

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 807 357**

51 Int. Cl.:

H05K 7/20 (2006.01)

F25B 41/04 (2006.01)

F25B 49/02 (2006.01)

F25D 17/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.04.2012 E 14162431 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.06.2020 EP 2755461**

54 Título: **Sistema de enfriamiento de alta eficiencia**

30 Prioridad:

19.04.2011 US 201161476783 P

26.08.2011 US 201161527695 P

13.04.2012 US 201213446374

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

22.02.2021

73 Titular/es:

VERTIV CORPORATI (100.0%)

1050 Dearborn Drive

Columbus, OH 43085, US

72 Inventor/es:

NOLL, ROGER;

HELMINK, GARY A.;

BARBATO, PIERPAOLO;

DALLA MANA, GIUSEPPE y

MONNIER, LOU

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 807 357 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 enfriamiento de alta eficiencia

5 Campo

La presente divulgación se refiere a sistemas de enfriamiento y, más particularmente, a sistemas de enfriamiento de alta eficiencia.

10 Antecedentes

Esta sección proporciona información de antecedentes relacionada con la presente divulgación, que no tiene por qué ser la técnica anterior.

15 Los sistemas de enfriamiento tienen aplicabilidad en una variedad de aplicaciones diferentes donde se va a enfriar un fluido. Estos se utilizan para enfriar gases, tales como aire, y líquidos, tales como agua. Dos ejemplos comunes son los sistemas de HVAC de los edificios (calefacción, ventilación, aire acondicionado) que se utilizan para "enfriamiento por comodidad" es decir, para enfriar espacios donde hay personas presentes tales como oficinas, y los sistemas de climatización para centros de datos.

20 Un centro de datos es una sala que contiene una colección de equipos electrónicos, tales como servidores informáticos. Los centros de datos y el equipo que estos contienen habitualmente tienen condiciones ambientales óptimas para el funcionamiento, en particular la temperatura y la humedad. Los sistemas de enfriamiento utilizados para los centros de datos habitualmente incluyen sistemas de climatización, generalmente implementados como parte del control del sistema de enfriamiento, para mantener la temperatura y la humedad correctas en el centro de datos.

La figura 1 muestra un ejemplo de un centro de datos habitual 100 que tiene un sistema de climatización 102 (también conocido como sistema de enfriamiento). El centro de datos 100 utiliza de manera ilustrativa el enfoque de pasillo "caliente" y "frío" donde los bastidores de equipamiento 104 están dispuestos para crear pasillos calientes 106 y pasillos fríos 108. El centro de datos 100 también es, de manera ilustrativa, un centro de datos de suelo elevado que tiene un suelo elevado 110 sobre un subsuelo 112. El espacio entre el suelo elevado 110 y el subsuelo 112 proporciona una cámara impelente de aire de suministro 114 para el aire de suministro acondicionado (a veces denominado aire "frío") que fluye desde los acondicionadores de aire de la sala de informática ("CRAC") 116 del sistema de climatización 102 hacia arriba a través del suelo elevado 110 hacia el interior del centro de datos 100. El aire de suministro acondicionado entonces fluye hacia el interior de las partes frontales de los bastidores de equipamiento 104, a través del equipamiento (que no se muestra) que está montado en los bastidores de equipamiento donde enfría el equipamiento, y el aire caliente es entonces expulsado hacia el exterior a través de las partes posteriores de los bastidores de equipamiento 104 o las partes superiores de los bastidores 104. En variaciones, el aire de suministro acondicionado fluye hacia las partes inferiores de los bastidores y es expulsado hacia el exterior de las partes posteriores de los bastidores 104 o de las partes superiores de los bastidores 104.

Debe entenderse que el centro de datos 100 puede no tener un suelo elevado 110 ni la cámara impelente 114. En este caso, las CRAC 116 absorberían aire calentado a través de una entrada de aire (que no se muestra) desde el centro de datos, lo enfriaría y lo expulsaría desde una salida de aire 117 que se muestra en línea discontinua en la figura 1 de nuevo hacia el interior del centro de datos. Las CRAC 116 pueden, por ejemplo, estar dispuestas en las filas del equipamiento electrónico, pueden estar dispuestas con su suministro de aire frío orientado hacia los pasillos fríos respectivos o estar dispuestas a lo largo de las paredes del centro de datos.

En el centro de datos 100 de ejemplo que se muestra en la figura 1, el centro de datos 100 tiene un falso techo 118, donde el espacio entre el falso techo 118 y el techo 120 proporciona una cámara impelente de aire caliente 122 hacia el interior de la cual es absorbido el aire caliente que es expulsado de los bastidores de equipamiento 104 y a través de los cuales el aire caliente fluye de nuevo hacia las CRAC 116. Una cámara impelente de aire de retorno (que no se muestra) para cada CRAC 116 acopla esa CRAC 116 a la cámara impelente 122.

Las CRAC 116 pueden ser una CRAC de agua enfriada o CRAC de expansión directa (DX). Las CRAC 116 están acopladas a un dispositivo de evacuación de calor 124 que proporciona líquido enfriado a las CRAC 116. El dispositivo de evacuación de calor 124 es un dispositivo que transfiere calor a partir del fluido de retorno desde las CRAC 116 a un medio más frío, tal como el aire ambiente exterior. El dispositivo de evacuación de calor 124 puede incluir intercambiadores de calor enfriados por aire o líquido. El dispositivo de evacuación de calor 124 también puede ser un sistema de condensador de refrigeración, en cuyo caso se proporciona un refrigerante a las CRAC 116 y las CRAC 116 pueden ser sistemas de aire acondicionado mediante refrigerante de cambio de fase que tienen compresores de refrigerante, tal como un sistema DX. Cada CRAC 116 puede incluir un módulo de control 125 que controla la CRAC 116.

En un aspecto, la CRAC 116 incluye un compresor de capacidad variable y puede incluir, por ejemplo, un compresor de capacidad variable para cada circuito de enfriamiento DX de la CRAC 116. Debe entenderse que la CRAC 116

5 puede, como suele ser el caso, tener múltiples circuitos de enfriamiento DX. En un aspecto, la CRAC 116 incluye un tipo de compresor de capacidad modulada o un compresor semihermético de 4 etapas, tal como los disponibles en Emerson Climate Technologies, Liebert Corporation o la división Carlyle de United Technologies. La CRAC 116 también puede incluir una o más unidades de desplazamiento de aire 119, tales como ventiladores o sopladores. Las unidades de desplazamiento de aire 119 pueden estar provistas en las CRAC 116 o pueden estar provistas adicional o alternativamente en la cámara impelente de aire de suministro 114 como se muestra en línea discontinua en el 121. Las unidades de desplazamiento de aire 119, 121 pueden tener de manera ilustrativa accionamientos de velocidad variable.

10 En la figura 2 se muestra una CRAC 200 habitual que tiene un circuito de enfriamiento DX habitual. La CRAC 200 tiene un armario 202 en el que está dispuesto un evaporador 204. El evaporador 204 puede ser un conjunto de serpentín en V. Una unidad de desplazamiento de aire 206, tal como un ventilador o un soplador de jaula de ardilla, también está dispuesta en el armario 202 y situada para absorber aire a través del evaporador 204 desde una entrada (que no se muestra) del armario 202, donde es enfriado por el evaporador 204, y para dirigir el aire enfriado hacia el exterior de la cámara impelente 208. El evaporador 204, un compresor 210, un condensador 212 y una válvula de expansión 214 están acoplados entre sí de manera conocida en un circuito de refrigeración DX. El compresor 210 hace circular un refrigerante de cambio de fase a través del condensador 212, de la válvula de expansión 214, del evaporador 204 y de nuevo hacia el compresor 210. El condensador 212 puede ser cualquiera de una variedad de tipos de condensadores utilizados de manera convencional en sistemas de enfriamiento, tales como un condensador enfriado por aire, un condensador enfriado por agua o un condensador enfriado por glicol. Debe entenderse que el condensador 210 a menudo no forma parte de la CRAC, sino que está ubicado en otro lugar, tal como fuera del edificio en el que está ubicada la CRAC. El compresor 210 puede ser cualquiera de una variedad de tipos de compresores utilizados de manera convencional en sistemas de refrigeración DX, tal como un compresor de espiral. Cuando el evaporador 204 es un conjunto de serpentín en V o de serpentín en A, habitualmente tiene una placa (o placas) de enfriamiento en cada pata de la V o A, según corresponda. Cada placa de enfriamiento puede, por ejemplo, estar en un circuito de enfriamiento separado, teniendo cada circuito de enfriamiento un compresor separado. Como alternativa, los circuitos de fluido de cada placa, tal como donde existen dos placas y dos circuitos compresores, pueden estar mezclados entre los dos circuitos compresores.

20 El evaporador 204 es habitualmente un conjunto de aleta y tubo y se utiliza para enfriar y deshumidificar el aire que lo atraviesa. Habitualmente, las CRAC, tal como la CRAC 200, están diseñadas de modo que la relación de calor sensible ("SHR") esté habitualmente entre 0,85 y 0,95.

30 Un sistema conocido como sistema de enfriamiento libre GLYCOOL está disponible en Liebert Corporation of Columbus, Ohio. En este sistema, un segundo conjunto de serpentín de enfriamiento, conocido como "serpentín de enfriamiento libre", se añade a una CRAC que tiene un sistema de glicol normal. Este segundo conjunto de serpentín se añade en la corriente de aire por delante del primer conjunto de serpentín de enfriamiento. Durante los meses más fríos, la solución de glicol que regresa desde el enfriador seco de exterior es dirigido hacia el segundo conjunto de serpentín de enfriamiento y se convierte en la fuente primaria de enfriamiento para el centro de datos. A temperaturas ambiente inferiores a 1,6 grados Celsius (35 grados Fahrenheit), la capacidad de enfriamiento del segundo conjunto de serpentín de enfriamiento es suficiente para satisfacer las necesidades totales de enfriamiento del centro de datos y reduce sustancialmente los costes de energía, ya que no es necesario ejecutar el compresor de la CRAC. El conjunto de serpentín de enfriamiento segundo o libre no proporciona un enfriamiento 100 % sensible y tiene una caída de presión del lado del aire similar al evaporador (que es el primer conjunto de serpentín de enfriamiento).

40 La eficiencia de los sistemas de enfriamiento ha adquirido mayor importancia. De acuerdo con el Departamento de Energía de Estados Unidos, los sistemas de enfriamiento y de conversión de potencia para centros de datos consumen al menos la mitad de la potencia utilizada en un centro de datos habitual. Dicho de otra forma, los servidores del centro de datos consumen menos de la mitad de la potencia. Esto ha llevado a un mayor enfoque en la eficiencia energética en los sistemas de enfriamiento para centros de datos.

50 El documento US 2010/204838 A1 en los estados abstractos "Un sistema de aire acondicionado que puede incorporar un controlador, un compresor de capacidad variable que responde al controlador, un evaporador en comunicación con una entrada del compresor, y al menos un componente de enfriamiento para generar un flujo de aire sobre el evaporador para generar un flujo de aire de enfriamiento utilizando el evaporador, respondiendo el componente de refrigeración al controlador. Una primera entrada permite al usuario proporcionar un intervalo de temperatura seca determinado por el usuario para un ambiente cerrado, y una segunda entrada permite al usuario proporcionar un intervalo de contenido de humedad determinado por el usuario para el ambiente cerrado. El controlador controla al menos uno del compresor y el componente de enfriamiento para variar una relación de calor sensible (SHR), con el fin de mantener una temperatura seca y el contenido de humedad dentro del ambiente cerrado de conformidad con los intervalos definidos por el usuario"; El documento US 7 730 731 B1 en los estados abstractos "Un sistema de refrigeración para controlar un flujo de aire alrededor de un dispositivo generador de calor refrigerado por aire incluye un compresor de velocidad variable. El sistema de refrigeración también incluye evaporadores colocados a lo largo de una línea de refrigerante en una configuración en serie entre sí y están ubicados directamente en al menos una de las rutas de flujo de aire suministradas a los componentes generadores de calor y la ruta de flujo de aire expulsado de los componentes generados por calor. El sistema de refrigeración incluye además un controlador y al menos un sensor

de temperatura. El sensor de temperatura está configurado para transmitir señales relacionadas con la temperatura detectada al controlador y el controlador está configurado para variar la velocidad del compresor de velocidad variable en función de las señales recibidas del sensor de temperatura"; y el documento WO 2009/048464 A1 en los estados abstractos "Un sistema refrigerante que tiene compresores en tándem incluye al menos dos compresores de diferentes tipos. Al utilizar los dos tipos de compresores distintos, se puede lograr una mayor diferencia en la capacidad proporcionada de los dos compresores en condiciones de carga parcial, así como un tipo de compresor particular puede ser utilizado en condiciones ambientales específicas para proporcionar el funcionamiento más eficiente del sistema refrigerante".

10 Sumario

Los aspectos se exponen en las reivindicaciones independientes y las características opcionales se exponen en las reivindicaciones dependientes de estas.

15 Dibujos

Los dibujos descritos en el presente documento se dan con fines ilustrativos únicamente de las realizaciones seleccionadas y no todas las implementaciones posibles, y no están concebidos para limitar el alcance de la presente divulgación.

20 La figura 1 es un esquema que ilustra un centro de datos de la técnica anterior;
 la figura 2 es una vista en perspectiva simplificada de una CRAC de la técnica anterior que tiene un circuito de enfriamiento DX;
 la figura 3 es un esquema que muestra una CRAC que tiene enfriamiento por etapas proporcionado por dos
 25 circuitos de enfriamiento de acuerdo con un aspecto de la presente divulgación;
 la figura 4 es una vista en perspectiva simplificada de una CRAC que tiene los circuitos de enfriamiento de la CRAC de la figura 3;
 la figura 5 es una vista en perspectiva simplificada de otra CRAC que tiene los circuitos de enfriamiento de la CRAC de la figura 3;
 30 la figura 6 es un esquema que muestra una CRAC que tiene enfriamiento por etapas proporcionado por tres circuitos de enfriamiento de acuerdo con un aspecto de la presente divulgación;
 la figura 7 es una vista en perspectiva simplificada que muestra una CRAC que tiene enfriamiento por etapas proporcionado por dos circuitos de enfriamiento, teniendo cada circuito de enfriamiento un compresor de espiral digital en tándem de acuerdo con un aspecto de la presente divulgación;
 35 la figura 8 es una vista en perspectiva simplificada de evaporadores que tienen placas de enfriamiento dispuestas en una configuración intercalada de acuerdo con un aspecto de la presente divulgación;
 la figura 9 es una vista en perspectiva simplificada de una variación de la CRAC de la figura 7 donde uno de los circuitos de enfriamiento incluye un intercambiador de calor de línea de succión de acuerdo con un aspecto de la presente divulgación;
 40 la figura 10 es una vista en perspectiva simplificada de la CRAC de la figura 10 donde ambos circuitos de enfriamiento incluyen un intercambiador de calor de línea de succión de acuerdo con un aspecto de la presente divulgación;
 las figuras 11A y 11B son tablas que muestran configuraciones de control para compresores de espiral digitales en tándem utilizados en una CRAC que tiene los circuitos de enfriamiento por etapas para el control de enfriamiento sensible y para el control de deshumidificación de acuerdo con un aspecto de la presente divulgación y la figura 11C es un diagrama de flujo que muestra este control;
 45 la figura 12 es un sistema de enfriamiento que tiene un circuito de enfriamiento DX con un modo economizador de refrigerante bombeado de acuerdo con un aspecto de la presente divulgación;
 las figuras 13-24 son variaciones del sistema de enfriamiento de la figura 12;
 50 la figura 25 es un esquema que muestra un sistema de enfriamiento que tiene un circuito de enfriamiento DX y un circuito economizador de refrigerante bombeado separado de acuerdo con un aspecto de la presente divulgación;
 la figura 26 es un esquema que muestra un sistema de enfriamiento que tiene enfriamiento por etapas proporcionado por dos circuitos de enfriamiento de la figura 12 de acuerdo con un aspecto de la presente divulgación;
 55 la figura 27 es un esquema que muestra el sistema de enfriamiento de la figura 12 y que muestra con más detalle el sistema de control con este;
 la figura 28 muestra bucles de control para el sistema de control de la figura 27;
 la figura 29 es un diagrama de flujo que muestra un control ilustrativo de una válvula de expansión electrónica de acuerdo con un aspecto de la presente divulgación;
 60 la figura 30 es un diagrama de flujo que muestra un control ilustrativo de un sistema de enfriamiento que tiene enfriamiento por etapas organizadas en etapas basándose en una solicitud de enfriamiento para organizar por etapas el funcionamiento de los circuitos de enfriamiento del sistema de enfriamiento.

Los números de referencia correspondientes indican partes correspondientes a lo largo de los diversos dibujos de los dibujos.

Descripción detallada

A continuación, se describirán las realizaciones de ejemplo en mayor detalle con referencia a los dibujos adjuntos.

5 De acuerdo con un aspecto de la presente divulgación, un sistema de enfriamiento de alta eficiencia incluye enfriamiento por etapas proporcionado por dos o más circuitos de enfriamiento dispuestos de manera que el aire que se va a enfriar fluya a través de ellos en serie. En un aspecto, cada circuito de enfriamiento incluye un compresor de espiral digital en tándem compuesto por un compresor de espiral de capacidad fija y un compresor de espiral digital. Debe entenderse que, en lugar de los compresores digitales en tándem, se puede conectar una pluralidad de
10 compresores en paralelo y estos compresores pueden tener capacidades diferentes. En un aspecto, cada circuito de enfriamiento incluye un circuito de enfriamiento DX y un circuito de economización de refrigerante bombeado que desvía el compresor cuando la temperatura exterior es lo suficientemente baja como para proporcionar el enfriamiento necesario al refrigerante que es circulado en el circuito de enfriamiento. En un aspecto, el sistema de enfriamiento de alta eficiencia también incluye uno o más ventiladores, sopladores o unidades de movimiento de aire similares que mueven el aire para que se va a enfriar a través de los evaporadores de cada circuito de enfriamiento. Los motores de la unidad de desplazamiento de aire pueden ser, de manera ilustrativa, motores de velocidad variable, y pueden ser, de manera ilustrativa, motores controlados electrónicamente. Lo mismo puede ser el caso de los motores de ventilador para el condensador. En un aspecto, los circuitos de enfriamiento del sistema de enfriamiento de alta eficiencia incluyen una válvula de expansión electrónica.

20 Debe entenderse que un sistema de enfriamiento puede tener menos que todos estos elementos y puede tener varias combinaciones de ellos. Por ejemplo, es posible que el sistema de enfriamiento no tenga enfriamiento por etapas, pero tenga un circuito de enfriamiento que incluya un circuito de enfriamiento DX y el circuito de economización de refrigerante bombeado. En este aspecto, la espiral digital en tándem puede o puede no ser utilizado.

25 La figura 3 es un esquema simplificado de un sistema de enfriamiento 300 que tiene una pluralidad de etapas de enfriamiento que incluyen una etapa de enfriamiento aguas arriba 322 con un circuito de enfriamiento aguas arriba 301 y una etapa de enfriamiento aguas abajo 324 con un circuito de enfriamiento aguas abajo 302 de acuerdo con un aspecto de la presente divulgación. En la realización de la figura 3, los circuitos de enfriamiento 301, 302 son ambos circuitos de refrigeración DX. El circuito de enfriamiento aguas arriba 301 incluye un evaporador denominado evaporador aguas arriba 304, la válvula de expansión 306, el condensador 308 y el compresor 310 dispuestos en un circuito de refrigeración DX convencional. El circuito de enfriamiento aguas abajo 302 incluye un evaporador denominado evaporador aguas abajo 312, la válvula de expansión 314, el condensador 316 y el compresor 318 dispuestos en un circuito de refrigeración DX convencional. A este respecto, del evaporador 304, la válvula de expansión 306 y el compresor 310 del circuito de enfriamiento aguas arriba 301 y el evaporador 312, la válvula de expansión 314 y el compresor 318 del circuito de enfriamiento aguas abajo 302 pueden estar incluidos en una CRAC 326 ubicada en un centro de datos junto con el controlador 320. Los condensadores 308, 316 se muestran en cajas discontinuas, ya que habitualmente no están incluidos en la CRAC 326, sino que están ubicados en otro lugar, tal como fuera del edificio en el que está ubicada la CRAC 326. Las válvulas de expansión 306, 314 pueden ser preferentemente válvulas de expansión electrónicas, pero también pueden ser válvulas de expansión termostáticas, tales como las divulgadas en el documento US 4.606.198. En cada circuito de refrigeración DX 301, 302, un refrigerante es circulado por el compresor y fluye desde el compresor, a través del condensador, de la válvula de expansión, del evaporador y de nuevo hacia el compresor. Los evaporadores 304, 312 de los circuitos de enfriamiento aguas arriba y aguas abajo 301, 302 están dispuestos en etapas para que el aire absorbido a través de una entrada de la CRAC fluya en serie a través de los evaporadores 304, 312, es decir, el aire fluye primero a través del evaporador aguas arriba 304 en el circuito de enfriamiento aguas arriba 301 y luego a través del evaporador aguas abajo 312 en el circuito de enfriamiento aguas abajo 302. Al tener una pluralidad de etapas de enfriamiento dispuestas para el flujo de aire en serie a través de estas, se reduce el diferencial de temperatura a través de los evaporadores de cada circuito de refrigeración DX. Esto a su vez permite que los evaporadores en cada circuito de refrigeración DX funcionen a diferentes niveles de presión y permite reducir las diferencias de presión entre los evaporadores y condensadores respectivos. Dado que la potencia del compresor es una función de la diferencia de presión entre el evaporador y el condensador, una diferencia de presión menor es más eficiente energéticamente. Debe entenderse que cada compresor 310, 318 puede incluir compresores en tándem con un compresor, un compresor de capacidad fija, y el otro compresor, un compresor de capacidad variable, tal como un compresor de espiral digital. Cada compresor 310, 318 puede ser un compresor de espiral digital en tándem que incluye un compresor de espiral de capacidad fija y un compresor de espiral digital, como se expone con mayor detalle más adelante.

50 Debe entenderse que los condensadores 308, 316 pueden ser cualquiera de los dispositivos de evacuación de calor descritos anteriormente con respecto al dispositivo de evacuación de calor 124 de la figura 1.

60 El circuito de enfriamiento de cada etapa proporciona una porción del enfriamiento global proporcionado por la CRAC 326 del sistema de enfriamiento 300. Las porciones pueden ser iguales, proporcionando cada etapa un enfriamiento igual, o pueden ser diferentes. Más específicamente, cada etapa de enfriamiento tiene una diferencia de temperatura máxima que es una porción de la diferencia de temperatura máxima a través de la CRAC 326. Por ejemplo, si la CRAC 326 tiene una diferencia de temperatura máxima de -6,6 grados Celsius (20 grados Fahrenheit), el circuito de enfriamiento de cada etapa tiene una diferencia de temperatura máxima que es un porcentaje de -6,6 grados Celsius

(20 grados Fahrenheit). Esto puede ser un porcentaje igual, en cuyo caso los circuitos de enfriamiento 301, 302 tienen cada uno una diferencia de temperatura máxima de -12 grados Celsius (10 grados Fahrenheit), donde la diferencia de temperatura máxima en la CRAC 326 es de -6,6 grados Celsius (20 grados Fahrenheit), o los porcentajes pueden ser diferentes.

5 El sistema de enfriamiento incluye el controlador 320 que controla los circuitos de enfriamiento 301, 302.

10 El evaporador aguas arriba 304 del circuito de enfriamiento aguas arriba 301 ve temperaturas de aire de entrada más altas y el compresor 310 del circuito de enfriamiento aguas arriba 301 suministra refrigerante al evaporador aguas arriba 304 a una temperatura de evaporación más alta que la suministrada por el compresor 318 al evaporador aguas abajo 312 en el circuito de enfriamiento aguas abajo 302. El evaporador aguas abajo 312 en el circuito de enfriamiento aguas abajo 302 ve la temperatura de aire más baja que sale del evaporador 304 del circuito de enfriamiento aguas arriba 301. En comparación con la tecnología actual, existe un punto óptimo, a lo largo de un continuo de enfriamiento desde enfriamiento únicamente por el circuito de enfriamiento aguas abajo 302 hasta enfriamiento únicamente por el circuito de enfriamiento aguas arriba 301 en el que se logra la misma capacidad de enfriamiento total neta con compresores más pequeños en los circuitos de enfriamiento aguas arriba y aguas abajo 301, 302, estando los circuitos de enfriamiento aguas arriba y aguas abajo 301, 302 y los evaporadores 304, 312 de circuitos de enfriamiento aguas arriba y aguas abajo 301, 302 configurados para proporcionar una capacidad de enfriamiento aproximadamente igual. Por ejemplo, si la CRAC 326 es una unidad de 30 toneladas, los circuitos de enfriamiento 301, 302 estarían configurados para proporcionar aproximadamente 15 toneladas de capacidad de enfriamiento al igual que los evaporadores 304, 312. Los evaporadores 304, 312 están configurados para tener un área de enfriamiento de superficie aproximadamente igual (el área de superficie de enfriamiento es el área con la que entra en contacto el aire que fluye a través del evaporador). A este respecto, cuando los evaporadores 304, 312 tienen una pluralidad de placas de enfriamiento, tal como en un conjunto de serpentín en V, en lugar de que cada placa de enfriamiento del evaporador aguas abajo 312 sea alimentada por compresores separados, ambas placas de enfriamiento del evaporador aguas abajo 312 serían alimentadas por un compresor y ambas placas de enfriamiento del evaporador aguas arriba 304 serían alimentadas por otro compresor. Estos dos compresores tendrían preferentemente la misma capacidad y el enfriamiento por etapas permite que los dos compresores sean más pequeños (menor capacidad) que los dos compresores utilizados para alimentar las dos placas de enfriamiento de un evaporador en una CRAC habitual de la técnica anterior que tiene circuitos de refrigeración DX para las dos placas de enfriamiento que proporcionan una capacidad de enfriamiento comparable.

35 En una realización alternativa, el compresor 318 en el circuito de enfriamiento aguas abajo 302 es más grande (es decir, tiene una capacidad mayor) que el compresor 310 en el circuito de enfriamiento aguas arriba 301 con el fin de disminuir la temperatura de evaporación del refrigerante proporcionado al evaporador aguas abajo 312. Esto a su vez disminuye la relación de calor sensible y aumenta las capacidades de deshumidificación del circuito de enfriamiento aguas abajo 302. En esta realización, el evaporador aguas abajo 312 puede tener la misma área de superficie de enfriamiento que la del evaporador aguas arriba 304 en el circuito de enfriamiento aguas arriba 301, o puede tener un área de superficie de enfriamiento que sea diferente (mayor o menor) que el área de enfriamiento de superficie del evaporador aguas arriba 304.

45 En un aspecto, el evaporador aguas arriba 304 en el circuito de enfriamiento aguas arriba 301 es un conjunto de serpentín de enfriamiento con microcanales. El evaporador aguas arriba 304 puede ser, de manera ilustrativa, un intercambiador de calor con microcanales del tipo descrito en el documento USSN 12/388.102 presentado el 18 de febrero de 2009 para "Colector laminado para intercambiador de calor con microcanales". El evaporador aguas arriba 304 puede ser de manera ilustrativa un intercambiador de calor de microcanales MCHX disponible en Liebert Corporation of Columbus, Ohio. Cuando el evaporador 304 aguas arriba es un intercambiador de calor con microcanales, el circuito de enfriamiento aguas arriba 301 está configurado de manera ilustrativa para proporcionar enfriamiento únicamente sensible, tal como proporcionar una temperatura delta a través del evaporador aguas arriba 304 que no haga caer la temperatura del aire que sale del evaporador aguas arriba 304 por debajo de su punto de rocío o por debajo de una temperatura un cierto número de grados por encima del punto de rocío, tal como aproximadamente -15,5 grados Celsius (4 grados Fahrenheit). Si bien una ventaja de utilizar un conjunto de serpentín de enfriamiento con microcanales para el evaporador aguas arriba 304 del circuito de enfriamiento aguas arriba 301 es que los conjuntos de serpentín de enfriamiento con microcanales tienen caídas de presión del lado del aire que son significativamente menores que los conjuntos de serpentín de enfriamiento de aleta y tubo que tienen una capacidad de enfriamiento comparable, debe entenderse que el evaporador aguas arriba 304 puede ser distinto de un serpentín de enfriamiento con microcanales y, por ejemplo, puede ser un conjunto de serpentín de enfriamiento de aleta y tubo.

60 En un aspecto, el evaporador aguas abajo 312 del circuito de enfriamiento aguas abajo 302 es un conjunto de serpentín de enfriamiento de aleta y tubo. En un aspecto, el evaporador aguas abajo 312 es un conjunto de serpentín de enfriamiento con microcanales.

65 La figura 4 muestra una realización ilustrativa de la CRAC 326. La CRAC 326 incluye un armario 400 que tiene una entrada de aire de retorno 402 y una salida de aire 404, tal como una cámara impelente. Un filtro de aire 406 está dispuesto en la entrada de aire de retorno 402 para que el aire que fluye hacia la CRAC 326 a través de la entrada de aire de retorno 402 fluya a través del filtro de aire 406 antes de fluir a través del resto de la CRAC 326. Las flechas

414 muestran la dirección del flujo de aire a través de la CRAC 326.

En la realización que se muestra en la figura 4, el evaporador aguas abajo 312 del circuito de enfriamiento aguas abajo 302 es un conjunto de serpentín en A dispuesto en el armario 400 entre la entrada de aire de retorno 402 y la salida de aire 404. El evaporador aguas abajo 312 tiene una placa de enfriamiento 410 para cada pata de la A. El evaporador aguas arriba 304 también es un conjunto de serpentín en A que tiene una placa de enfriamiento 412 para cada pata de la A. Una unidad de desplazamiento de aire 408, tal como un ventilador o un soplador de jaula de ardilla, está dispuesta en el armario 400 entre un lado aguas abajo del evaporador aguas abajo 312 y la salida de aire 404. Una de las placas de enfriamiento 412 del evaporador aguas arriba 304 está dispuesta en el lado de entrada de aire de una de las placas de enfriamiento 410 del evaporador aguas abajo 312 y la otra de las placas de enfriamiento 412 del evaporador aguas arriba 304 está dispuesta en el lado de entrada de aire de la otra de las placas de enfriamiento 410 del evaporador aguas abajo 312. Las placas de enfriamiento 410 del evaporador aguas abajo 312 y las placas de enfriamiento 412 del evaporador aguas arriba 304 están, por lo tanto, dispuestas en pares, estando las respectivas de las placas de enfriamiento 412 del evaporador aguas arriba emparejadas con las respectivas de las placas de enfriamiento 410 del evaporador aguas abajo 312. Debe entenderse que la unidad de desplazamiento de aire 408 puede estar dispuesta alternativamente aguas arriba del evaporador aguas arriba 304.

Como alternativa, tal y como se muestra en la figura 5, el evaporador aguas arriba 304' en el circuito de enfriamiento aguas arriba 301 puede estar dispuesto en una cámara impelente 415 del armario 400 entre el filtro de aire 406 y el evaporador aguas abajo 312.

En una variación, las placas de enfriamiento 412 del evaporador aguas arriba 304 podrían estar segmentadas en múltiples placas de enfriamiento, como podrían estar las placas 410 del evaporador aguas abajo 312.

Organizar por etapas el enfriamiento en la CRAC con circuitos de refrigeración DX separados aguas arriba y aguas abajo permite reducir la diferencia de presión a través del compresor del circuito de refrigeración DX aguas arriba, reduciendo así su consumo de potencia. El área de superficie adicional proporcionada por el evaporador aguas arriba en el circuito de refrigeración DX aguas arriba permite reducir la temperatura delta a través del evaporador aguas abajo en el circuito de refrigeración DX aguas abajo. Esto permite reducir la diferencia de presión a través del compresor en el circuito de refrigeración DX aguas abajo, reduciendo así su consumo de potencia. La organización por etapas también eleva la temperatura de los evaporadores para que realicen menos deshumidificación. En un centro de datos, la deshumidificación suele ser un malgasto de energía. Organizar por etapas el enfriamiento tiene el beneficio adicional de permitir que la CRAC se adapte a grandes diferencias de temperatura del lado del aire desde la entrada hasta la salida. La combinación de estos efectos aumenta enormemente la SHR.

El compresor de un circuito de enfriamiento DX se ejecuta de manera más eficiente y con mayor capacidad cuando se reduce la diferencia entre las presiones de evaporación y condensación. Adicionalmente, si el objetivo es una mayor eficiencia energética en lugar de una mayor capacidad, entonces los compresores pueden ser más pequeños y aun así alcanzar el caudal másico deseado para el refrigerante que fluye a través del circuito de enfriamiento, ya que la temperatura de evaporación ha sido aumentada. Es decir, los compresores en cada circuito pueden ser más pequeños que los compresores utilizados para alimentar las placas de enfriamiento de un serpentín de enfriamiento en una CRAC habitual de la técnica anterior que tiene circuitos de refrigeración DX para cada placa de enfriamiento y aun así lograr la misma capacidad de enfriamiento total neta.

Debe entenderse que el sistema de enfriamiento 300 podría tener más de dos circuitos de enfriamiento por etapas, siendo cada circuito de enfriamiento por etapas de manera ilustrativa un circuito de enfriamiento DX, tal como el circuito de enfriamiento 301, 302. Por ejemplo, un sistema de enfriamiento, tal como el sistema de enfriamiento 600 de la figura 6, tiene tres circuitos de enfriamiento por etapas, estando el tercer circuito de enfriamiento 602 dispuesto aguas abajo del circuito de enfriamiento 302. Cada etapa puede entonces proporcionar una porción igual (es decir, 1/3) del enfriamiento proporcionado por el sistema de enfriamiento 600 o cada etapa puede proporcionar diferentes porciones.

Como se ha mencionado anteriormente, cada compresor 310, 318 puede ser un compresor en tándem tal como un compresor en tándem conocido como un compresor de espiral digital en tándem que incluye tanto un compresor de espiral de capacidad fija como un compresor de espiral digital de capacidad variable. Como se usa en el presente documento, "compresor de espiral digital en tándem" significa un compresor que tiene tanto un compresor de espiral de capacidad fija como un compresor de espiral digital de capacidad variable. La figura 7 muestra una CRAC 700 que es una variación de la CRAC 326 (figura 3) con compresores de espiral digital en tándem 710 y 718, incluyendo el compresor de espiral digital en tándem 710 un compresor de capacidad fija 710(F) y un compresor de espiral digital de capacidad variable 710(V), e incluyendo el compresor de espiral digital en tándem 718 un compresor de capacidad fija 718(F) y un compresor de espiral digital de capacidad variable 718(V). Los compresores de capacidad fija 710(F) y 718(F) pueden ser preferentemente compresores de espiral de capacidad fija, pero debe entenderse que pueden ser otros tipos de compresores de capacidad fija. Un compresor de espiral digital tiene la capacidad de variar o modular su capacidad entre aproximadamente el 10 % y el 100 % mediante la separación de los conjuntos de espiral. El compresor de espiral digital tiene una eficiencia más baja cuando funciona en una condición de carga parcial y más eficiente cuando funciona en una condición de carga más alta. Más específicamente, los compresores de espiral digitales tienden a ser más eficientes cuando funcionan entre el 50 % y el 100 % de la capacidad (es decir, cargados

entre el 50 % y el 100 %) y menos eficientes cuando funcionan por debajo del 50 % de la capacidad. Emparejar un compresor de capacidad fija con un compresor de espiral digital en una espiral digital en tándem proporciona un intervalo más amplio de funcionamiento con eficiencia energética desde aproximadamente el 25 % hasta el 100 % de la capacidad. Los compresores de espiral digital en tándem pueden ser de manera ilustrativa compresores de espiral digital en tándem disponibles en Emerson Climate Technology, Sydney, Ohio, bajo la marca Copeland®. Como se usa en el presente documento, intervalo de carga superior significa el intervalo de carga de un porcentaje de carga determinado y por encima del que un compresor de espiral digital funciona de manera más eficiente. Si bien es habitualmente el 50 % o más, debe entenderse que la carga más baja puede diferir del 50 % y depender del compresor particular.

Los evaporadores aguas arriba y aguas abajo 304, 312 pueden tener varias configuraciones. Cada uno puede tener, por ejemplo, dos placas de enfriamiento tienen múltiples filas de serpentines a través de los cuales fluye el refrigerante. También pueden estar separados entre sí, como se muestra en las figuras 4 y 7, o tener una configuración intercalada donde las filas de serpentines de las placas de enfriamiento 412, 410 de los evaporadores aguas arriba y aguas abajo 304, 312 se intercalan entre sí como se muestra en la figura 8.

En la configuración ilustrativa de la figura 7, los evaporadores aguas arriba y aguas abajo 304, 312 dispuestos como se muestra en la figura 4 en una configuración denominada en el presente documento una "configuración por separado" donde están separados entre sí y el evaporador aguas arriba 304 está totalmente aguas arriba del evaporador aguas abajo 312. Es decir, las placas de enfriamiento 412 del evaporador aguas arriba 304 están separadas de las placas de enfriamiento 410 del evaporador aguas abajo 312 y las placas de enfriamiento 412 están totalmente aguas arriba de las placas de enfriamiento 410. Las placas de enfriamiento 410, 412 están dispuestas en pares como se expuso anteriormente, colindando un lado de salida 702 de una de las placas de enfriamiento 412 del evaporador aguas arriba 304 con un lado de entrada 704 de una de las placas de enfriamiento 410 del evaporador aguas abajo 312. En el ejemplo que se muestra en las figuras 4 y 7, las placas de enfriamiento 412 del evaporador aguas arriba 304 están fuera de las placas de enfriamiento 410 del evaporador aguas abajo 312.

Las placas de enfriamiento 410, 412 pueden, por ejemplo, tener cada una tres filas 706 de serpentines 708 a través de los que fluye el refrigerante. Las filas 706 de serpentines 708 en las placas de enfriamiento 412 del evaporador aguas arriba 304 están agrupadas por separado de las filas 706 de serpentines 708 en las placas de enfriamiento 410 del evaporador aguas abajo 312. De este modo, las filas 706 de serpentines 708 en las placas de enfriamiento 412 del evaporador aguas arriba 304 están todas dispuestas aguas arriba de las filas 706 de serpentines 708 en las placas de enfriamiento 410 del evaporador aguas abajo 312. Esta configuración puede denominarse en el presente documento configuración de "X fila/X fila X - Z etapa por separado" donde X es el número de filas 706 de serpentines 708 en una placa de enfriamiento y Z es el número de etapas de enfriamiento. La realización de ejemplo que se muestra en la figura 7 es, por lo tanto, una configuración de 3 filas/3 filas - 2 etapas por separado. Debe entenderse que cada placa de enfriamiento puede tener más o menos de 3 filas de serpentines.

La figura 8 muestra una configuración que se denomina en el presente documento una "configuración intercalada" donde una o más filas de serpentines del evaporador aguas arriba 304 y del evaporador aguas abajo 312 están intercaladas. En la configuración intercalada de ejemplo que se muestra en la figura 8, las placas de enfriamiento 410', 412' de los evaporadores 304, 312, respectivamente, están dispuestas en pares. Cada placa de enfriamiento 410', 412' tiene dos secciones: una sección de sobrecalentamiento y una sección de 2 fases. Para fines de referencia, la 412' del evaporador aguas arriba 304 tiene una sección de sobrecalentamiento 800 y una sección de 2 fases 802 y cada placa de enfriamiento 410' del evaporador aguas abajo 312 tiene una sección de sobrecalentamiento 804 y una sección de 2 fases 806. Cada par de placas de enfriamiento 410', 412' están dispuestas de modo que la sección de sobrecalentamiento 804 de la placa de enfriamiento 410' del evaporador aguas abajo 304 está dispuesta entre la sección de sobrecalentamiento 800 de la placa de enfriamiento 412' del evaporador aguas arriba 304 y la sección de 2 fases 802 de la placa de enfriamiento 412' del evaporador aguas arriba 304. La sección de sobrecalentamiento 800 de la placa de enfriamiento 412' del evaporador aguas arriba 304 tiene un lado de entrada 808 orientado hacia el exterior como se muestra en la figura 8 y un lado de salida 810 orientado hacia un lado de entrada 812 de la sección de sobrecalentamiento 804 de la placa de enfriamiento 410' del evaporador aguas abajo 312. Un lado de salida 814 de la sección de sobrecalentamiento 804 de la placa de enfriamiento 410' del evaporador aguas abajo 312 está orientado hacia un lado de entrada 816 de la sección de 2 fases 802 de la placa de enfriamiento 412' del evaporador aguas arriba 304. Un lado de salida 818 de la sección de 2 fases 802 está orientada hacia un lado de entrada 820 de la sección de 2 fases 806 de la placa de enfriamiento 410' del evaporador aguas abajo 312. En esta configuración, el aire que se va a enfriar entra en la sección de sobrecalentamiento 800 de la placa de enfriamiento 412' del evaporador de enfriamiento aguas arriba 304 y luego atraviesa la sección de sobrecalentamiento 804 de la placa de enfriamiento 410' del evaporador aguas abajo 312, la sección de 2 fases 802 de la placa de enfriamiento 412' del evaporador aguas arriba 304, y la sección de 2 fases 806 de la placa de enfriamiento 410' del evaporador aguas abajo 312. Esta configuración se puede denominar en el presente documento "X fila/X fila, Fila Y/fila Y - Z Etapa entrelazada", configuración donde X es el número de filas en la sección de sobrecalentamiento de una losa de enfriamiento, Y es el número de filas en la sección de 2 fases de una placa de enfriamiento, y Z es el número de etapas de enfriamiento. La realización de ejemplo que se muestra en la figura 8 es, por lo tanto, 1-fila/1-fila, 2-filas/2-filas: configuración intercalada de 2 etapas. Debe entenderse que la sección de 2 fases de cada placa de enfriamiento puede tener más o menos de 2 filas de serpentines y la sección de sobrecalentamiento de cada placa de enfriamiento puede tener más

de una fila de serpentines.

5 En la configuración intercalada, el refrigerante en cada una de las respectivas etapas de enfriamiento aguas arriba y aguas abajo primero fluye a través de la sección de 2 fases de cada placa de enfriamiento del evaporador de esa etapa de enfriamiento y luego a través de la sección de sobrecalentamiento de esa placa de enfriamiento. El refrigerante habitualmente entrará en la sección de 2 fases en dos fases (líquido y gaseoso) y habitualmente saldrá de la sección de 2 fases únicamente como un gas. El refrigerante se sobrecalienta entonces en la sección de sobrecalentamiento, que ve aire más caliente que las secciones de 2 fases.

10 La temperatura de evaporación para un sistema de enfriamiento de etapas múltiples de los tipos descritos anteriormente está restringida por la temperatura de sobrecalentamiento, especialmente para la etapa o etapas aguas abajo. Separando la región de sobrecalentamiento en la configuración intercalada al lado del aire de entrada, se elimina la limitación de sobrecalentamiento para la segunda etapa y la temperatura de evaporación de la segunda etapa aumenta en comparación con una configuración donde los serpentines de los evaporadores no están intercalados, es decir, los serpentines del evaporador aguas arriba están todas aguas arriba de los serpentines del evaporador aguas abajo.

20 La figura 9 muestra una variación de la configuración por separado de la figura 7 donde el circuito de enfriamiento 302' incluye un intercambiador de calor de línea de succión 900 que tiene una primera ruta de intercambio de calor 902 acoplada entre una salida 904 del evaporador aguas abajo 312 y una entrada 906 del compresor de espiral digital en tándem 718. Una segunda ruta de intercambio de calor 908 del intercambiador de calor de línea de succión 900 está acoplada entre una salida 910 del condensador 316 y una entrada 912 de la válvula de expansión 314.

25 En esta variación, el intercambiador de calor de línea de succión 900 subenfía el refrigerante de alta presión que fluye desde el condensador 316 a través de la ruta de intercambio de calor 908, lo que da como resultado el sobrecalentamiento del refrigerante en fase gaseosa que fluye a través de la ruta de intercambio de calor 902 desde el evaporador aguas abajo 312 hacia el compresor de espiral digital en tándem 718 de modo que el refrigerante en fase gaseosa se sobrecaliente cuando entra en el compresor de espiral digital en tándem 718. Esto libera al evaporador aguas abajo 312 de realizar cualquier sobrecalentamiento y logra un aumento comparable de la eficiencia del compresor de espiral digital en tándem 718 (es decir, un aumento de la temperatura de evaporación) como la configuración intercalada.

35 En la realización de la figura 9, únicamente el circuito de enfriamiento aguas abajo 302' incluye un intercambiador de calor de línea de succión. La figura 10 muestra una variación de la figura 9 en la que el circuito de enfriamiento 301' también incluye un intercambiador de calor de línea de succión 1000 que tiene una primera ruta de intercambio de calor 1002 acoplada entre una salida 1004 del evaporador aguas arriba 304 y una entrada 1006 del compresor 310. Una segunda ruta de intercambio de calor 1008 del intercambiador de calor de línea de succión 1000 está acoplada entre una salida 1010 del condensador 308 y una entrada 1012 de la válvula de expansión 306.

40 En esta variación, el intercambiador de calor de línea de succión 1000 subenfía el refrigerante de alta presión que fluye desde el condensador 308 a través de la ruta de intercambio de calor 1008, lo que da como resultado el sobrecalentamiento del refrigerante en fase gaseosa que fluye a través de la ruta de intercambio de calor 1002 desde el evaporador aguas arriba 304 hacia el compresor de espiral digital en tándem 710 de modo que el refrigerante en fase gaseosa se sobrecaliente cuando entra en el compresor de espiral digital en tándem 710. Esto libera al evaporador aguas arriba 304 de realizar cualquier sobrecalentamiento y aumenta la eficiencia del compresor de espiral digital en tándem 710 (es decir, un aumento de la temperatura de evaporación).

50 Un sistema de enfriamiento que tiene enfriamiento por etapas como la CRAC 700 (figura 7) que utiliza una pluralidad de circuitos de enfriamiento tal como los circuitos de enfriamiento 301, 302 como se expuso anteriormente con los compresores digitales en tándem 710, 718 permite una mejor optimización del control de enfriamiento sensible y del control de deshumidificación.

55 En un aspecto, el controlador 320 controla los compresores de espiral digital en tándem 710, 718. El controlador 320 está programado de manera ilustrativa con el *software* apropiado que implementa el control descrito a continuación de los compresores de espiral digital en tándem 710, 718. El controlador 320 puede ser de manera ilustrativa un sistema de control iCOM® disponible en Liebert Corporation of Columbus, Ohio, programado con un *software* que implementa las funciones adicionales que se describen a continuación.

60 Como se utiliza en el presente documento, solicitud de enfriamiento significa la demanda de enfriamiento, que es el enfriamiento real que se está solicitando que proporcione el sistema de enfriamiento. Habitualmente, la "solicitud de enfriamiento" se expresa como el porcentaje de la capacidad de enfriamiento máxima global o nominal del sistema de enfriamiento. Debe entenderse que puede expresarse de manera distinta a un porcentaje. Por ejemplo, podría expresarse en términos de potencia, tales como kilovatios (Kw). A modo de ejemplo y no de limitación, el sistema de enfriamiento puede tener una capacidad global de 125 Kw y, si se le solicita que proporcione 62,5 Kw de enfriamiento, la solicitud de enfriamiento podría expresarse en 62,5 Kw, así como el 50 %.

Pasando primero al control del enfriamiento sensible, el controlador 320 controla qué compresor de capacidad fija y qué compresor de espiral digital de cada compresor de espiral digital en tándem están encendidos y, en el caso de cada compresor de espiral digital, su carga, basándose en la solicitud de enfriamiento y en cuál de una pluralidad de intervalos se encuentra. En un aspecto, el controlador primero comienza a aumentar el compresor de espiral digital de capacidad variable del circuito de enfriamiento de la etapa de enfriamiento aguas arriba para hacer funcionar la etapa de enfriamiento aguas arriba para proporcionar enfriamiento. Cuando la solicitud de enfriamiento aumenta a un punto donde será más eficiente hacer funcionar la etapa de enfriamiento aguas abajo para proporcionar enfriamiento adicional en lugar de continuar aumentando únicamente el aumento del compresor de espiral digital de capacidad variable del circuito de enfriamiento de la etapa de enfriamiento aguas arriba, el controlador también comienza a aumentar el compresor de espiral digital de capacidad variable del circuito de enfriamiento de la etapa de enfriamiento aguas abajo en paralelo con el aumento del compresor de espiral digital de capacidad variable del circuito de enfriamiento aguas arriba. Esto hace funcionar tanto la etapa de enfriamiento aguas arriba como la etapa de enfriamiento aguas abajo para proporcionar enfriamiento. Al hacer esto, el controlador 320 equilibra maximizando el funcionamiento del compresor de espiral digital de capacidad variable, particularmente del compresor de espiral digital en tándem del circuito de enfriamiento de la etapa de enfriamiento aguas arriba, con el funcionamiento del circuito de enfriamiento de la etapa de enfriamiento aguas abajo para optimizar mejor la eficiencia.

En el ejemplo a continuación, el controlador 320 tiene cuatro modos de control determinados por la solicitud de enfriamiento (expresada como un porcentaje en el siguiente ejemplo) que se está solicitando que proporcione el sistema de enfriamiento (tal como el sistema de enfriamiento 300), determinada por el controlador 320 cuando el enfriamiento se está aumentando y también cuando el enfriamiento se está disminuyendo. La figura 11A es una tabla que muestra estos modos de control para el control de los compresores de espiral de capacidad fija 710(F) y 718(F) y los compresores de espiral digitales 710(V) y 718(V) de cada uno de los compresores de espiral digitales en tándem 710, 718. El término "aumentar" cuando se utiliza en la tabla de la figura 11A con respecto a un compresor de espiral digital significa que la capacidad del compresor de espiral digital se está modulando hacia arriba (aumentando el porcentaje de tiempo que se carga el compresor de espiral digital) o hacia abajo (disminuyendo el porcentaje de tiempo que el compresor de espiral digital se comprime o se descarga), según corresponda, para proporcionar un ajuste con precisión de enfriamiento para satisfacer la demanda de enfriamiento, denominada solicitud de enfriamiento, como se expuso anteriormente. En la tabla 11A, basándose en dónde se compara la solicitud de enfriamiento con los umbrales de control de aumento de enfriamiento sensible SRU1 - SRU5 (es decir, en qué intervalo se encuentra la solicitud de enfriamiento) determina cuándo los compresores de espiral de capacidad fija 710(F) y 718(F) están encendidos y cuándo los compresores de espiral digitales 710(V) y 718(V) están encendidos y su porcentaje de carga cuando la solicitud de enfriamiento está aumentando. Los valores entre paréntesis junto a cada umbral de control SRU1 - SRU5 son valores preferentes ilustrativos para cada uno de estos umbrales de control. Debería entenderse, no obstante, que los umbrales de control SRU1 - SRU5 pueden tener valores diferentes y que estos valores pueden determinarse heurísticamente y/o teóricamente para optimizar estos valores.

De manera similar, en la tabla 11A, basándose en dónde se compara el porcentaje de solicitud de enfriamiento con los umbrales de control de disminución de enfriamiento sensible SRD1 - SRD5 determina cuándo los compresores de espiral de capacidad fija 710(F) y 718(F) están encendidos y cuándo los compresores de espiral digitales 710(V) y 718(V) están encendidos y su porcentaje de carga cuando la solicitud de enfriamiento está disminuyendo. De nuevo, los valores entre paréntesis junto a cada umbral de control SRD1 - SRD5 son valores preferentes ilustrativos para cada uno de estos umbrales de control. Debería entenderse, no obstante, que los umbrales de control SRD1 - SRD5 pueden tener valores diferentes y que estos valores pueden determinarse heurísticamente y/o teóricamente para optimizar estos valores.

Debe entenderse que los cuatro modos de control expuestos anteriormente son ilustrativos y puede existir un número diferente de cuatro modos de control, particularmente, si existen más de dos etapas de enfriamiento y, por lo tanto, existen más de dos compresores de espiral digital en tándem (por ejemplo, un compresor de espiral digital en tándem para cada etapa de enfriamiento).

Pasando al control de la deshumidificación, el controlador 320 controla qué compresor de capacidad fija y qué compresor de espiral digital de capacidad variable de cada compresor de espiral digital en tándem están encendidos basándose en la solicitud de enfriamiento, y en cuál de una pluralidad de intervalos de control de deshumidificación se encuentran, y luego controla el aumento del compresor de espiral digital de capacidad variable aplicable basándose en una llamada de deshumidificación. En el ejemplo a continuación, el controlador 320 tiene tres modos de control determinados por la solicitud de enfriamiento. La figura 11B es una tabla que muestra estos modos de control para el control de los compresores de espiral de capacidad fija 710(F) y 718(F) y los compresores de espiral digitales 710(V) y 718(V) de cada uno de los compresores de espiral digitales en tándem 710, 718. Los mismos términos utilizados en la tabla de la figura 9A también se utilizan en la tabla de la figura 9B. Adicionalmente, "solicitud de deshumidificación" significa el porcentaje de deshumidificación que se está solicitando que proporcione el sistema de enfriamiento 700, determinado por el controlador 320. En la tabla 11B, basándose en dónde se compara la solicitud de enfriamiento con los umbrales de control de enfriamiento latente L1 - L4 determina cuándo los compresores de espiral de capacidad fija 710(F) y 718(F) están encendidos y cuándo los compresores de espiral digital 710(V) y 718(V) están encendidos y si están siendo aumentados. La solicitud de deshumidificación determina el aumento de cada uno de los compresores de espiral digital de capacidad variable 710(V) y 718(V) que está siendo aumentado. De nuevo, los valores entre

paréntesis junto a cada umbral de control L1 - L4 son valores preferentes ilustrativos para cada uno de estos umbrales de control que definen los intervalos de control de deshumidificación. Debería entenderse, no obstante, que los umbrales de control L1 - L4 pueden tener valores diferentes y que estos valores pueden determinarse heurísticamente y/o teóricamente para optimizar estos valores. En un aspecto ilustrativo, los modos de control que se muestran en la tabla de la figura 11B tienen prioridad sobre los modos de control que se muestran en la tabla de la figura 11A cuando se solicita la deshumidificación: cuando existe una solicitud de deshumidificación no satisfecha. Cuando se satisface la solicitud de deshumidificación, el control conmuta de nuevo a los modos de control que se muestran en la tabla de la figura 11A. También debe entenderse que los tres modos de control son ilustrativos y que tres puede ser un número diferente de tres modos de control, particularmente, si existen más de dos etapas de enfriamiento y, por lo tanto, existen más de dos compresores de espiral digital en tándem (por ejemplo, un compresor de espiral digital en tándem para cada etapa de enfriamiento).

La figura 11C es un diagrama de flujo básico de un programa de *software* para el controlador 320 para controlar los compresores de espiral digital en tándem 710, 718 de acuerdo con los puntos de ajuste de control establecidos en las tablas 11A y 11B. En 1102, el controlador 320 determina si existe una solicitud de deshumidificación y, si fuese el caso, el porcentaje de la llamada de deshumidificación. Si existió una solicitud de deshumidificación, en la etapa 1104, el controlador 320 controla los compresores de espiral digital en tándem 710, 718 de acuerdo con la solicitud de enfriamiento y los umbrales de control L1 - L4 de la tabla 11B. Es decir, basándose en dónde se encuentra la solicitud de enfriamiento en el intervalo de umbrales de control L1 - L4, el controlador 320 enciende y apaga los compresores de espiral de capacidad fija 710(F), 718(F) y enciende y apaga los compresores de espiral digitales 710(V) y 718(V) para aumentarlos si están encendidos. Basándose en la solicitud de deshumidificación, el controlador 320 controla el aumento de cada compresor de espiral digital de capacidad variable 710(V) y 718(V) que está siendo aumentado. El controlador 320 entonces regresa al bloque 1102.

Si en la etapa 1102 el controlador 320 determinó que no existía una solicitud de deshumidificación, en la etapa 1106 determina si existió una solicitud de enfriamiento y el porcentaje de la solicitud de enfriamiento. Si no existió, el controlador 320 regresa al bloque 1102. Si el controlador 320 determinó que existía una solicitud de enfriamiento, en la etapa 1108 el controlador 320 determina si el enfriamiento está siendo aumentado. Si este fuese el caso, en la etapa 1110, el controlador 320 controla los compresores de espiral digital en tándem 710, 718 de acuerdo con el porcentaje de la solicitud de enfriamiento y los umbrales de control SRU1 - SRU5 en la porción de aumento de enfriamiento de la tabla 11A. Es decir, basándose en dónde se encuentra el porcentaje de la solicitud de enfriamiento en el intervalo de umbrales de control SRU1 - SRU5, el controlador 320 enciende y apaga los compresores de espiral de capacidad fija 710(F), 718(F) y también enciende y apaga los compresores de espiral digitales 710(V), 718(V) y establece su porcentaje de carga. El controlador 320 entonces regresa al bloque 1102. Si en la etapa 1108 el controlador 320 determinó que el enfriamiento no estaba aumentando, el enfriamiento está disminuyendo y, en la etapa 1112 el controlador 320 controla los compresores de espiral digital en tándem 710, 718 basándose en el porcentaje de la solicitud de enfriamiento y los umbrales de control SRD1 - SRD5 en la porción de disminución de enfriamiento de la tabla 11A. Es decir, basándose en dónde se encuentra el porcentaje de la solicitud de enfriamiento en el intervalo de umbrales de control SRD1 - SRD5, el controlador 320 enciende y apaga los compresores de espiral de capacidad fija 710(F), 718(F) y también enciende y apaga los compresores de espiral digitales 710(V), 718(V) y establece su porcentaje de carga. El controlador 320 entonces regresa al bloque 1102.

Si bien la descripción anterior del enfriamiento por etapas se realizó en el contexto de un sistema de enfriamiento para centros de datos que tiene una CRAC, debe entenderse que el enfriamiento por etapas se puede utilizar en otros tipos de sistemas de enfriamiento, tales como sistemas de HVAC de los edificios utilizados el enfriamiento para el confort, tales como enfriar oficinas.

Si bien el evaporador aguas abajo expuesto anteriormente era un conjunto de serpentín en A y, en un aspecto, el evaporador aguas arriba expuesto anteriormente también era un conjunto de serpentín en A, debe entenderse que el sistema de enfriamiento por etapas podría utilizar un conjunto de serpentín en V como el evaporador aguas abajo y, en un aspecto, utilizar un conjunto de bobina en V como evaporador aguas arriba. También debería entenderse que los evaporadores aguas arriba y aguas abajo podrían utilizar una gran losa de enfriamiento inclinada o una losa de enfriamiento plana.

De acuerdo con otro aspecto de la presente divulgación, un sistema de enfriamiento, que puede incluir una CRAC, incluye un circuito de enfriamiento DX con un economizador de refrigerante bombeado que permite que el sistema se ejecute en un modo economizador de refrigerante bombeado cuando la temperatura exterior es lo suficientemente fría como para enfriar el fluido de enfriamiento que circula en el circuito de enfriamiento y desviar el compresor. El fluido refrigerante puede ser de manera ilustrativa un refrigerante de cambio de fase que tiene una fase de vapor y una fase líquida. El economizador de refrigerante bombeado puede incluir una bomba que hace circular el fluido refrigerante, de manera ilustrativa, el refrigerante en su fase líquida, evitando el compresor. Este sistema de enfriamiento entonces utiliza la bomba en lugar del compresor para bombear el refrigerante en su fase líquida y hacer circular el refrigerante cuando la temperatura del aire exterior es lo suficientemente baja como para proporcionar el intercambio de calor sin comprimir el refrigerante en su fase de vapor a una temperatura de presión/condensación más alta. El modo economizador aumenta significativamente el coeficiente de rendimiento (COP) sensible del sistema de enfriamiento cuando el sistema de enfriamiento conmuta al modo economizador, como se describe a continuación. En términos de

eficiencia anual, el clima determina el beneficio. Por ejemplo, modelos han mostrado que el aumento anual de la eficiencia energética en Washington D.C. es de aproximadamente el 26 %, mientras que en Mineápolis, MN, el aumento anual de la eficiencia energética es de aproximadamente el 53 %.

5 Tal y como se ha expuesto anteriormente, un sistema de aire acondicionado DX convencional contiene un evaporador, un compresor, un condensador y un dispositivo de expansión. A menudo, el aire que se enfría está a una temperatura más baja que el aire exterior. Debido a esto, se requiere un compresor para aumentar la presión del refrigerante en su fase de vapor y, por lo tanto, su temperatura de condensación, a una temperatura más alta que el aire exterior de modo que el calor pueda ser evacuado. En cualquier aplicación en la que el calor se evacúe al exterior, incluso en pleno invierno, la necesidad de comprimir el fluido refrigerante consume energía innecesariamente.

10 Cuando la temperatura exterior se reduce lo suficiente como para proporcionar la diferencia de temperatura global requerida entre el aire interior del que se elimina el calor y el aire exterior al que se evacúa el calor, no es necesario comprimir el refrigerante en su fase de vapor a una presión/temperatura más alta. Cuando ese es el caso, el sistema de enfriamiento de acuerdo con este aspecto de la presente divulgación conmuta del modo (de compresor) DX al modo economizador de refrigerante bombeado. En el modo economizador de refrigerante bombeado, el refrigerante es bombeado en su fase líquida por una bomba de líquido para hacer circular el refrigerante en el circuito de enfriamiento sin comprimir el refrigerante en su fase de vapor. La ventaja es que la bomba consume aproximadamente 1/10 de la potencia que consume el compresor.

15 La temperatura a la que el controlador del sistema de enfriamiento que tiene un modo economizador de refrigerante bombeado decide conmutar de un modo a otro se basa en la diferencia entre las temperaturas en el interior y en el exterior y en la carga de calor en el sistema de enfriamiento. Tal y como se ha señalado anteriormente, el sistema de enfriamiento que se describe en el presente documento incluye los componentes enumerados anteriormente, que son los componentes habituales de un circuito de enfriamiento DX descrito con referencia a la figura 2, así como una bomba. Cuando el controlador decide conmutar del modo (de compresor) DX al modo economizador de refrigerante bombeado, el compresor se apaga y la bomba se enciende. En el modo economizador de refrigerante bombeado, el refrigerante se desvía alrededor del compresor, mientras que, en modo (de compresor) DX, el refrigerante es desviado alrededor de la bomba.

20 La siguiente descripción de realizaciones de un sistema de enfriamiento que tiene un circuito de enfriamiento DX y un economizador de refrigerante bombeado mostrará diseños de sistema preferentes y alternativos y la funcionalidad de los componentes. Las tres consideraciones de control principales para este sistema que funciona en el modo economizador de refrigerante bombeado son el control de capacidad, la prevención de congelación del evaporador (la temperatura exterior puede ser muy baja) y la protección de la bomba. La mayoría de las bombas requieren un diferencial mínimo para garantizar un enfriamiento adecuado del motor (si la bomba es una bomba de motor encapsulado) y la lubricación de los cojinetes. Cada una de estas funciones de control se puede lograr mediante algunos métodos diferentes que utilizan diferentes componentes.

25 Con referencia a la figura 12, se muestra una realización preferente de un sistema de enfriamiento 1200 que tiene un modo economizador de refrigerante bombeado. El sistema de enfriamiento 1200 incluye un circuito de enfriamiento DX 1202 que tiene un evaporador 1204, una válvula de expansión 1206 (que preferentemente puede ser una válvula de expansión electrónica, pero que también puede ser una válvula de expansión termostática), el condensador 1208 y el compresor 1210 dispuestos en un circuito de refrigeración DX. El circuito de enfriamiento 1202 también incluye una bomba de fluido 1212, una válvula solenoide 1214 y válvulas de retención 1216, 1218, 1222. Una salida 1262 del condensador 1208 está acoplada a una entrada 1228 de la bomba 1212 y a una entrada 1230 de la válvula de retención 1216. Una salida 1232 de la bomba 1212 está acoplada a una entrada 1234 de la válvula solenoide 1214. Una salida 1236 de la válvula solenoide 1214 está acoplada a una entrada 1238 de la válvula de expansión electrónica 1206. Una salida 1240 de la válvula de retención 1216 también está acoplada a la entrada 1238 de la válvula de expansión electrónica 1206. Una salida 1242 de la válvula de expansión electrónica 1206 está acoplada a una entrada de refrigerante 1244 del evaporador 1204. Una salida de refrigerante 1246 del evaporador 1204 está acoplada a una entrada 1248 del compresor 1210 y a una entrada 1250 de la válvula de retención 1218. Una salida 1252 del compresor 1210 está acoplada a una entrada 1254 de la válvula de retención 1222 y una salida 1256 de la válvula de retención 1222 está acoplada a una entrada 1258 del condensador 1208 al igual que lo está una salida 1260 de la válvula de retención 1218.

30 El sistema de enfriamiento 1200 también incluye un controlador 1220 acoplado a componentes controlados del sistema de enfriamiento 1200, tales como la válvula de expansión electrónica 1206, compresor 1210, la bomba 1212, la válvula solenoide 1014, el ventilador del condensador 1224 y la unidad de desplazamiento de aire del evaporador 1226. El controlador 1220 está programado de manera ilustrativa con el *software* apropiado que implementa el control del sistema de enfriamiento 1200 que se describe a continuación. El controlador 1220 puede incluir, o estar acoplado a, una interfaz de usuario 1221. El controlador 1220 puede ser de manera ilustrativa un sistema de control iCOM@ disponible en Liebert Corporation of Columbus, Ohio, programado con un *software* que implementa las funciones adicionales que se describen a continuación.

35 La bomba 1212 puede ser de manera ilustrativa una bomba de velocidad variable, pero alternativamente puede ser

una bomba de velocidad fija. El ventilador del condensador 1224 puede ser de manera ilustrativa un ventilador de velocidad variable, pero alternativamente puede ser un ventilador de velocidad fija.

5 Donde la bomba 1212 es una bomba de velocidad variable, la capacidad de enfriamiento del circuito de enfriamiento 1202 cuando está en el modo economizador de refrigerante bombeado es controlada por el controlador 1220 modulando la velocidad de la bomba 1212. Es decir, para aumentar la capacidad de enfriamiento, el controlador 1220 aumenta la velocidad de la bomba 1212 para aumentar el caudal másico de refrigerante en el circuito de enfriamiento 1202 y, para disminuir la capacidad de enfriamiento, el controlador 1220 disminuye la velocidad de la bomba 1212 para disminuir el caudal másico de refrigerante en el circuito de enfriamiento 1202. La temperatura del refrigerante en la entrada del evaporador 1204 se mantiene por encima del punto de congelación mediante el controlador 1220 modulando la velocidad del ventilador 1224 del condensador 1208 y el diferencial de bomba mínimo se mantiene mediante el controlador 1220 modulando la válvula de expansión electrónica 1206. El diferencial de bomba significa el diferencial de presión a través de la bomba. A este respecto, cuando la bomba 1212 es una bomba de velocidad variable, de manera ilustrativa, puede ser una bomba herméticamente sellada enfriada por el refrigerante que fluye a través de ella a medida que bombea el refrigerante y, por lo tanto, se necesita un diferencial de bomba mínimo para que la bomba 1212 se enfríe adecuadamente.

20 Donde la bomba 1212 es una bomba de velocidad fija, la capacidad de enfriamiento del circuito de enfriamiento 1202 es controlada por el controlador 1220 modulando la válvula de expansión electrónica 1206 para aumentar o disminuir el caudal másico de refrigerante en el circuito de enfriamiento 1202.

En una realización preferida, la bomba 1212 está en una caja que se encuentra fuera junto al condensador, pero la bomba 1212 también podría estar en la unidad interior en algunas de las realizaciones.

25 En modo (de compresor) DX, el controlador 1220 controla que se esté ejecutando el compresor 1210, que esté cerrada la válvula solenoide 1214 y que esté apagada la bomba 1212. Dado que el compresor 1210 se está ejecutando, la succión en una entrada 1248 de la entrada del compresor 1210 absorbe refrigerante vaporizado desde una salida 1246 del evaporador 1204 hacia el compresor 1210, donde es comprimido por el compresor 1210, aumentando su presión. La succión en la entrada 1248 del compresor 1210 en ejecución absorberá el refrigerante hacia la entrada 1248 y no fluirá a través de la válvula de retención 1218. Entonces, el refrigerante fluye a través de la válvula de retención 1222 hacia el interior del condensador 1208, donde se enfría y se condensa a un estado líquido. Dado que la válvula solenoide 1214 está cerrada y la bomba 1212 está apagada, después de que el refrigerante fluye al exterior del condensador 1208, fluye a través de la válvula de retención 1216, a través de la válvula de expansión 1206, donde se reduce su presión, y luego al evaporador 1204. El refrigerante fluye a través del evaporador 1204, donde se calienta hasta su vaporización por el aire que se va a enfriar fluyendo a través del evaporador 1204 y luego de regreso a la entrada 1248 del compresor 1210.

40 Cuando el controlador 1220 conmuta el circuito de enfriamiento 1202 al modo economizador de refrigerante bombeado, abre la válvula solenoide 1214, apaga el compresor 1210 y enciende la bomba 1212. La bomba 1212 luego bombea el refrigerante para que circule y fluya a través de la válvula solenoide 1214, de la válvula de expansión electrónica 1206, del evaporador 1204, de la válvula de retención 1218 desviando el compresor 1210, a través del condensador 1208 y de vuelta a una entrada 1228 de la bomba 1212. El controlador 1220 conmuta el circuito de enfriamiento 1202 al modo economizador de refrigerante bombeado cuando la temperatura del aire exterior es lo suficientemente fría como para proporcionar la diferencia de temperatura requerida entre el aire interior que se va a enfriar y el aire exterior al que se evacúa el calor.

En un aspecto, se puede acoplar una trampa invertida 1264 entre la salida 1236 de la válvula 1214 y la entrada 1238 de la válvula de expansión electrónica 1206 como se muestra en línea discontinua en la figura 12.

50 En un aspecto, un tanque de recepción/compensación, tal como el tanque de recepción/compensación 1706 que se describe a continuación, puede estar acoplado entre la salida 1262 del condensador 1208 y la entrada 1228 de la bomba 1212 de modo que todo el refrigerante fluya a través del tanque de recepción/compensación antes de entrar en la entrada 1228.

55 La figura 13 muestra un sistema de enfriamiento 1300 que tiene un circuito de enfriamiento 1302 que es una variación del circuito de enfriamiento 1202. Con las siguientes diferencias, el sistema de enfriamiento 1300 es de lo contrario esencialmente el mismo que el sistema de enfriamiento 1200 y de lo contrario funciona de la misma manera que el sistema de enfriamiento 1200. En el sistema de enfriamiento 1300, se añade una válvula solenoide 1304 en la entrada 1248 del compresor 1210 que es controlada por el controlador 1220 para evitar la llegada de líquido al compresor. Cuando el sistema de enfriamiento 1300 está en el modo (de compresor) DX, el controlador 1220 abre la válvula solenoide 1304. Cuando el sistema de enfriamiento 1300 está en el modo economizador de refrigerante de la bomba, el controlador 1220 cierra la válvula solenoide 1304, evitando así que el refrigerante fluya hacia la entrada 1248 del compresor 1210 y evitando la llegada de líquido al compresor 1210. También se añade una válvula solenoide de desviación 1306 alrededor de la válvula de expansión electrónica 1206 y un distribuidor (que no se muestra) que distribuye el refrigerante a los circuitos del evaporador incluye un puerto de entrada que desvía el orificio del distribuidor, y la salida de la válvula solenoide de desviación 1306 está conectada a esta entrada de desviación para

reducir la caída de presión del sistema.

La figura 14 muestra un sistema de enfriamiento 1400 que es una variación del sistema de enfriamiento 1200 que se muestra en la figura 12 que tiene un circuito de enfriamiento 1402. Con las siguientes diferencias, el sistema de enfriamiento 1400 es de lo contrario esencialmente el mismo que el sistema de enfriamiento 1200 y de lo contrario funciona de la misma manera que el sistema de enfriamiento 1200. En el sistema de enfriamiento 1400, se ha eliminado la válvula de retención 1216 que desvía la bomba 1212, resultando también en la eliminación de la válvula solenoide 1214. En este caso, el refrigerante fluiría a través de la bomba 1212 cuando el circuito de enfriamiento esté en modo (de compresor) DX. Esto supone que la bomba 1212 no resulta dañada por la rotación pasiva.

La figura 15 muestra un sistema de enfriamiento 1500 que es una variación del sistema de enfriamiento 1200 que tiene un circuito de enfriamiento 1502. Con las siguientes diferencias, el sistema de enfriamiento 1500 es de lo contrario esencialmente el mismo que el sistema de enfriamiento 1200 y de lo contrario funciona de la misma manera que el sistema de enfriamiento 1200. En el sistema de enfriamiento 1500, el diferencial de bomba se mantiene mediante el controlador 1220 modulando una válvula de control de descarga 1504 en la salida de descarga 1506 de la bomba 1212. Debe entenderse que, si bien la válvula de control de descarga 1504 se muestra con el mismo símbolo de válvula que el que se utiliza para las válvulas solenoides, la válvula de control de descarga 1504 es una válvula de flujo variable en lugar de una válvula de apertura-cierre. El sistema de enfriamiento 1500 también incluye una válvula solenoide de desviación 1304 (figura 13) alrededor de la válvula de expansión 1206 (que podría ser una válvula de expansión electrónica o termostática) y el orificio del distribuidor del distribuidor (que no se muestra) que distribuye refrigerante a los circuitos del evaporador para reducir la caída de presión del sistema. En esta realización, la bomba 1212 es una bomba de velocidad variable y el controlador 1220 modula la velocidad de la bomba 1212 para controlar el caudal másico del refrigerante que circula para controlar la capacidad de enfriamiento del sistema de enfriamiento 1500 cuando el sistema de enfriamiento 1500 está en el modo economizador de refrigerante bombeado.

La figura 16 ilustra un sistema de enfriamiento 1600 que es una variación del sistema de enfriamiento 1500 que tiene un circuito de enfriamiento 1602. Con las siguientes diferencias, el sistema de enfriamiento 1500 es de lo contrario esencialmente el mismo que el sistema de enfriamiento 1500 y de lo contrario funciona de la misma manera que el sistema de enfriamiento 1500. El sistema de enfriamiento 1600 tiene un método alternativo para mantener la temperatura de refrigerante mínima. Más específicamente, el sistema de enfriamiento 1600 tiene una línea de desviación 1603 alrededor del condensador 1208 con una válvula de control de desviación 1604 en la línea de desviación 1603 para permitir que el flujo del refrigerante caliente alrededor del condensador 1208 se mezcle con el refrigerante frío que fluye desde una salida 1606 del condensador 1208 para mantener la temperatura deseada y evitar la congelación del evaporador. La válvula de control de desviación 1604 es una válvula de flujo variable y es controlada de manera ilustrativa por el controlador 1220. Una válvula de retención 1608 está acoplada entre la salida 1262 del condensador 1208 y la entrada 1228 de la bomba 1212, estando una salida 1612 de la válvula de retención 1608 acoplada a la entrada 1228 de la bomba 1212. Una salida 1610 de la válvula de control de desviación 1604 también está acoplada a la entrada 1228 de la bomba 1212 y, por lo tanto, también está acoplada a una salida 1612 de la válvula de retención 1608.

La figura 17 muestra un sistema de enfriamiento 1700 que es una variación del sistema de enfriamiento 1600 que tiene un circuito de enfriamiento 1702. Con las siguientes diferencias, el sistema de enfriamiento 1700 es de lo contrario esencialmente el mismo que el sistema de enfriamiento 1600 y de lo contrario funciona de la misma manera que el sistema de enfriamiento 1600. El circuito de enfriamiento 1702 del sistema de enfriamiento 1700 también incluye la válvula solenoide 1304 (figura 13) en la entrada 1248 del compresor 1210 para evitar que el líquido llegue al compresor 1210. Puesto que el evaporador 1204 sería sobrealimentado, como se expone a continuación, y el refrigerante líquido saldría del evaporador 1204, la válvula solenoide 1304 se utiliza para evitar que el líquido llegue al compresor 1210. El circuito de enfriamiento 1702 del sistema de enfriamiento 1700 también incluye la línea de desviación 1603 alrededor del condensador 1208 con la válvula de control de desviación 1604 (figura 16) y la válvula de retención 1608 acoplada entre una válvula reguladora de presión 1703 y a una entrada 1704 del tanque de recepción/compensación 1706 y a la entrada 1228 de la bomba 1212. Una salida 1708 del tanque de recepción/compensación 1706 está acoplada a la entrada 1228 de la bomba 1212. La salida 1610 de la válvula de desviación 1604 también está acoplada a la entrada 1704 del tanque de recepción/compensación 1706 y a la entrada 1228 de la bomba 1212. En las realizaciones expuestas previamente, no se requiere un tanque de recepción/compensación 1706 porque el sistema de enfriamiento es ejecutado en modo economizador de refrigerante bombeado por el controlador 1220 con la misma distribución de refrigerante que en modo (de compresor) DX (líquido entre el condensador y la entrada del evaporador, mezcla de líquido y vapor en el evaporador, y vapor entre la salida del evaporador y la entrada del condensador). Con el tanque de recepción/compensación 1706, el controlador 1220 puede ejecutar el sistema de enfriamiento 1700 para sobrealimentar el evaporador 1204 de modo que haya una mezcla de líquido y vapor entre la salida del evaporador 1246 y el condensador 1208. Esto aumenta la capacidad de enfriamiento del sistema de enfriamiento 1700 en comparación con las realizaciones discutidas previamente, pero la adición del tanque de recepción/compensación 1706 supone un coste adicional. Debe entenderse que el tanque de recepción/compensación 1706 puede utilizarse con las realizaciones expuestas anteriormente y, haciendo esto, se hace que el sistema sea menos sensible a la carga. Es decir, el sistema se puede adaptar a variaciones más amplias en los niveles de carga de refrigerante.

La figura 18 muestra un sistema de enfriamiento 1800 que es una variación del sistema de enfriamiento 1700 que

tiene un circuito de enfriamiento 1802. Con las siguientes diferencias, el sistema de enfriamiento 1800 es de lo contrario esencialmente el mismo que el sistema de enfriamiento 1700 y de lo contrario funciona de la misma manera que el sistema de enfriamiento 1700. El sistema de enfriamiento 1800 tiene una función diferente para la válvula de control de desviación 1604 en la línea de desviación 1603. En este caso, la línea de desviación del condensador 1603 entra en el tanque de recepción/compensación, estando la salida 1610 de la válvula de control de desviación 1604 acoplada a la entrada 1704 del tanque de recepción/compensación 1706, pero no a la entrada 1228 de la bomba 1212. La salida 1612 de la válvula de retención 1608 tampoco está acoplada a la entrada 1704 del tanque de recepción/compensación 1706 y se elimina la válvula reguladora de presión 1703. El controlador 1220 modula la válvula de control de desviación 1604 para modular la presión del tanque de recepción/compensación para forzar el líquido desde el tanque de recepción/compensación 1706 hacia la entrada 1228 de la bomba 1212. Esto es similar al método descrito en la Patente de Estados Unidos n.º 7.900.468. El controlador 1220 puede ser programado de manera ilustrativa para utilizar el método descrito en el documento US 7.900.460.

La figura 19A muestra un sistema de enfriamiento 1900 que es una variación del sistema de enfriamiento 1700 que tiene un circuito de enfriamiento 1902. Con las siguientes diferencias, el sistema de enfriamiento 1900 es de lo contrario esencialmente el mismo que el sistema de enfriamiento 1700 y de lo contrario funciona de la misma manera que el sistema de enfriamiento 1700. La salida 1610 de la válvula de control de desviación 1604 está acoplada a través de la válvula de retención 1904 a la entrada 1704 del tanque de recepción/compensación 1706 y a la entrada 1228 de la bomba 1212 y la salida 1612 de la válvula de retención 1608 también está acoplada a la entrada 1704 del tanque de recepción/compensación 1706 y a la entrada 1228 de la bomba 1212. El refrigerante fluye preferentemente a través del tanque de recepción/compensación 1706 antes de entrar en la entrada 1228 de la bomba 1212, pero puede fluir alrededor del tanque de recepción/compensación 1706.

La figura 19B muestra un sistema de enfriamiento 1900' que también es una variación del sistema de enfriamiento 1700 que tiene un circuito de enfriamiento 1902'. La válvula de control de desviación 1604 y la válvula de retención 1904 se eliminan y la salida de la válvula de retención 1608 está acoplada a la entrada 1704 del tanque de recepción/compensación 1706, pero no a la entrada 1228 de la bomba 1212. En el sistema de enfriamiento 1900', todo el refrigerante fluye a través del tanque de recepción/compensación 1706 antes de entrar en la entrada 1228 de la bomba 1212.

La figura 20 muestra un sistema de enfriamiento 2000 que es una variación del sistema de enfriamiento 1700 que tiene un circuito de enfriamiento 2002. Con las siguientes diferencias, el sistema de enfriamiento 2000 es de lo contrario esencialmente el mismo que el sistema de enfriamiento 1700 y de lo contrario funciona de la misma manera que el sistema de enfriamiento 1700. En el sistema de enfriamiento 2000, una válvula de tres vías 2004 está acoplada entre la salida 1246 del evaporador 1204, la entrada 1248 del compresor 1210 y la entrada 1258 del condensador 1208, eliminándose la válvula solenoide 1304 y la válvula de retención 1218. El controlador 1220 controla la válvula de tres vías 2004 para proporcionar refrigerante al compresor 1210 cuando está en el modo de expansión directa y para desviar el compresor 1210 cuando está en el modo economizador de refrigerante bombeado.

La figura 21 muestra un sistema de enfriamiento 2100 que es una variación del sistema de enfriamiento 1600 que tiene un circuito de enfriamiento 2102. Con las siguientes diferencias, el sistema de enfriamiento 2100 es de lo contrario esencialmente el mismo que el sistema de enfriamiento 1600 y de lo contrario funciona de la misma manera que el sistema de enfriamiento 1600. En el sistema de enfriamiento 2100, un acumulador de línea de succión 2104 está dispuesto en la entrada 1248 del compresor 1210 para evitar que el líquido llegue al compresor 1210. Asimismo, el sistema de enfriamiento 2100 tiene una válvula solenoide 1214 en lugar de la válvula de control de descarga 1504, haciéndose funcionar la válvula solenoide 1214 de la manera descrita para el sistema de enfriamiento 1200.

La figura 22 muestra un sistema de enfriamiento 2200 que es una variación del sistema de enfriamiento 1600 que tiene un circuito de enfriamiento 2202. Con las siguientes diferencias, el sistema de enfriamiento 2200 es de lo contrario esencialmente el mismo que el sistema de enfriamiento 1600 y de lo contrario funciona de la misma manera que el sistema de enfriamiento 1600. El sistema de enfriamiento 2200 incluye un intercambiador de calor de línea de succión 2204 que aumenta la carga del evaporador cuando el sistema de enfriamiento 2200 está en el modo de expansión directa para normalizar la carga del evaporador entre el modo de expansión directa y el modo economizador de refrigerante bombeado. El intercambiador de calor de línea de succión 2204 es desviado cuando el sistema de enfriamiento 2200 está en el modo economizador de refrigerante bombeado por el controlador 1220, que abre la válvula solenoide de desviación 1306 (que en la realización de la figura 22 está acoplada alrededor de una primera ruta de intercambio 2206 del intercambiador de calor de línea de succión 2204, así como la válvula de expansión electrónica 1206). Debe entenderse que el controlador 1220 cierra la válvula solenoide 1306 cuando el sistema de enfriamiento 2200 está en el modo de expansión directa. Una primera ruta de intercambio de calor 2206 del intercambiador de calor de línea de succión 2204 está acoplada entre una junta 2208 a la que están acopladas la salida 2210 de la válvula de retención 1216 y una salida 2212 de la válvula solenoide 1214 y una entrada 2214 de la válvula de expansión electrónica 1206. Una segunda ruta de intercambio de calor 2216 del intercambiador de calor de línea de succión 2204 está acoplada entre la salida 1246 del evaporador 1204 y una junta 2218 a la cual están acopladas la entrada 1248 del compresor 1210 y la entrada 2220 de la válvula de retención 1218.

La figura 23 muestra un sistema de enfriamiento libre 2300 que es una variación del sistema de enfriamiento 1200 que

tiene un circuito de enfriamiento 2302, que sería para aplicaciones en las que el condensador 1208 está a una elevación significativamente más alta que el evaporador 1204. En este caso, cuando el sistema de enfriamiento 2300 está en modo economizador, la columna líquida de refrigerante en la entrada 1248 del evaporador 1204 induce un efecto termosifón que provoca que el refrigerante fluya desde la salida 1262 del condensador 1208 a través de la válvula de expansión electrónica 1206, a través del evaporador 1204, a través de la válvula de retención 1218 y de regreso al condensador 1208. La capacidad de enfriamiento del sistema de enfriamiento 2300 es controlada por el controlador 1220 que modula la válvula de expansión electrónica 1206. La ventaja de este sistema es que el único componente adicional que se requiere añadir a un sistema DX convencional es la válvula de desviación del compresor, que, en la realización que se muestra en la figura 23, es la válvula de retención 1218. Si bien la ventaja del sistema de enfriamiento 2300 es que no se requiere la bomba 1212 (ni la válvula solenoide 1214 y la válvula de retención 1218 asociadas), también se puede utilizar el mismo método de control utilizado para el sistema de enfriamiento 2300 para cualquiera de los sistemas de enfriamiento 1200 - 2200 expuestos previamente siempre que el condensador 1208 esté lo suficientemente alto por encima del evaporador 1204. Dado que el caudal másico del refrigerante inducido por el efecto termosifón aumenta al aumentar la altura de la columna líquida de refrigerante, la bomba 1212 podría apagarse cuando el requisito de carga sea lo suficientemente bajo para la aplicación dada, y podría ahorrarse más energía.

La figura 24 muestra un sistema de enfriamiento 2400 que es otra realización alternativa que tiene un circuito de enfriamiento 2402, en donde un sistema de enfriamiento libre de modo que el sistema de enfriamiento libre 2300 se combina con un sistema de sobrealimentación de líquido conocido del tipo en donde la entrada 1246 del evaporador 1204 es sobrealimentada cuando el sistema de enfriamiento 2400 está en el modo de expansión directa de modo que el refrigerante entra en el evaporador 1204 como un líquido ligeramente subenfriado en lugar de una mezcla de dos fases, suponiendo una distribución más uniforme. En el sistema de enfriamiento 2400, la salida 1262 del condensador 1208 está acoplada a través de la válvula de expansión electrónica 1206 a una entrada 2403 del tanque separador de líquido/vapor 2404. Una salida de vapor 2406 del tanque separador de líquido/vapor 2404 está acoplada a la entrada 1248 del compresor 1210. Una salida de líquido 2408 del tanque separador de líquido/vapor 2404 está acoplada a la entrada 1228 de la bomba 1212. Una salida 2410 del compresor 1210 está acoplada a la entrada 1254 de la válvula de retención 1222. La salida 1256 de la válvula de retención 1222 está acoplada a una entrada 1258 del condensador 1208. Una entrada 2422 de la válvula solenoide 2420 y una entrada 2424 de la válvula solenoide 2424 están acopladas a la salida 1246 del evaporador 1204. Una salida 2418 de la válvula solenoide 2420 está acoplada a la entrada 1258 del condensador 1208. Una salida 2428 de la válvula solenoide 2426 está acoplada a una segunda entrada 2430 del tanque separador de líquido/vapor 2404. El controlador 1220 controla la bomba 1212 de modo que la bomba 1212 esté siempre encendida, ya sea bombeando (haciendo circular) el refrigerante a través del evaporador 1204 y de regreso al tanque separador de líquido/vapor 2404, o bombeando el refrigerante a través del evaporador 1204 con el compresor 1210 desviado y apagado por el controlador 1220 para ahorrar energía. A este respecto, el controlador 1220 controla las válvulas solenoides 2420 y 2426 como se expone a continuación.

Dependiendo del tipo de evaporador utilizado, la distribución uniforme del refrigerante de dos fases en la entrada del evaporador es difícil de mantener en un sistema DX convencional en donde el fluido refrigerante se expande aguas arriba del evaporador. Este es particularmente el caso de los intercambiadores de calor con microcanales. El sistema de enfriamiento 2400 incluye un sistema de sobrealimentación de líquido que tiene una bomba 1212 que proporciona refrigerante líquido a la entrada 1244 del evaporador 1204, mitigando los problemas de distribución. El refrigerante se evapora entonces en el evaporador 1204 y circula como una mezcla de dos fases de regreso al tanque separador de líquido/vapor 2404. El compresor 1210 extrae vapor del tanque separador de líquido/vapor 2404 a través de la salida de vapor 2406 del tanque separador de líquido/vapor 2404, lo comprime a su presión/temperatura de condensación, lo mueve hacia el condensador 1208 donde es condensado y luego devuelto al tanque separador de líquido/vapor 2404 como líquido. La bomba 1212 extrae líquido refrigerante del tanque separador de líquido/vapor 2404 a través de la salida de líquido 2408 del tanque separador de líquido/vapor 2404. El nivel de líquido se mantiene en el tanque a través de una válvula de expansión electrónica 1206 controlada por flotador. A este respecto, la válvula de expansión electrónica 1206 controlada por flotador tiene una entrada de control 2432 acoplada a una salida de control 2434 de un flotador 2436 en el tanque separador de líquido/vapor 2404. La salida de control 2434 del flotador 2436 puede proporcionar de manera ilustrativa una señal de control modulada a la válvula de expansión electrónica o una señal de control de abierta/cerrada a la válvula de expansión electrónica 1206. Debe entenderse que una válvula de expansión mecánica controlada por flotador podría utilizarse alternativamente en lugar de la válvula de expansión electrónica 1206.

La ruta del refrigerante estaría determinada por las válvulas solenoides 2420, 2426. En un clima cálido, el controlador 1220 haría funcionar el sistema de enfriamiento 2400 como se describió anteriormente, controlando la válvula solenoide 2426 entre la salida 1246 del evaporador 1204 y el tanque separador de líquido/vapor 2404 para que esté abierta y la válvula solenoide 2420 para que esté cerrada. En un clima frío, el controlador 1220 apagaría el compresor 1210, abriría la válvula solenoide 2420 y cerraría la válvula solenoide 2426. El sistema de enfriamiento 2400 funcionaría entonces en un modo economizador de refrigerante bombeado como se ha descrito anteriormente, tal como con referencia a la figura 12.

El sistema de enfriamiento 2400 sería ventajoso si el precio del cobre hiciera que un intercambiador de calor con microcanales de aluminio fuese más rentable que un intercambiador de calor de tubo y aleta de cobre. En ese caso,

la capacidad de alimentar refrigerante líquido a la entrada del evaporador aumentaría el rendimiento y la eficiencia del sistema. Y si se requiere un sistema de sobrealimentación de líquido, sería bastante sencillo (desde el punto de vista de los componentes) permitir que el sistema funcionase en modo economizador de refrigerante bombeado, tal como en invierno, ya que únicamente se requeriría la adición de la válvula de desviación de compresor.

La figura 25 muestra un sistema de enfriamiento 2500 que tiene un circuito de enfriamiento de economizador de refrigerante bombeado separado 2502 y un circuito de enfriamiento DX convencional 301 como se describió anteriormente con referencia a la figura 3. El circuito de enfriamiento de economizador de refrigerante bombeado incluye un evaporador 304, la válvula de expansión 306 que puede ser de manera ilustrativa una válvula de expansión electrónica, la bomba de fluido 1212 (figura 12) y el condensador 1208 dispuestos en un circuito de enfriamiento de refrigerante bombeado, tal como se divulga en la Solicitud de Patente de Estados Unidos con n.º de serie 10/904.889. El controlador 320 controla el sistema de enfriamiento 2500 de modo que el circuito de enfriamiento de economizador de refrigerante bombeado únicamente se ejecuta cuando la temperatura ambiente exterior es lo suficientemente fría como para que el circuito de enfriamiento de refrigerante bombeado 2502 puede proporcionar suficiente enfriamiento para satisfacer las demandas de enfriamiento, tales como las de un centro de datos. Mientras que el evaporador 304 del circuito de enfriamiento de economizador de refrigerante bombeado 2502 se muestra en la figura 25 como que está aguas arriba del evaporador 304 del circuito de enfriamiento DX 301, debe entenderse que el evaporador 304 del circuito de enfriamiento de economizador de refrigerante bombeado 2502 podría estar aguas abajo del evaporador 304 del circuito de enfriamiento DX 301.

Las exposiciones de los circuitos de enfriamiento de las figuras 12 - 24 se basaron en un sistema de enfriamiento de un único circuito o en un sistema de dos circuitos en los que los evaporadores son paralelos en la corriente de aire. Los circuitos de enfriamiento de las figuras 12 - 24 también se pueden utilizar para el enfriamiento por etapas como se ha descrito anteriormente, particularmente con referencia a la figura 3, donde los evaporadores de los dos circuitos se organizan en serie en la corriente de aire del aire que se va a enfriar. Debido a esto, la temperatura del aire de entrada es más alta en el circuito aguas arriba que en el circuito aguas abajo. Posteriormente, la temperatura de evaporación también es más alta en el circuito aguas arriba. Entonces, con el sistema por etapas, el circuito aguas arriba podrá conmutar al economizador de refrigerante bombeado antes del segundo, que todavía podría estar funcionando en modo (de compresor) DX dependiendo de la carga. Por ejemplo, dos circuitos de enfriamiento 1202 podrían estar dispuestos con sus evaporadores en serie para proporcionar enfriamiento por etapas. La figura 26 muestra un sistema de enfriamiento 2600 que tiene dos circuitos de enfriamiento 1202 dispuestos para proporcionar enfriamiento por etapas a lo largo de las líneas expuestas anteriormente con respecto a la figura 3. En esta realización, el compresor 1210 en cada uno de los dos circuitos de enfriamiento 1202 puede ser, de manera ilustrativa, un compresor de espiral digital en tándem y controlado como se expuso anteriormente con referencia a las figuras 7 - 11A y 11B.

En un sistema de enfriamiento por etapas que tiene dos o más circuitos de enfriamiento por etapas, al menos el circuito de enfriamiento lo más aguas arriba es un circuito de enfriamiento de capacidad variable y preferentemente el circuito o circuitos de enfriamiento aguas abajo también son circuitos de enfriamiento de capacidad variable. Dicha capacidad variable puede proporcionarse mediante el uso de un compresor de espiral digital en tándem como se expuso anteriormente. También se puede proporcionar mediante el uso de un único compresor de capacidad variable, tal como un compresor de espiral digital, una pluralidad de compresores de capacidad fija u otras combinaciones de compresores de capacidad fija y variable. La bomba de líquido también proporciona una capacidad variable cuando el circuito de enfriamiento es un circuito de enfriamiento de refrigerante bombeado o funcionando en el modo economizador de refrigerante bombeado, tal como el circuito de enfriamiento 1202 funcionando en el modo economizador de refrigerante bombeado. El sistema de enfriamiento se controla basándose en la solicitud de enfriamiento para organizar por etapas el funcionamiento de los circuitos de enfriamiento aguas arriba y aguas abajo para mejorar la eficiencia, como se describe a continuación con referencia al sistema de enfriamiento por etapas 2600 como un ejemplo de sistema de enfriamiento por etapas y el diagrama de flujo de la figura 30.

Con referencia a la figura 30, a medida que la solicitud de enfriamiento se está incrementando, esta alcanza un punto en la etapa 3000, donde se necesita enfriamiento. En la etapa 3002, el controlador 1220 hace funcionar el circuito de enfriamiento 1202 que es el circuito de enfriamiento aguas arriba para proporcionar enfriamiento. A medida que la solicitud de enfriamiento continúa aumentando, el controlador 1220 hace funcionar el circuito de enfriamiento 1202 para proporcionar una mayor capacidad para satisfacer la solicitud de enfriamiento. Finalmente, la solicitud de enfriamiento alcanza un punto en la etapa 3004 donde es más eficiente añadir un circuito de enfriamiento 1202 que es un circuito de enfriamiento aguas abajo para proporcionar capacidad de enfriamiento adicional en lugar de únicamente aumentar la capacidad del circuito de enfriamiento 1202 que es el circuito de enfriamiento aguas arriba. Este punto es antes de que el circuito de enfriamiento 1202 que es el circuito de enfriamiento aguas arriba alcance su capacidad máxima. En 3006, el controlador 1220 hace funcionar un circuito de enfriamiento 1202 que es un circuito de enfriamiento aguas abajo para proporcionar enfriamiento adicional y equilibra el funcionamiento de los circuitos de enfriamiento 1202 que se están haciendo funcionar para proporcionar enfriamiento con el fin de optimizar la eficiencia. La descripción anterior del control de los compresores de espiral digital en tándem 710, 718 es un ejemplo de tal control.

La ventaja de utilizar un sistema de enfriamiento con enfriamiento por etapas como se expuso anteriormente con este

5 economizador de refrigerante bombeado es que se pueden ganar horas de funcionamiento en el modo economizador de refrigerante bombeado en el circuito de enfriamiento aguas arriba, ya que está funcionando a una temperatura de evaporación más alta de lo que estaría cualquiera de los circuitos de enfriamiento en un sistema de evaporador paralelo habitual de la técnica anterior. Así pues, se puede ahorrar energía durante más horas del año. Cuanto más frío es el clima, mayor es el aumento de eficiencia energética anual que se puede lograr.

10 Como se ha expuesto, en un sistema de refrigeración por compresión de vapor habitual, se utiliza un gran porcentaje de la potencia del sistema para comprimir el vapor refrigerante que sale del evaporador, aumentando así la temperatura de condensación del refrigerante para permitir la evacuación de calor en el condensador. Como se ha descrito anteriormente, particularmente con referencia a la figura 12, en un aspecto de la presente divulgación, con el fin de ahorrar energía en un sistema de refrigeración por compresión de vapor, se puede utilizar una bomba para mover el refrigerante desde el condensador hacia el evaporador cuando las temperaturas exteriores son lo suficientemente bajas como para proporcionar un enfriamiento "libre" sin la necesidad de comprimir el vapor refrigerante. Tal sistema (economizador) de refrigerante bombeado es un sistema de enfriamiento de precisión con el objetivo de ahorrar energía, de alta eficiencia y de rendimiento del sistema optimizado. El control del sistema es importante para lograr estos objetivos. Más específicamente, los objetivos de control se dividen en tres niveles con diferentes prioridades, en concreto:

20 1. Nivel de seguridad de componentes: garantizar la seguridad de componentes clave

- i) Prevención de cavitación de la bomba: supervisión de subenfriamiento
- ii) Garantizar el enfriamiento y la lubricación de la bomba
- iii) Protección contra la congelación del serpentín del evaporador

25 2. Nivel de rendimiento: ejecutar el sistema funcionalmente y sin problemas

- i) Mantener la temperatura del aire controlada hasta el punto de ajuste
- ii) Conmutación de modo de funcionamiento correcto y suave
- iii) Detección de fallas y manejo de alarmas

30 3. Nivel de optimización

- i) Ampliar las horas de funcionamiento del economizador
- ii) Detección y diagnóstico avanzado de fallas

35 Los recursos disponibles para que el sistema alcance los objetivos mencionados anteriormente son los accionadores instalados, que incluyen una bomba de velocidad variable (por ejemplo, la bomba 1212 de la figura 12), un ventilador del condensador de velocidad variable (por ejemplo, el ventilador 1224 de la figura 12) y una válvula de expansión electrónica (EEV) (por ejemplo, la EEV 1206 de la figura 12). El primer paso del diseño de control es elaborar una estrategia de control para decidir cómo asignar los recursos a diferentes tareas de control. Dicho de otra forma, dado que todo el sistema economizador es un sistema de múltiples entradas y múltiples salidas (con múltiples accionadores y múltiples variables que es necesario controlar), cómo desacoplar el sistema y determinar la relación entrada-salida es la solución que implementa la siguiente estrategia de control. Esta estrategia de control se resume sobre una base de alto nivel de la siguiente manera:

- Manipular el ventilador del condensador para controlar la temperatura del refrigerante que sale del condensador;
- Manipular la bomba para controlar la capacidad del sistema y, en última instancia, la temperatura del aire en el espacio controlado;
- Manipular la EEV para controlar el diferencial de presión a través de la bomba.

50 El sistema economizador de refrigerante bombeado de entrada múltiple y de salida múltiple se controla de una manera relativamente simple. El sistema se desacopla en tres bucles de control de retroalimentación que regulan sus variables controladas manipulando sus entradas de control correspondientes de la siguiente manera:

55 La estrategia de control mencionada anteriormente beneficia al sistema de varias maneras:

1. El ventilador del condensador controla la temperatura del refrigerante hasta un punto de ajuste de manera que

- a. La temperatura del refrigerante no será lo suficientemente baja como para congelar el serpentín del evaporador;
- b. El subenfriamiento se maximiza para evitar la cavitación de la bomba;
- c. La velocidad del ventilador del condensador se optimiza para ahorrar energía en el sentido de que la velocidad del ventilador no se puede reducir aún más sin comprometer la capacidad de subenfriamiento y de enfriamiento.

65 2. La velocidad de la bomba controla el caudal de refrigerante, y la capacidad a su vez, controlando la temperatura del aire de la sala al punto de ajuste dado por el usuario.

- a. La velocidad de la bomba es aproximadamente lineal con respecto a la capacidad para una temperatura de refrigerante fija, que se mantiene mediante el control de velocidad del ventilador del condensador.
- b. La linealidad facilita una alta precisión de control de la temperatura del aire en el espacio controlado.

3. La EEV controla la presión diferencial a través de la bomba de manera que

- a. El motor de la bomba es enfriado suficientemente;
- b. Los cojinetes de la bomba están lo suficientemente lubricados.

La estrategia de control anterior optimiza todo el consumo de energía del sistema en el sentido de que no se puede se realizar un mayor consumo de energía sin sacrificar el rendimiento de enfriamiento.

La figura 27 es un esquema de un sistema de enfriamiento 2700 que tiene un circuito de enfriamiento 2702 que tiene un circuito de enfriamiento DX 2704 y un economizador de refrigerante bombeado 2706. El sistema de enfriamiento 2700 puede consistir físicamente en tres unidades: una unidad de interior 2708 (de manera ilustrativa, un acondicionador de aire para una sala de informática), una unidad economizadora de refrigerante bombeado 2710 y una unidad condensadora enfriada por aire 2712. La unidad de interior 2708 está ubicada dentro de la sala que se va a enfriar, tal como una sala de centro de datos, y contiene los componentes principales del circuito de enfriamiento DX (que no sean el condensador 1208), incluyendo el evaporador 1204, el compresor 1210 y la válvula de expansión directa estándar y también accionar las válvulas necesarias para ejecutar el sistema en modo economizador de refrigerante bombeado. La unidad economizadora de refrigerante bombeado 2710 se encuentra fuera de la sala y contiene los componentes principales, incluyendo la bomba 1212, etc. La unidad economizadora de refrigerante bombeado 2710 utiliza la bomba de líquido 1212 para mover el refrigerante desde el condensador 1208 hacia el evaporador 1204 cuando las temperaturas exteriores son lo suficientemente bajas como para proporcionar un enfriamiento "libre" sin ejecutar un sistema de enfriamiento de expansión directa. La unidad condensadora 2712 también se encuentra fuera de la sala que se va a enfriar, pero separada de la unidad economizadora de refrigerante bombeado 2710. Esta coopera con una de las otras dos unidades 2708, 2710 de acuerdo con la demanda de evacuación de calor. En la figura 27, la "T" en un círculo es un sensor de temperatura y la "P" en un círculo es un sensor de presión, que, en cada caso, están acoplados al controlador 1220, tal como a una de las placas controladoras 2718, 2720, 2722 respectivas (que se exponen a continuación). Los sensores de temperatura incluyen un sensor de temperatura del aire ambiente exterior (se muestra el condensador adyacente 1208) y un sensor de temperatura de aire de suministro (o aire de retorno de la sala) (se muestra el evaporador adyacente 1204). Los sensores de temperatura restantes detectan las temperaturas del refrigerante en las ubicaciones indicadas del circuito de enfriamiento 1202 y los sensores de presión detectan las presiones del refrigerante en las ubicaciones indicadas del circuito de enfriamiento 1202.

Cuando el sistema de enfriamiento 2700 funciona en modo economizador de refrigerante bombeado, existen tres bucles de control de retroalimentación para el control básico del modo economizador de refrigerante bombeado, tal y como se muestra en la figura 28.

Un bucle de control de retroalimentación de temperatura de refrigerante 2800 controla la temperatura del refrigerante hasta un punto de ajuste regulando la velocidad del ventilador del condensador. La temperatura del refrigerante se mide en la salida de la bomba o en la salida del condensador. En un aspecto, el punto de ajuste se ajusta en el intervalo de 2,7 °C (37 °F) a 5,5 °C (42 °F). Debe entenderse que estos valores son a modo de ejemplo y que el punto de ajuste fijo puede ser diferente de 2,7 °C (37 °F) a 5,5 °C (42 °F) También debe entenderse que el punto de ajuste se puede ingresar manualmente, tal como por un usuario, o estar determinado por un controlador tal como el controlador 1220.

Un bucle de control de retroalimentación de la temperatura del aire ambiente 2802 controla la temperatura del aire de la sala hasta el punto de ajuste ingresado por un usuario, tal como en el controlador 1220, regulando la velocidad de la bomba.

Un bucle de control de retroalimentación de presión diferencial de bomba de líquido 2804 mantiene la presión diferencial (PSID [kPa]) de bomba de líquido dentro de un intervalo dado regulando la abertura de la EEV 1206. En un aspecto, el intervalo dado se ajusta para que sea de 137,895 kPa (20 PSID) a 172,369 kPa (25 PSID). El intervalo dado está determinado por sus puntos de ajuste superior e inferior. Debe entenderse que estos valores son a modo de ejemplo y que el intervalo dado puede ser diferente de 137,895 kPa (20 PSID) a 172,369 kPa (25 PSID). También debe entenderse que el intervalo dado podría ser ingresado por un usuario.

Cada bucle de control 2800, 2802, 2804 puede ser de manera ilustrativa un tipo de control de proceso de bucle de control y preferentemente puede ser un bucle PID. En la realización que se muestra en la figura 28, cada bucle de control 2800, 2802, 2804 se muestra implementado con un controlador 2806, 2808, 2810 separado, respectivamente, tal como para co-ubicar conjuntamente una placa o placas de controlador 2718, 2720, 2722 respectivas (figura 27) que tienen cada controlador 2806, 2808, 2810 cerca del dispositivo que está controlando y los controladores 2806,

2808, 2810 se comunican entre sí, tal como a través de un bus de red de área del controlador (CAN). Por ejemplo, la placa o placas controladoras 2718 que tienen el controlador 2806 están ubicadas cerca del condensador 1208 en el que el controlador 2806 controla la velocidad del ventilador del condensador 1224. La placa controladora 2720 que tiene el controlador 2808 está ubicada cerca de la bomba 1212 en la que el controlador 2808 controla la velocidad de la bomba 1212. La placa o placas controladoras 2722 que tienen el controlador 2810 están co-ubicadas cerca de la EEV 1206 en la que el controlador 2810 controla la posición de la EEV 1206. Si bien los controladores 2806, 2808, 2810 están implementados en placas controladoras ubicadas por separado en esta realización, los controladores 2806, 2808 y 2810 se consideran colectivamente parte del controlador 1220. Debe entenderse que los bucles de control 2800, 2802 y 2804 podrían estar implementados en una placa o placas controladoras en una única ubicación junto con el resto de las funciones de control del controlador 1220.

El bucle de control de retroalimentación de temperatura de refrigerante 2800 tiene una salida en la que se emite una señal de control de velocidad del ventilador del condensador y tiene como entradas el punto de ajuste de temperatura del refrigerante y una señal de retroalimentación que es la temperatura real del refrigerante, tal como a modo de ejemplo y no de limitación, en la salida del condensador. El bucle de control de retroalimentación de temperatura de aire ambiente 2802 tiene una salida en la que se emite una señal de control de velocidad de bomba de líquido y tiene como entradas el punto de ajuste de temperatura de aire ambiente y una señal de retroalimentación que es la temperatura real del aire ambiente, tal como a modo de ejemplo y no de limitación, en la entrada de aire de retorno del sistema de enfriamiento. El bucle de retroalimentación de control diferencial de presión de bomba de líquido 2804 tiene una salida en la que se emite una señal de posición de válvula de expansión electrónica y tiene como entradas el intervalo dado y una señal de retroalimentación que es un diferencial de presión a través de la bomba de líquido.

Con el fin de mejorar aún más el rendimiento transitorio del control de temperatura del refrigerante (que se controla controlando la velocidad del ventilador del condensador 1224 mediante el bucle de control 2800), se aplica un controlador de alimentación predictiva (controlador 2800-1 de la figura 28) para estabilizar la temperatura del refrigerante utilizando la señal de control de velocidad de la bomba 2803 del controlador 2808 y la señal de control de la EEV 2805 del controlador 2810 como sus entradas. La razón es que la temperatura del refrigerante está relacionada con el caudal que puede estimarse según la velocidad de la bomba y la apertura de la EEV. Las salidas de los controladores 2808 y 2810 de la figura 28 son alimentados con anticipación al bucle de control de velocidad del ventilador del condensador 2800. La señal de velocidad del ventilador del condensador consiste en dos partes: una señal de retroalimentación y una señal de alimentación predictiva. De este modo, el ventilador del condensador puede responder al ser accionado por la señal de alimentación predictiva antes de que la señal de retroalimentación regrese.

Los tres bucles de control tienen diferentes magnitudes de tiempo de respuesta, lo que evita la situación en la que múltiples elementos de control puedan interactuar para crear inestabilidad en el control.

Esta estrategia de control se aplica particularmente al sistema economizador de refrigerante bombeado y también se puede aplicar a la clase de sistemas de enfriamiento o de aire acondicionado con circulación de refrigerante bombeado.

La descripción anterior del sistema de enfriamiento 2700 está basada en un sistema de enfriamiento que tiene un circuito de enfriamiento. Se puede aplicar una estrategia de control similar a los sistemas de enfriamiento que tienen dos circuitos de enfriamiento, tales como aquellos dispuestos para proporcionar enfriamiento por etapas como se expuso anteriormente. Para un sistema de enfriamiento que tiene dos circuitos de enfriamiento, tal como que tiene enfriamiento por etapas con dos circuitos de enfriamiento, el ventilador del condensador y la EEV en el segundo circuito realizan las mismas tareas de control respectivas que en el primer circuito. La capacidad de enfriamiento está controlada por las velocidades de bomba acumuladas. Un algoritmo de control, un ejemplo del cual se expone a continuación, determina la capacidad aportada por cada bomba y, por lo tanto, decide la velocidad de cada bomba.

Como se ha expuesto, cuando el sistema de enfriamiento está en el modo economizador de refrigerante bombeado, existen tres parámetros controlados principales: temperatura ambiente, temperatura del refrigerante y diferencial de presión de la bomba (presión de salida menos presión de entrada). La temperatura ambiente se controla modulando la velocidad de la bomba mediante un accionador de frecuencia variable. En un sistema de enfriamiento que tiene enfriamiento por etapas con dos o más circuitos de enfriamiento, cuando el sistema de enfriamiento está en el modo economizador de refrigerante bombeado, el requisito de carga de enfriamiento determinará si es necesario hacer funcionar la bomba de uno o de más de uno de los circuitos de enfriamiento.

En una realización ilustrativa, una rutina de arranque de la bomba requiere hacer funcionar la bomba a velocidades sucesivamente más altas hasta que se establece un flujo de refrigerante. A cada velocidad, el controlador 1220 verifica si se ha establecido el flujo de refrigerante, determinado por la presión diferencial de bomba que es al menos un mínimo. Si este fuese el caso, la velocidad de la bomba cambia de la velocidad de arranque a la velocidad de control, tal y como se ha descrito anteriormente. Si no existió, el controlador 1220 apaga la bomba por un período de tiempo y luego la hace funcionar a la siguiente velocidad más alta.

En un aspecto, en el caso de una conmutación de un circuito de enfriamiento del modo de expansión directa al modo economizador de refrigerante bombeado, a la bomba de ese circuito de enfriamiento se le dará una velocidad inicial basándose en la solicitud de enfriamiento en el momento de la conmutación y pasará a su velocidad inicial después

de que se complete la rutina de arranque. En sistemas de enfriamiento que tienen enfriamiento por etapas con una pluralidad de circuitos de enfriamiento, esto significará que, dependiendo de la carga, las bombas de más de un circuito de enfriamiento pueden arrancar inmediatamente en la conmutación.

5 El diferencial de presión de la bomba debe mantenerse por encima de un mínimo para que se proporcione flujo de enfriamiento y lubricación al motor de la bomba y a los cojinetes. El diferencial de presión de la bomba para cada una de las bombas 1212 (aguas arriba) y de las bombas 1212 (aguas abajo) se controla mediante la posición de la EEV 1206 del circuito de enfriamiento 1202 (aguas arriba) y el circuito de enfriamiento 1202 (aguas abajo) respectivo. Cuando el controlador 1220 conmuta cualquiera de los circuitos de enfriamiento al modo economizador de refrigerante bombeado, cambia su control de la EEV 1206 de ese circuito de enfriamiento 1202 de control de sobrecalentamiento a control manual, momento en el que el controlador 1220 proporciona una señal a esa EEV 1206 para controlar su posición basándose en diferencial de presión de la bomba.

15 En una realización ilustrativa, el controlador 1220 conmuta el sistema de enfriamiento, tal como el sistema de enfriamiento 2600, al modo economizador de refrigerante bombeado cuando existe una diferencia mínima entre la temperatura del aire de retorno de la sala que entra en el sistema de enfriamiento y la temperatura del aire exterior o la temperatura del aire exterior está por debajo de un mínimo. En un aspecto, se utilizan para la comparación el más bajo de la temperatura real del aire de retorno de la sala y el punto de ajuste. En un aspecto, la diferencia mínima de temperatura entre el aire de retorno de la sala es de 7,2 °C (45 °F) y la temperatura mínima del aire exterior es de 1,6 °C (35 °F). Debe entenderse que estas temperaturas son ejemplos y que se puede utilizar una diferencia de temperatura mínima distinta de 7,2 °C (45 °F) y una temperatura mínima del aire exterior distinta de 1,6 °C (35 °F). Tal y como se ha expuesto anteriormente, en un aspecto, los circuitos de enfriamiento en un sistema que tiene enfriamiento por etapas pueden controlarse por separado, en cuyo caso la temperatura del aire ambiente utilizada para la comparación para cada circuito de enfriamiento puede ser la temperatura real del aire de retorno de la sala (o su punto de ajuste si es más bajo) que entra en el evaporador 1204 de ese circuito de enfriamiento 1202.

25 En un aspecto, el controlador 1220 conmutará el sistema de enfriamiento del modo economizador de refrigerante bombeado al modo de expansión directa cuando el modo economizador de refrigerante bombeado no siga el ritmo de la demanda de enfriamiento. En el caso de que el sistema de enfriamiento haya realizado el enfriamiento por etapas, en un aspecto, el controlador 1220 primero conmutará el circuito de enfriamiento lo más aguas abajo del modo economizador de refrigerante bombeado al modo de expansión directa y, si esto no proporciona suficiente enfriamiento, entonces conmuta sucesivamente cada circuito de enfriamiento aguas arriba siguiente a su vez al modo de expansión directa.

35 En un aspecto, el controlador 1220 también conmuta cada circuito de enfriamiento del modo economizador de refrigerante bombeado al modo de expansión directa si la presión diferencial de bomba de la bomba 1212 de ese circuito de enfriamiento cae por debajo de un mínimo predeterminado durante un período de tiempo predeterminado. Esto evita la falla de la bomba debido a la presión diferencial de bomba insuficiente.

40 En un aspecto, el controlador 1220 también conmuta cada circuito de enfriamiento del economizador de refrigerante bombeado al modo de expansión directa si la temperatura del refrigerante que sale de la bomba de ese circuito de enfriamiento cae por debajo de una temperatura predeterminada durante un período de tiempo predeterminado.

45 En un aspecto, el controlador 1220 también puede conmutar cada circuito de enfriamiento del modo economizador de refrigerante bombeado al modo de expansión directa en el caso de una condición que indique una falla del modo economizador de refrigerante bombeado, tal como una pérdida de potencia a la bomba.

50 Las válvulas de expansión termostáticas (TXV) tradicionales se utilizan para regular el flujo de refrigerante para controlar el sobrecalentamiento del evaporador para unidades de refrigeración y aire acondicionado de expansión directa que puedan experimentar cargas que varíen. Las TXV se accionan mecánicamente únicamente mediante diferencias de presión dentro del aparato. Por lo tanto, una TXV no interactúa directamente con el esquema de control que se utiliza para regular la capacidad del compresor, lo que significa que la TXV únicamente puede comportarse de manera reactiva a los ajustes en la capacidad del compresor. En un sistema que utiliza modulación por ancho de pulsos (PWM) para controlar la capacidad del compresor mediante descarga, las interrupciones persistentes del flujo de masa del compresor pueden variar la presión de succión, que presenta la posibilidad de un comportamiento inestable de la TXV y un control del sobrecalentamiento deficiente.

60 Tal y como se ha expuesto anteriormente, en diversos aspectos de las presentes divulgaciones, los dispositivos de expansión utilizados en los circuitos de enfriamiento son válvulas de expansión y, preferentemente, válvulas de expansión electrónicas ("EEV"). Debería entenderse, no obstante, que se pueden utilizar dispositivos de expansión que no sean válvulas de expansión, tales como tubos capilares.

65 Una EEV ofrece dos ventajas principales sobre una TXV: permite el funcionamiento a una presión de condensación reducida, lo que contribuye a una mayor eficiencia energética del sistema, y utiliza la lógica programada para mover la válvula para controlar el sobrecalentamiento. Además, si bien un compresor de espiral digital en tándem ofrece un intervalo amplio de capacidades, también dificulta el control del sobrecalentamiento. Debido a esto, una estrategia de

control para la o las EEV que interactúan directamente con la estrategia de control del compresor para proporcionar un movimiento más adecuado y predecible de la válvula de la EEV, y también permite la supervisión y el ajuste de la posición de la válvula por parte de los usuarios finales.

- 5 Una estrategia de control ilustrativa para la EEV 1206 de cada circuito de enfriamiento elige el modo de control de sobrecalentamiento de la EEV más apropiado comparando el estado de funcionamiento actual de ambos compresores (el compresor de capacidad fija y el compresor de espiral digital de capacidad variable) en el compresor digital en tándem con un grupo de parámetros relacionados que están ubicados en el controlador 1220 y ajustados de manera ilustrativa por un usuario. Esto contribuye a una mayor previsibilidad, flexibilidad y a un mayor nivel de especialización específico para el control de la capacidad del compresor de espiral digital (PWM) que no se puede lograr con aplicaciones tradicionales de la TXV o con la EEV que emplean una lógica de control estándar.

15 La estrategia de control de la EEV ilustrativa, implementada de manera ilustrativa en el controlador 1220 tal como en *software*, utiliza tres tipos de control de sobrecalentamiento: sincronizado, de correlación del sistema y constante. A continuación, se proporciona un sumario de cada uno de estos modos. Debe entenderse que esta estrategia de control ilustrativa puede implementarse en el controlador 320 y utilizarse para controlar la EEV 306 del circuito de enfriamiento 301 y la EEV 314 del circuito de enfriamiento 302.

20 1. Modo sincronizado: cada vez que se descarga el compresor de espiral digital de capacidad variable, el controlador 1220 acciona la EEV 1206 desde su posición actual hasta la posición de apertura mínima. Una vez que el compresor de espiral digital de capacidad variable deja de descargarse, el controlador 1220 abre la EEV y puede abrirse a las posiciones necesarias para controlar el sobrecalentamiento hasta que el compresor de espiral digital de capacidad variable se descargue de nuevo. La posición abierta mínima puede ser diez por ciento abierta, pero debe entenderse que puede ser distinta a diez por ciento.

25 2. Modo de correlación del sistema: cada vez que se descarga el compresor de espiral digital de capacidad variable, el controlador 1220 mantiene la EEV 1206 en su posición actual hasta que el compresor de espiral digital deja de descargarse. Una vez que la descarga se ha detenido, la EEV es entonces libre para cambiar su posición para lograr el control del sobrecalentamiento hasta que el compresor de espiral digital de capacidad variable se descargue de nuevo.

30 3. Modo constante: el controlador 1220 determina constantemente el sobrecalentamiento y cambia la posición de la EEV 1206 para lograr el control del sobrecalentamiento, independientemente de la actividad del compresor de espiral digital de capacidad variable. El modo constante es el modo por defecto.

35 Los siguientes parámetros añadidos a una interfaz de usuario habitual determinan cuál de los tres modos de control de sobrecalentamiento se utiliza para diferentes condiciones de funcionamiento del compresor. Debe entenderse que los valores para los parámetros expuestos a continuación son a modo de ejemplo y que los parámetros pueden tener otros valores.

40 Parámetro A) "Umbral del modo de sobrecalentamiento" [Mín.: 19 %, Def.: 80 %, Máx.: 80 %]: representa el % de carga de PWM del compresor de espiral digital de capacidad variable en el cual el modo de control de sobrecalentamiento puede cambiar cuando únicamente el compresor de espiral digital de capacidad variable del compresor de espiral digital en tándem está encendido.

45 Parámetro B) "Umbral de sobrecalentamiento digital + fijo" [Mín.: 19 %, Def.: 19 % Máx.: 100 %]: representa el porcentaje de carga de PWM del compresor de espiral digital de capacidad variable en el cual el modo de control de sobrecalentamiento puede cambiar cuando tanto el compresor de espiral digital de capacidad variable como el compresor de capacidad fija del compresor digital en tándem están encendidos.

50 Parámetro C) "Control de sobrecalentamiento digital + fijo" [Correlación del sistema o Constante]: este parámetro se utiliza para elegir un modo de control de sobrecalentamiento global cuando tanto el compresor de espiral digital de capacidad variable como el compresor de capacidad fija del compresor digital en tándem están encendidos.

55 Los siguientes ejemplos de lógica se aplican entonces en un programa de *software* de un controlador, tal como el controlador 1220, para comparar los valores de los parámetros A, B y C con el estado de funcionamiento actual del compresor de espiral digital en tándem para determinar qué modo de control de sobrecalentamiento debe utilizarse, también como se muestra en el diagrama de flujo de la figura 29 que muestra la lógica del programa de *software* implementado en el controlador, tal como el controlador 1220.

60 Cuando únicamente el compresor de capacidad fija del compresor digital en tándem está encendido:

- La EEV funcionará en modo constante para el control de sobrecalentamiento.

65 Cuando únicamente el compresor de espiral digital de capacidad variable del compresor digital en tándem está encendido:

- Si el porcentaje de carga de PWM del compresor de espiral digital de capacidad variable es menor que lo ajustado para el parámetro "Umbral de modo de sobrecalentamiento" "A", la EEV funcionará en modo sincronizado para el control de sobrecalentamiento.
- Si el porcentaje de carga de PWM del compresor de espiral digital de capacidad variable es mayor o igual que lo ajustado para el parámetro "Umbral de modo de sobrecalentamiento" "A", la EEV funcionará en modo de correlación del sistema para el control de sobrecalentamiento.

10 Cuando tanto el compresor de espiral digital de capacidad variable como los compresores de capacidad fija del compresor digital en tándem están encendidos:

- Si el parámetro "Control de sobrecalentamiento digital + fijo" "C" está ajustado en "Constante", la EEV funcionará en modo constante para el control de sobrecalentamiento.
- Si el parámetro "Control de sobrecalentamiento digital + fijo" "C" está ajustado en "Correlación del sistema", y el porcentaje de carga de PWM del compresor de espiral digital de capacidad variable es menor que lo ajustado para el parámetro "Umbral de sobrecalentamiento digital + fijo" "B", la EEV funcionará en modo sincronizado para el control de sobrecalentamiento.
- Si el parámetro "Control de sobrecalentamiento digital + fijo" "C" está ajustado en "Correlación del sistema", y el porcentaje de carga de PWM del compresor de espiral digital de capacidad variable es mayor o igual a lo ajustado para el parámetro "Umbral de sobrecalentamiento digital + fijo" "B", la EEV funcionará en modo de correlación del sistema para el control de sobrecalentamiento.

25 La estrategia de control de la EEV anterior brinda las siguientes ventajas: un control más estable del sobrecalentamiento del evaporador mientras que el compresor de espiral digital de capacidad variable se carga y se descarga; un control adecuado del sobrecalentamiento mantiene la eficiencia energética del compresor, y la reducción de la posibilidad de daños en el compresor o compresores como consecuencia del reflujo del refrigerante líquido. Además, el mecanismo físico de la propia EEV permite reducciones en la presión de condensación del refrigerante, lo que aumenta la eficiencia energética del compresor digital en tándem. Asimismo, un usuario puede ajustar la selección del modo de sobrecalentamiento de la EEV y los puntos de transición mediante una interfaz de usuario (que no se muestra) al controlador 1220.

35 Los términos relativos a la posición espacial, tal como "interior", "externo/a", "debajo de", "por debajo de", "inferior", "por encima de", "superior" y similares, pueden utilizarse en el presente documento para mayor facilidad de la descripción para describir un elemento o relaciones de características de otros elementos o característica(s) como se ilustra en las figuras. Los términos relativos a la posición espacial pueden estar concebidos para abarcar diferentes orientaciones del dispositivo en uso o en funcionamiento, además de la orientación que se representa en las figuras. Por ejemplo, si el dispositivo en las figuras está dado la vuelta, elementos descritos como "por debajo de" o "debajo de" otros elementos o características pueden entonces estar orientados "por encima de" los otros elementos o características. De este modo, el término de ejemplo "por debajo de" puede abarcar tanto una orientación de por encima y por debajo. El dispositivo puede estar orientado de otro modo (rotado a 90 grados o en otras orientaciones) y las descripciones relativas a la posición espacial utilizadas en el presente documento deben interpretarse en consecuencia.

45 Como se usa en el presente documento, los términos controlador, módulo de control, sistema de control o similares pueden referirse, ser parte de o incluir un circuito integrado de aplicación específica (ASIC); un circuito electrónico; un circuito lógico combinacional; una matriz de puertas lógicas programables en campo (FPGA); un procesador (compartido, dedicado o grupal) que ejecuta un código; un controlador lógico programable, un sistema de control programable tal como un sistema de control basado en procesador que incluye un sistema de control por ordenador, un controlador de proceso tal como un controlador PID u otros componentes de *hardware* adecuados que proporcionan la funcionalidad descrita o que proporcionan la funcionalidad anterior cuando son programados con el *software* como se describe en el presente documento; o una combinación de algunos o de todos los anteriores, tal como en un sistema en chip. El término módulo puede incluir una memoria (compartida, dedicada o grupal) que almacena el código ejecutado por el procesador.

55 El término *software*, como se ha utilizado anteriormente, puede referirse a programas de ordenador, rutinas, funciones, clases y/u objetos y pueden incluir *firmware* y/o un microcódigo.

60 Los aparatos y los métodos descritos en el presente documento pueden implementarse mediante *software* en uno o más programas informáticos ejecutados por uno o más procesadores de uno o más controladores. Los programas informáticos incluyen instrucciones ejecutables por procesador que están almacenadas en un medio legible por ordenador tangible no transitorio. Los programas informáticos también pueden incluir datos almacenados. Ejemplos no limitantes del medio legible por ordenador tangible no transitorio son la memoria no volátil, el almacenamiento magnético y el almacenamiento óptico.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de enfriamiento (300), comprendiendo:

5 un armario (400) que tiene una entrada de aire (402) y una salida de aire (404);
 una unidad de desplazamiento de aire (408) dispuesta en el armario (404);
 un compresor en tándem (710), un condensador (308, 1208), una válvula de expansión electrónica (306, 1206) y
 un evaporador (304, 1204) dispuestos en un circuito de enfriamiento de expansión directa (301);
 10 el compresor en tándem (710) que incluye un compresor de espiral digital de capacidad variable (710V) y un
 compresor de capacidad fija (710F);
 un controlador (320, 1220) acoplado a la válvula de expansión electrónica (306, 1206) que controla la válvula de
 expansión electrónica (306, 1206), seleccionando el controlador (320, 1220) cuál de una pluralidad de modos de
 control de sobrecalentamiento utilizar en el funcionamiento de la válvula de expansión electrónica (306, 1206) en
 15 función de los parámetros de control y un estado de funcionamiento actual de cada uno de los compresores
 digitales de capacidad variable (710V) y del compresor de capacidad fija (710F) del compresor en tándem (710).

2. El sistema de enfriamiento de la reivindicación 1, en donde los modos de control de sobrecalentamiento incluyen
 un modo sincronizado, un modo de correlación del sistema y un modo constante, en donde
 en el modo sincronizado, cada vez que se descarga el compresor de espiral digital de capacidad variable (710V), el
 20 controlador (320, 1220) acciona la válvula de expansión electrónica (306, 1206) desde su posición actual hacia una
 posición abierta mínima hasta que el compresor de espiral digital de capacidad variable (710V) deja de descargarse
 y, una vez que el compresor de espiral digital de capacidad variable (710V) deja de descargarse, el controlador (320,
 1220) ajusta la posición de la válvula de expansión electrónica (306, 1206) para lograr un sobrecalentamiento deseado;
 en el modo de correlación del sistema, cada vez que se descarga el compresor de espiral digital de capacidad variable
 25 (710V), el controlador (320, 1220) retiene la válvula de expansión electrónica (306, 1206) en su posición actual hasta
 que el compresor de espiral digital de capacidad variable (710V) deja de descargarse y, una vez que el compresor de
 espiral digital de capacidad variable (710V) deja de descargarse, el controlador (320, 1220) ajusta la posición de la
 válvula de expansión electrónica (306, 1206) para lograr un sobrecalentamiento deseado; y
 en el modo constante, el controlador (320, 1220) ajusta la posición de la válvula de expansión electrónica (306, 1206)
 30 para lograr el sobrecalentamiento deseado, independientemente de si el compresor de espiral digital de capacidad
 variable (710V) se está descargando o cargando.

3. El sistema de enfriamiento de la reivindicación 2, en donde los parámetros de control incluyen un parámetro de
 umbral de modo de sobrecalentamiento A, un parámetro de umbral de sobrecalentamiento fijo digital plus B y un
 35 parámetro de control de sobrecalentamiento plus digital C, el controlador:

cuando únicamente está encendido el compresor de capacidad fija (710V) del compresor en tándem (710), hacer
 funcionar la válvula de expansión electrónica (306, 1206) en el modo constante;
 cuando únicamente está encendido el compresor de espiral digital de capacidad variable (710V) del compresor en
 40 tándem (710), hacer funcionar la válvula de expansión electrónica (306, 1206) en el modo sincronizado cuando un
 porcentaje de carga de modulación de ancho de pulso del compresor de espiral digital de capacidad variable (710,
 718) es menor que el parámetro A del umbral del modo de sobrecalentamiento y hacer funcionar la válvula de
 expansión electrónica en el modo de correlación del sistema cuando el porcentaje de carga de modulación de
 ancho de pulso del compresor de espiral digital de capacidad variable (710V) es mayor o igual que el parámetro
 45 A; y
 cuando tanto el compresor de espiral digital de capacidad variable (710V) como el compresor de capacidad fija
 (710F) del compresor en tándem (710) están encendidos, hacer funcionar la válvula de expansión electrónica (306,
 1206) en el modo constante cuando el parámetro C se establece en constante, hacer funcionar la válvula de
 expansión electrónica (306, 1206) en el modo sincronizado cuando el parámetro C se establece en correlación del
 50 sistema y el porcentaje de carga de modulación de ancho de pulso del compresor de espiral digital de capacidad
 variable (710V) es menor que el parámetro B, y hacer funcionar la válvula de expansión electrónica (306, 1206) en
 el modo de correlación del sistema cuando el parámetro C se establece en correlación del sistema y el porcentaje
 de modulación de ancho de pulso del compresor de espiral digital de capacidad variable (710V) es mayor o igual
 que el parámetro B.

4. El sistema de enfriamiento de la reivindicación 3, en donde el sistema de enfriamiento incluye un segundo circuito
 de expansión directa (302) que también tiene un compresor en tándem (718), un condensador (316), una válvula de
 expansión electrónica (314) y un evaporador (312), incluyendo también el compresor en tándem (718) del segundo
 60 circuito de expansión directa (302) un compresor de espiral digital de capacidad variable (718V) y un compresor de
 espiral de capacidad fija (718F);
 teniendo el sistema de enfriamiento una pluralidad de etapas de enfriamiento (322, 324) separadas que incluyen una
 etapa de enfriamiento aguas arriba (322) y una etapa de enfriamiento aguas abajo (324), teniendo cada etapa de
 enfriamiento (322, 324) uno de los circuitos de expansión directa (301, 302), los evaporadores (304, 312) de los
 circuitos de enfriamiento (301, 302) dispuestos en el armario (404) para que el aire que se desea enfriar pase sobre
 65 ellos en serie, primero sobre el evaporador 304) del circuito de enfriamiento de expansión directa 301) de la etapa de
 enfriamiento aguas arriba (322) y luego sobre el evaporador (312) del circuito de enfriamiento de expansión directa

(302) de la etapa de enfriamiento aguas abajo (324);

el controlador (320, 1220) también está acoplado a la válvula de expansión electrónica (314) del segundo circuito de enfriamiento de expansión directa (302) y controla la válvula de expansión electrónica (314) del segundo circuito de enfriamiento de expansión directa (302) en función del estado de funcionamiento actual de cada uno de los
 5 compresores de espiral digitales de capacidad variable (718V) y el compresor de capacidad fija (718F) del compresor en tándem (718) del segundo circuito de enfriamiento directo (302) y, de lo contrario, de la misma manera que controla la válvula de expansión electrónica (306) del otro circuito de expansión directa (301).

10 5. El sistema de enfriamiento de la reivindicación 4, en donde el controlador (320, 1220) tiene un conjunto separado de parámetros de control para cada uno de los circuitos de enfriamiento de expansión directa (301, 302).

15 6. El sistema de enfriamiento de la reivindicación 3, en donde el sistema de enfriamiento incluye un segundo circuito de expansión directa (302) que también tiene un compresor en tándem (718), un condensador (316), una válvula de expansión electrónica (314) y un evaporador (312), incluyendo también el compresor en tándem (718) del segundo circuito de expansión directa (302) un compresor de espiral digital de capacidad variable (718V) y un compresor de espiral de capacidad fija (718F);

20 teniendo el sistema de enfriamiento una pluralidad de etapas de enfriamiento (322, 324) separadas que incluyen una etapa de enfriamiento aguas arriba (322) y una etapa de enfriamiento aguas abajo (324), teniendo cada etapa de enfriamiento (322, 324) uno de los circuitos de expansión directa (301, 302), los evaporadores (304, 312) de los circuitos de enfriamiento (301, 302) dispuestos en el armario (404) para que el aire que se desea enfriar pase sobre ellos en serie, primero sobre el evaporador (304) del circuito de enfriamiento de expansión directa (301) de la etapa de enfriamiento aguas arriba (322) y luego sobre el evaporador (312) del circuito de enfriamiento de expansión directa (302) de la etapa de enfriamiento aguas abajo (324);

25 el controlador (320, 1220) también está acoplado a la válvula de expansión electrónica (314) del segundo circuito de enfriamiento de expansión directa (302) y controla la válvula de expansión electrónica (314) del segundo circuito de enfriamiento de expansión directa (302) en función del estado de funcionamiento actual de cada uno de los compresores de espiral digitales de capacidad variable (718V) y el compresor de capacidad fija (718F) del compresor en tándem (718) del segundo circuito de enfriamiento directo (302) y, de lo contrario, de la misma manera que controla la válvula de expansión electrónica (306) del otro circuito de expansión directa (301).
 30

7. El sistema de enfriamiento de la reivindicación 6, en donde el controlador (320, 1220) tiene un conjunto separado de parámetros de control para cada uno de los circuitos de enfriamiento de expansión directa (301, 302).

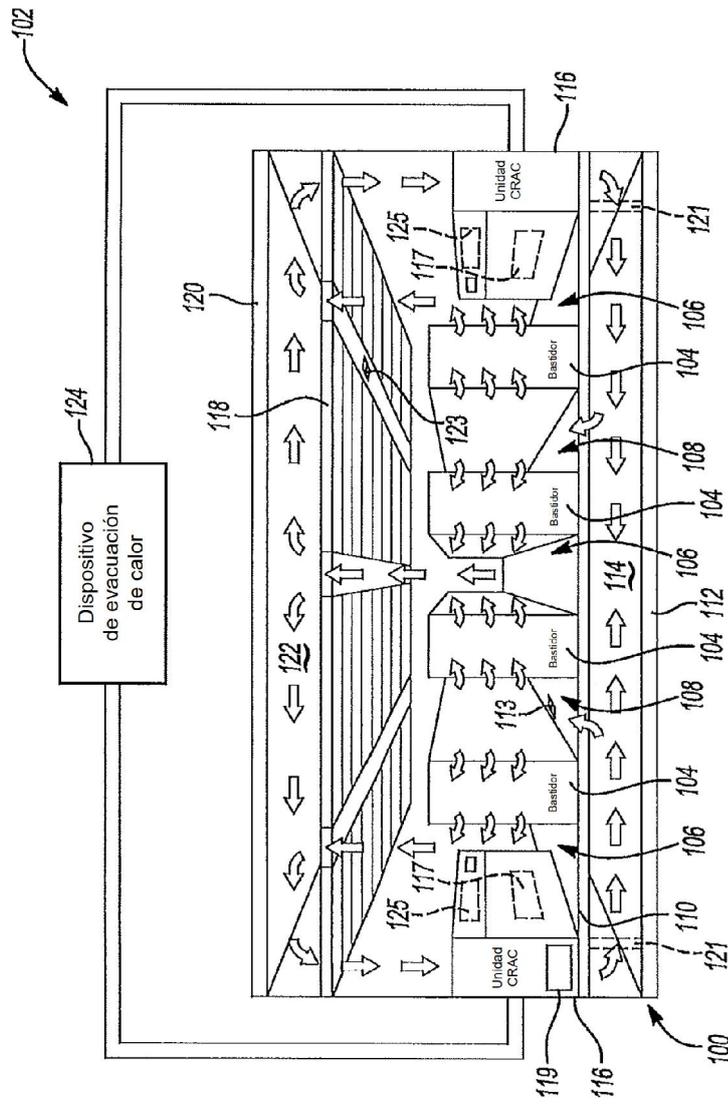


Fig-1
TÉCNICA ANTERIOR

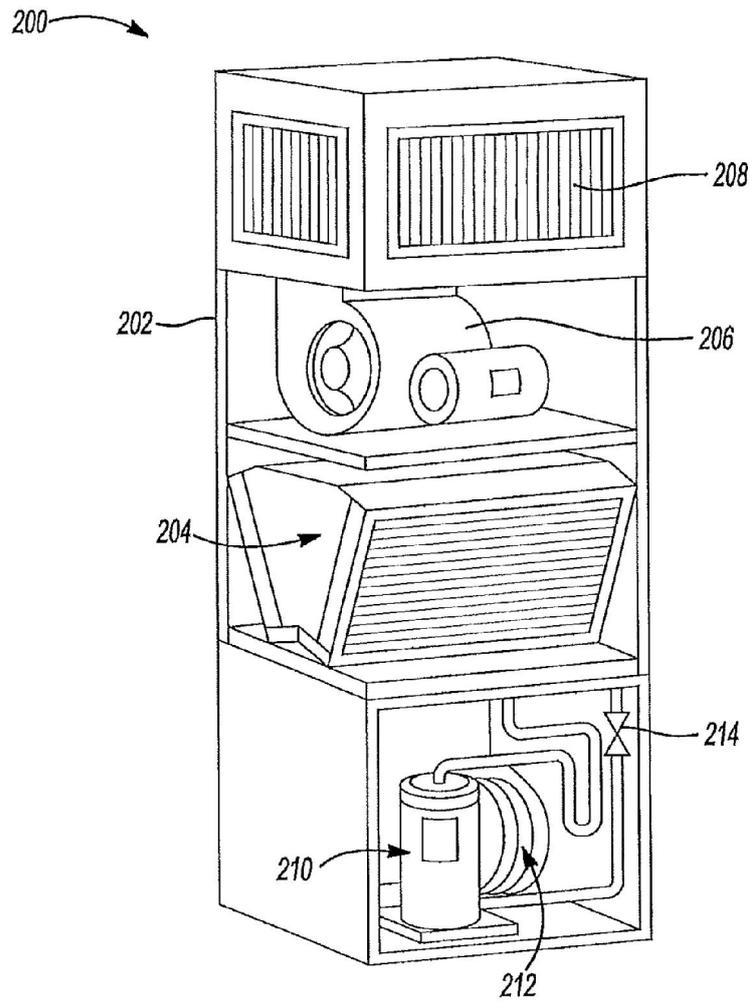


Fig-2
TÉCNICA ANTERIOR

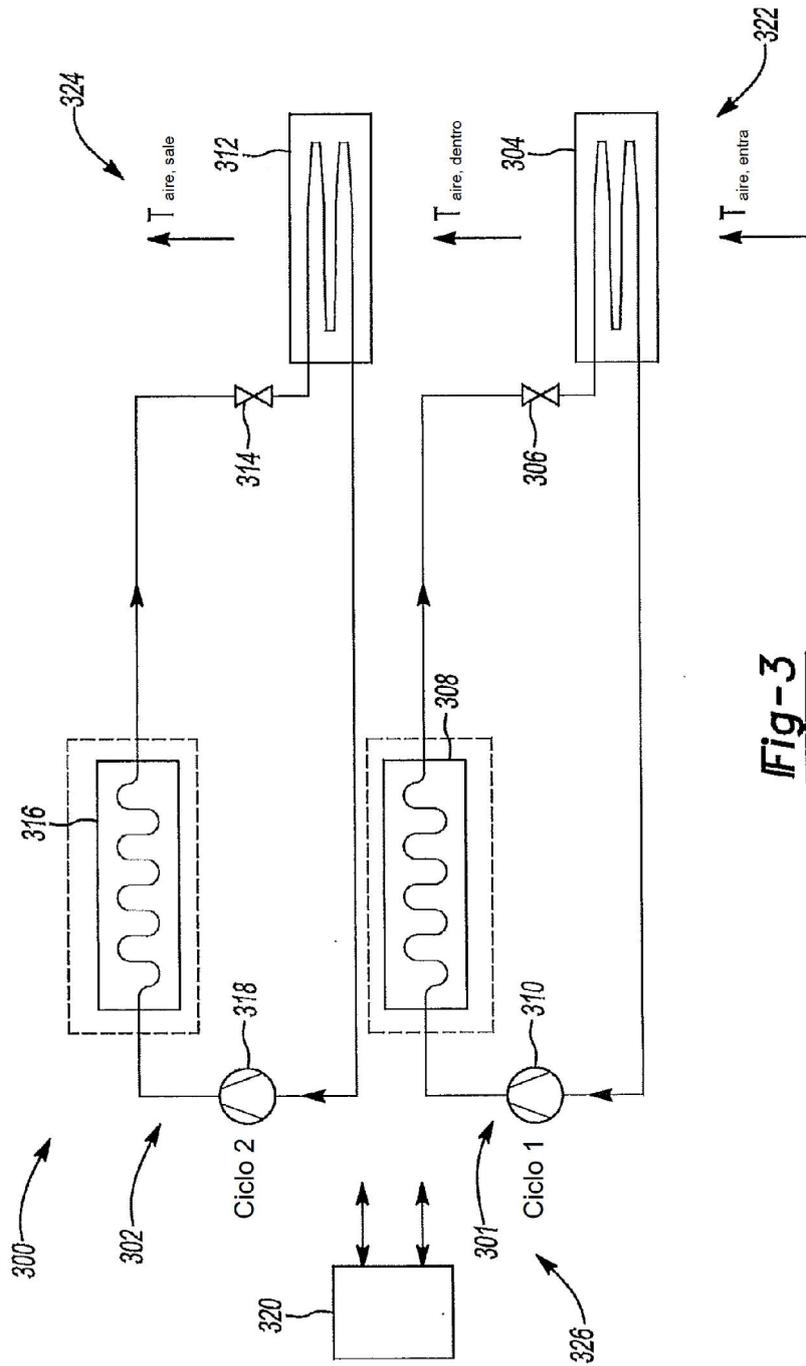


Fig-3

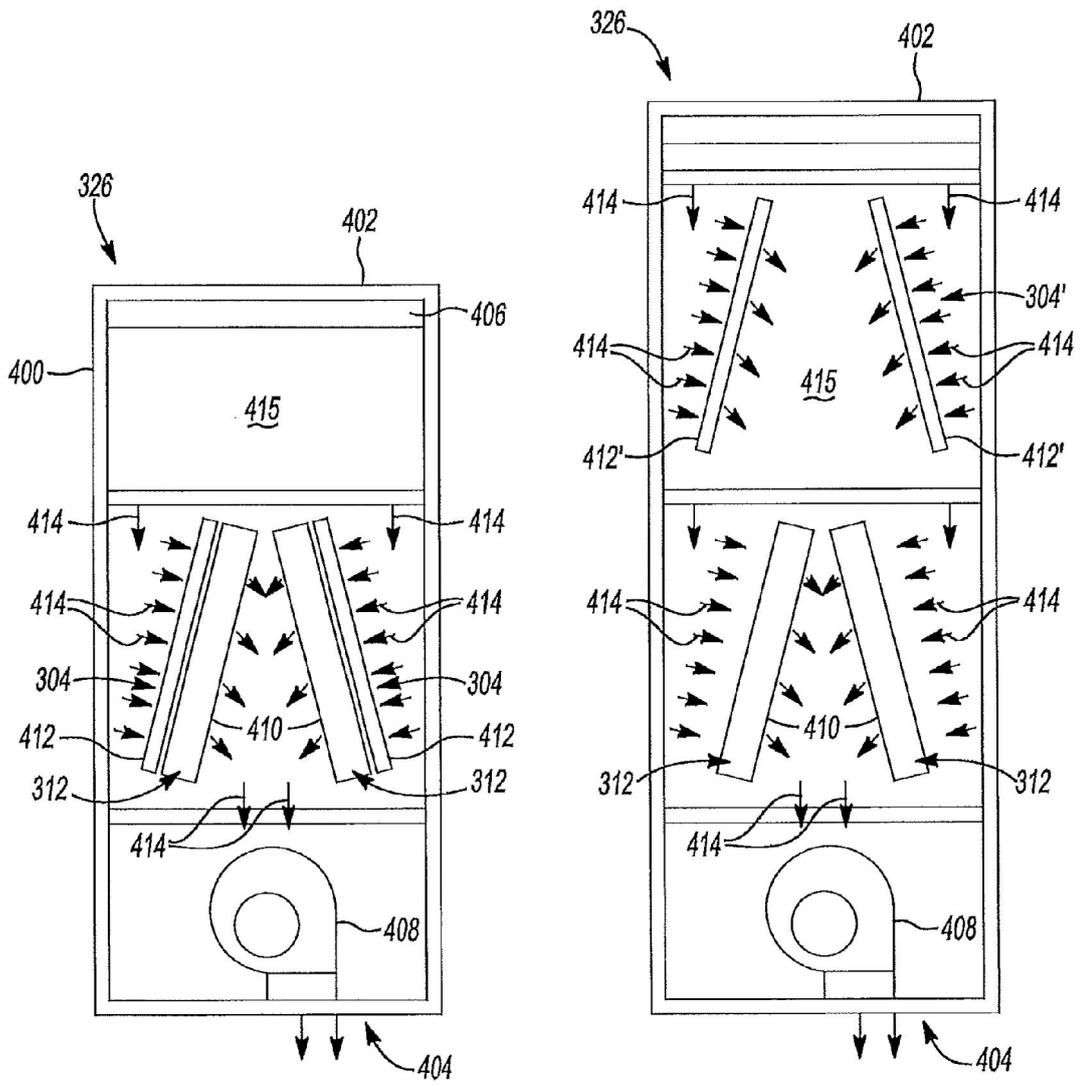


Fig-4

Fig-5

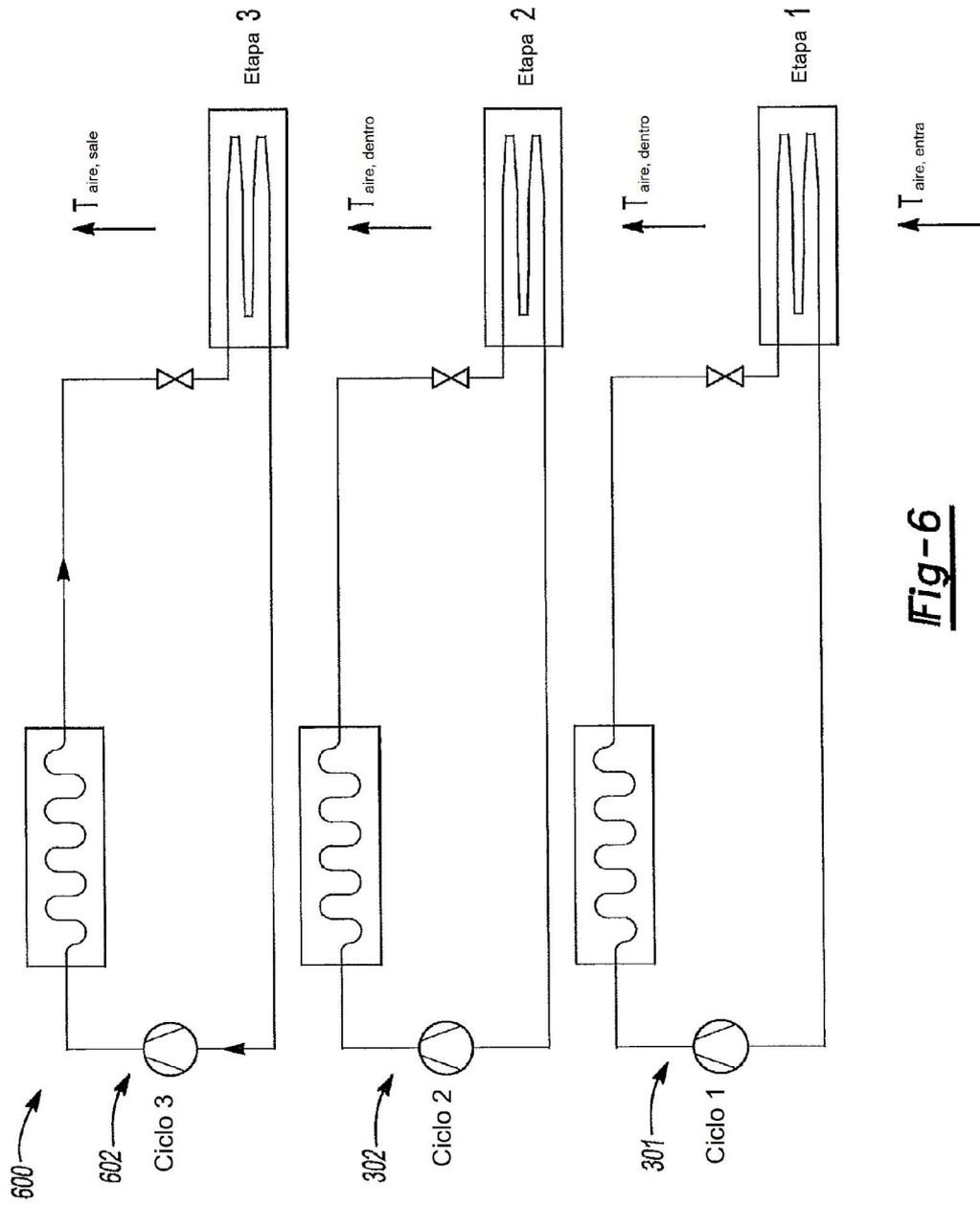


Fig-6

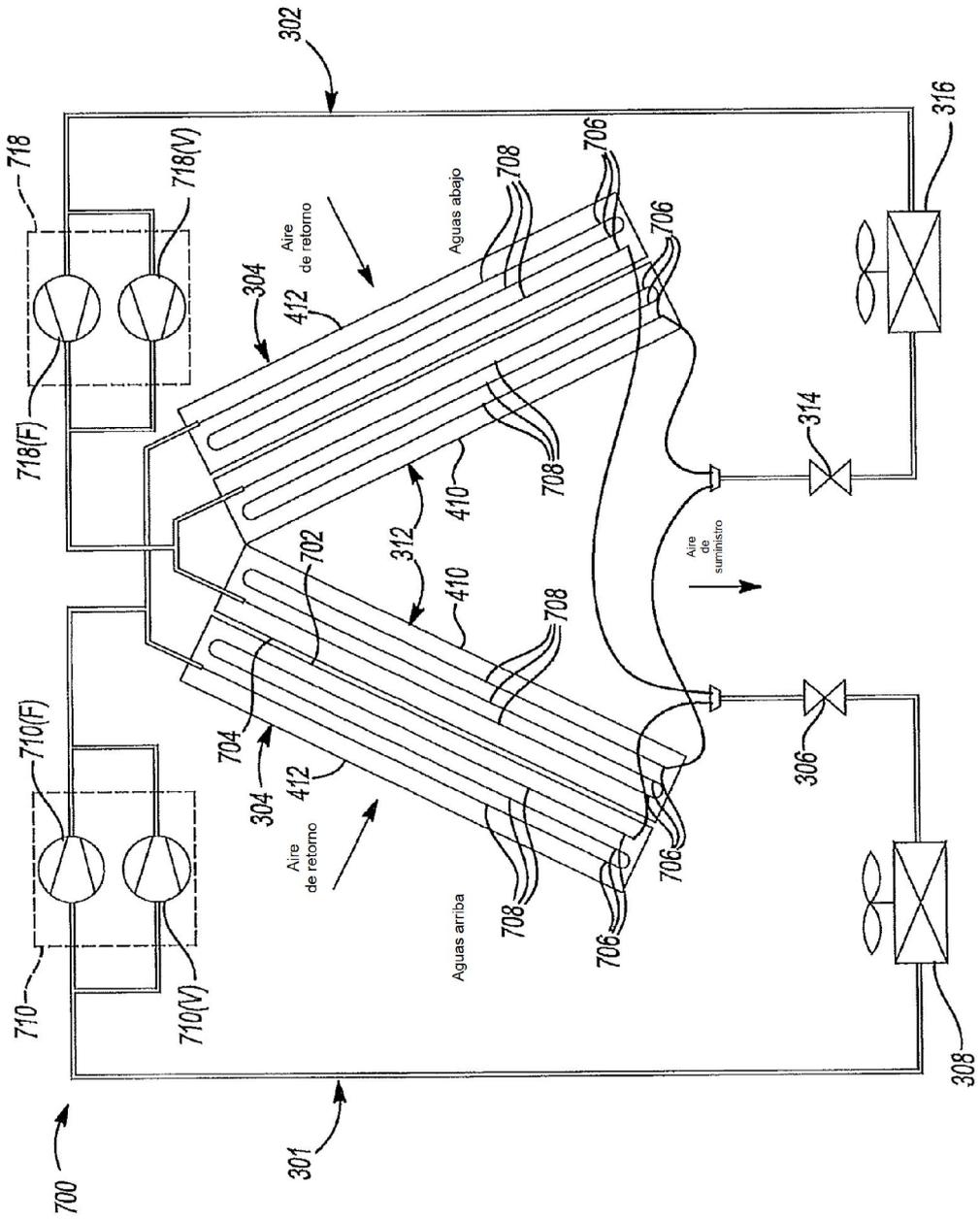


Fig-7

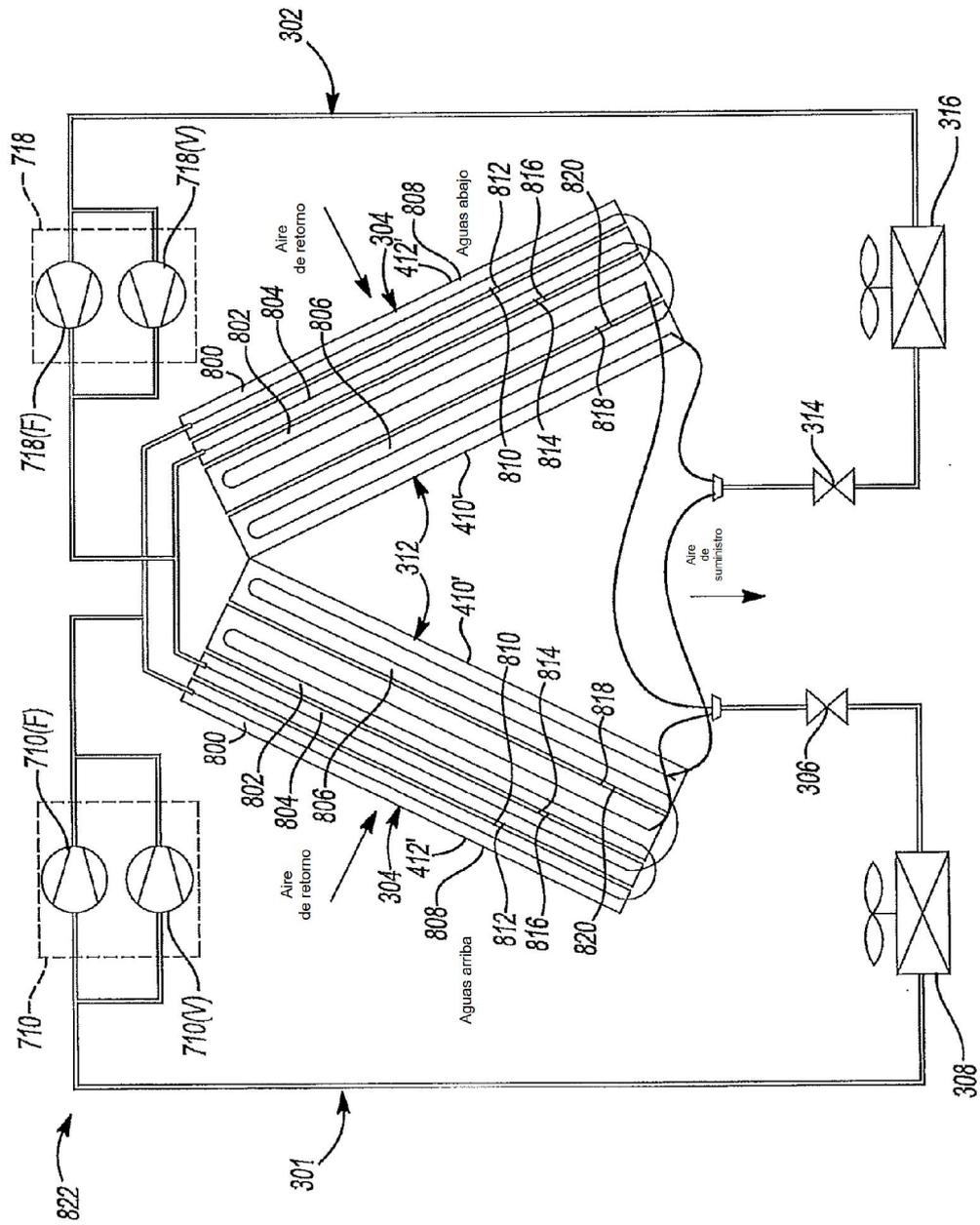


Fig-8

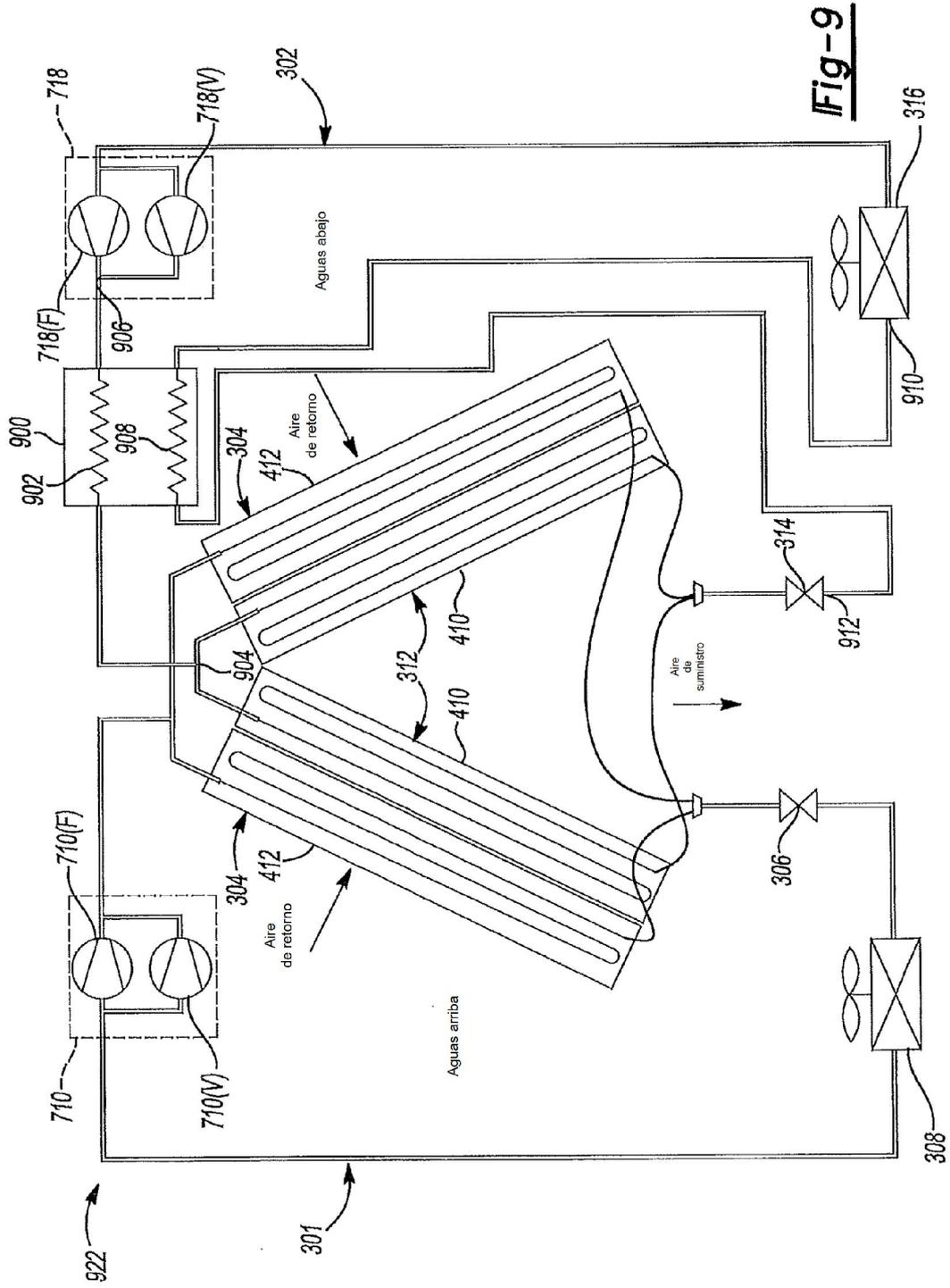
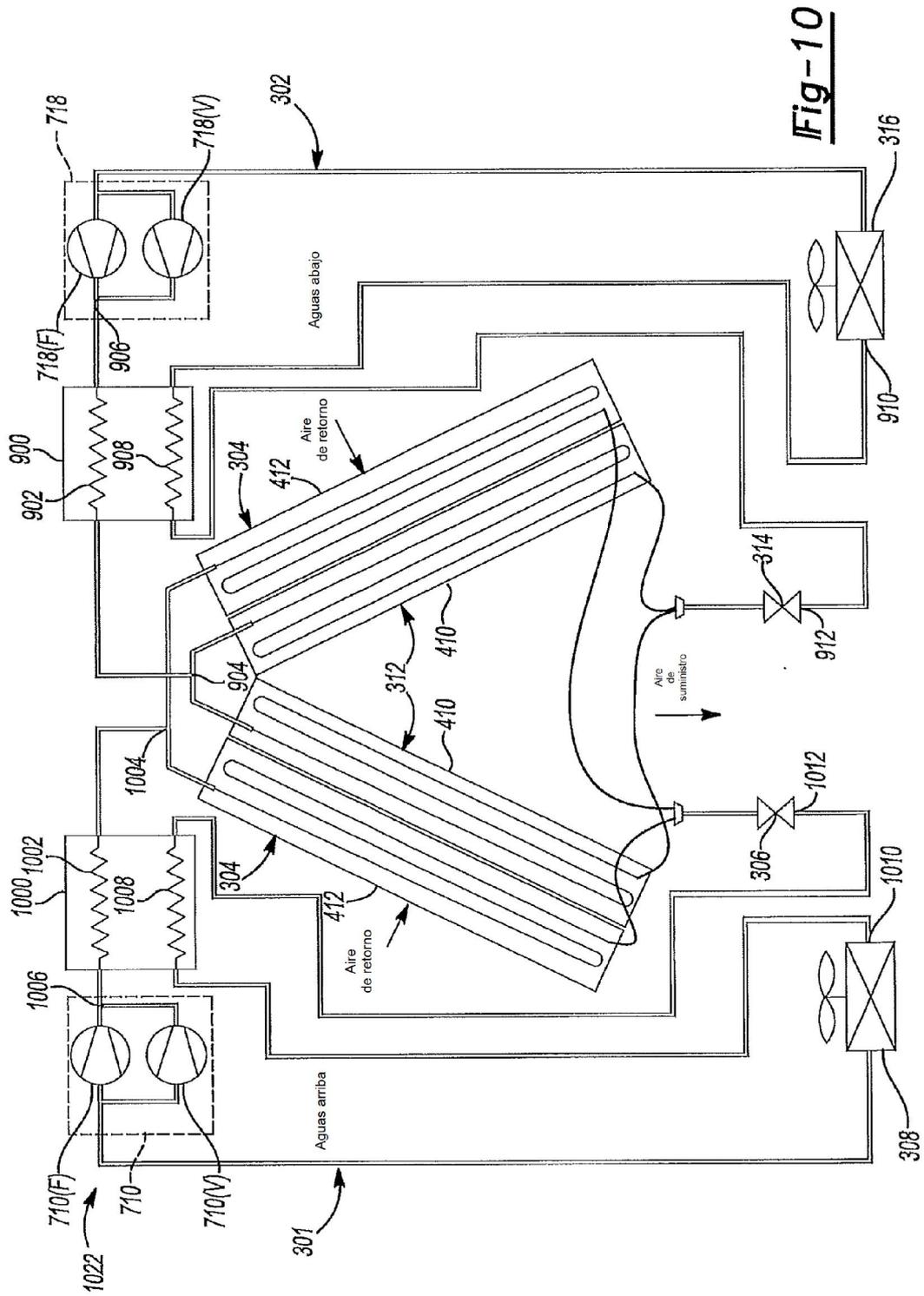


Fig-9



| Control de enfriamiento sensible | | |
|--|--|--|
| Solicitud de enfriamiento Aumento | | |
| | SRU1 (25%) < Solicitud de enfriamiento < SRU2 (45%) | Únicamente 710(V) encendido y aumento basado en solicitud de enfriamiento. |
| | SRU2 (45%) < Solicitud de enfriamiento < SRU3 (65%) | 710(V) y 718(V) encendidos y aumento paralelo; 710(F) y 718(F) apagados. |
| | SRU3 (65%) < Solicitud de enfriamiento < SRU4 (90%) | 710(F) encendido; 710(V) encendido y aumento basado en solicitud de enfriamiento; 718(V) 100% encendido; 718(F) apagado. |
| | SRU4 (90%) < Solicitud de enfriamiento < SRU5 (100%) | 710(F) encendido; 710(V) 100% encendido; 718(F) encendido; 718(V) aumento basado en solicitud de enfriamiento. |
| Solicitud de enfriamiento Disminución | | |
| | SRD1 (0%) < Solicitud de enfriamiento < SRD2 (15%) | Únicamente 710(V) encendido y aumento basado en solicitud de enfriamiento. |
| | SRD2 (15%) < Solicitud de enfriamiento < SRD3 (40%) | 710(V) y 718(V) encendidos y aumento paralelo basado en solicitud de enfriamiento; 710(F) y 718(F) apagados. |
| | SRD3 (40%) < Solicitud de enfriamiento < SRD4 (65%) | 710(F) encendido; 710(V) encendido y aumento basado en solicitud de enfriamiento; 718(V) 100% encendido; 718(F) apagado. |
| | SRD4 (65%) < Solicitud de enfriamiento < SRD5 (100%) | 710(F) encendido; 710(V) 100% encendido; 718(F) encendido; 718(V) aumento basado en solicitud de enfriamiento. |

Fig-11A

| Control de deshumidificación | | |
|------------------------------|--|--|
| | L1 (0%) < Solicitud de enfriamiento < L2 (45%) | 710(F) apagado; 718(F) apagado; 710(V) y 718(V) aumento basado en solicitud de deshumidificación. |
| | L2 (45%) < Solicitud de enfriamiento < L3 (65%) | 710(F) apagado; 710(V) 100% encendido; 718(F) encendido; 718(V) aumento basado en solicitud de deshumidificación. |
| | L3 (65%) < Solicitud de enfriamiento < L4 (100%) | 710(F) encendido; 710(V) encendido y aumento basado en solicitud de deshumidificación; 718(V) completamente encendido; 718(F) encendido. |

Fig-11B

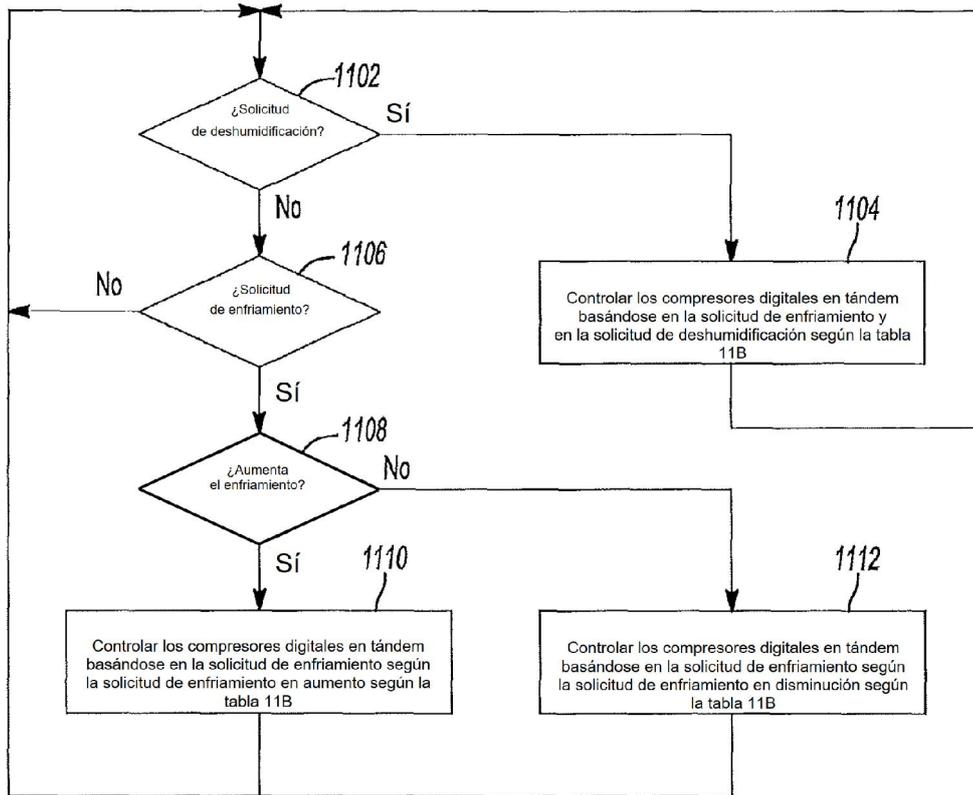
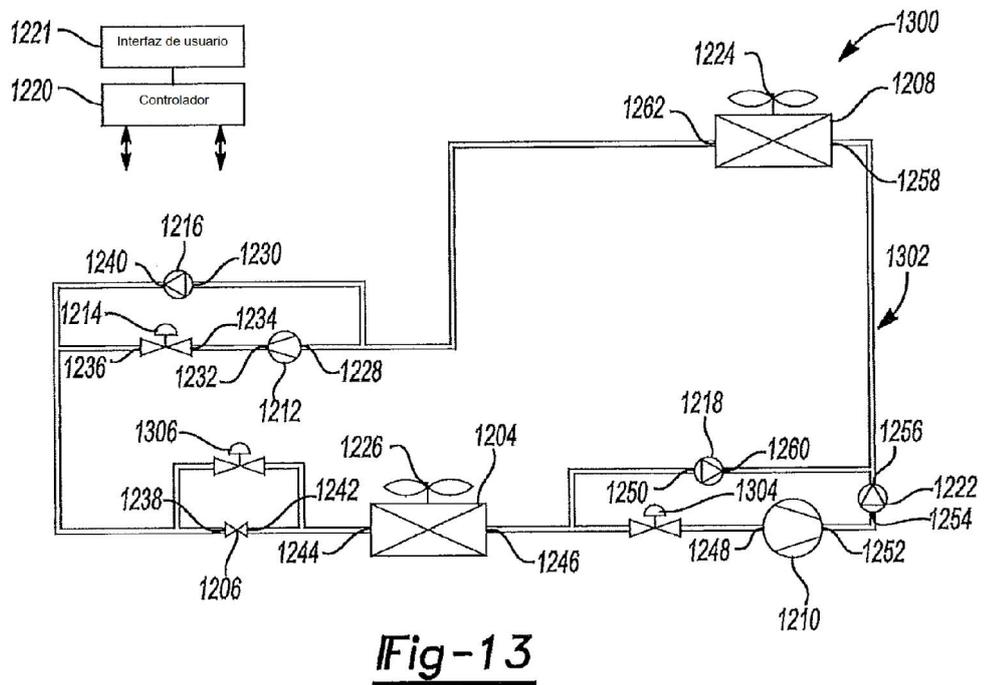
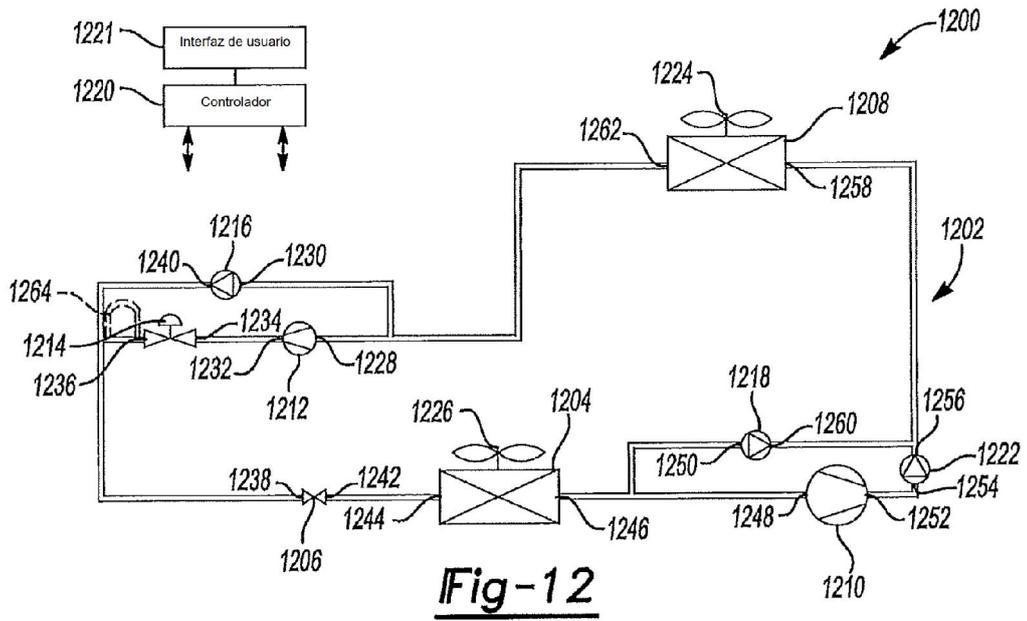


Fig-11C



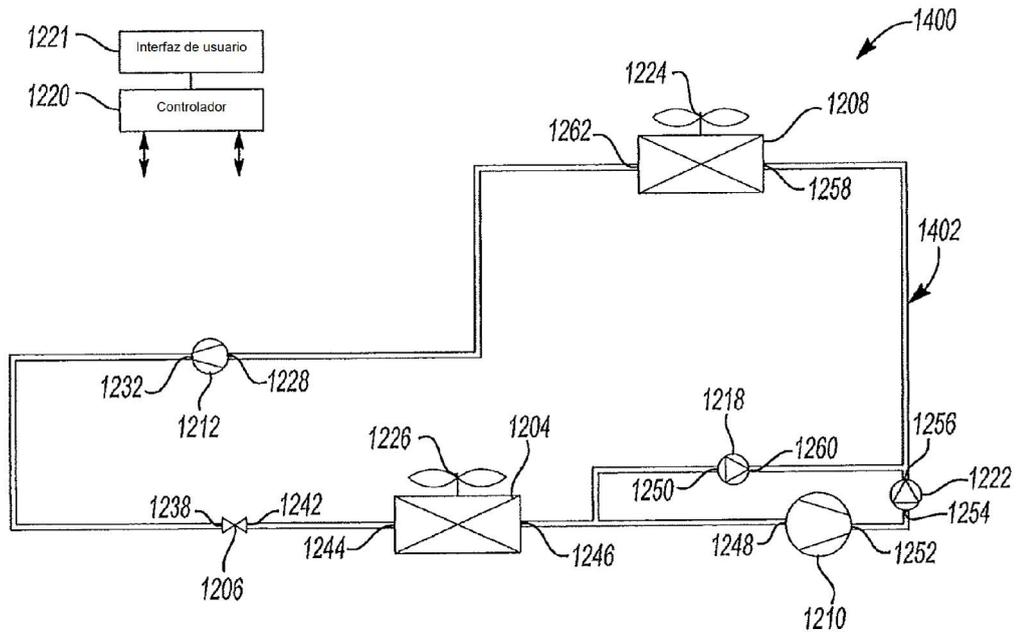


Fig-14

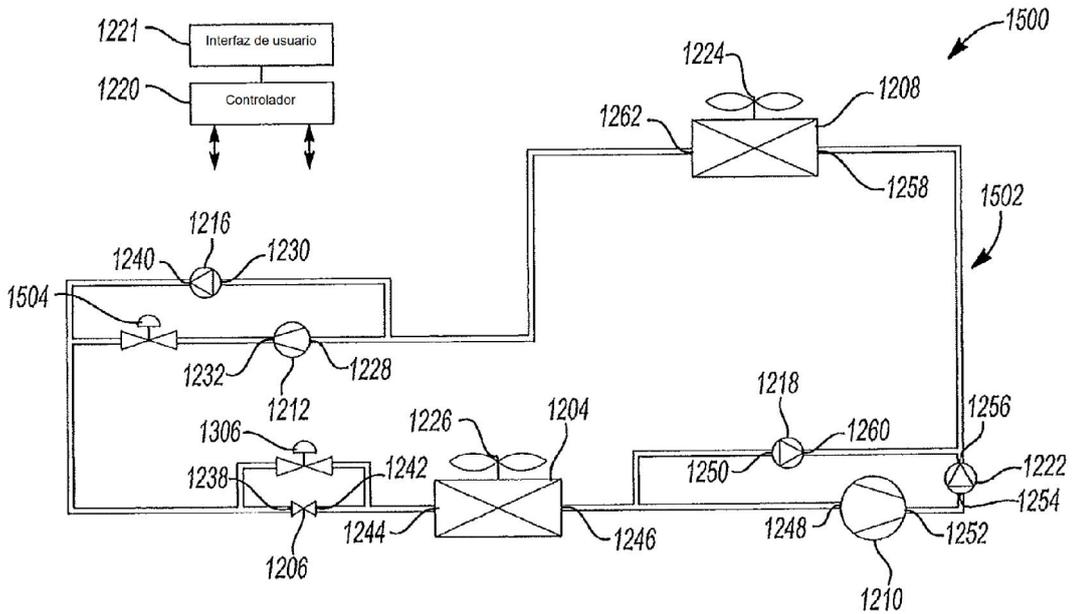


Fig-15

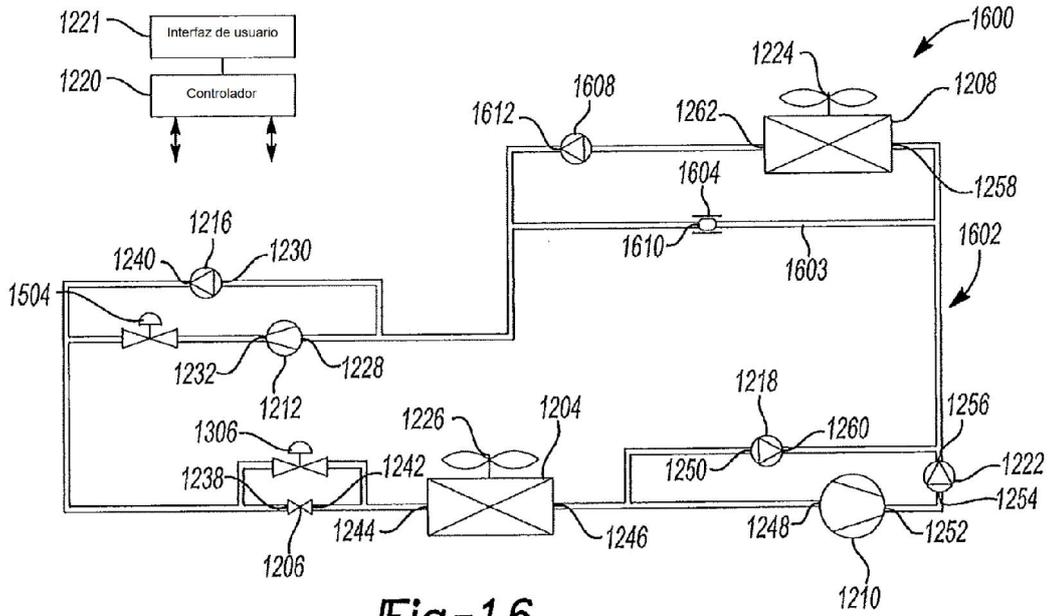


Fig-16

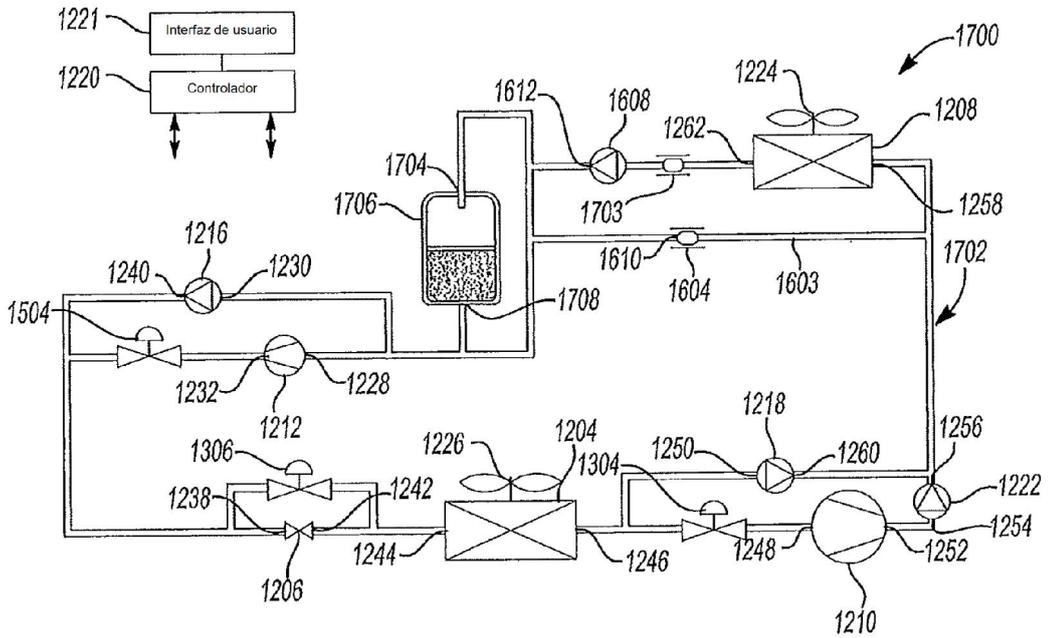
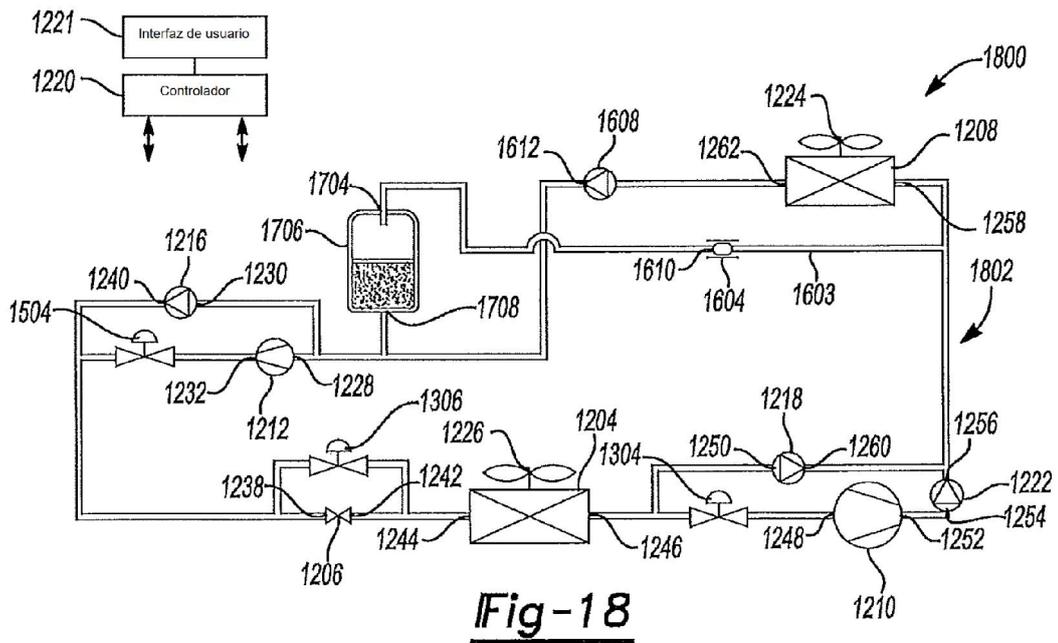


Fig-17



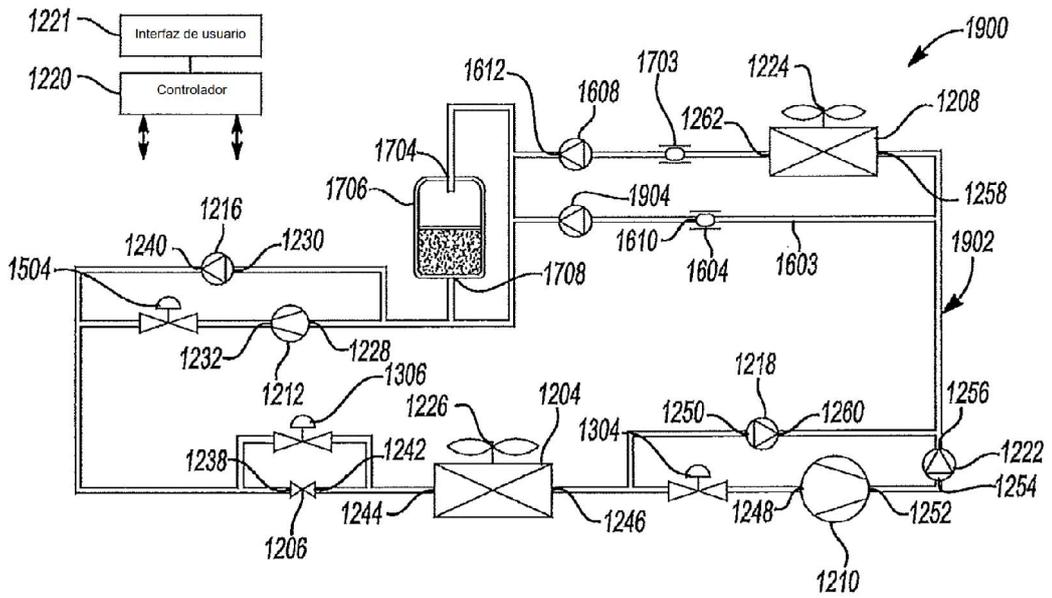


Fig-19A

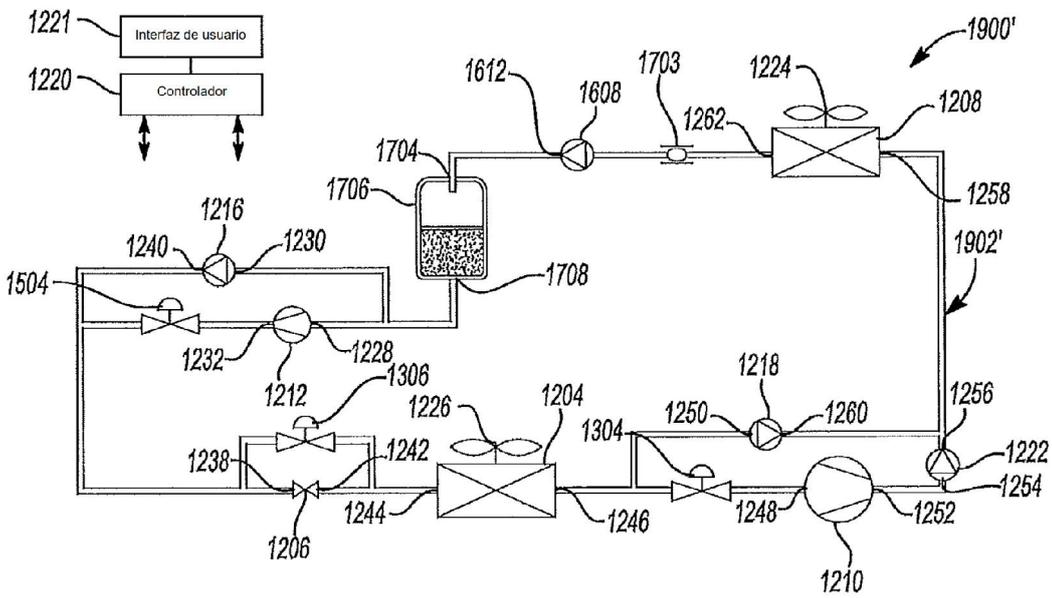


Fig-19B

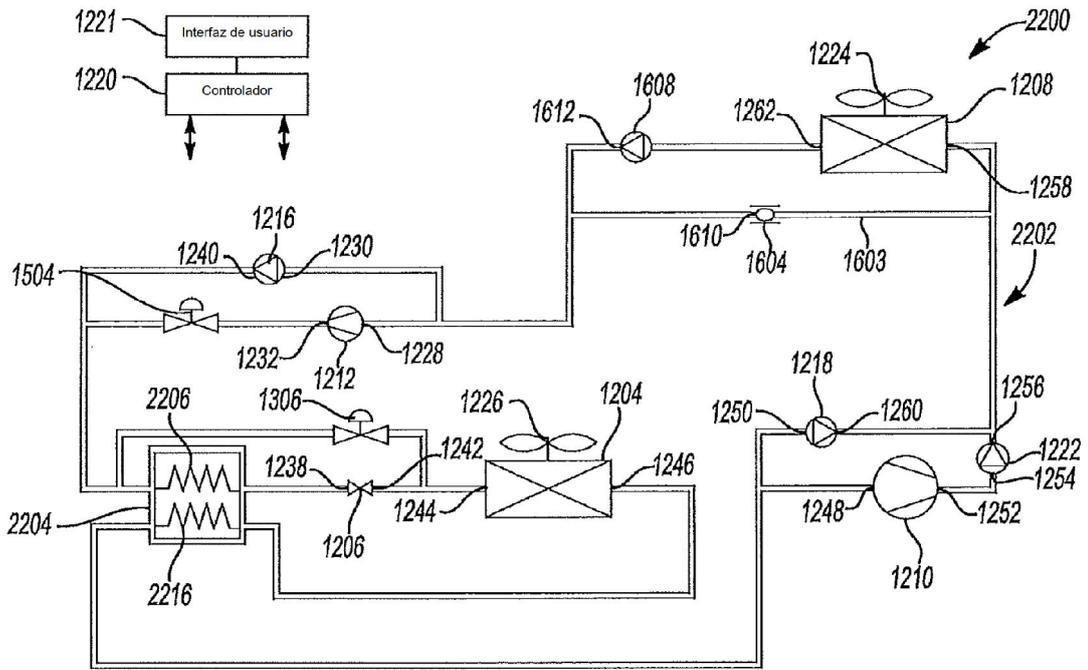


Fig-22

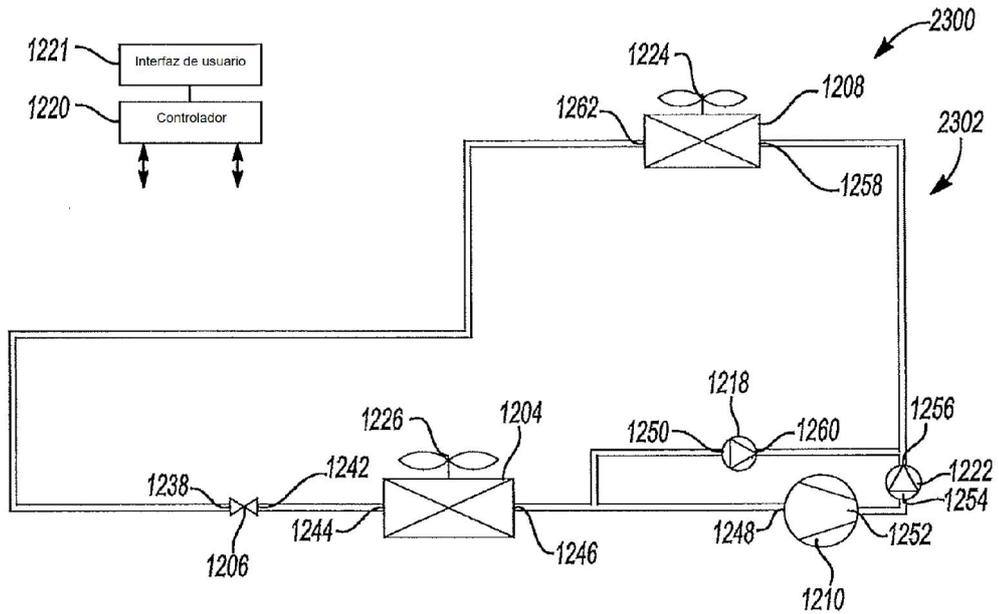


Fig-23

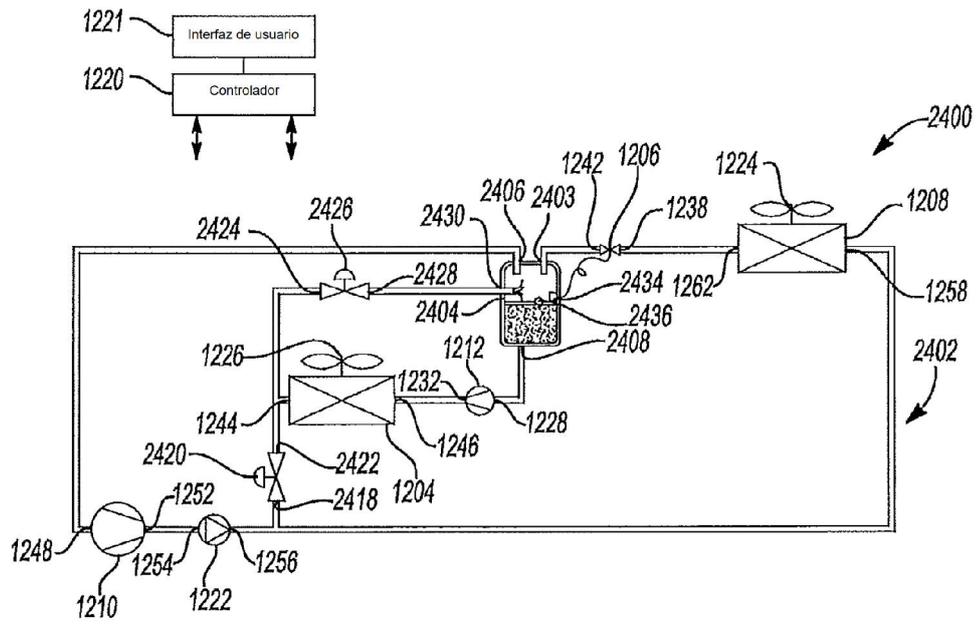


Fig-24

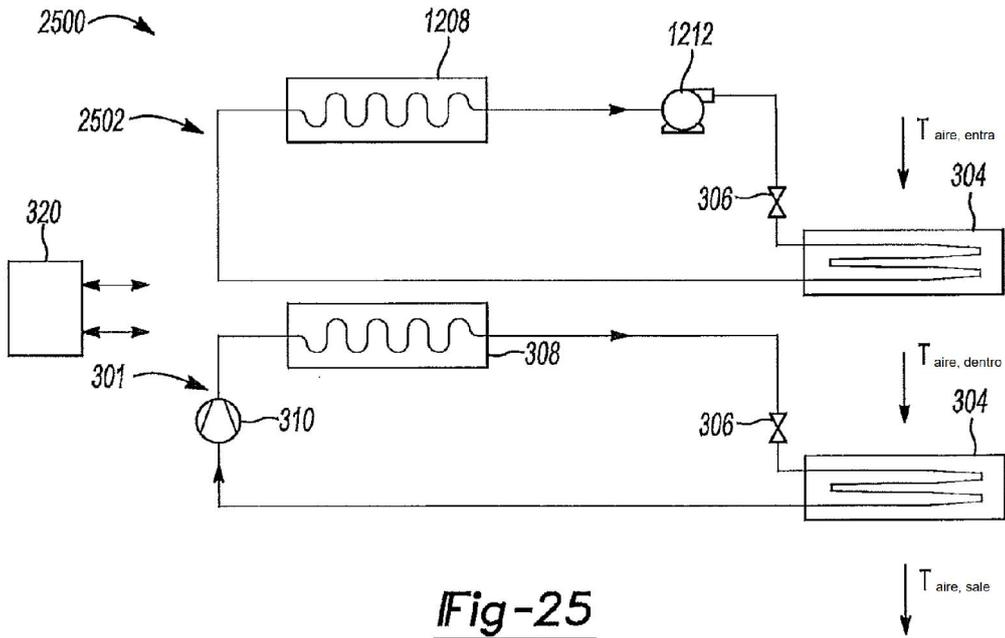


Fig-25

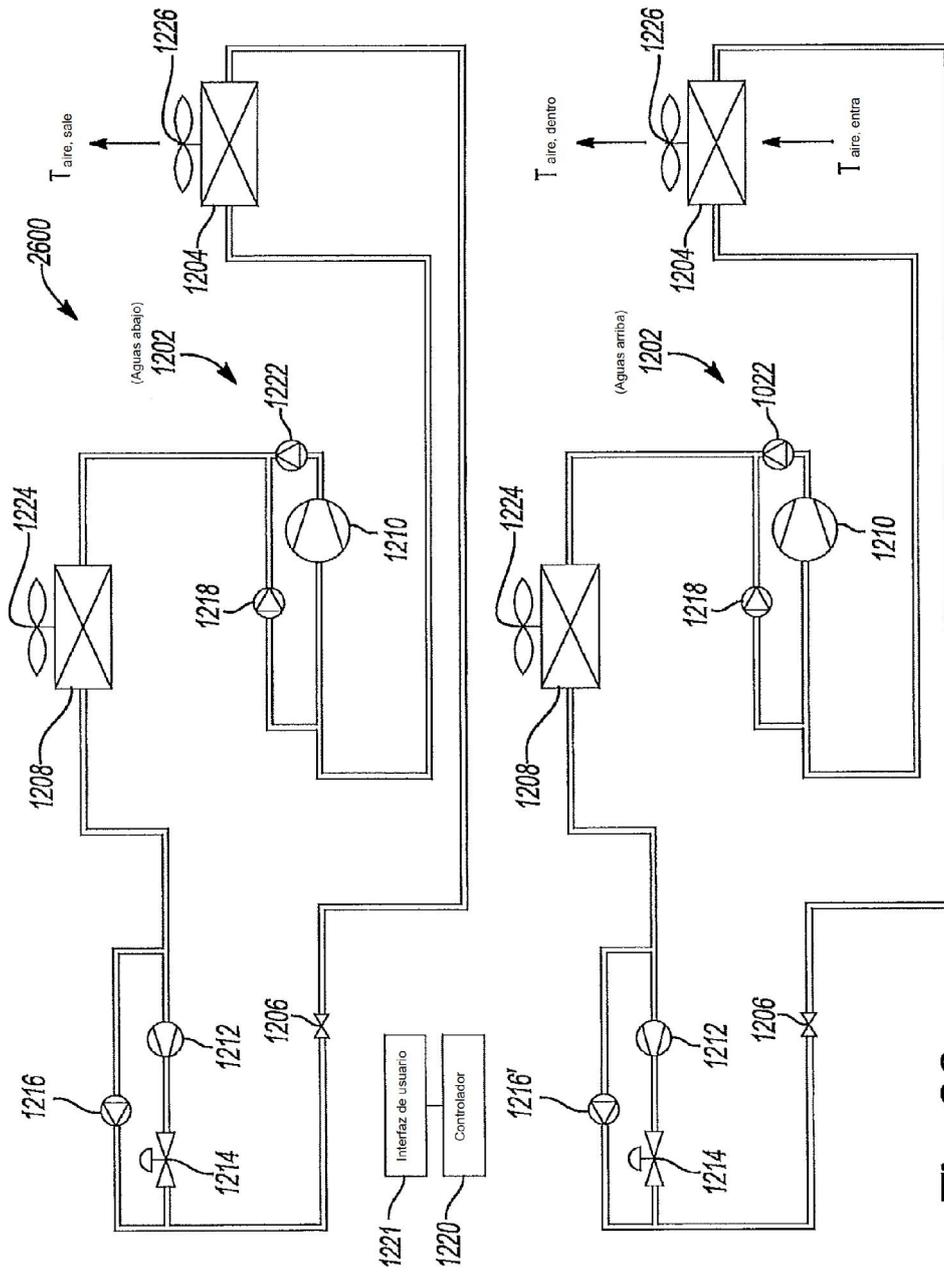


Fig-26

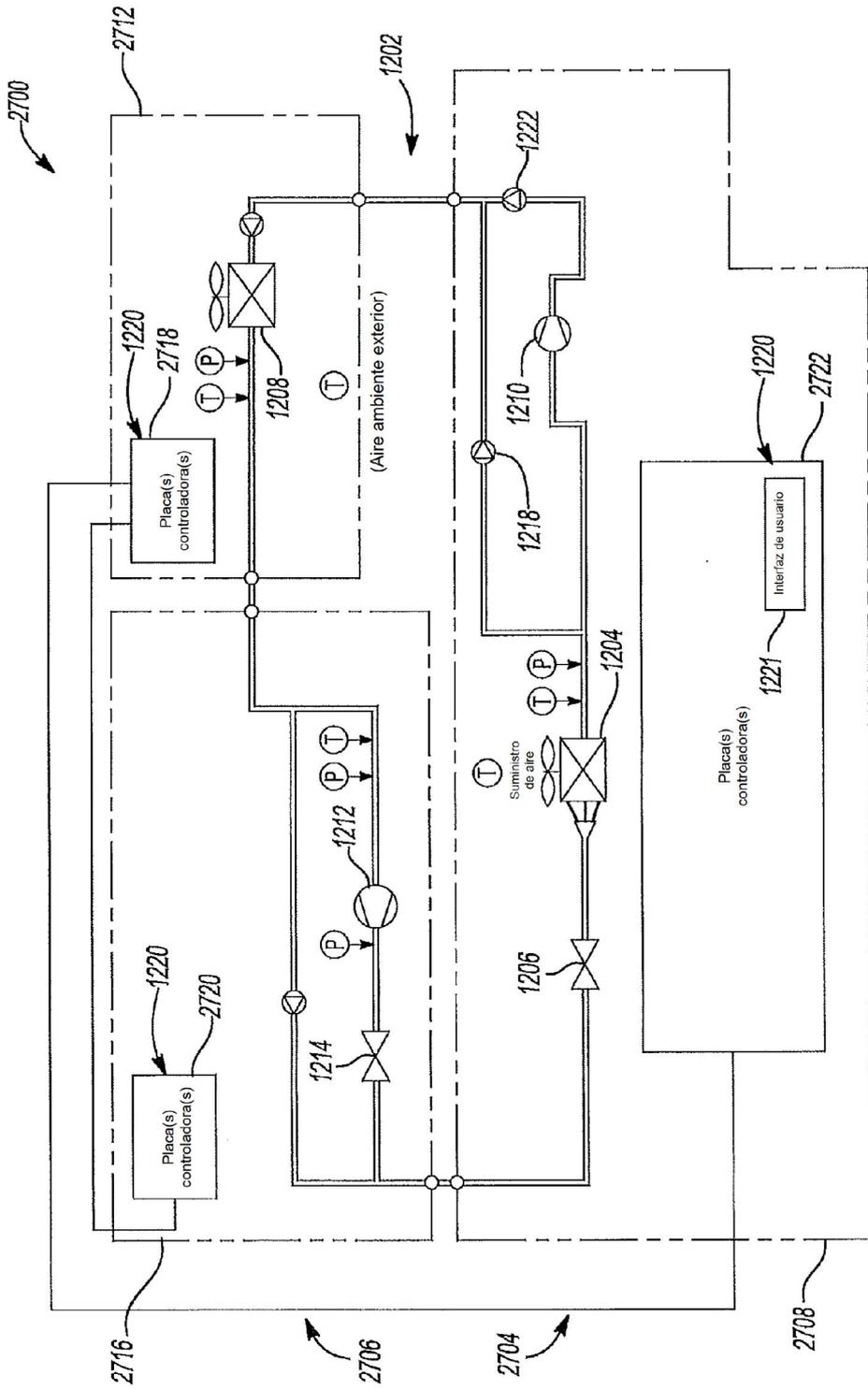


Fig-27

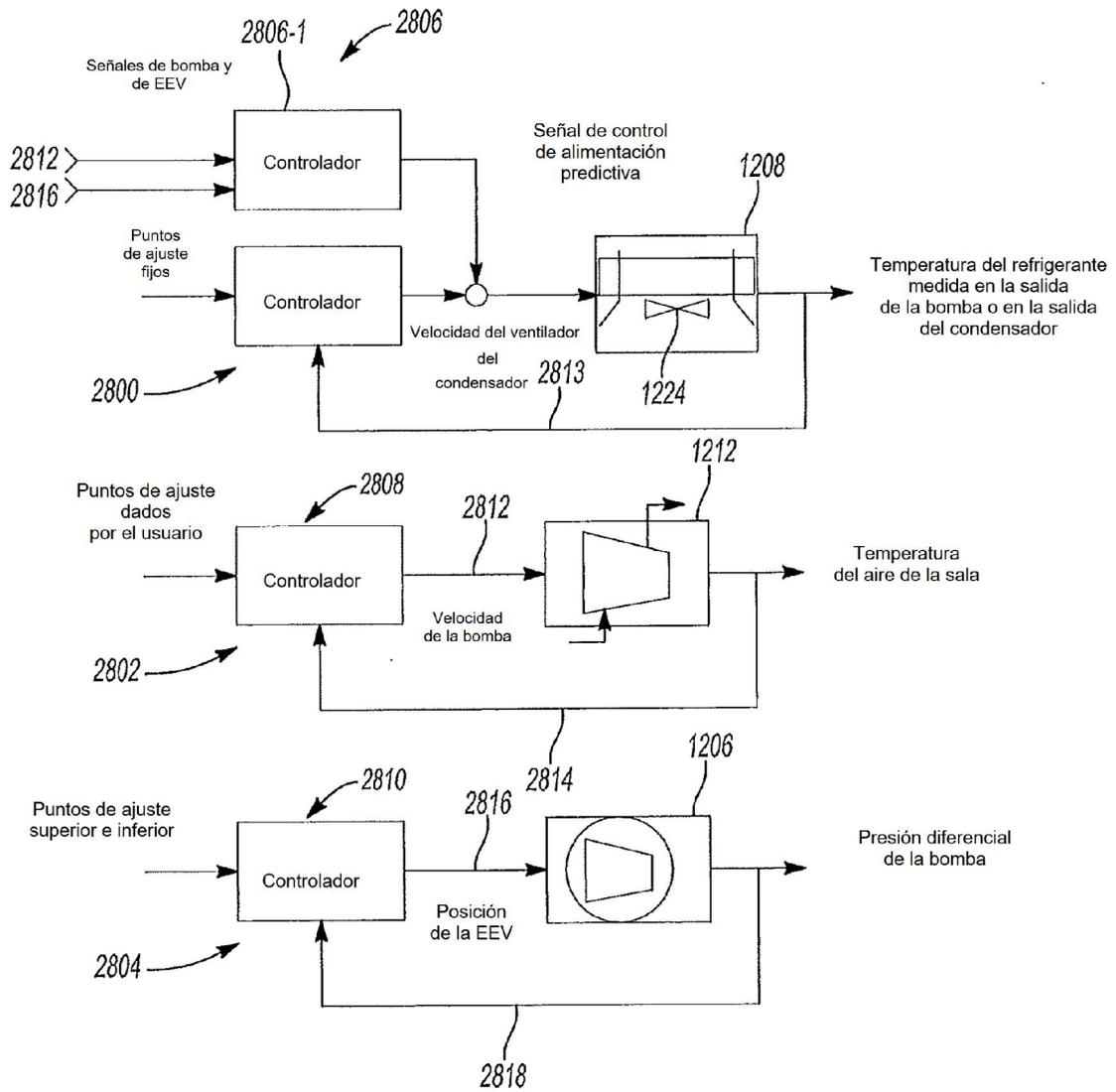


Fig-28

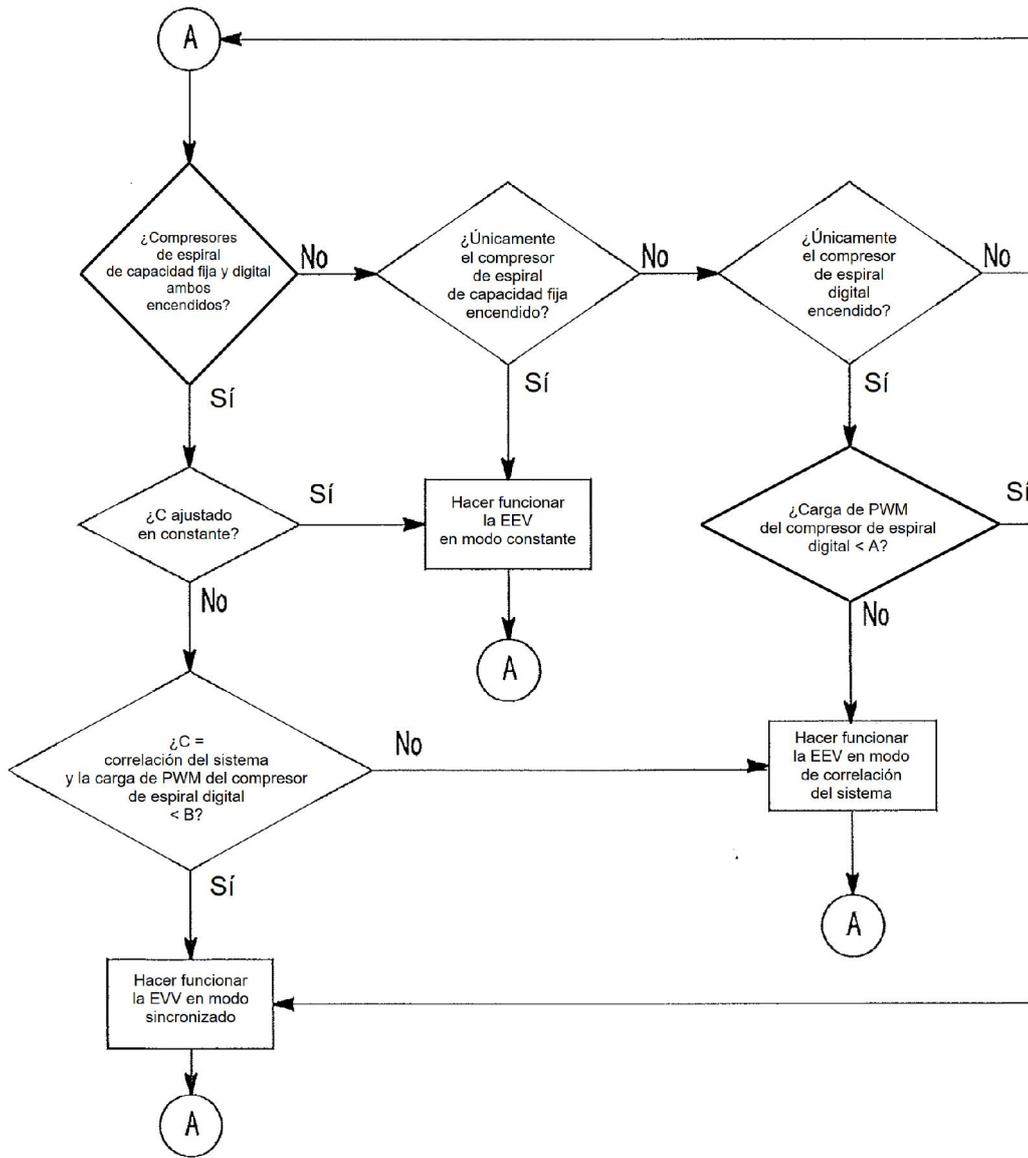


Fig-29

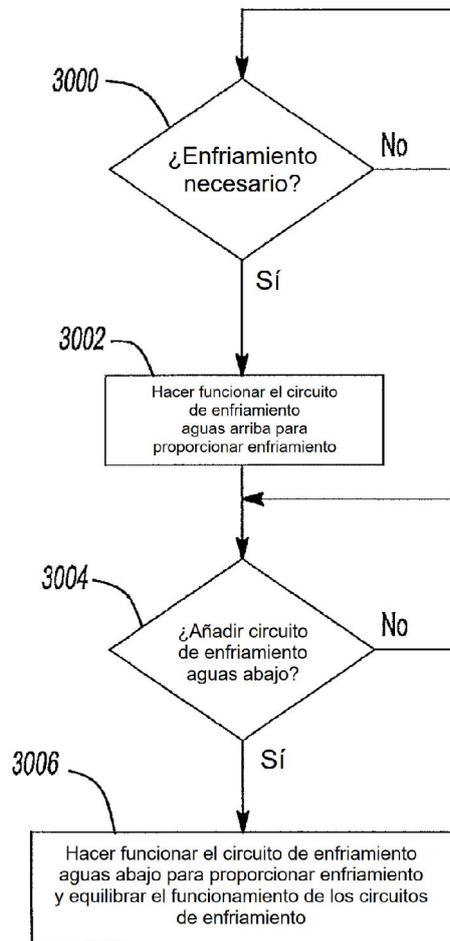


Fig-30