale de un condensador y pasa a través de un serpentín de enfriamiento previo, donde absorbe el calor del aire entrante por evaporación; y la fig. 6B es un diagrama esquemático de un sistema de deshumidificación comparativo no cubierto por la invención en el que el proceso mostrado en la FIG. 6A se repite a través del serpentín de enfriamiento previo y el serpentín de recalentamiento por lo menos una segunda vez para proporcionar la transferencia de calor de flujo a contracorriente-flujo transversal y para aumentar la cantidad de enfriamiento previo recuperativo y recalentamiento.

25 FIG. 7 es un diagrama esquemático de un sistema de deshumidificación comparativo no cubierto por la invención en el cual existe un aumento de presión desde una unidad de enfriamiento previo a una unidad de recalentamiento.

FIG. 8 es un diagrama esquemático de un sistema de aire acondicionado comparativo no cubierto por la invención en el cual un refrigerante de dos fases transporta calor desde un serpentín de enfriamiento previo a un serpentín de recalentamiento.

30 FIG. 9 es un diagrama esquemático de un sistema de deshumidificación comparativo no cubierto por la invención que incluye un circuito de refrigerante separado que usa un refrigerante con deslizamiento de temperatura.

FIG. 10 es un diagrama esquemático de una realización de un sistema de deshumidificación que incluye la recogida de agua.

35 FIG. 11 es un diagrama esquemático de un sistema de deshumidificación comparativo no cubierto por la invención en el que se separan las corrientes de gas introducidas en un evaporador y en un condensador.

FIG. 12 es un diagrama esquemático de una realización de un sistema de deshumidificación en el que se separan las corrientes de gas introducidas en un evaporador y en un condensador, e incluyen además enfriamiento recuperativo.

FIG. 13 es un diagrama esquemático de una realización de un sistema de deshumidificación.

40

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

La FIG. 2 muestra una realización de un sistema de deshumidificación 50 en el que todas las funciones térmicas están contenidas en una sola unidad, de modo que el calor expulsado de un ciclo de enfriamiento se agrega a una corriente de aire deshumidificada. El sistema de deshumidificación 50 incluye una unidad de enfriamiento previo

(como se muestra, un serpentín 52), un evaporador 54, una unidad de recalentamiento (como se muestra, un serpentín 56) y un condensador 58 dispuesto secuencialmente a lo largo de una trayectoria de una corriente de gas (por ejemplo, aire húmedo, gases inertes como el nitrógeno o argón, hidrógeno). (Para mayor claridad, no se muestra compresor.) El enfriamiento recuperativo es provisto mediante el serpentín de enfriamiento previo 52 y el serpentín de recalentamiento 56 que están conectados mediante pases alternos de un líquido refrigerante del ciclo de enfriamiento. Como se muestra, la corriente de aire que se va a deshumidificar pasa a través de una serie de cuatro serpentines: primero, el aire pasa a través del serpentín de enfriamiento previo 52 donde el calor se transfiere del aire al líquido refrigerante; a continuación, el aire enfriado pasa a través del evaporador refrigerante 54 donde el aire se enfría lo suficiente para condensar la humedad; a continuación, el aire frío secado pasa a través del serpentín de recalentamiento 56 donde el calor se transfiere del líquido refrigerante al aire; y finalmente a través del condensador 58 para proporcionar aire caliente seco.

Como se muestra, el calor que se elimina de la corriente de aire mediante el serpentín de enfriamiento previo 52 se transporta al serpentín de recalentamiento 56 mediante el refrigerante líquido. El refrigerante se origina como líquido subenfriado del condensador 58 y se traslada ida y vuelta entre los serpentines de enfriamiento previo y de recalentamiento 52, 56 varias veces a lo largo de múltiples vías conectadas en serie, eliminando primero el calor del aire entrante y luego agregando calor al aire saliente, repitiendo este proceso varias veces y finalmente saliendo del serpentín de enfriamiento previo hacia un dispositivo de expansión (por ejemplo, una válvula de expansión termostática, un orificio pequeño o un tubo capilar) y un evaporador 54. Más específicamente, el refrigerante fluye a través de una primera parte 61 del serpentín de recalentamiento 56, luego fluye al serpentín de enfriamiento previo 52 a lo largo de una primera trayectoria 63, luego fluye a través de una primera parte 65 del serpentín de enfriamiento previo, luego regresa al serpentín de recalentamiento a lo largo de una segunda trayectoria 67 que es diferente de la primera trayectoria, luego fluye a través de una segunda parte 69 del serpentín de recalentamiento diferente de la primera parte 61, y luego fluye al serpentín de enfriamiento previo a lo largo de una tercera trayectoria 71 que es diferente de la primera y segunda trayectorias. Como se muestra, en la fig. 2, este ciclo de flujo se repite a lo largo de diferentes partes de los serpentines de recalentamiento y enfriamiento previo 56, 52 y a lo largo de diferentes trayectorias hasta que el refrigerante finalmente sale del serpentín de enfriamiento previo al dispositivo de expansión y al evaporador 54 (como se muestra, después de cuatro ciclos completos). El transporte del líquido ida y vuelta varias veces (por ejemplo, tres, cuatro, cinco, seis, siete, ocho o más ciclos completos) se realiza porque la capacidad calorífica del flujo de refrigerante líquido puede ser varias veces menor que la capacidad calorífica del flujo de aire. El número de ciclos puede seleccionarse optimizando la coincidencia entre el flujo másico del refrigerante y el flujo másico del flujo de la corriente de gas. En algunas realizaciones, esta recuperación aumenta el tamaño del serpentín en aproximadamente un 33%, pero las conexiones de refrigerante son convencionales y se pueden realizar al mismo tiempo que se realiza el resto del montaje de la curva de retorno del serpentín y las conexiones soldadas de la línea de refrigerante. Esta recuperación puede proporcionar la misma función, por ejemplo, como tuberías de calor individuales que conectan serpentines de enfriamiento previo y recalentamiento, pero de manera más simple. En algunas realizaciones, por ejemplo, en sistemas sin condensador, se puede proporcionar recalentamiento adicional agregando una unidad para volver a calentar (recalentar) (como un serpentín de recalentamiento de gas caliente o un serpentín de recalentamiento accionado por otra fuente de calor (por ejemplo, calefacción eléctrica, agua caliente, vapor y / o la combustión de combustible)).

El proceso de recuperación descrito anteriormente se puede aplicar a cualquier dispositivo en el que se use un flujo de líquido para enfriar un gas para lograr una deshumidificación mejorada sin una reducción significativa en la capacidad de calentamiento. Por ejemplo, un calentador de agua con bomba de calor de deshumidificación, deshumidifica el aire que lo rodea a medida que calienta el agua, por lo que se pueden agregar unidades de recuperación (por ejemplo, serpentines) a un evaporador del calentador de agua de bomba de calor para lograr mayor deshumidificación. Como otro ejemplo, refiriéndose a la fig. 3, el proceso de recuperación se puede aplicar en un sistema de aire acondicionado para proporcionar una deshumidificación mejorada cuando sea necesario. Como se muestra, el sistema de aire acondicionado 60 es similar al sistema de deshumidificación 50, excepto que la corriente de gas no pasa a través de un condensador y el sistema 60 incluye una unidad de recalentamiento opcional (como se muestra, un serpentín de recalentamiento de gas caliente 62) para proporcionar aire más caliente deshumidificado cuando se quiera. El condensador 58, que está ubicado en un lugar apropiado para expulsar el calor del sistema 60, se enfría por otros medios, como una corriente de aire exterior separada o con agua enfriada.

En algunas realizaciones, con referencia a la FIG. 4, de deshumidificación (como se muestra, el control de un sistema de deshumidificación 70) se mejora al proporcionar un desvío (*bypass*) selectivo 72 del flujo de refrigerante líquido alrededor de las unidades de enfriamiento previo y recalentamiento (por ejemplo, serpentines 52, 56) y un dispositivo de expansión y evaporador. Por ejemplo, cuando no se desea deshumidificación más allá de la provista por el funcionamiento normal de acondicionador de aire, los serpentines 52, 56 se puentean y se dejan inactivos. Cuando se desea una deshumidificación adicional, el desvío 72 permite que el refrigerante líquido fluya selectivamente a través de los serpentines de calentamiento previo y recalentamiento 52, 56, con el efecto neto de que la capacidad de deshumidificación aumenta, mientras que la capacidad de enfriamiento sensible disminuye. Como se muestra, las realizaciones pueden incluir una unidad de recalentamiento opcional (como un serpentín de

recalentamiento de gas caliente), dependiendo de la amplitud del intervalo de mejora de la deshumidificación o la relación de calor sensible deseada.

5 En algunas realizaciones, un paso final del refrigerante líquido por una unidad de recalentamiento es enfriado por el aire que sale del evaporador antes de que el refrigerante entre en un dispositivo de expansión. FIG. 5 muestra un sistema de deshumidificación 80 en el cual un paso final 82 del refrigerante líquido por una unidad de recalentamiento (como se muestra, serpentín 56) se enfría por la corriente de gas que sale de una unidad de refrigeración (como se muestra, evaporador 54), proporcionando así recalentamiento adicional de la corriente de gas y reduciendo la temperatura del refrigerante. Como resultado, el refrigerante se sub-enfría aún más antes de la expansión, la capacidad del evaporador aumenta aún más (por ejemplo, se maximiza) debido a una mayor
10 reducción de la entalpía del refrigerante, y la eliminación de la humedad aumenta aún más.

Mientras que el refrigerante se describe anteriormente como un líquido, en otras realizaciones, la función de transporte de calor es proporcionada por un flujo de refrigerante de dos fases de un ciclo de enfriamiento. FIG. 6A muestra un sistema de deshumidificación 90 en el que el gas (por ejemplo, el aire) que se va a deshumidificar pasa a través de una serie de cuatro unidades: el gas primero pasa a través de una unidad de enfriamiento previo (por ejemplo, un serpentín de enfriamiento previo 92); después el gas pasa a través de un evaporador 94 (donde el gas se enfría lo suficiente para condensar la humedad); a continuación, el gas seco y frío pasa a través de una unidad de recalentamiento (por ejemplo, un serpentín de recalentamiento 96); y después el gas pasa por un condensador 98. Como se muestra, el serpentín de enfriamiento previo 92 se conecta mediante un fluido con el serpentín de recalentamiento 96 y el condensador 98, que también se conecta mediante un fluido con el evaporador 94 a través de un compresor 100. El evaporador 94 también se conecta mediante un fluido con el serpentín de recalentamiento 96. El calor que se elimina de la corriente de gas mediante el serpentín de enfriamiento previo 92 hace que una parte del refrigerante líquido de presión reducida se evapore a medida que el gas pasa a través del serpentín de enfriamiento previo. Cuando este refrigerante de dos fases (líquido y vapor) pasa a través del serpentín de recalentamiento 96, el vapor se condensa y suministra calor para recalentar el gas. El refrigerante líquido que sale del condensador 98 es sometido a reducción de presión (como se muestra, usando un dispositivo de reducción o expansión de presión 102) a una temperatura de saturación apropiada y luego pasa a través del serpentín de enfriamiento previo 92 y del serpentín de recalentamiento 96. Después de dejar el serpentín de recalentamiento 96, el refrigerante líquido a presión reducida fluye luego hacia un dispositivo de expansión 104 y un evaporador 94, como en un ciclo de enfriamiento convencional. Como se muestra en la FIG. 6A, el refrigerante líquido a presión reducida realiza un solo paso a través de cada uno de los serpentines de enfriamiento previo y recalentamiento 92, 96, a una temperatura / presión de saturación.

[0026] En otros ejemplos comparativos de un sistema de deshumidificación, con referencia a la FIG. 6B, el sistema 120 incluye un refrigerante líquido que realiza dos o más pasos (como se muestra, dos) a dos niveles diferentes de temperatura / presión de saturación, proporcionando una transferencia de calor a contracorriente en ambos serpentines de enfriamiento previo y de recalentamiento 92, 96, y permite un mayor nivel de enfriamiento previo recuperativo y recalentamiento. Opcionalmente, se puede proporcionar recalentamiento adicional mediante la inclusión de un serpentín de recalentamiento de gas caliente, o el recalentamiento puede proporcionarse mediante otra fuente de calor (por ejemplo, calefacción eléctrica, agua caliente, vapor o combustión de combustible). Similar a los otros sistemas descritos en este documento, todas las funciones térmicas de las realizaciones mostradas en las Figs. 6A y 6B se pueden agrupar en una sola unidad, de modo que el calor expulsado del ciclo de enfriamiento se añade a la corriente de gas deshumidificado. Además, los sistemas mostrados en las figs. 6A y 6B pueden incluir transporte de un refrigerante entre las unidades 92, 96 de enfriamiento previo y recalentamiento, como se describe aquí.

45 La transferencia de calor a contracorriente en los serpentines de enfriamiento previo y recalentamiento 92, 96 también se puede lograr mediante el uso de un refrigerante o una mezcla refrigerante que tenga un deslizamiento de temperatura entre su punto de burbuja y su punto de rocío a una presión dada. Dependiendo de la selección de la composición del refrigerante, la capacidad del compresor y el caudal de aire, el deslizamiento de temperatura del refrigerante de dos fases en este caso puede igualar o igualar sustancialmente la caída de temperatura (en el serpentín de enfriamiento previo 92) o el aumento (en el serpentín de recalentamiento 96), lo que permite un mayor rendimiento (por ejemplo, máximo) de intercambio de calor con un solo paso de refrigerante por los serpentines de enfriamiento previo y de recalentamiento.

55 En algunos sistemas, el nivel de presión del refrigerante en el serpentín de recalentamiento 96 es más alto que el nivel de presión en el serpentín de enfriamiento previo 92 para aumentar la diferencia de temperatura que impulsa la transferencia de calor entre el refrigerante y el aire en estos dos serpentines de recuperación. FIG. 7 muestra un sistema de deshumidificación 115 en el que la elevación de presión desde el serpentín enfriamiento previo 92 hacia el serpentín de recalentamiento 96 puede ser proporcionada por un compresor 117 que es accionado por un expansor de recuperación de trabajo 119 accionado por refrigerante que sale del condensador 98 y que fluye hacia una entrada del serpentín de enfriamiento previo.

De manera similar a otros sistemas descritos aquí, el uso de un flujo de refrigerante de dos fases de un ciclo de enfriamiento para proporcionar una función de transporte de calor también se puede aplicar a un sistema de aire acondicionado para proporcionar una capacidad de deshumidificación mejorada, como lo ilustra el sistema 110 que se muestra en la FIG. 8. Como se muestra, el sistema 110 es similar al sistema 120 de la FIG. 6B, pero incluye un condensador remoto (no mostrado) y un serpentín de recalentamiento opcional 112. Al igual que con otros sistemas descritos aquí (por ejemplo, la Figura 4), el flujo de refrigerante puede desviarse más allá de los serpentines de enfriamiento previo y de recalentamiento mediante válvulas de control de flujo apropiadas, lo que proporciona una manera de aplicar o eliminar la operación de esta característica de mejora de deshumidificación recuperativa. Cuando se desea una deshumidificación adicional, el refrigerante puede fluir a través de una válvula reductora de presión y a través de uno o más pasos por los serpentines de enfriamiento previo y recalentamiento, con el efecto neto de que la capacidad de deshumidificación aumenta, mientras que la capacidad de enfriamiento sensible disminuye. Este sistema se puede usar con el serpentín de recalentamiento opcional 112, dependiendo del intervalo de mejora de deshumidificación y la relación de calor sensible deseada.

De hecho, los métodos descritos aquí incluyendo un refrigerante de dos fases se pueden aplicar a cualquier dispositivo en el que se use un flujo de refrigerante para enfriar el aire y lograr la deshumidificación, como un calentador de agua con bomba de calor de deshumidificación, que deshumidifica el aire a su alrededor mientras calienta el agua. Como en un aire acondicionado o un deshumidificador dedicado, se pueden agregar serpentines de recuperación al evaporador del calentador de agua de bomba de calor para lograr una deshumidificación mejorada sin una reducción significativa en la capacidad de calentamiento.

Los métodos descritos aquí se pueden aplicar a un sistema termodinámicamente equivalente en el que un bucle cerrado aparte o circuito de refrigerante circula, a través de uno o más pasos, a través de los serpentines de enfriamiento previo y recalentamiento ubicados en la corriente de gas antes y después del evaporador. El refrigerante utilizado en este bucle puede ser el mismo refrigerante que el refrigerante del sistema principal o un refrigerante diferente que se adapte mejor a los requisitos de transferencia de calor de los serpentines de enfriamiento previo y recalentamiento.

Un circuito refrigerante separado que usa un refrigerante con deslizamiento de temperatura (es decir, la temperatura del refrigerante aumenta a medida que se evapora) también puede mejorar la deshumidificación cuando se usa en combinación con un dispositivo de expansión / bomba para mover el refrigerante de forma pasiva. FIG. 9 muestra un sistema de deshumidificación recuperada 200 que incluye unidad de enfriamiento previo 52, evaporador 54, unidad de recalentamiento 56 y condensador 58 como se describe en general en el presente documento. El sistema 200 incluye además un circuito de refrigerante 202 en el que fluye un refrigerante con deslizamiento de temperatura desde la unidad de enfriamiento previo 52, a través de una válvula de cierre 204, a un expansor 206 de un dispositivo de expansión / bomba 208 (que se usa para mover el refrigerante a través del circuito), a través de la unidad de recalentamiento 56, a una bomba 210 del dispositivo de expansión / bomba, a través de una válvula de control 212 de un solo sentido, y de vuelta a la unidad de enfriamiento previo. En general, la presión del refrigerante en la unidad de enfriamiento previo 52 es ligeramente mayor que en la unidad de recalentamiento 56. El refrigerante en vapor que sale de la unidad de enfriamiento previo 52 se expande para proporcionar energía para bombear el refrigerante líquido que deja la unidad de recalentamiento 56 hasta una presión suficiente para superar la caída de presión del sistema y para proporcionar la presión suficiente para el proceso de expansión.

En funcionamiento, cuando la válvula de cierre 204 está abierta y el circuito 202 está activo, el refrigerante líquido se bombea a la unidad de enfriamiento previo 52, donde se evapora, enfriando de este modo el aire que se aproxima al evaporador 54. Después de dejar la unidad de enfriamiento previo 52, la mezcla de refrigerante, que ahora tiene una alta calidad de vapor, pasa a través del expansor 206, proporcionando así la potencia al eje para la bomba 210. El refrigerante de presión más baja pasa entonces a la unidad de recalentamiento 56, donde se condensa. Después de dejar la unidad de recalentamiento 56, el refrigerante pasa a la bomba 210 a través de una entrada (no se muestra) y luego regresa a la unidad de enfriamiento previo 52. El deslizamiento del refrigerante permite que el sistema 200 se configure con unidades de enfriamiento previo y de recalentamiento 52, 56 que operan a contracorriente, de modo que el aumento o la caída de la temperatura del refrigerante coincida con la del aire que pasa a través del sistema. Como resultado, la cantidad de "enfriamiento" que se puede transferir desde el aire que sale al aire que entra, puede aumentarse (por ejemplo, maximizarse).

Cuando no se necesita que el circuito 202 esté en funcionamiento, por ejemplo, para aumentar el enfriamiento sensible de un serpentín de enfriamiento y / o cuando la mejora de deshumidificación proporcionada por la recuperación ya no se necesita, la válvula de cierre 204, que está corriente abajo de la unidad de enfriamiento previo 52, se utiliza para detener el flujo de refrigerante a través del circuito. La válvula de cierre 204 evita que el refrigerante salga de la unidad de enfriamiento previo 52, lo que hace que aumente la presión del refrigerante en la unidad de enfriamiento previo. Al mismo tiempo, la válvula de control 212 bloquea el retorno de refrigerante a través de la bomba 210. La presión en el lado de enfriamiento previo del sistema 200 se elevará en comparación con la presión en el lado de recalentamiento debido a las temperaturas del aire más cálido en el lado de

enfriamiento previo del evaporador 54. Por lo tanto, cuando la válvula de cierre 204 se abre para reiniciar la recuperación, hay una presión adecuada disponible para iniciar el flujo de refrigerante a través del circuito 202.

[0035] Aunque se han descrito varias realizaciones, la invención no está tan limitada.

5 [0036] Por ejemplo, los métodos descritos aquí pueden aplicarse a un sistema termodinámicamente equivalente, sistema de refrigeración de agua fría. En un sistema de refrigeración de agua fría, el agua se utiliza como refrigerante secundario para transportar el calor desde un espacio acondicionado a un evaporador ubicado remotamente. En realizaciones que incluyen un sistema de distribución de agua fría, los serpentines de enfriamiento previo y recalentamiento recuperativos, pueden ubicarse en la corriente de gas antes y después de un serpentín de agua fría y el agua del sistema se puede usar como un fluido de transferencia de calor.

10 Como otro ejemplo, refiriéndose a la fig. 10, los sistemas y métodos de deshumidificación descritos aquí pueden incluir la recogida de agua, por ejemplo, para beber, riego u otros fines, como lo ejemplifica el sistema 130. El agua líquida condensada y recogida de un evaporador y / o unidad de enfriamiento previo puede tratarse (si es necesario) y almacenarse para su uso en lugar de desaguarse. Por ejemplo, el agua recogida puede irradiarse con radiación ultravioleta, filtrarse (por ejemplo, filtrar con carbón vegetal), tratar con ozono y / o impregnarse de potenciadores del sabor y / o nutrientes (por ejemplo, vitaminas y minerales). Alternativa o adicionalmente, el agua recogida puede calentarse y / o enfriarse antes de su uso.

20 Mientras ciertas realizaciones mostradas aquí usan el aire saliente de un evaporador para enfriar un condensador, en otras realizaciones, el condensador se enfría con otra corriente de gas (por ejemplo, aire ambiente), o una combinación de aire saliente de un evaporador y otra corriente de gas. Sin estar limitado en teoría, se cree que en muchos sistemas de deshumidificación, la entrada de calor en una corriente de gas en un condensador es mayor que el calor expulsado de la corriente de gas en el evaporador. Además, debido a que parte del enfriamiento realizado en el evaporador se usa para condensar vapor de agua, el aumento de temperatura de la corriente de gas en el condensador es considerablemente mayor que la reducción de la temperatura de la corriente de gas en el evaporador. Como resultado, una parte del condensador funciona con aire refrigerante cuya temperatura puede ser considerablemente más alta que la temperatura ambiente. Pero al utilizar corrientes de gas separadas para el evaporador y el condensador, se puede mejorar el rendimiento del condensador y / o el sistema de deshumidificación (por ejemplo, optimizado).

30 FIG. 11 muestra un sistema de deshumidificación 140 en el que los flujos de aire hacia un evaporador y un condensador están separados. Como se muestra, el sistema 140 incluye un evaporador 54, un condensador 58 y un compresor 34 conectando el evaporador y el condensador. El agua condensada del evaporador 54 se recoge en la bandeja de condensado 142. El sistema 140 incluye además una unidad opcional de subenfriamiento 144 corriente abajo del evaporador 54, y un ventilador 146 configurado para suministrar gas deshumidificado a un ambiente seleccionado.

35 Durante el uso, dos corrientes de gas separadas fluyen a través del evaporador 54 y el condensador 58, y el ventilador 146 envía las corrientes de gas salientes del evaporador y el condensador al entorno seleccionado. Más específicamente, una primera corriente de gas 148 (por ejemplo, aire) pasa a través del evaporador 54 y, en algunos sistemas, pasa luego a través de la unidad de subenfriamiento 144. La unidad de subenfriamiento 144 toma refrigerante que está condensado o casi condensado y reduce su temperatura antes de introducirlo en un dispositivo de expansión (no se muestra), aprovechando así la baja temperatura de la corriente de gas saliente del evaporador 54. La corriente de gas que sale del evaporador 54 (o la unidad de subenfriamiento 144, si corresponde) no pasa a través del condensador 58. Más bien, el condensador 58 se enfría con una segunda corriente de gas 150 (por ejemplo, aire ambiente) que está separada de la primera corriente de gas 148. La corriente de gas que sale del evaporador 54 (o la unidad de subenfriamiento 144, si corresponde), y la corriente de gas que sale del condensador 58 se envían desde el sistema 140 mediante el ventilador 146 al entorno seleccionado.

45 En algunas realizaciones, la separación de los flujos de gas a un evaporador y un condensador se aplica a los sistemas de catión deshumidificación que tienen enfriamiento recuperativo, como se describe en el presente documento. FIG. 12 muestra un sistema 160, que es similar al sistema 140, que incluye una unidad de enfriamiento previo 52 corriente arriba del evaporador 54 y una unidad para volver a calentar 56 corriente abajo del evaporador. Las unidades de enfriamiento previo y recalentamiento 52, 56 proporcionan enfriamiento recuperativo como se describió anteriormente. Aquí, debido a que el gas se recalentó mediante la unidad de recalentamiento 56, la temperatura del gas saliente del subconjunto de la unidad de enfriamiento previo 52 / evaporador 54 / unidad de recalentamiento 56 puede ser más alta para una cantidad determinada de eliminación de humedad que, por ejemplo, la temperatura del gas saliente de un evaporador en ciertos sistemas de deshumidificación eliminando la misma cantidad de humedad. Como resultado, puede haber una mayor necesidad de reducir el aumento de la temperatura del condensador.

ES 2 715 250 T3

- Al igual que el sistema 140, durante el uso, dos corrientes de gas separadas fluyen hacia el sistema 160. Más específicamente, la primera corriente de gas 148 (por ejemplo, aire) pasa a través de la unidad de enfriamiento previo 52, después a través del evaporador 54, luego a través de la unidad de recalentamiento 56, y luego a través de la unidad opcional de subenfriamiento 144. La corriente de gas que sale de la unidad de recalentamiento 56 (o la unidad de subenfriamiento 144, si corresponde) no pasa a través del condensador 58. Más bien, el condensador 58 se enfría con una segunda corriente de gas 150 (por ejemplo, aire ambiente) que está separada de la primera corriente de gas 148. La corriente de gas que sale de la unidad de recalentamiento 56 (o la unidad de subenfriamiento 144, si corresponde), y la corriente de gas que sale del condensador 58 se envían desde el sistema 160 por el ventilador 146 al entorno seleccionado.
- 5
- 10 [0043] Mientras que los condensadores en los sistemas 150 y 160 se enfrían con una corriente de gas separada de una corriente de gas introducida en los evaporadores, en otras realizaciones, un condensador se enfría con una mezcla de corrientes de gas. FIG. 13 muestra un sistema de deshumidificación 180 que es similar al sistema 160, excepto que el condensador 58 se enfría con una mezcla de dos corrientes de gas 148, 150. En algunas realizaciones, al ventilador 58 no se le puede proporcionar una reducción de caída de presión que puede ser posible en el sistema 160, y un soplador puede sustituir al ventilador. En algunas realizaciones, la segunda corriente de gas 150 es dirigida a través del mismo filtro de aire que se usa para la primera corriente de gas 148, y se le permite desviarse por los lados del subconjunto de la unidad de enfriamiento previo 52 / evaporador 54 / unidad de recalentamiento 56 / unidad de subenfriamiento 144 (si corresponde). Las cargas del intercambiador de calor pueden seleccionarse de modo que la temperatura del gas saliente 56 que sale de la unidad de recalentamiento, o la unidad de subenfriamiento 144 sea aproximadamente igual a la temperatura de la segunda corriente de gas (por ejemplo, aire ambiente).
- 15
- 20
- Durante el uso, dos corrientes de gas separadas 148, 150 fluyen hacia el sistema 180. Más específicamente, la primera corriente de gas 148 (por ejemplo, aire) pasa a través de la unidad de enfriamiento previo 52, después a través del evaporador 54, luego a través de la unidad de recalentamiento 56, y luego a través de la unidad opcional de subenfriamiento 144. La corriente de gas que sale de la unidad de recalentamiento 56 (o la unidad de subenfriamiento 144, si corresponde) pasa luego a través del condensador 58 para enfriar el condensador. Al mismo tiempo, el condensador 58 se enfría con una segunda corriente de gas 150 (por ejemplo, aire ambiente) que no pasa a través del subconjunto de la unidad de enfriamiento previo 52 / evaporador 54 / unidad de recalentamiento 56 / unidad de subenfriamiento 144 (si corresponde), aunque la corriente de dos gases 148, 150 se puede mezclar antes de pasar a través del condensador. La corriente de gas que sale del condensador 58 se envía luego desde el sistema 180 mediante un ventilador 146 o un soplador al entorno seleccionado.
- 25
- 30
- En algunas realizaciones, se incluye una pluralidad de unidades de enfriamiento previo y recalentamiento en los sistemas de deshumidificación y los métodos descritos aquí. Alternativa o adicionalmente, se puede incluir un intercambiador de calor de línea de succión para aumentar aún más el subenfriamiento del líquido y la capacidad del sistema.
- 35
- En algunas realizaciones, todo el calor extraído de una corriente de gas por el evaporador y la unidad de enfriamiento previo, así como todo el calor de compresión, se agrega de nuevo a la corriente de gas cuando sale de un sistema. En otras realizaciones, se usa un condensador remoto, por ejemplo, para reducir o evitar la adición de este calor a un espacio en el que se encuentra ubicada una unidad de deshumidificación.
- 40
- Un sistema de deshumidificación puede incluir un acumulador de línea de succión y / o un receptor de líquido para proporcionar espacio de almacenamiento de refrigerante para permitir que el sistema se adapte a diferentes condiciones de operación.
- Se puede colocar un removedor de gas (como un soplador o un ventilador), por ejemplo, para mover el gas de proceso en una ubicación corriente arriba de un conjunto de intercambiador de calor, corriente abajo y / o entre el evaporador y la unidad de recalentamiento. La colocación en un gas más frío puede mejorar el rendimiento del ventilador, pero puede agregar calor del ventilador al gas de proceso antes de un evaporador. La colocación corriente arriba de un evaporador puede aumentar la presión del gas a medida que pasa a través del evaporador, lo que aumenta la relación de humedad de saturación y mejora la eliminación de agua, pero esta ubicación también puede agregar calor del ventilador que luego se elimina por el evaporador.
- 45
- En algunas realizaciones, por ejemplo, cuando se usa una unidad de deshumidificación para proporcionar agua, el calentamiento del agua se puede proporcionar mediante un serpentín de-super-calentador sumergido en y / o envuelto alrededor de un tanque de almacenamiento. Para permitir que este serpentín se active cuando se desea calentar, se puede usar una válvula (por ejemplo, una electroválvula de tres vías). Para evitar que el serpentín se llene con refrigerante líquido durante el desvío del serpentín, se puede usar una válvula de control corrienteabajo.
- 50

Se puede proporcionar enfriamiento adicional para agua almacenada mediante un serpentín de evaporación en contacto térmico con el agua almacenada a la que se suministra refrigerante que se evapora, por ejemplo, con una electroválvula de tres vías que permite al refrigerante fluir solo cuando se desee enfriar.

5 La descripción y los dibujos anteriores son solo a modo de ejemplo. Por ejemplo, las realizaciones ilustrativas se pueden usar en un deshumidificador destinado, en un acondicionador de aire o en una bomba de calor (dispositivos que están diseñados para enfriar el aire dentro de un espacio). Además, aunque las unidades de enfriamiento previo y de recalentamiento están ejemplificadas por serpentines, estas unidades pueden tener otras formas, como microcanales y las utilizadas en los sistemas de deshumidificación.

10 [0052] La fraseología y la terminología utilizadas en este documento son para fines de descripción y no deben considerarse limitativas. El uso de "incluyendo", "que comprende", "que tiene", "que contiene", "que involucra", y las variaciones de los mismos en el presente documento, abarca los elementos enumerados a continuación de los mismos, así como elementos adicionales.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de deshumidificación de ciclo de compresión de vapor (50) que comprende: un evaporador (54), un condensador (58), una unidad de calefacción (56), una unidad de refrigeración (52), un compresor, un dispositivo de expansión y un flujo de refrigerante dentro del sistema; en el que la unidad de refrigeración (52) está conectada mediante un fluido con la unidad de calefacción (56); en el que la unidad de refrigeración (52), el evaporador (54) y la unidad de calefacción (56) están dispuestos secuencialmente a lo largo de una trayectoria de flujo de la primera corriente de gas; en el que la unidad de refrigeración (52) enfría previamente la primera corriente de gas antes del contacto con el evaporador (54); y en el que el condensador (58) está situado corriente abajo de la unidad de calefacción (56) a lo largo de la trayectoria de flujo de la primera corriente de gas o está ubicado fuera de la trayectoria de flujo de la primera corriente de gas; caracterizado porque el fluido refrigerante fluye secuencialmente desde el compresor a la unidad de calefacción a través del condensador, desde la unidad de calefacción (56) a la unidad de refrigeración (52) a lo largo de una primera trayectoria de flujo (63), desde la unidad de refrigeración a la unidad de calefacción a lo largo de una segunda trayectoria de flujo (67) diferente de la primera trayectoria de flujo, desde la unidad de calefacción a la unidad de refrigeración a lo largo de una tercera trayectoria de flujo (71), diferente de la primera trayectoria de flujo, opcionalmente desde la unidad de refrigeración hasta la unidad de calefacción a lo largo de una la cuarta trayectoria de flujo que es diferente de la segunda trayectoria de flujo, de la unidad de refrigeración o de la unidad de calefacción al evaporador a través del dispositivo de expansión y del evaporador al compresor para completar el ciclo de refrigerante.
2. Un sistema de deshumidificación según la reivindicación 1, en el que el condensador (58) está situado fuera de la primera corriente de gas y está configurado para ser enfriado por una segunda corriente de gas separada de la primera corriente de gas.
3. Un sistema de deshumidificación según la reivindicación 1, en el que el condensador (58) está configurado para ser enfriado por la primera corriente de gas y una segunda corriente de gas que no es enfriada por el evaporador (54).
4. Un sistema de deshumidificación según la reivindicación 1, en el que el sistema comprende además una segunda unidad de calefacción (62) corriente abajo de la unidad de calefacción a lo largo de la trayectoria de flujo d la corriente de gas.
5. Un sistema de deshumidificación de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el sistema comprende una válvula que evita la introducción del refrigerante del condensador a la unidad de calefacción.
6. Un sistema de deshumidificación según la reivindicación 1, en el que el refrigerante fluye desde la unidad de refrigeración a la unidad de calefacción a lo largo de una cuarta trayectoria de flujo que es diferente de la segunda trayectoria de flujo y desde la unidad de calefacción a la unidad de refrigeración a lo largo de una quinta trayectoria que es diferente de la tercera trayectoria.
7. Un método para deshumidificación que comprende:
- proporcionar un sistema de deshumidificación de acuerdo con la reivindicación 1; introducir el refrigerante del compresor al condensador;
- introducir el refrigerante del condensador a la unidad de calefacción;
- introducir el refrigerante desde la unidad de calefacción a la unidad de refrigeración a lo largo de una primera trayectoria de flujo del fluido;
- introducir el refrigerante de la unidad de refrigeración a la unidad de calefacción a lo largo de una segunda trayectoria de flujo del fluido, que es diferente de la primera trayectoria de flujo del fluido;
- introducir el refrigerante desde la unidad de calefacción a la unidad de refrigeración a lo largo de una tercera trayectoria de flujo del fluido, que es diferente de la primera trayectoria de flujo del fluido;
- opcionalmente introducir el refrigerante desde la unidad de refrigeración a la unidad de calefacción a lo largo de una cuarta trayectoria de flujo que es diferente de la segunda trayectoria de flujo;
- introducir el refrigerante de la unidad de refrigeración o la unidad de calefacción al evaporador a través de un dispositivo de expansión;
- retornar el refrigerante del evaporador al compresor; y
- conectar secuencialmente la unidad de refrigeración, el evaporador y la unidad de calefacción con una primera corriente de gas.

8. Un método según la reivindicación 7, en el que el método comprende además la etapa de condensar un líquido de la primera corriente de gas, el líquido condensa entre la unidad de refrigeración y la unidad de calefacción a lo largo de la trayectoria de flujo de la primera corriente de gas.

5 9. Un método de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el método comprende además las etapas de introducir el refrigerante desde la unidad de refrigeración a la unidad de calefacción a lo largo de una cuarta trayectoria de flujo de fluido, que es diferente de la segunda trayectoria de flujo de fluido e introducir el refrigerante desde la unidad de calefacción a la unidad de refrigeración a lo largo de una quinta trayectoria que es diferente de la tercera trayectoria.

10

10. Un método según la reivindicación 7, en el que el método incluye enfriar el condensador con una segunda corriente de gas diferente de la primera corriente de gas, o enfriar el condensador con la primera corriente de gas.

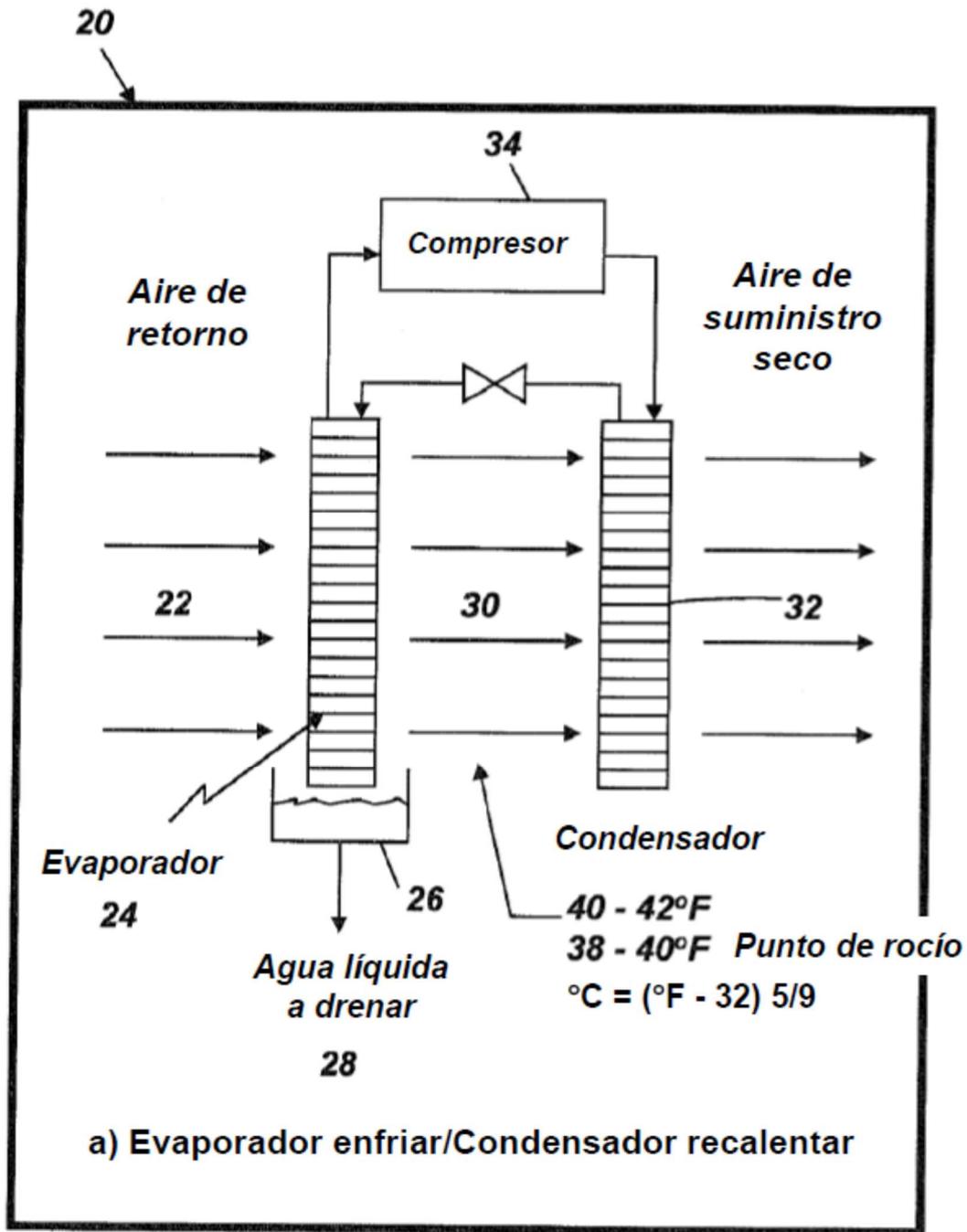


FIG. 1A (Técnica anterior)

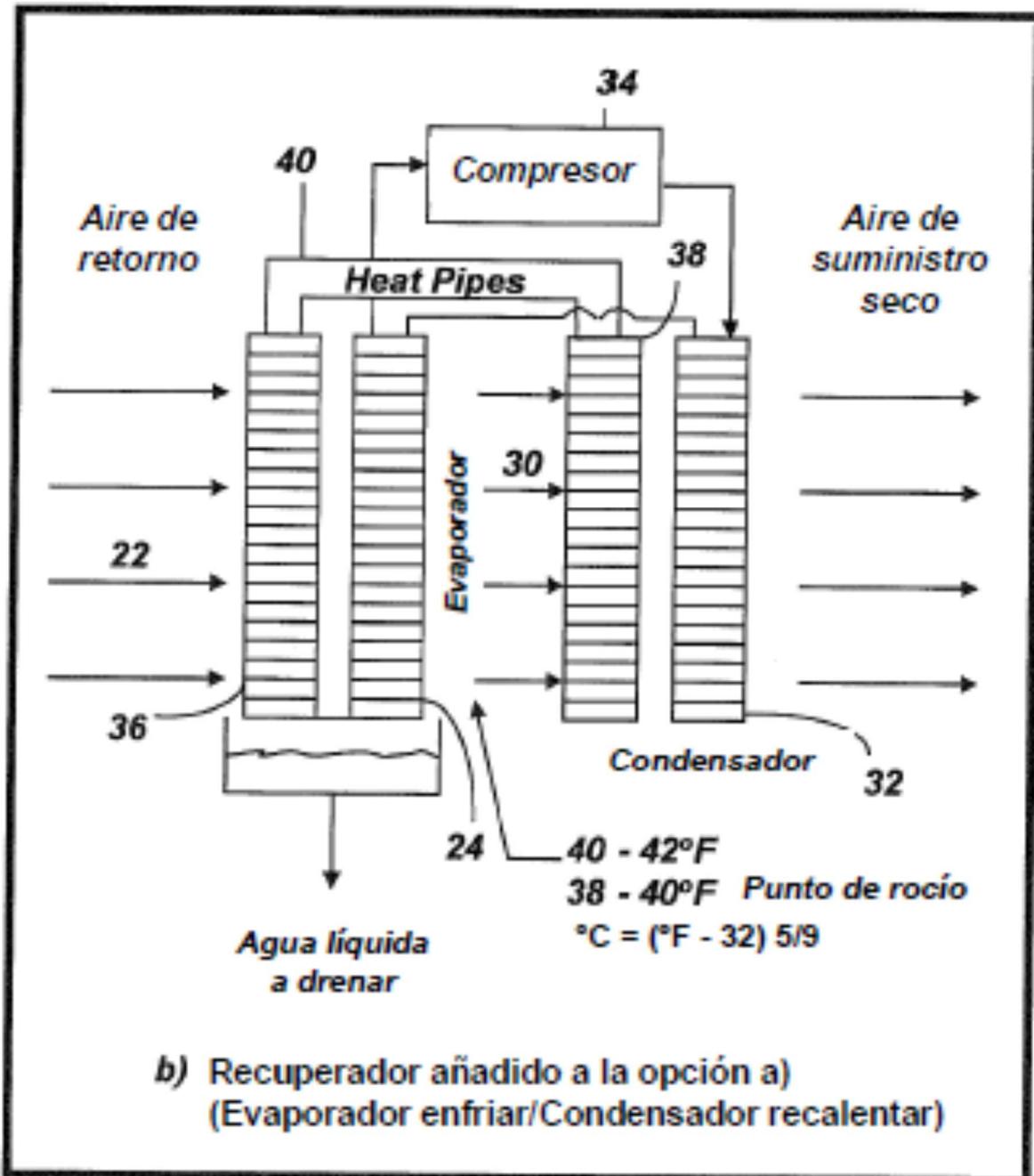


FIG. 1B (Técnica anterior)

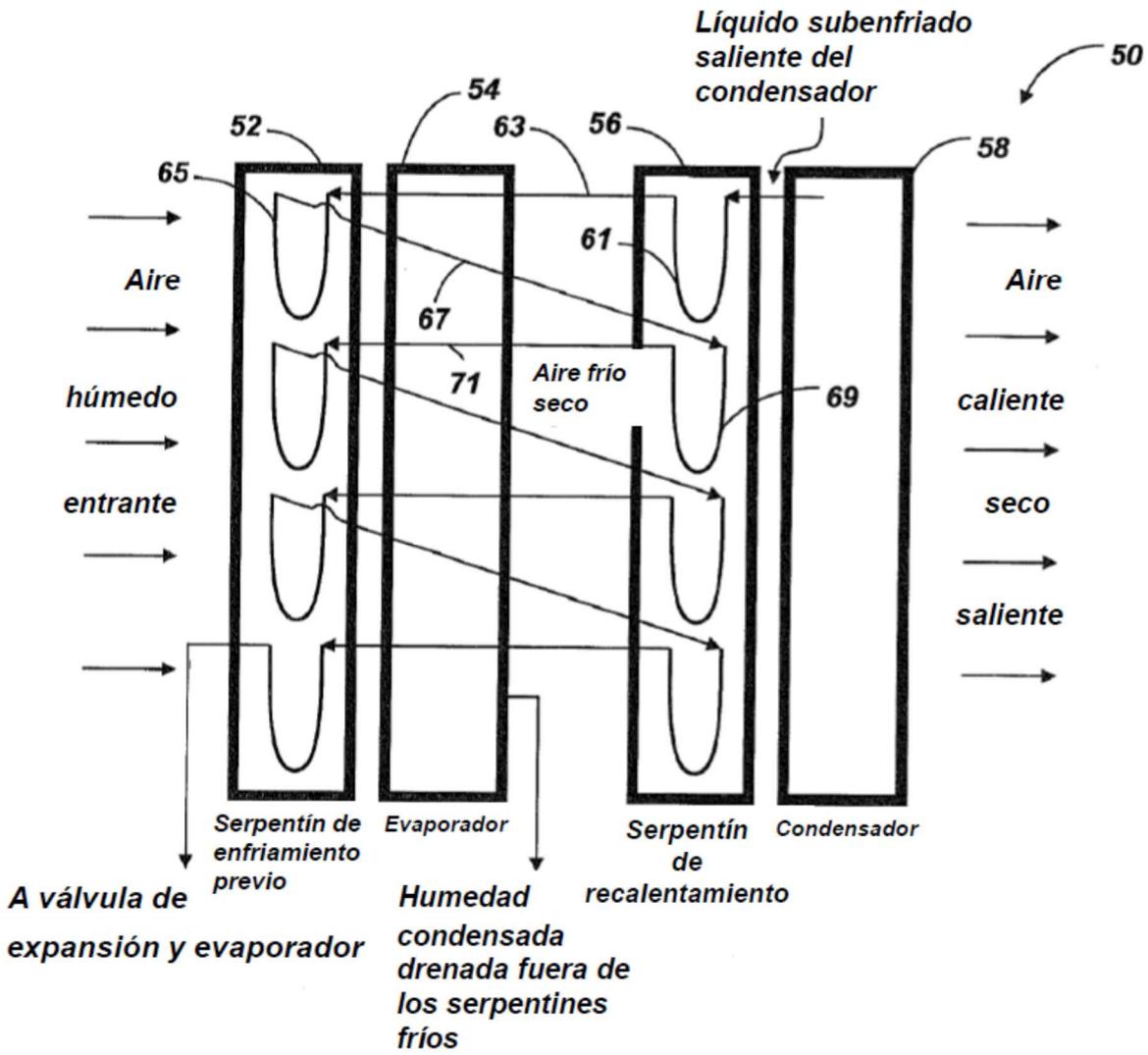


FIG. 2

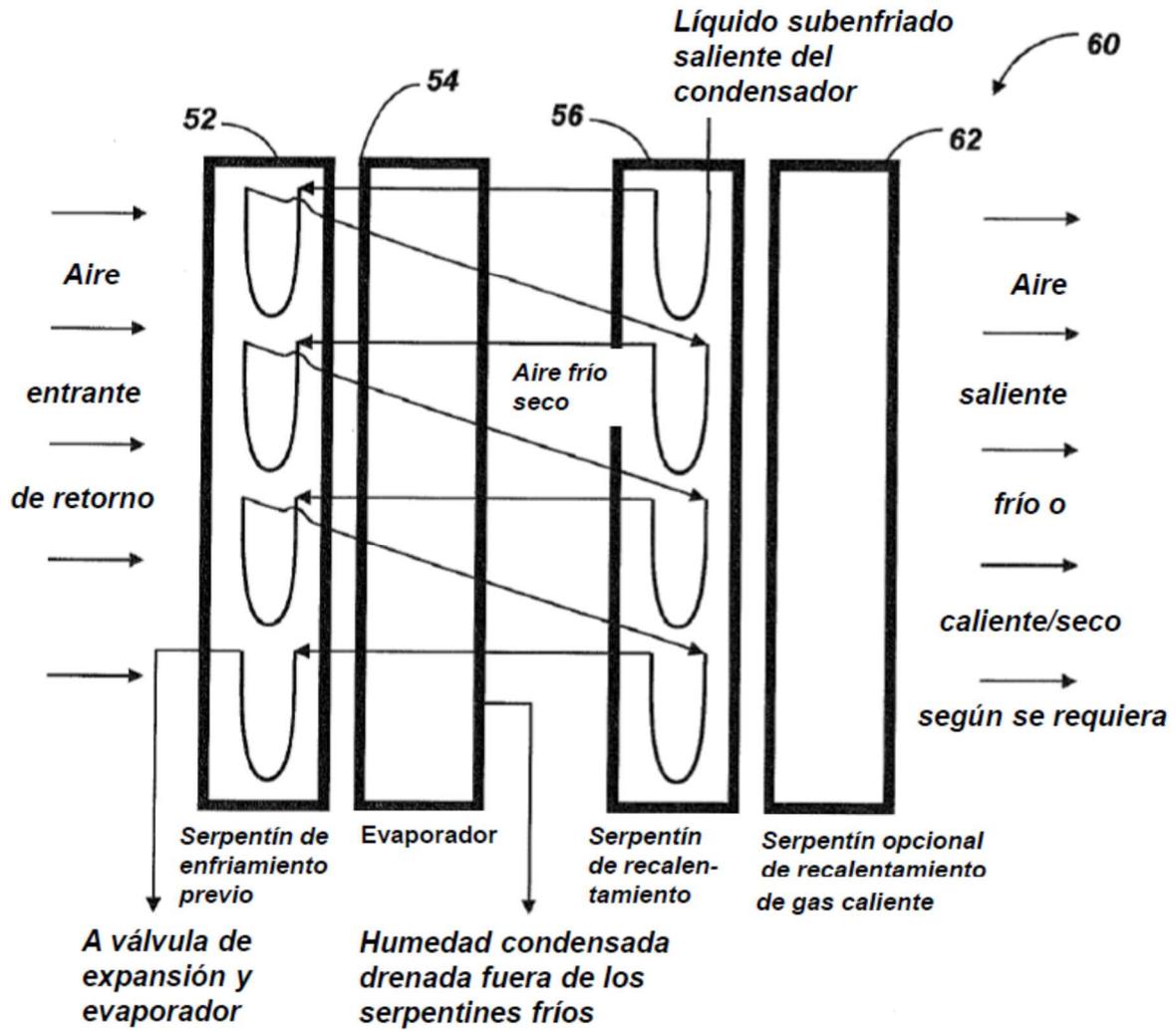


FIG. 3

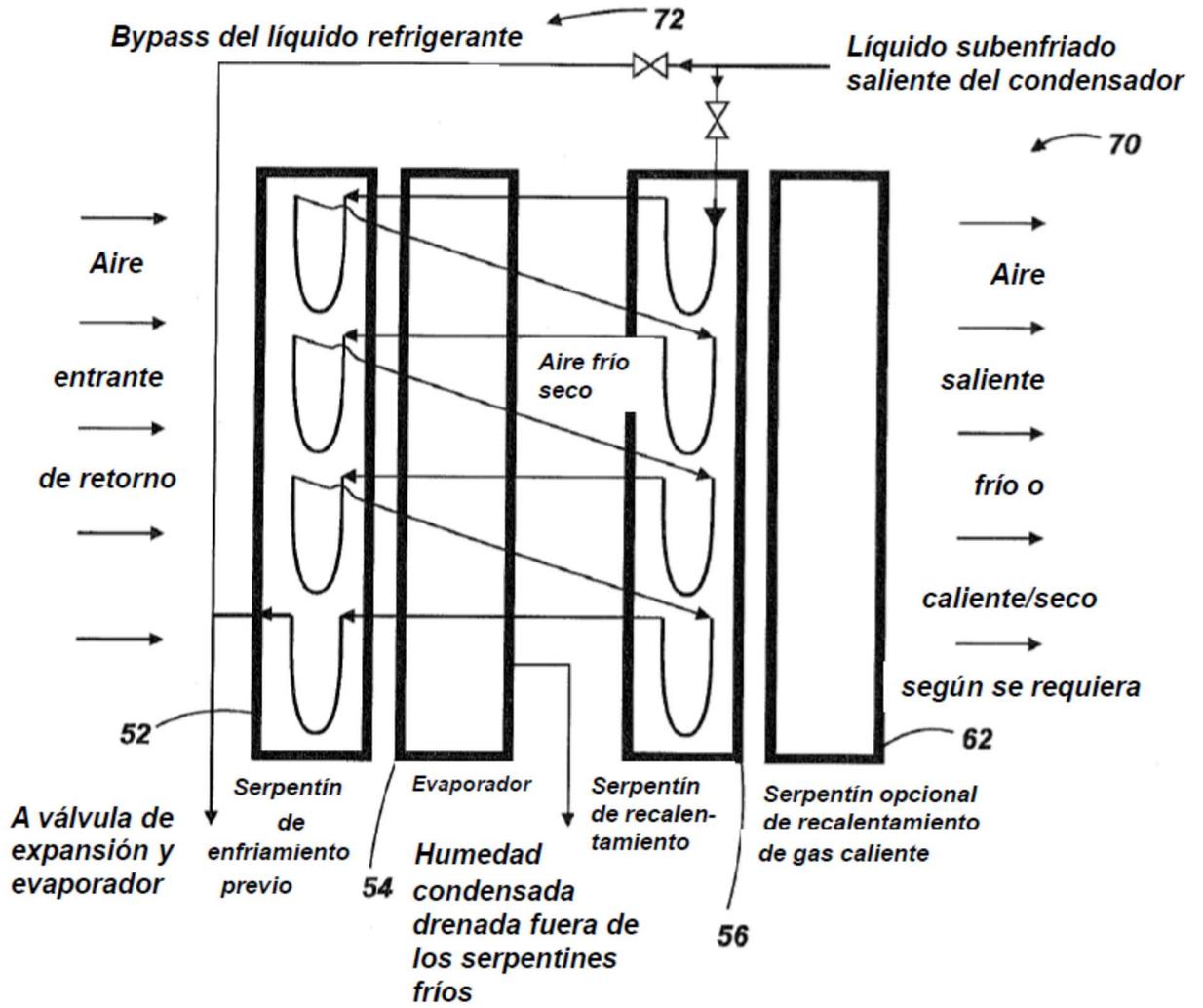


FIG. 4

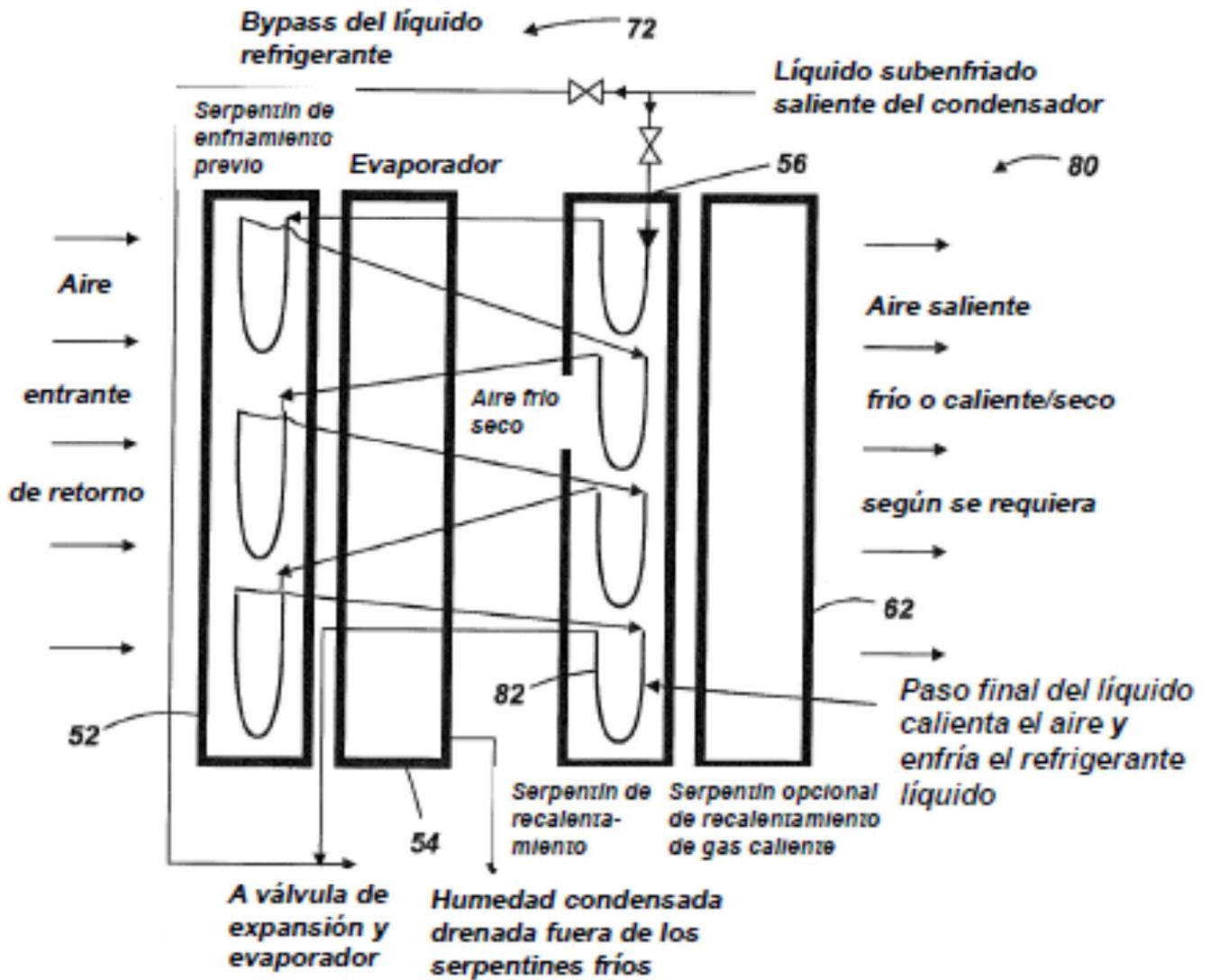


FIG. 5

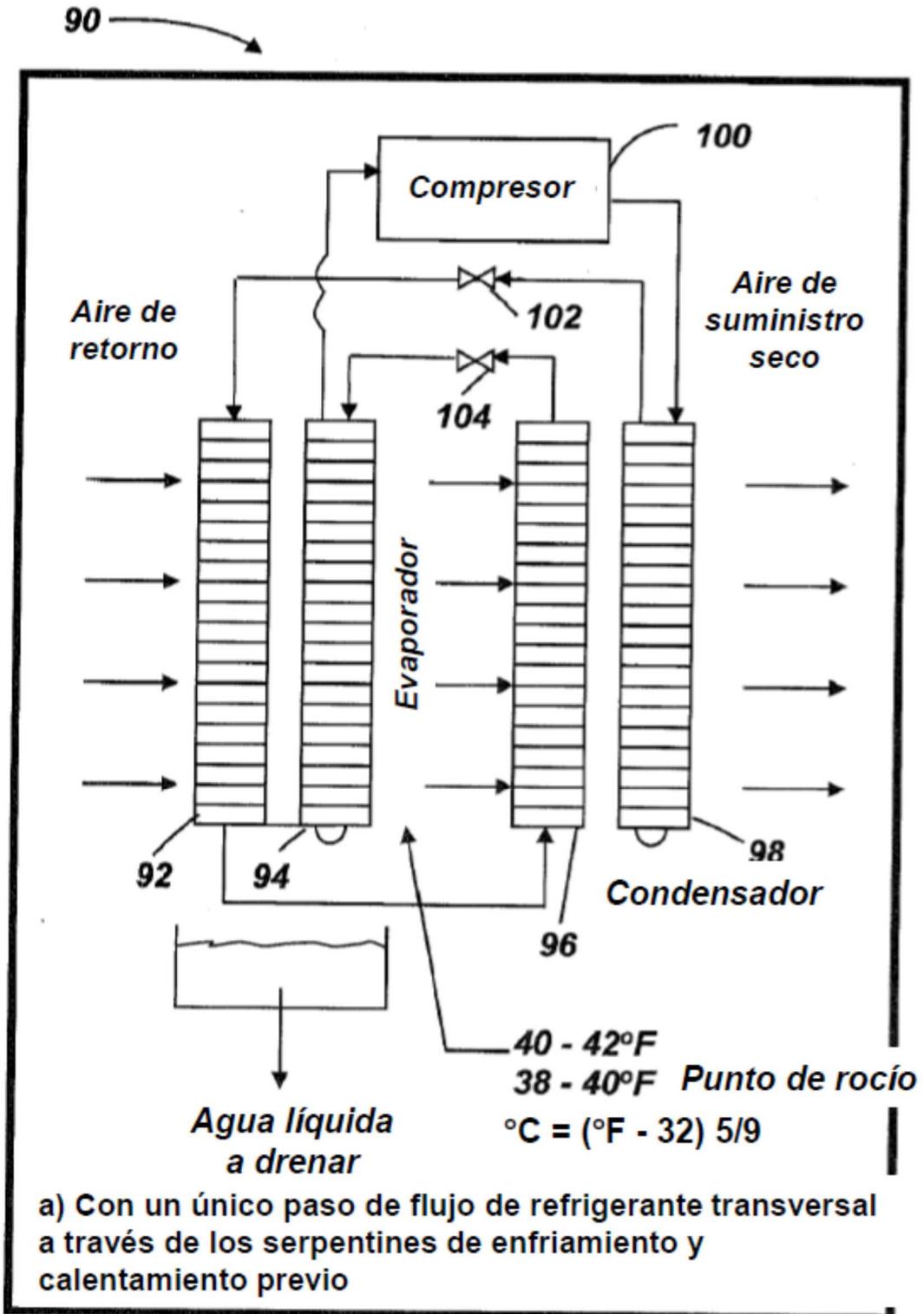


FIG. 6A

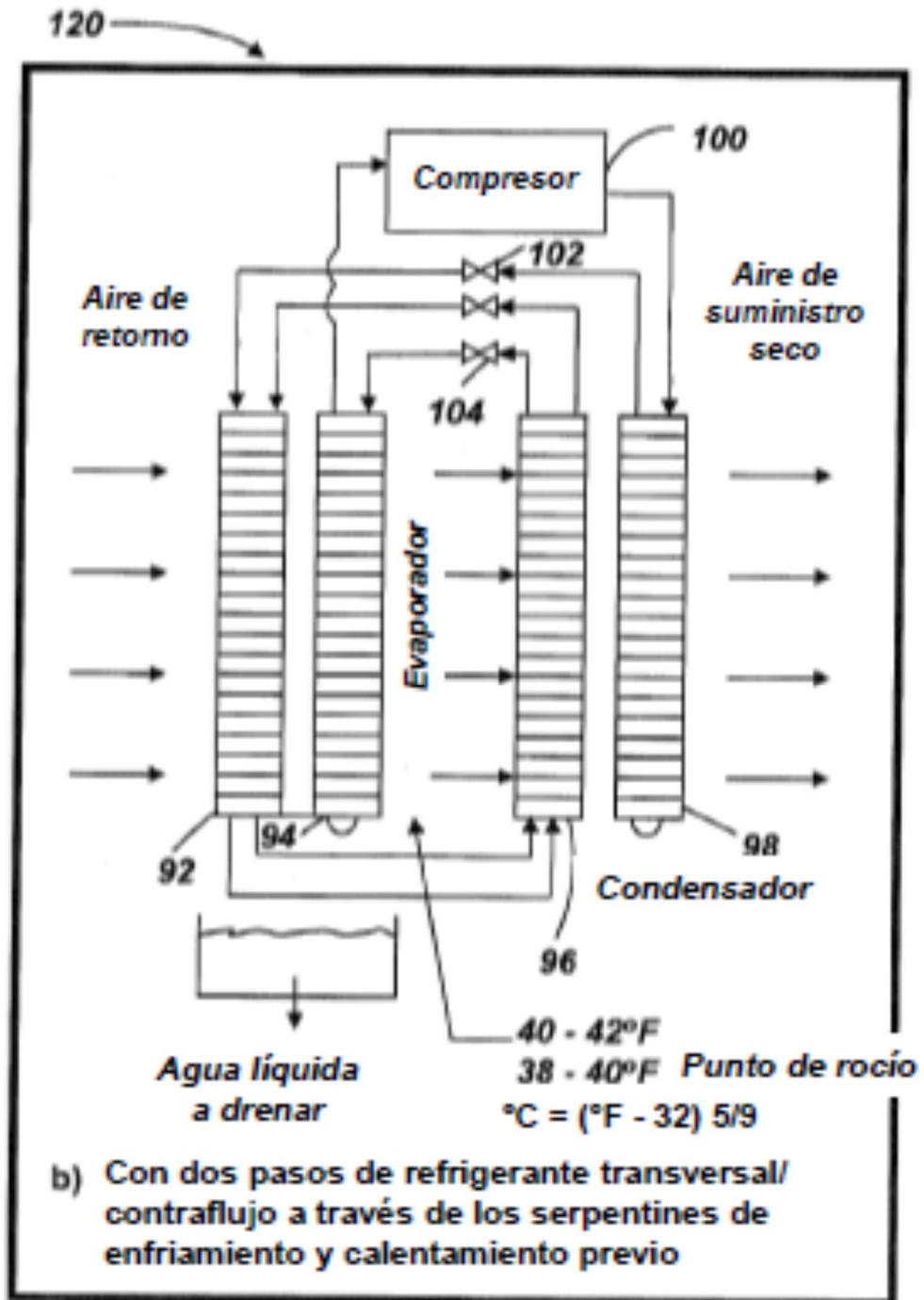


FIG. 6B

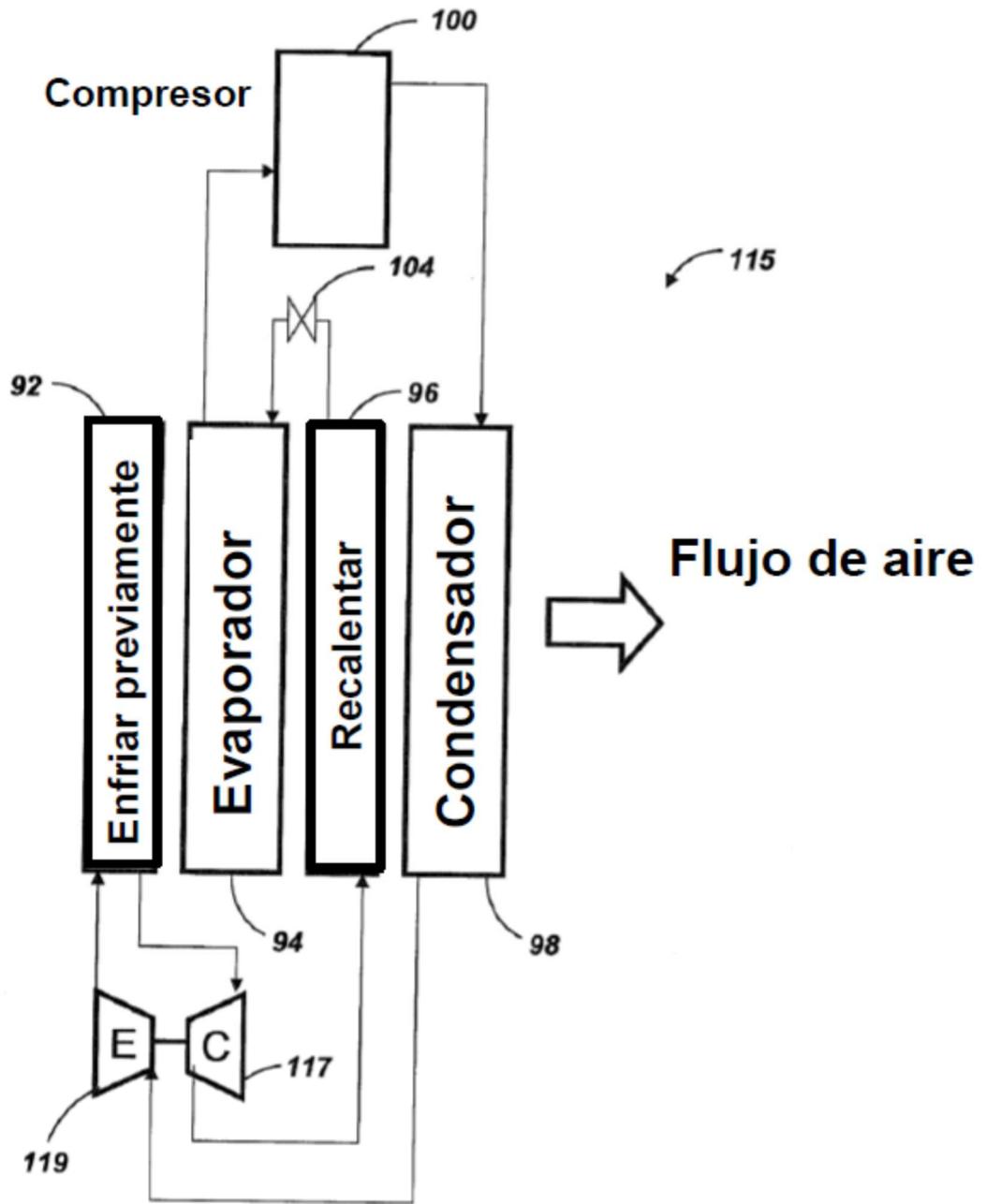


FIG.7

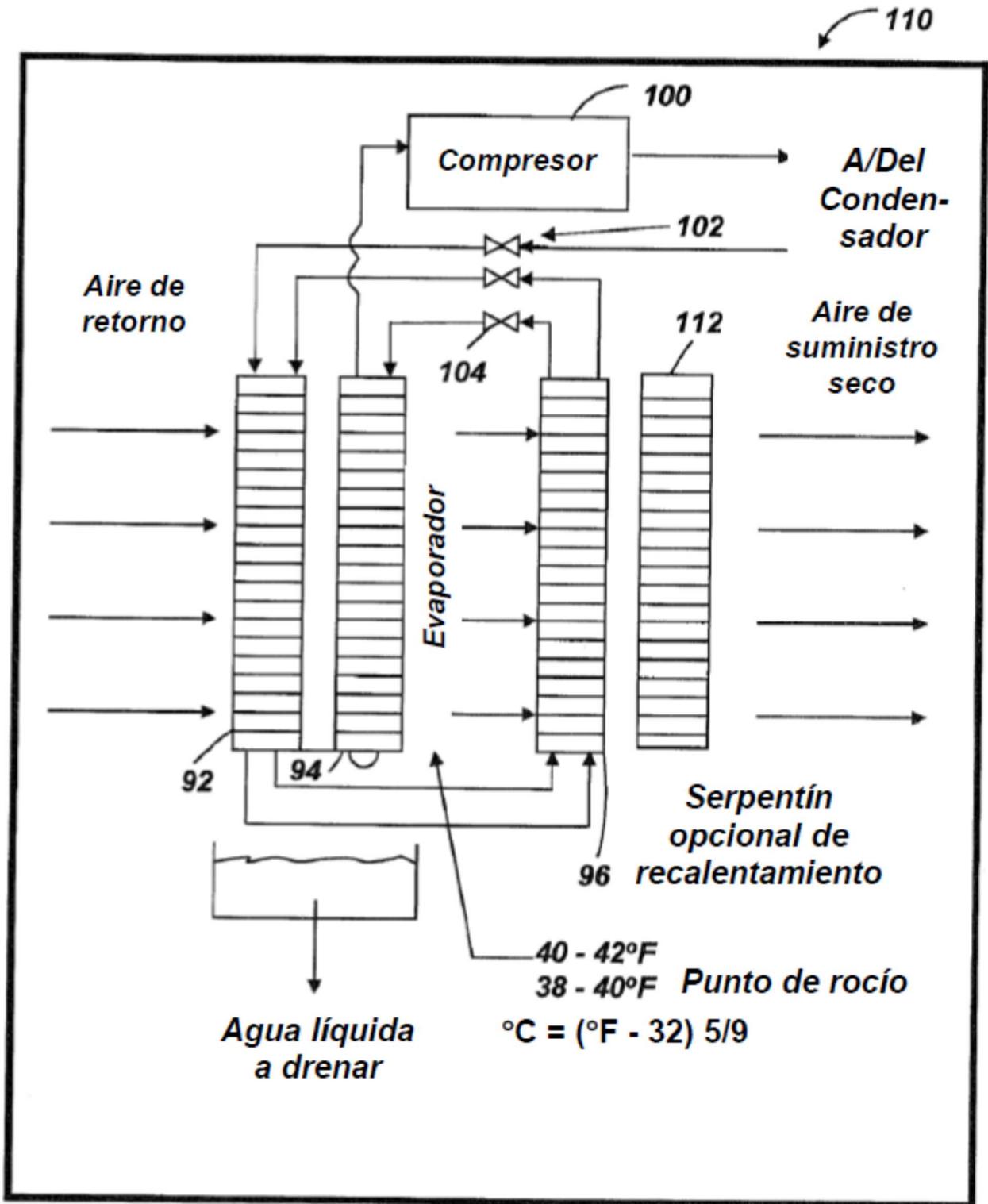


FIG. 8

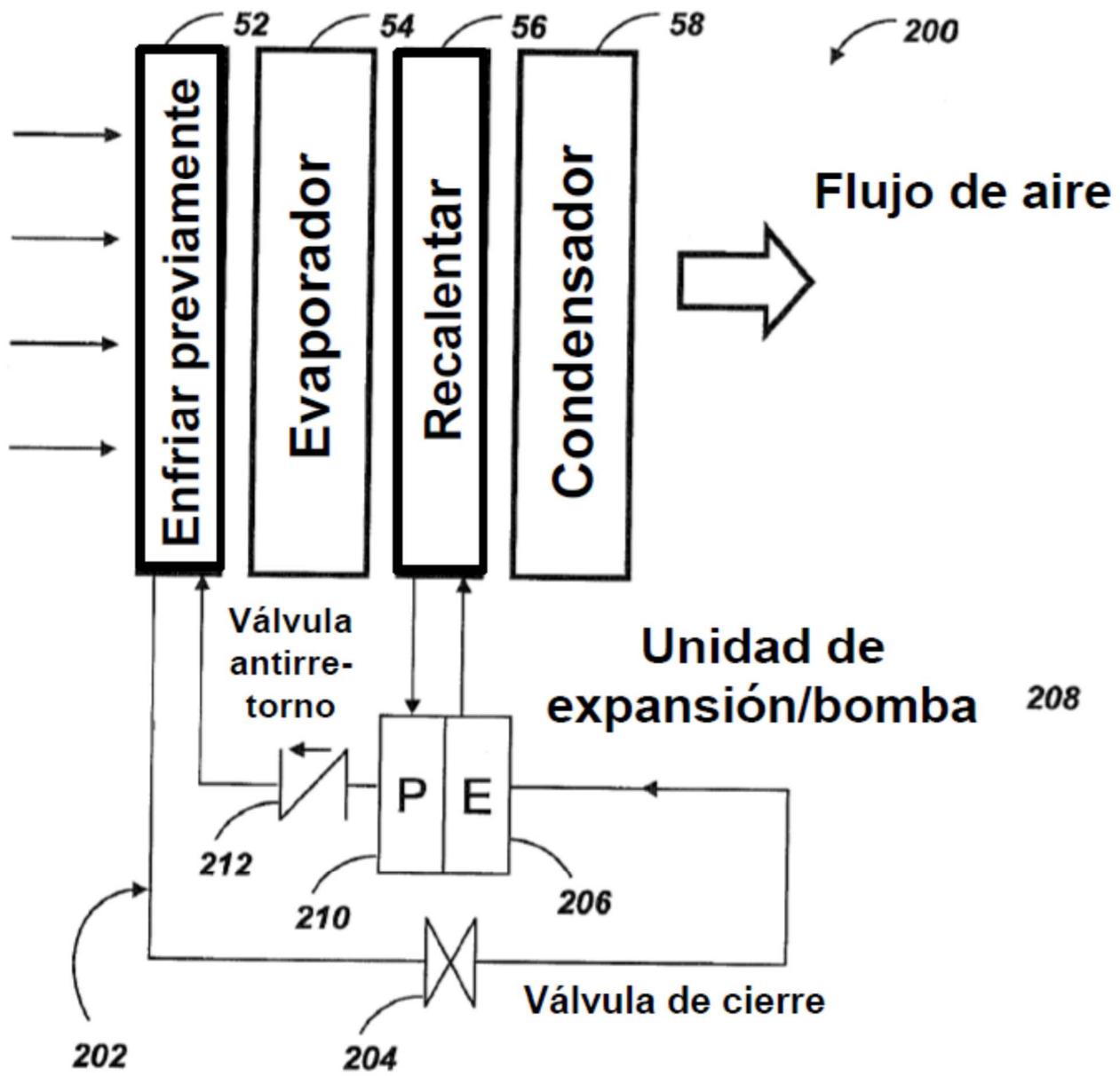
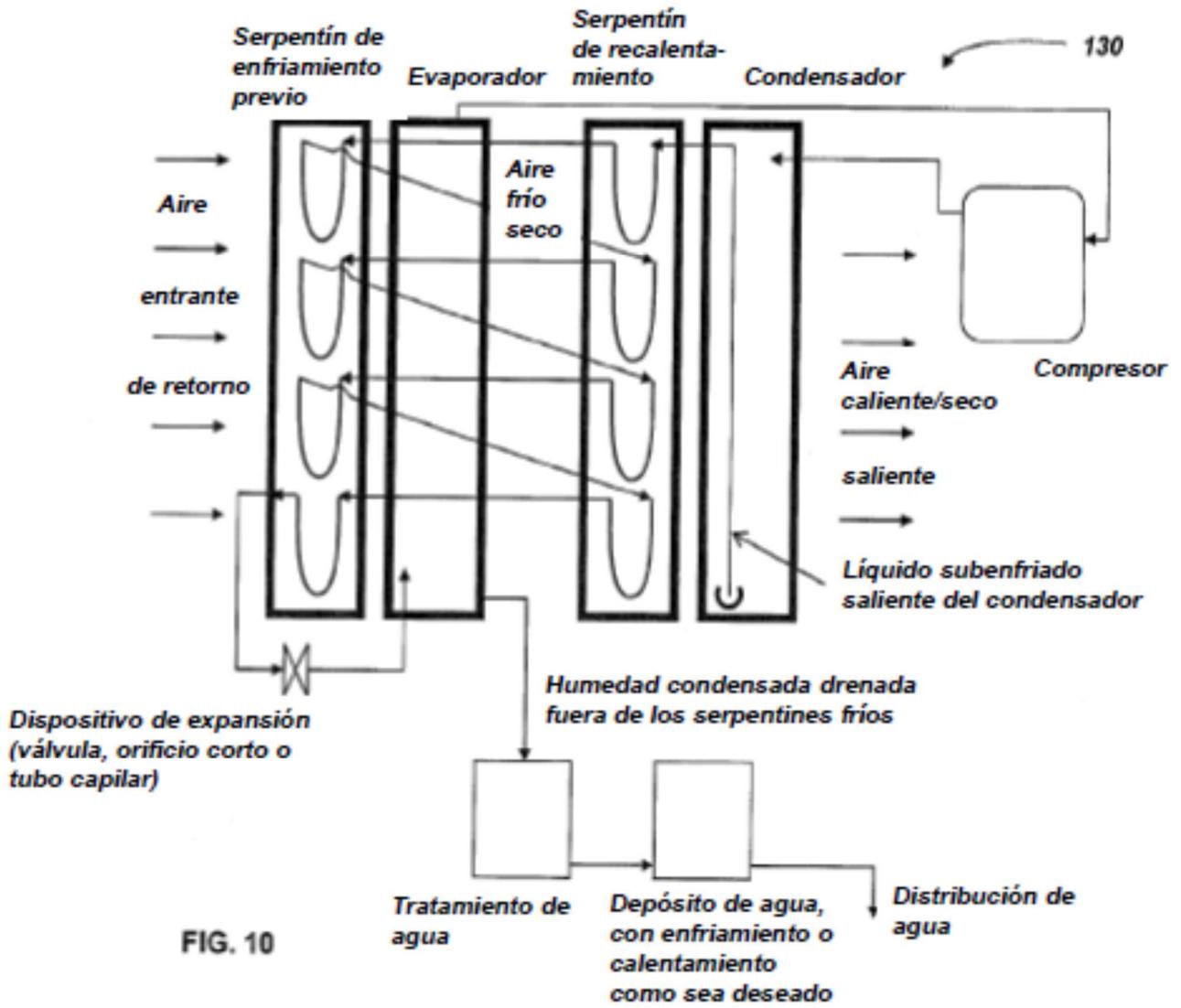


FIG. 9



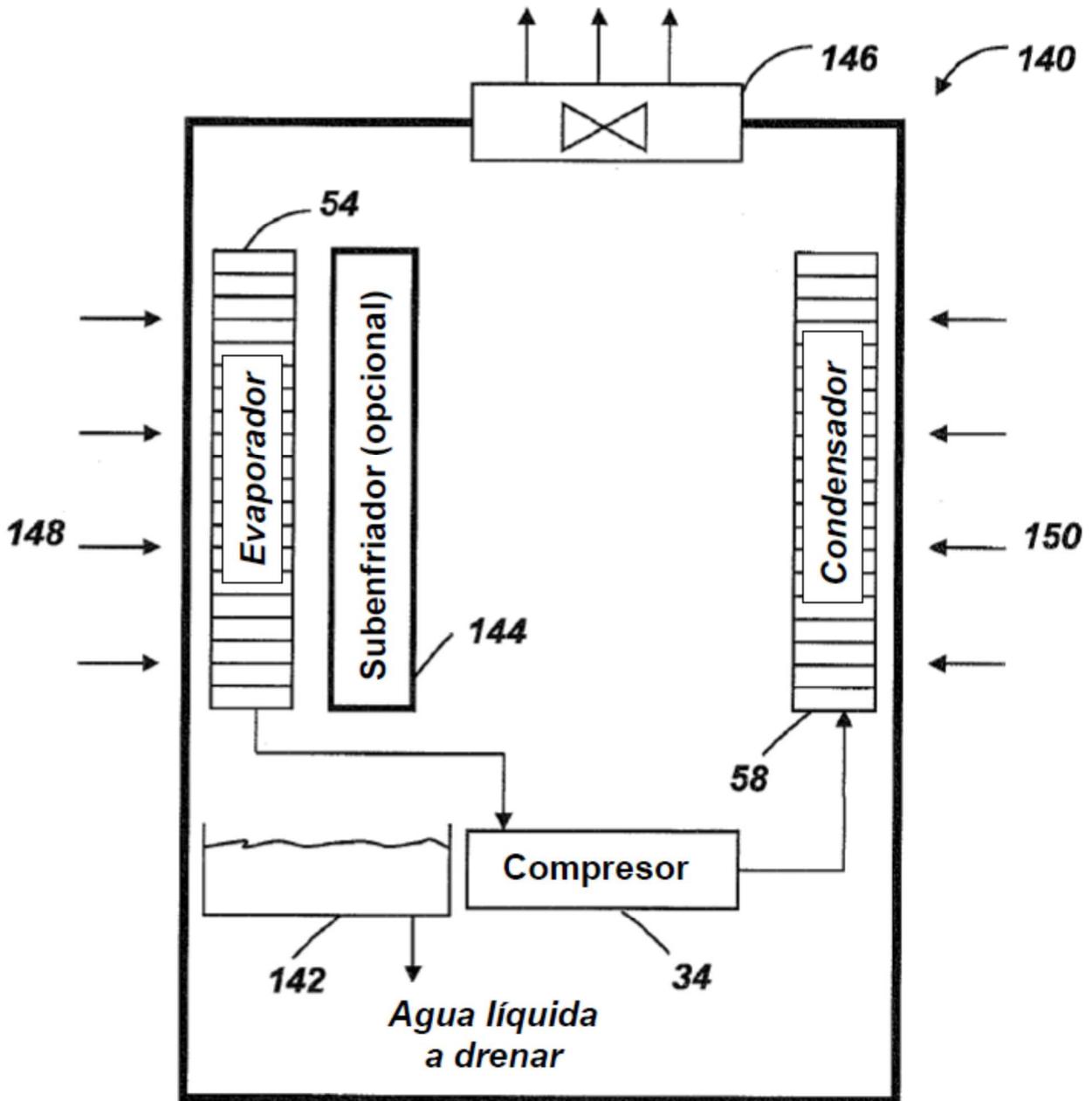


FIG. 11

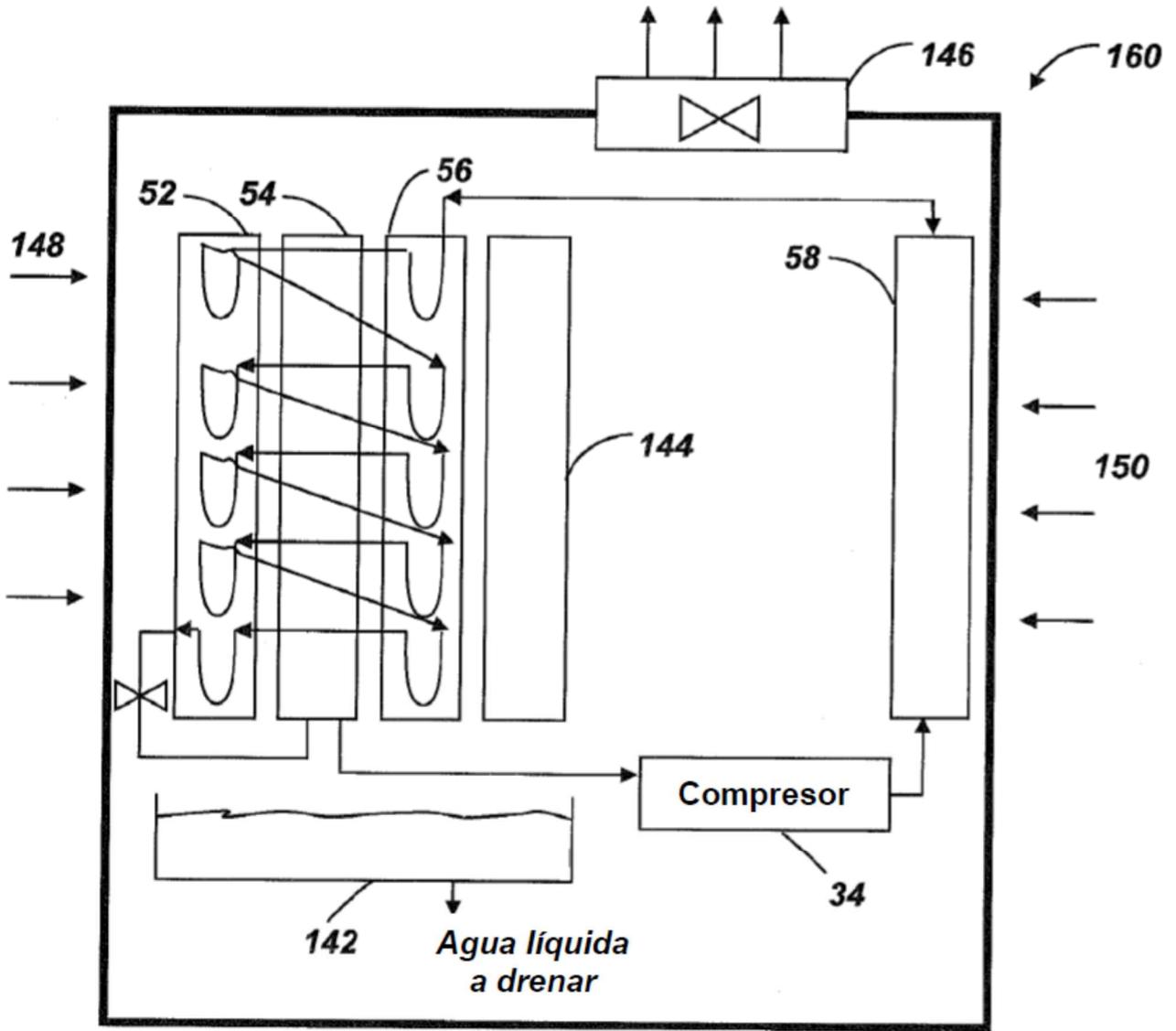


FIG. 12

