

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 734 262**

51 Int. Cl.:

G05B 13/02 (2006.01)

G05B 15/02 (2006.01)

G05B 9/03 (2006.01)

H05K 7/20 (2006.01)

F25B 49/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.07.2010 PCT/CN2010/075390**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.01.2011 WO11009411**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.07.2010 E 10801970 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.02.2019 EP 2457028**

54 Título: **Método y sistema de refrigeración redundante**

30 Prioridad:

23.07.2009 US 508429

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

05.12.2019

73 Titular/es:

**DAWES, WARWICK GRAHAM ANDREW (100.0%)
17D London Court Realty Gardens 41 Conduit Rd
Midlevels, Hong Kong, ZA**

72 Inventor/es:

DAWES, WARWICK GRAHAM ANDREW

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 734 262 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

Método y sistema de refrigeración redundante

5 Campo técnico

Las modalidades descritas en la presente descripción se refieren generalmente a sistemas de refrigeración y manejo de aire. Más específicamente, las modalidades se refieren a un aparato y método para su uso en sistemas de refrigeración redundantes para equipos electrónicos.

10

Antecedentes

Un método conocido para enfriar o reducir el calor excesivo de los equipos electrónicos que generan calor durante el funcionamiento es proporcionar acondicionadores de aire u otro sistema de refrigeración por aire adyacentes a los componentes electrónicos respectivos. Sin el uso de sistemas de refrigeración confiables, los componentes electrónicos pueden dañarse por la acumulación excesiva de calor, o el funcionamiento puede interrumpirse por mecanismos de protección internos que protegen contra temperaturas excesivamente altas, ninguna situación es conveniente para aplicaciones críticas.

15

20

Actualmente, las aplicaciones críticas relacionadas con la electrónica y la electricidad requieren el uso de sistemas de refrigeración por aire redundantes, de manera que hay al menos dos unidades de refrigeración por aire en una configuración N + 1. Al menos una unidad se configura para proporcionar la refrigeración por aire requerida y al menos otra unidad adicional se configura de manera que pueda realizar inmediatamente la tarea de la primera unidad de refrigeración por aire en el caso de que la primera unidad de refrigeración por aire encuentre un fallo técnico o similar durante su uso.

25

Un sistema redundante se prefiere en muchas aplicaciones ya que garantiza que se mantenga el funcionamiento general en el caso de un fallo de al menos una de las unidades individuales de refrigeración por aire. Posiblemente, pueden proporcionarse más de dos unidades o subsistemas de refrigeración por aire dentro del sistema redundante, tal como la configuración 2 + 1, la configuración 3 + 1, la configuración 3 + 2, etcétera, en dependencia del nivel de modularidad y redundancia requeridos.

30

Una implementación simple de un sistema de refrigeración redundante 1 + 1 sería donde dos sistemas (unidades) de refrigeración independientes, cada uno capaz de cumplir individual e independientemente los requisitos de refrigeración requeridos totales, se colocan adyacentes al equipo que va a enfriarse. La unidad con un punto de ajuste de temperatura más bajo se designa como la unidad activa y la unidad con un punto de ajuste de temperatura más alto, pero todavía aceptable, se designa como la unidad de reserva. Si la unidad activa funciona correctamente, esta mantendrá la temperatura adyacente al equipo que va a enfriarse en el punto de ajuste más bajo, lo que hace que la unidad de reserva con el punto de ajuste más alto permanezca inactiva. Si la unidad activa no puede mantener la temperatura en el punto de ajuste más bajo debido a alguna condición de fallo, la temperatura adyacente al equipo que va a enfriarse se elevará hasta el punto de ajuste más alto, lo que activa la máquina de reserva y asegura una refrigeración continua, aunque a una temperatura un poco más alta.

35

40

Esta implementación redundante simple, aunque es efectiva para proporcionar una refrigeración a prueba de fallos, tiene varios inconvenientes, que han conducido a algunas soluciones en la técnica.

45

La implementación redundante simple opera una unidad de refrigeración hasta que esta falla, con lo cual se activa la segunda unidad de refrigeración. Esto no es óptimo para la vida útil general del sistema de refrigeración, por lo que se han derivado métodos y sistemas para alternar las unidades activa y de reserva de manera que experimenten un desgaste uniforme durante la vida útil de los sistemas. Los controladores que implementan esta función generalmente se denominan controladores de retardo de avance. Además del funcionamiento alterno entre las unidades activa y de reserva, los controladores de retardo de avance también necesitan activar la unidad de reserva en caso de un fallo en la unidad actualmente activa.

50

55

En una mejora adicional en la implementación redundante simple, los controladores de retardo de avance normalmente proporcionan un método para alertar al personal de servicio de que una de las unidades de refrigeración ha fallado y necesita reparación o reemplazo - no reparar el fallo de manera oportuna podría provocar el fallo de todo el sistema si la segunda unidad de refrigeración falla antes de reparar la otra unidad.

60

Aunque los controladores de retardo de avance superan algunos de los inconvenientes de la implementación redundante simple, generalmente no son capaces de optimizar la eficiencia energética del sistema de refrigeración, ni tampoco optimizan completamente la vida útil general del sistema de refrigeración. El fallo del propio controlador de retardo de avance en algunos casos puede también conducir a un fallo del sistema de refrigeración general, lo que disminuye la inmunidad de fallo único del sistema redundante.

65

El documento CN 101438109 describe un método para implementar un sistema de refrigeración redundante.

Las modalidades descritas se dirigen hacia la superación de uno o más de los problemas discutidos anteriormente.

Sumario

5 De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un método para su uso en un sistema de refrigeración redundante como se define en la reivindicación 1. Este puede incluir las etapas de: proporcionar una pluralidad de unidades de refrigeración por aire adyacentes al equipo electrónico que va a enfriarse, de manera que cada una de dichas unidades de refrigeración por aire puede controlar independientemente la temperatura del espacio adyacente hasta su capacidad máxima; equipar el sistema de refrigeración con suficientes unidades de refrigeración por aire de manera que la refrigeración necesaria para el equipo electrónico permanezca disponible en caso de fallo de al menos una de dichas unidades de refrigeración por aire; un medio para notificar al personal de servicio en caso de fallo de al menos una de dichas unidades de refrigeración por aire; determinar el punto de operación para cada una de dichas unidades de refrigeración que proporcionará la refrigeración necesaria general, al tiempo que minimiza el consumo de energía general y/o maximiza la vida útil del sistema; y operar y controlar dicha pluralidad de unidades de refrigeración por aire en base a las condiciones de funcionamiento óptimas determinadas para cada una de las unidades de refrigeración por aire; un medio para alimentar cada unidad de refrigeración por aire desde una fuente de energía de respaldo si la fuente de energía primaria supera las condiciones especificadas.

20 Cada una de la pluralidad de unidades de refrigeración por aire incluye un compresor que puede controlarse para variar el refrigerante que fluye en el circuito y, por lo tanto, controlar la capacidad de refrigeración de la unidad. Estas pueden incluir un intercambiador de calor y un ventilador para transferir el calor del aire adyacente al equipo electrónico que va a enfriarse al refrigerante; un intercambiador de calor y un ventilador para transferir el calor del refrigerante al aire fuera del espacio que va a enfriarse; un dispositivo de expansión para medir el flujo de refrigerante; y un controlador que mide la temperatura del aire adyacente al equipo que va a enfriarse y controla el compresor y los ventiladores para mantener la temperatura y la humedad del aire en, o cerca del punto de ajuste; un medio para que el controlador comparta la información sobre las condiciones de operación de la unidad de manera que pueda determinarse el punto de operación óptimo para el sistema general; un medio para ajustar el punto de operación de la unidad al punto de operación óptimo determinado.

30 La presente invención proporciona además un sistema como se define en la reivindicación 13.

Las características preferidas se definen en las reivindicaciones dependientes.

35 Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es un diagrama esquemático de un sistema de refrigeración por aire con unidades de refrigeración por aire como se describe en la presente descripción.

40 La Figura 2 es un diagrama esquemático de los elementos de una de las unidades de refrigeración por aire.

La Figura 3 es un gráfico que representa la relación de eficiencia energética (EER) frente a la carga de calor para las unidades de refrigeración por aire dispuestas como se describe en la presente descripción.

45 La Figura 4 es un diagrama de bloques del controlador en cada una de las unidades de refrigeración por aire.

La Figura 5 es una representación del diagrama de flujo de un método para promediar la retroalimentación de temperatura de las unidades de refrigeración.

50 La Figura 6 es una representación del diagrama de flujo de un método para cambiar entre los modos de operación lineal y de encendido/apagado.

La Figura 7 es un diagrama esquemático de un circuito de energía para una unidad de refrigeración por aire y una unidad de conversión de energía como se describe en la presente descripción.

55 Descripción detallada

A menos que se indique de cualquier otra manera, todos los números que expresan cantidades de ingredientes, dimensiones, condiciones de reacción, etcétera, usados en la descripción y las reivindicaciones deben entenderse como que se modifican en todos los casos por el término "aproximadamente".

65 En esta solicitud y las reivindicaciones, el uso del singular incluye el plural a menos que se indique específicamente de cualquier otra manera. Adicionalmente, el uso de "o" significa "y/o" a menos que se indique de cualquier otra manera. Además, el uso del término "que incluye", así como también otras formas, tales como "incluye", e "incluyen", no es limitante. Además, los términos tales como "elemento" o "componente" engloban tanto componentes como elementos que comprenden una unidad, y elementos y componentes que comprenden más de una unidad a menos

que se indique específicamente de cualquier otra manera. El término “compresor” se refiere a un motor de compresor y un compresor, y el término “ventilador” a un motor de ventilador y un ventilador, a menos que se indique de cualquier otra manera.

5 De acuerdo con una modalidad como se muestra en la Figura 1, se proporciona un sistema de refrigeración que comprende al menos dos subsistemas o unidades independientes de refrigeración por aire (101, 102, 103), de manera que cada unidad de refrigeración incluye al menos un medio de refrigeración por aire independiente, y cada uno es capaz de controlar independientemente la temperatura del espacio acondicionado (111) para una carga de calor de hasta su capacidad nominal máxima. Cada unidad (101, 102, 103) se acopla operativamente al equipo electrónico (110) que va a enfriarse a través del aire en el espacio acondicionado (111) de manera que sea capaz de enfriar el equipo electrónico (110) y rechazar el calor hacia el aire fuera del espacio acondicionado (112). El número (N) de unidades de refrigeración (101, 102, 103) incluidas en el sistema de refrigeración se selecciona de manera que las N-1 unidades de refrigeración tengan la capacidad de refrigeración suficiente para cumplir con los requisitos de refrigeración totales del equipo electrónico (110) que va a enfriarse, lo que resulta en que el sistema de refrigeración tenga normalmente una capacidad de refrigeración de reserva al menos igual a la de una de las unidades de refrigeración (101, 102, 103). Si una de las unidades de refrigeración (101, 102, 103) falla en el sistema de refrigeración, las unidades de refrigeración operables restantes tienen la capacidad restante suficiente y continúan el enfriamiento del equipo electrónico (110), con lo que se logra el objetivo de un sistema de refrigeración redundante. En una modalidad, cada una de las unidades de refrigeración (101, 102, 103) es esencialmente idéntica, con las mismas características y capacidad de refrigeración nominal. También es posible y dentro del alcance de esta descripción, configurar un sistema de refrigeración redundante que use sistemas de refrigeración con diferentes características y capacidades de refrigeración nominal, si se desea.

La modalidad de la Figura 1 contiene además una fuente de alimentación primaria (115), que típicamente es energía AC monofásica o trifásica de la empresa eléctrica. Para aplicaciones críticas, el equipo electrónico puede energizarse mediante una fuente de alimentación ininterrumpida (113), que en el caso de las aplicaciones de telecomunicaciones típicamente tiene una salida de 24 V DC o 48 V DC. La fuente de alimentación ininterrumpida típicamente contiene una batería u otro dispositivo de almacenamiento de energía, lo que le permite proporcionar energía ininterrumpida (114) al equipo crítico en caso de fallo de la fuente de alimentación primaria. La fuente de alimentación primaria puede respaldarse además por un generador diésel (no mostrado), o similar, para aplicaciones que requieren un alto nivel de disponibilidad, o donde la calidad de la fuente de alimentación primaria es deficiente.

Todavía con referencia a la Figura 1, la modalidad ilustrada en la misma contiene además un bus de comunicación (104) que permite que cada unidad (101, 102, 103) comparta la información sobre sus condiciones de operación con las otras unidades de refrigeración (101, 102, 103) conectadas al bus de comunicación (104), así como también con otros elementos conectados al bus de comunicaciones. El bus de comunicación también puede contener una conexión de fuente de alimentación auxiliar, derivada de una manera redundante de cada unidad de refrigeración, adecuada para proporcionar energía segura a cada uno de los elementos de control conectados al bus de comunicación.

La modalidad de la Figura 1 contiene además una interfaz de usuario (105) conectada al bus de comunicación (104), capaz de recibir información desde y proporcionar información a otros elementos conectados al bus. Si bien no se requiere para el funcionamiento redundante correcto o la optimización de la eficiencia o la vida útil del sistema de refrigeración, la interfaz de usuario (105) puede notificar al personal de servicio sobre cualquier fallo en el sistema de refrigeración y puede ayudar en el diagnóstico de fallos. Esta función podría proporcionarse alternativamente en el controlador (211) de cada unidad individual (101, 102, 103), o en otro lugar si fuera necesario. La interfaz de usuario (105) también proporciona un medio conveniente para cambiar los puntos de ajuste del sistema de refrigeración, si se desea. La lógica de notificación de alarma de la interfaz de usuario puede ser la de ok activo, de manera que un fallo en la interfaz de usuario (105) en sí se detecta por la falta de una indicación contraria, lo que proporciona una indicación de fallo segura. Las modalidades descritas en la presente descripción también pueden implementarse con otras estrategias de notificación de alarma que se proporcionan para una indicación de fallo segura.

La modalidad de la Figura 1 contiene además un controlador de temperatura complementario opcional (106) que es capaz de compensar los errores que pueden ocurrir debido a las diferencias de temperatura entre la posición o ubicación donde se detectan las temperaturas por las unidades de refrigeración (101, 102, 103) y la posición o ubicación que se controla, tal como la que se observa cerca del equipo electrónico (110). Por conveniencia, las unidades de aire acondicionado típicas normalmente miden y controlan la temperatura del aire de retorno antes de que pase por el intercambiador de calor interior en la unidad. El error entre la temperatura del aire de retorno y la temperatura en la posición o ubicación bajo control típicamente será razonablemente pequeño, pero el controlador de temperatura complementario (106) proporciona un medio para corregir este error para aquellas aplicaciones críticas que requieren una mayor precisión de temperatura. También podrían elegirse soluciones alternativas, tal como extender los sensores de temperatura de cada unidad de refrigeración (101, 102, 103) a la posición o ubicación bajo control, para lograr el mismo resultado, aunque tales estrategias alternativas pueden no ser óptimas desde un punto de vista de costo y conveniencia. Cada unidad de refrigeración (101, 102, 103) también puede configurarse para aceptar solamente un valor de corrección de temperatura desde el controlador de temperatura complementario (106) dentro de un intervalo limitado, lo que asegura que un fallo en el controlador de temperatura complementario (106) no pueda poner en peligro el funcionamiento del sistema de refrigeración general.

La modalidad de la Figura 1 contiene además un controlador de humedad opcional (107) que es capaz de medir la humedad en el espacio acondicionado (111). Para muchas aplicaciones de refrigeración electrónica, controlar la humedad es menos crítico que controlar la temperatura y el costo de los sensores de humedad puede no justificar la incorporación de sensores de humedad en cada unidad (101, 102, 103). Para aplicaciones que requieren control de humedad, el controlador de humedad (107) se usa para comparar la humedad medida con el punto de ajuste deseado y para proporcionar un ajuste a las velocidades del ventilador del intercambiador de calor interior (202) de las unidades de refrigeración (101, 102, 103), lo que aumenta o reduce así su capacidad de refrigeración latente y por lo tanto controla la humedad del espacio acondicionado (111). Cada unidad de refrigeración (101, 102, 103) puede configurarse para aceptar solamente un valor de ajuste del ventilador desde el controlador de humedad (107) dentro de un intervalo limitado, lo que asegura que un fallo en el controlador de humedad (107) no pueda poner en peligro el funcionamiento del sistema de refrigeración general.

Aunque la interfaz de usuario (105), el controlador de temperatura complementario (106) y el controlador de humedad (107) se han mostrado y descrito por separado para mayor claridad, estos elementos pueden combinarse típicamente en una unidad física para la optimización de costos.

La modalidad de la Figura 1 puede incluir además las unidades de conversión de energía opcionales (121, 122, 123), donde el número de unidades de conversión de energía (121, 122, 123) corresponde típicamente al de la cantidad de unidades de refrigeración (101, 102, 103). Las unidades de conversión de energía pueden tener dos entradas de alimentación, una adecuada para la conexión a la fuente de alimentación primaria (115) y una adecuada para la conexión a la fuente de alimentación ininterrumpida (114). La unidad de conversión de energía puede configurarse para conectar la unidad de refrigeración a la fuente de alimentación primaria cuando la fuente de alimentación primaria cumple las condiciones especificadas, o a la fuente de alimentación ininterrumpida cuando la fuente de alimentación primaria excede las condiciones especificadas. El funcionamiento de esta manera puede ser beneficioso en términos de eficiencia general, ya que la fuente de alimentación ininterrumpida (113) no procesa la energía de la unidad de refrigeración cuando la alimentación primaria cumple las condiciones especificadas, lo que ahorra en estas las pérdidas de conversión de energía. La unidad de conversión de energía puede contener además circuitos de conversión de energía, que pueden convertir la alimentación ininterrumpida o primaria en la adecuada para alimentar la unidad de refrigeración, si tal conversión es necesaria, tal como un inversor DC/AC, un convertidor DC/DC, un convertidor AC/DC, o similar.

Las unidades de conversión de energía (121, 122, 123), descritas anteriormente, pueden no ser necesarias para el funcionamiento correcto del sistema de refrigeración redundante si, por ejemplo, la calidad de la fuente de alimentación primaria es de un nivel aceptable, o si la fuente de alimentación primaria se respalda por un generador diésel, o en otros casos. Sin embargo, las unidades de conversión de energía pueden usarse para mejorar la disponibilidad del sistema de refrigeración en los casos donde la calidad de la fuente de alimentación primaria no es de un nivel aceptable, o cuando no se desee el funcionamiento del generador diésel de respaldo, por ejemplo. Estas unidades de conversión de energía (121, 122, 123) se muestran por separado de las unidades de refrigeración, ya que esta funcionalidad puede no ser necesaria en todos los casos, sin embargo, toda o parte de la unidad de conversión de energía puede incorporarse en la unidad de refrigeración o en otro lugar si se desea, el sistema ilustrado en la Figura 7, que se describe en detalle más abajo, proporciona un ejemplo de un circuito adecuado para su uso en la unidad de conversión de energía.

Con referencia ahora a la Figura 2, cada una de las unidades de refrigeración por aire mencionadas anteriormente (101, 102, 103) se equipa además con un sistema de flujo de refrigerante variable. Los sistemas de flujo de refrigerante variable tienen el beneficio de una mejor eficiencia en ciertas condiciones de carga particular, lo que permite optimizar la eficiencia general del sistema al operar cada unidad de refrigeración en un punto de operación adecuado. La modalidad de la Figura 2 incorpora un compresor accionado por motor (206) controlado por un variador de velocidad (210) para lograr el flujo de refrigerante variable, pero este aspecto de la modalidad de la Figura 2 no limita el alcance de las diversas modalidades descritas en la presente descripción. Esta descripción también abarca los sistemas de refrigeración redundante construidos mediante el uso de unidades de refrigeración que incorporan otros sistemas de flujo de refrigerante variable, tales como los compresores de desplazamiento digital, los compresores de múltiples etapas, los compresores de dos velocidades y otras unidades de refrigeración que pueden proporcionar una mejor eficiencia cuando se operan en condiciones de carga particular. El compresor también puede, pero no se requiere que se accione a través de un motor sin escobillas de DC o un motor sincrónico de imán permanente (PMSM) para una alta eficiencia, aunque los compresores accionados a velocidad variable a través de motores de inducción u otros tipos de motores también pueden usarse con resultados beneficiosos.

Cada unidad de refrigeración por aire (101, 102, 103) puede incluir además una pluralidad de intercambiadores de calor, de manera que al menos un intercambiador de calor se configura como un intercambiador de calor interior (203) para absorber el calor del equipo generador de calor y al menos un intercambiador de calor se configura como un intercambiador de calor exterior (207) para rechazar el calor hacia un disipador de calor, por ejemplo, el aire exterior. Cada unidad de refrigeración por aire (101, 102, 103) puede incluir además al menos un controlador (211) para controlar y operar cada unidad de refrigeración por aire y al menos un sensor de temperatura (212) para medir la temperatura del espacio acondicionado. Cada intercambiador de calor puede equiparse además con al menos un

5 ventilador accionado por motor (202, 208) para mejorar la eficiencia del proceso de intercambio de calor. En una
 modalidad, la velocidad del ventilador interior (202) se controla mediante un variador de velocidad (201), ambos que
 permiten el control de la humedad, como se describió anteriormente, y una reducción beneficiosa del consumo de
 energía en condiciones de carga particular. De manera similar, en esta modalidad, la velocidad del ventilador exterior
 (208) puede controlarse mediante un variador de velocidad (210) que permite una reducción beneficiosa del consumo
 de energía en condiciones de carga particular y la capacidad de la unidad de refrigeración para operar en condiciones
 ambientales bajas. Los ventiladores también pueden, pero no se requiere que se accionen a través de un motor sin
 escobillas de DC o un motor sincrónico de imán permanente (PMSM) para una alta eficiencia, aunque los ventiladores
 accionados a velocidad variable a través de motores de inducción u otros tipos de motores también pueden usarse
 con resultados beneficiosos.

15 Cada unidad de refrigeración por aire (101, 102, 103) puede contener además un dispositivo de expansión (204) para
 medir el flujo de refrigerante. En una modalidad, se usa una válvula de expansión electrónica (EEV) como el dispositivo
 de expansión (204) debido a su capacidad para proporcionar un rendimiento cercano al óptimo en varias condiciones
 de operación diferentes, pero pueden usarse además otros dispositivos de expansión tales como los tubos capilares,
 las válvulas de expansión termostáticas (TXV) y similares.

20 Cada unidad de refrigeración por aire (101, 102, 103) puede contener además un convertidor de entrada (215) que se
 usa para convertir la fuente de alimentación (214), conectada a la unidad de refrigeración, a las adecuadas para las
 entradas a los variadores de velocidad (201, 209, 210). Esto puede ser necesario, por ejemplo, en casos donde la
 fuente de alimentación (214) es AC y donde los variadores de velocidad (201, 209, 210) requieren una entrada DC
 para su funcionamiento. El convertidor de entrada (215) puede proporcionar además un control de la corriente de
 entrada y de la tensión del bus de DC para aplicaciones que requieren esta funcionalidad. Un ejemplo de un convertidor
 de entrada se muestra con más detalle en la Figura 7 descrita más abajo. Cada unidad de refrigeración puede contener
 además una fuente de alimentación auxiliar (216) adecuada para alimentar al menos un controlador (211). Las salidas
 de las fuentes de alimentación auxiliares (216) en cada unidad de refrigeración por aire también pueden conectarse
 de una manera segura y redundante (por ejemplo, con corriente limitada y protección de diodo) a través del bus de
 comunicación (104) para proporcionar una alimentación redundante a los varios elementos de control conectados al
 bus.

30 La Figura 7 ilustra un ejemplo de un circuito de alimentación adecuado para alimentar los elementos de la modalidad
 descrita para casos en los que la fuente de alimentación primaria (115) es AC y la fuente de alimentación ininterrumpida
 (113) es DC, tal como puede ser típico para aplicaciones de telecomunicaciones. El convertidor de entrada (215) se
 construye de manera que puede operar ambas fuentes de alimentación AC y DC de un nivel de tensión similar,
 controlar la corriente de entrada para que sea casi sinusoidal y en fase con la tensión de entrada cuando se opera en
 AC y minimizar el componente AC de baja frecuencia de la corriente de entrada cuando se opera en DC, mientras
 ambas controlan la tensión promedio del bus de DC a través del capacitor B4 a un nivel seleccionado. El puente
 rectificador (A1-A4) y el convertidor elevador (B1-B4) proporcionan esta funcionalidad en la modalidad ilustrada.

35 40 Las aplicaciones de telecomunicaciones generalmente requieren que el equipo conectado a la salida de la fuente de
 alimentación ininterrumpida de DC (113) cumpla con los criterios estrictos, entre ellos el aislamiento de la red eléctrica
 de AC, el nivel minimizado de corriente de ondulación de AC de baja frecuencia y las bajas emisiones de EMC. La
 tensión de DC nominal de una fuente de alimentación ininterrumpida de DC de telecomunicaciones es típicamente de
 24 V o 48 V, que normalmente es incompatible con un convertidor de entrada (215) construido para funcionar a partir
 de una fuente primaria nominal de 208-240 V RMS o 90-115 V RMS.

45 50 La unidad de conversión de energía (121) puede contener un transformador (J4) con una relación de transformación
 seleccionada para convertir el nivel de tensión de la fuente de alimentación ininterrumpida de DC a un nivel adecuado
 para la entrada al convertidor de entrada (215) y que puede proporcionar el aislamiento galvánico requerido de la red
 eléctrica de AC. Los interruptores semiconductores J2 y J3 se conmutan alternativamente, generalmente a alta
 frecuencia para minimizar el tamaño y costo del transformador (J4) y, de manera beneficiosa, a un ciclo de trabajo fijo
 de casi el 50 % para mejorar la eficiencia y minimizar la corriente de ondulación de alta frecuencia a través del capacitor
 (J1), lo que reduce la cantidad de filtrado requerido para cumplir con los requisitos de EMC. Como el convertidor de
 entrada (215) controla su corriente de entrada (es decir, la corriente de salida de la unidad de conversión de energía)
 para minimizar el contenido de AC de baja frecuencia y el convertidor de energía (J1-J8) funciona a un ciclo de trabajo
 fijo, también se minimiza el contenido de AC de baja frecuencia de la corriente de entrada a la unidad de conversión
 de energía. La tensión de salida del convertidor de energía (J1-J8) generalmente no necesita estar bien regulada, ya
 que el convertidor de entrada (215) puede operar típicamente en un intervalo suficiente de tensión de entrada, lo que
 simplifica aún más el convertidor de energía y le permite operar en un ciclo de trabajo fijo.

55 60 El relé de conmutación (K1) puede operarse de manera que el convertidor de entrada (215) se conecta a la fuente de
 alimentación primaria (115) cuando cumple con las condiciones especificadas y a la salida del convertidor de energía
 (J1-J8) cuando la fuente de alimentación primaria excede las condiciones especificadas, de manera que la unidad de
 refrigeración por aire se suministra normalmente a una alta eficiencia desde la fuente de alimentación primaria (115)
 cuando está disponible y desde la fuente de alimentación ininterrumpida (113) si falla la fuente de alimentación
 primaria.

Un variador de velocidad (210) puede construirse mediante el uso de interruptores semiconductores (C1-C6) conectados a la salida de DC del convertidor de entrada (215) y al controlar los interruptores (C1-C6) de manera que se produce una tensión de AC de amplitud y frecuencia variables para controlar la velocidad del motor del compresor y el compresor (206). De manera similar, los variadores de velocidad (210 y 209) pueden construirse mediante el uso de interruptores semiconductores y controlarse de manera que se producen tensiones de AC de amplitudes y frecuencias variables para controlar los motores de los ventiladores interiores y exteriores y los ventiladores (202, 208) respectivamente. Como el convertidor de entrada (215) se alimenta ininterrumpidamente, el compresor y los ventiladores también se alimentarán ininterrumpidamente.

Una fuente de alimentación auxiliar (216) también puede conectarse a la salida del convertidor de entrada (215) y, por lo tanto, también puede alimentarse ininterrumpidamente. En la modalidad ilustrada, la fuente de alimentación auxiliar es un convertidor DC/DC de retorno construido mediante el uso de un interruptor semiconductor (L1), un inductor acoplado (L2), un rectificador de salida L3 y un capacitor de salida (L4), aunque otras topologías de fuente de alimentación podrían proporcionar una funcionalidad similar. La energía de la fuente de alimentación auxiliar puede usarse para alimentar el al menos un controlador (211) y puede conectarse además a través de un circuito adecuado de limitación de corriente y protección de diodo para proporcionar energía redundante e ininterrumpida a los elementos de control conectados al bus de comunicación.

Las diversas modalidades descritas anteriormente pueden operarse en condiciones seleccionadas para mejorar la eficiencia energética del sistema general. La Figura 3 ilustra una relación típica (301) entre la relación de eficiencia energética (EER) y el porcentaje de carga nominal para una unidad de refrigeración de flujo de refrigerante variable equipada con un control de compresor de velocidad variable, de acuerdo con las diversas modalidades descritas en la presente descripción. Las características difieren un poco en dependencia de la construcción de la unidad de refrigeración de flujo de refrigerante variable, pero las características generales son que la relación de eficiencia energética de un sistema de refrigeración de flujo de refrigerante variable aumenta a medida que el porcentaje de carga nominal disminuye a partir de la capacidad nominal (región indicada por la flecha 304), alcanza un máximo (303) y luego disminuye (región indicada por la flecha 305) a medida que las pérdidas del circuito de control, la conversión de energía y similares exceden las ganancias de eficiencia logradas al operar la unidad en condiciones de carga particular. Generalmente, el porcentaje de carga nominal en el que la relación de eficiencia energética para una unidad de refrigeración de flujo de refrigerante variable es la máxima está por debajo del 50 % de la carga nominal y típicamente está en el intervalo de 10 % - 40 % de la carga nominal. Para una unidad de refrigeración de compresor de velocidad variable, también hay típicamente una velocidad mínima a la que puede controlarse el compresor para regular la capacidad de la unidad de refrigeración - por debajo de esta velocidad mínima, la regulación de la capacidad debe realizarse al encender y apagar el compresor a una velocidad adecuada de manera que se regule la capacidad de refrigeración promedio de la unidad, en lugar de la capacidad de refrigeración instantánea.

Para un sistema de refrigeración redundante que incluye un número (N) de unidades de refrigeración de refrigerante variable esencialmente idénticas (200) en la modalidad ilustrada en la Figura 2, el funcionamiento del sistema de refrigeración redundante puede considerarse dividido en dos regiones. La primera región es donde la carga promedio por unidad de refrigeración (es decir, la carga de refrigeración total dividida por el número de unidades de refrigeración, N) es mayor que el porcentaje de carga en el que se produce la relación de eficiencia energética máxima para la unidad de refrigeración (la región indicada por la flecha 304 en la Figura 3). En las modalidades descritas, el funcionamiento en esta región se denomina modo de operación "Lineal". La segunda región es donde la carga promedio por unidad de refrigeración es menor que el porcentaje de carga en el que se produce la relación de eficiencia energética máxima para la unidad de refrigeración (la región indicada por la flecha 305 en la Figura 3). En las modalidades descritas, el funcionamiento en esta región se denomina modo de operación de "Encendido/Apagado".

Un modelo de la relación de eficiencia energética en función del porcentaje de carga nominal para la unidad de refrigeración (101, 102, 103) se determina según el diseño de la unidad de refrigeración y al medir las características de la unidad de refrigeración (101, 102, 103). Este modelo puede incorporarse en los controladores (211) en cada unidad (101, 102, 103) y usarse para determinar si la carga promedio por unidad se encuentra dentro de la primera o segunda región descrita anteriormente y, en consecuencia, qué modo de operación (es decir, Lineal o de Encendido/Apagado) seguir para minimizar el consumo de energía del sistema de refrigeración general, mientras se regula la temperatura del espacio acondicionado.

Para el funcionamiento en la primera región descrita anteriormente (es decir, cuando la carga promedio por unidad de refrigeración es mayor que aquella en la que se produce la relación de eficiencia energética máxima para la unidad de refrigeración), la mayor eficiencia del sistema de refrigeración general puede lograrse al operar cada unidad de refrigeración (101, 102, 103) en el punto igual a la carga promedio por unidad de refrigeración. En otras palabras, para la mayor eficiencia del sistema de refrigeración general, la carga de refrigeración total debe dividirse por igual entre todas las unidades de refrigeración. Esto es a diferencia del método de control de retardo de avance, donde normalmente al menos una unidad se mantiene en espera (y, por lo tanto, en condiciones sin carga), y las unidades activas se cargan en condiciones de carga nominal de hasta el 100 %.

Como no es ni sencillo ni barato medir la carga de calor total y de esta manera calcular la capacidad de refrigeración promedio requerida por unidad, es conveniente tener un método de control que sea capaz de igualar la capacidad de refrigeración por unidad de refrigeración mientras controla la temperatura en el espacio acondicionado en el punto de ajuste deseado, sin medir la carga de refrigeración total. En condiciones de estado estable (es decir, cuando la capacidad de refrigeración por unidad de refrigeración se ha igualado y la temperatura del espacio acondicionado se ha estabilizado en el punto de ajuste deseado), cada unidad de refrigeración funcionará entonces en el punto igual a la capacidad promedio requerida por unidad de refrigeración, según sea necesario para el control simultáneo de la temperatura y el consumo de energía mínimo.

Para una unidad de refrigeración equipada con un compresor de velocidad variable, la capacidad de refrigeración de la unidad es aproximadamente proporcional a la velocidad del compresor. Por lo tanto, el control de la velocidad del compresor en cada unidad de refrigeración esencialmente idéntica para que sea similar o igual a la de los compresores de las otras unidades de refrigeración esencialmente idénticas incluidas en el sistema de refrigeración redundante, asegurará efectivamente que cada unidad de refrigeración se cargue casi igualmente. Las velocidades del compresor casi iguales pueden controlarse a su vez para regular la temperatura del espacio acondicionado, lo que proporciona un control simultáneo de la temperatura y un consumo de energía relativamente cercano al mínimo.

La Figura 4 ilustra un diagrama de bloques de un controlador adecuado para controlar cada unidad de refrigeración que comprende el sistema de refrigeración redundante, como se representa por el elemento 211 en la Figura 2 en el modo de operación "Lineal". La función principal de la unidad de refrigeración, y por lo tanto del controlador de la unidad de refrigeración, es mantener la temperatura en el espacio acondicionado a la temperatura del punto de ajuste para el correcto funcionamiento del equipo que va a enfriarse. Una función secundaria del controlador es minimizar el consumo de energía de la unidad de refrigeración individual (101, 102, 103) en cualquier punto de operación en particular al controlar las velocidades del compresor y el ventilador de manera que la salida de refrigeración requerida se proporcione con el consumo mínimo de energía de entrada. Otra función adicional del controlador es, junto con los controladores en las otras unidades de refrigeración que comprende el sistema de refrigeración redundante, minimizar el consumo de energía general del sistema de refrigeración redundante.

Un elemento proporcional integral (PI) (401) en el controlador puede usarse para controlar la velocidad del compresor proporcional a la diferencia entre la temperatura deseada (T_{set}) y la temperatura de retroalimentación medida promedio (T_{av}). El término integral en el elemento PI (401) cancela cualquier error entre la temperatura deseada (T_{set}) y la temperatura de retroalimentación medida promedio (T_{av}), que típicamente ocurre cuando se usa un control puramente proporcional. También pueden usarse otras metodologías de control basadas en retroalimentación para implementar el controlador.

Cada controlador contiene además un elemento de promediación de la retroalimentación de temperatura (402) que calcula la temperatura promedio (T_{av}) en función de las temperaturas (T_1, T_2, T_n) medidas por cada una de las unidades de refrigeración y comunicadas a través del bus de comunicación (213). A medida que el elemento de promediación de la retroalimentación de temperatura (402) en cada controlador promedia el mismo conjunto de temperaturas medidas (T_1, T_2, T_n), cada uno calcula el mismo valor para T_{av} , lo que asegura que se use el mismo valor de temperatura de retroalimentación para calcular la velocidad del compresor en el elemento PI (401) de cada una de las unidades. Esta función asegura que se promedien las tolerancias de los sensores de temperatura entre cada unidad. Los límites pueden implementarse en un intervalo de temperatura aceptable del sensor de temperatura en cada unidad de refrigeración, lo que asegura que un valor de un sensor de temperatura defectuoso se excluya del cálculo de promediación, lo que protege la integridad del sistema de refrigeración redundante. Un sensor de temperatura defectuoso puede configurarse para generar una alarma para solicitar la reparación por parte del personal de servicio. La Figura 5 es un diagrama de flujo que muestra un ejemplo de un algoritmo adecuado para implementar esta funcionalidad a prueba de fallos.

Cada controlador contiene además un elemento de promediación del término integrador (403) que calcula el término integral promedio (I_{av}) en función de las temperaturas (I_1, I_2, I_n) determinadas por cada una de las unidades de refrigeración y comunicadas a través del bus de comunicación (213). A medida que el elemento de promediación del término integrador (403) en cada controlador promedia el mismo conjunto de términos integrales (I_1, I_2, I_n), cada uno calcula el mismo valor para I_{av} , lo que asegura que se use el mismo valor del término integral para calcular la velocidad del compresor en el elemento PI (401) de cada una de las unidades. Esta función asegura que se promedie cualquier diferencia entre los términos integrales entre las unidades, tal como las provocadas por la energía aplicada a las unidades en diferentes momentos.

A partir de la descripción anterior será evidente que, como los parámetros usados como la entrada al elemento PI (401) en el controlador de cada unidad de refrigeración son los mismos, el elemento PI (401) en el controlador de cada unidad de refrigeración determinará aproximadamente la misma velocidad del compresor para cada unidad de refrigeración, lo que iguala así aproximadamente las velocidades del compresor en cada unidad de refrigeración incluida en el sistema de refrigeración redundante y que cumple el objetivo de un consumo de energía general casi mínimo como se detalló anteriormente.

Además, será evidente que, en caso de fallo del bus de comunicación, cada unidad de refrigeración aún puede controlar la temperatura del espacio acondicionado de manera independiente, lo que mantiene así la integridad del sistema redundante, aunque con la pérdida de la función de minimización de energía. Un fallo en el bus de comunicación puede configurarse para generar una alarma para solicitar la reparación por parte del personal de servicio.

En adición al control de temperatura y las funciones de igualación de la velocidad del compresor descritas anteriormente, cada controlador puede contener además elementos de control de la velocidad del ventilador (404 y 405) para controlar las velocidades del ventilador del intercambiador de calor exterior e interior (208 y 202 en la Figura 2) para minimizar el consumo de energía de cada unidad en condiciones de carga particular. Como la energía consumida por un ventilador es proporcional al cubo de la velocidad, puede lograrse un ahorro sustancial en el consumo de energía del ventilador al operar un ventilador a una velocidad reducida. Sin embargo, la velocidad reducida del ventilador resulta en el flujo de aire sobre el intercambiador de calor que se reduce proporcionalmente a la velocidad del ventilador, lo que a su vez resulta en que se requiera más energía del compresor para cumplir los mismos requisitos de refrigeración. En un cierto intervalo de condiciones de carga particular, los ahorros de energía logrados al operar los ventiladores a una velocidad reducida pueden superar el aumento de compensación en la energía del compresor, lo que resulta en una mayor eficiencia energética para la unidad de refrigeración para ese cierto intervalo de condiciones de carga particular.

Basado en el modelo determinado para la unidad de refrigeración, el controlador puede configurarse para implementar funciones para variar las velocidades del ventilador interior y exterior en dependencia de la carga de refrigeración en la unidad, a fin de minimizar el consumo de energía de la unidad de refrigeración en la condición de carga particular. Como se mencionó anteriormente, la capacidad de refrigeración es aproximadamente proporcional a la velocidad del compresor, por lo que la velocidad del compresor puede seleccionarse como un parámetro adecuado para determinar las velocidades óptimas del ventilador interior y exterior. Como el sistema ajustará las velocidades del compresor para que sean iguales entre sí, y las velocidades del ventilador interior y exterior en cada unidad de refrigeración pueden controlarse como una función de la velocidad del compresor, las velocidades del ventilador entre las unidades de refrigeración también se igualarán aproximadamente.

Lo anterior describe un método de control adecuado para su uso durante el modo de operación "Lineal", el elemento 304 de la Figura 3, donde la salida promedio requerida por unidad de refrigeración es mayor que aquella en la que se produce la relación de eficiencia energética máxima para la unidad de refrigeración. En otros casos, la salida promedio requerida por unidad de refrigeración puede seleccionarse para que sea, o se encuentre, por debajo de aquella en la que se produce la relación de eficiencia energética máxima de la unidad de refrigeración, es decir, el intervalo de cargas indicado por 305 en la Figura 3. Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando el sistema de refrigeración redundante se sobredimensiona para permitir una expansión en la capacidad del equipo generador de calor, o en otras situaciones. En este caso, puede ser más conveniente desde un punto de vista de eficiencia energética, operar las unidades de refrigeración individuales en el punto en el que se produce la relación de eficiencia energética máxima (elemento 303 en la Figura 3).

En la situación sobredimensionada o similar descrita inmediatamente arriba, si cada unidad de refrigeración individual funciona a una salida de refrigeración superior a la salida promedio requerida para cumplir con los requisitos de refrigeración totales, la salida de refrigeración total del sistema de refrigeración redundante será mayor que la requerida para coincidir con los requisitos de refrigeración totales y se reducirá la temperatura del espacio acondicionado. Sin embargo, al apagar un número suficiente de unidades de refrigeración individuales y operar las unidades restantes en el punto de operación en el que se produce su relación de eficiencia energética máxima, la salida de refrigeración total del sistema de refrigeración redundante puede reducirse por debajo de la requerida para coincidir con los requisitos de refrigeración totales y aumentará la temperatura del espacio acondicionado. Por lo tanto, al apagar o encender alternativamente de manera adecuada las unidades de refrigeración individuales, en el punto en el que se produce la relación de eficiencia energética máxima, es posible controlar la temperatura promedio del espacio acondicionado igual al punto de ajuste deseado en el modo de operación de encendido/apagado, elemento 305 de la Figura 3.

La Figura 6 es un diagrama de flujo que detalla un algoritmo adecuado para controlar el funcionamiento de la unidad de refrigeración individual, al conmutar entre el modo de operación "Lineal" 304 y el modo de operación de "Encendido/Apagado" 305 como se definió anteriormente. Este algoritmo o uno similar puede incorporarse en el controlador (211 en la Figura 2) en cada unidad de refrigeración. Cada unidad comienza a funcionar en el modo Lineal, de manera que el elemento PI (401) en cada controlador ajusta la velocidad del compresor en función de la diferencia entre la temperatura medida promedio (T_{av}) y la temperatura del punto de ajuste (T_{set}), mientras que de manera simultánea iguala las velocidades del compresor entre las unidades de refrigeración como se describió anteriormente. Si la salida de refrigeración total de todas las unidades de refrigeración incluidas dentro del sistema de refrigeración redundante es mayor que la refrigeración requerida, se reducirá la temperatura del espacio acondicionado. Esto a su vez hará que el elemento PI (401) en cada controlador ajuste la velocidad del compresor hasta que la salida de refrigeración total de todas las unidades incluidas dentro del sistema de refrigeración redundante sea igual a la refrigeración requerida y la temperatura medida (T_{av}) del espacio acondicionado se estabilizará en el punto de ajuste (T_{set}). Si la velocidad del compresor calculada (que es aproximadamente la misma en cada unidad de refrigeración)

es inferior a esa en la que el modelo incorporado determina que se produce la relación máxima de eficiencia energética para la unidad, la unidad puede configurarse para cambiar al modo de operación de Encendido/Apagado. De manera similar, las otras unidades con sus velocidades del compresor igualadas, también cambiarán a un modo de operación de Encendido/Apagado aproximadamente al mismo tiempo.

5 En el modo de operación de Encendido/Apagado, cada controlador verifica si la temperatura medida promedio (Tav) cae por debajo del punto de ajuste (Tset) en más de una cantidad predeterminada (Toff). Si es así, se apaga el compresor en la unidad. En esta implementación, los controladores en todas las unidades de refrigeración determinan la misma Tav y tienen el mismo punto de ajuste (Tset) y Toff, por lo que todos tomarán la misma decisión de apagar sus compresores. Las velocidades de los ventiladores de cada unidad se controlan como una función de la velocidad del compresor para maximizar la eficiencia energética para la unidad - cuando la velocidad del compresor se establece en cero, las velocidades del ventilador interior y exterior también pueden establecerse en cero para minimizar el consumo de energía de la unidad, lo que reduce el consumo de energía de cada unidad casi a cero.

10 Cuando se apagan los compresores de las unidades de refrigeración, la salida de refrigeración se reduce a cero, lo que hace que aumente la temperatura en el espacio acondicionado. Cada controlador verifica si la temperatura medida promedio (Tav) aumenta por encima del punto de ajuste (Tset) en más de una cantidad predeterminada (Ton). Si es así, se enciende el compresor en la unidad. En esta implementación, los controladores en todas las unidades de refrigeración determinan la misma Tav y tienen el mismo punto de ajuste (Tset) y Ton, por lo que todos tomarán la misma decisión de encender sus compresores casi al mismo tiempo. Si la temperatura medida promedio (Tav) continúa en aumento una vez que todas las unidades operan sus compresores en el punto de EER máxima, esto indica que la carga de refrigeración total es mayor que la salida de refrigeración total de todas las unidades que operan en su punto de EER máxima - lo que indica que el modo de operación lineal debe usarse para el control. Si la temperatura medida promedio (Tav) alcanza el punto de umbral más alto (Tlinear) por encima del punto de ajuste (Tset), cada unidad vuelve al modo de operación lineal.

25 En algunos casos, puede ser conveniente encender y apagar las unidades de refrigeración individuales en etapas en el modo de operación de encendido/apagado, en lugar de que todas las unidades de refrigeración se enciendan simultáneamente y se apaguen simultáneamente. Esto puede, por ejemplo, permitir el control de la temperatura dentro de una banda de encendido/apagado más estrecha sin un ciclo excesivo de las unidades de refrigeración individuales. Esto puede lograrse al apagar las unidades de refrigeración, una a la vez con un período de tiempo suficiente entre las unidades de refrigeración sucesivas que se apagan para verificar si la temperatura del espacio acondicionado aumenta y, por lo tanto, que la salida de refrigeración total es menor que la salida de refrigeración requerida. De manera similar, las unidades de refrigeración pueden volver a encenderse, una a la vez, con un período de tiempo suficiente entre las unidades de refrigeración sucesivas que se encienden para verificar si la temperatura del espacio acondicionado disminuye y, por lo tanto, que la salida de refrigeración total es mayor que la salida de refrigeración requerida. El bus de comunicación puede utilizarse para rotar el funcionamiento de las unidades de refrigeración y garantizar que las unidades experimenten un desgaste uniforme.

40 La descripción anterior se ha centrado principalmente en el objetivo de minimizar el consumo de energía del sistema de refrigeración redundante descrito al distribuir la carga de refrigeración por igual en todas las unidades de refrigeración. Para un experto en la técnica, será evidente que una de las causas de la vida útil reducida de los componentes es la temperatura a la que funcionan los componentes. De acuerdo con la ecuación de Arrhenius, un aumento de 10 C en la temperatura resulta en una reducción de aproximadamente el 50 % en MTBF. En consecuencia, es ventajoso desde un punto de vista de fiabilidad operar los componentes principales a baja temperatura.

45 Ciertos componentes en la unidad de refrigeración se someten al calentamiento debido a las pérdidas eléctricas y mecánicas que ocurren durante el funcionamiento. Como las modalidades descritas en la presente descripción mejoran la eficiencia del sistema de refrigeración redundante en comparación con un sistema de control típico de avance/retardo, se reducen las pérdidas generales en la invención descrita. Las pérdidas más bajas implican un menor calentamiento de los componentes y un MTBF mejorado correspondiente. Además, será evidente que durante el modo de operación lineal, las pérdidas se dividen en partes iguales entre todas las unidades de refrigeración que comprende el sistema de refrigeración redundante, en comparación con el sistema de control de avance/retardo donde las pérdidas se dividen solamente entre las unidades activas. Por lo tanto, durante el modo de operación lineal, las pérdidas generales del sistema de refrigeración se reducen debido a la mejora en la eficiencia del sistema y las pérdidas se dividen entre más unidades de refrigeración que en el método de control de avance/retardo, lo que resulta en pérdidas sustancialmente más bajas por unidad de refrigeración.

60 Aunque las pérdidas por unidad de refrigeración son sustancialmente menores para el método de control descrito en comparación con un método de control de avance/retardo, cada unidad se opera de manera continua en lugar de mantenerse en espera durante una proporción del tiempo como en el método de control de avance/retardo. Para implementaciones del sistema y condiciones de operación típicas, las ganancias obtenidas de los componentes que operan a temperaturas más bajas exceden el impacto del tiempo de operación adicional que resulta en un sistema MTBF mejorado.

65 En algunos casos, puede ser conveniente, desde un punto de vista del costo, utilizar unidades de refrigeración del tipo "comodidad" como las unidades de refrigeración en el sistema de refrigeración redundante para enfriar equipos

electrónicos. Las unidades de refrigeración del tipo “comodidad” normalmente se fabrican en grandes volúmenes, lo que permite lograr un bajo costo por unidad. Una de las diferencias entre las unidades de refrigeración de “comodidad” (que se diseñan para proporcionar un entorno cómodo para las personas) y las unidades de refrigeración de “precisión” (que se diseñan para proporcionar un entorno adecuado para la electrónica) es que las unidades de refrigeración de comodidad tienen una proporción relativamente grande de su capacidad de refrigeración total dedicada a la refrigeración latente (eliminar la humedad). La capacidad de refrigeración total de una unidad de refrigeración se define como la suma de la capacidad de refrigeración sensible (capacidad que se usa para disminuir la temperatura del aire) y la capacidad latente (capacidad usada para reducir la humedad del aire). La relación de calor sensible (SHR) de una unidad de refrigeración se define como la relación de la capacidad de refrigeración sensible sobre la capacidad de refrigeración total de una unidad de refrigeración.

Los equipos de telecomunicaciones (y otras fuentes electrónicas que generan calor) no generan humedad y el espacio acondicionado en el que se encuentra el equipo normalmente está bastante bien sellado de la atmósfera exterior, lo que significa que se requiere poca o ninguna eliminación de humedad (refrigeración latente). La refrigeración latente excesiva hace que la humedad en el espacio acondicionado se reduzca por debajo del nivel deseado y no es eficiente energéticamente. Las unidades de refrigeración de comodidad generalmente se diseñan para tener una relación de calor sensible (SHR) de aproximadamente 60 al 80 % en condiciones nominales, mientras que una unidad de refrigeración de precisión generalmente se diseña para tener una SHR de aproximadamente 90 al 100 % en condiciones nominales. Por lo tanto, las unidades de refrigeración de comodidad generalmente no son ideales para su uso en aplicaciones de refrigeración de equipos electrónicos.

La SHR de una unidad de refrigeración es una función de la capacidad de refrigeración total de la unidad y el volumen del flujo de aire a través del intercambiador de calor interior. El flujo de aire máximo a través del intercambiador de calor interior de una unidad de refrigeración de comodidad generalmente se limita por el ventilador y el motor alrededor de los cuales se diseña la unidad, por lo que generalmente no puede cambiarse fácilmente para aumentar el flujo de aire y, por lo tanto, aumentar la SHR de la unidad. Sin embargo, al operar la unidad de refrigeración a una salida de refrigeración reducida y mantener un flujo de aire proporcionalmente más alto, es posible aumentar la SHR de la unidad de refrigeración. En los modos de operación lineal y de encendido/apagado, como se describió anteriormente, cada unidad de refrigeración se opera generalmente en condiciones de salida de refrigeración menores que las máximas, lo que permite aumentar la SHR de cada unidad de refrigeración al mantener un volumen del flujo de aire proporcionalmente más alto en el intercambiador de calor interior de la unidad de refrigeración. En una modalidad, esto puede implementarse en la función que controla la velocidad del ventilador interior en dependencia de la velocidad del compresor en el controlador de cada unidad de refrigeración.

En el caso de un fallo de una unidad de refrigeración, cada una de las unidades restantes puede cargarse hasta su capacidad de refrigeración nominal máxima. En este caso, la SHR de cada unidad de refrigeración y, de la misma manera, el sistema de refrigeración redundante general se reducirá de vuelta a la de cada una de las unidades de refrigeración a la capacidad nominal. En el caso de que se usen unidades de refrigeración de comodidad como las unidades de refrigeración que comprende el sistema de refrigeración redundante, la SHR resultante estará por debajo del valor óptimo para la electrónica de refrigeración, lo que puede hacer que la humedad se reduzca por debajo del valor deseado y se afecte la eficiencia del sistema de refrigeración. La temperatura del espacio acondicionado también puede aumentar desde el punto de ajuste, ya que la carga de calor sensible puede exceder la capacidad de refrigeración sensible de las unidades de refrigeración restantes. Sin embargo, el fallo de una unidad de refrigeración puede configurarse para notificar al personal de servicio para una acción rápida y, en dependencia de la aplicación, la humedad y eficiencia más bajas que las deseadas y la temperatura más alta del espacio acondicionado pueden ser aceptables durante un período de tiempo corto.

Como se mencionó, los sistemas de refrigeración para aplicaciones electrónicas generalmente no necesitan proporcionar deshumidificación (refrigeración latente) ya que los equipos electrónicos no generan humedad. Sin embargo, para los casos donde el espacio acondicionado no está bien aislado del ambiente externo, puede ser necesario proporcionar deshumidificación para mantener la humedad del espacio acondicionado en el nivel deseado.

Para que las unidades de refrigeración proporcionen deshumidificación, los intercambiadores de calor interiores deben estar a una temperatura por debajo del punto de rocío del aire que pasa por el intercambiador de calor. En una modalidad, esto se logra al reducir la velocidad del ventilador del intercambiador de calor interior, lo que reduce así el flujo de aire por el intercambiador de calor interior. Esto, a su vez, provoca una reducción compensatoria en la temperatura del intercambiador de calor interior para mantener la temperatura del aire de retorno en el punto de ajuste. Mediante una reducción adecuada de la velocidad del ventilador interior, se obtiene la cantidad deseada de deshumidificación.

En una modalidad, un controlador de humedad (107 en la Figura 1) monitorea la humedad del espacio acondicionado. Si la humedad excede el punto de ajuste de humedad en una cantidad definida, el controlador de humedad notifica a todas las unidades de refrigeración a través del bus de comunicación que se requiere la deshumidificación.

En consecuencia, las unidades de refrigeración reducen las velocidades de los ventiladores interiores de manera que proporcionen la deshumidificación. Una vez que la humedad ha caído por debajo del punto de ajuste de humedad en

una cantidad definida, el controlador de humedad notifica a todas las unidades de refrigeración a través del bus de comunicación que ya no se requiere la deshumidificación, con lo cual todas las unidades de refrigeración ajustan sus velocidades del ventilador interior de vuelta al nivel que resulta en la mejor eficiencia para la unidad de refrigeración. El sistema puede incorporar una alarma que se activa si se requiere la deshumidificación por más tiempo que un período de tiempo predeterminado, lo que indica un problema potencial con el sistema o que el espacio acondicionado no está bien sellado. Las unidades de refrigeración también pueden incorporar una característica de protección de manera que la deshumidificación se cancela si la temperatura del espacio acondicionado sube por encima de un nivel predeterminado, lo que protege contra fallos en el controlador de humedad. En una modalidad alternativa para controlar la humedad, sólo una de las unidades de refrigeración puede seleccionarse para reducir su velocidad del ventilador interior para realizar la deshumidificación, mientras que las unidades restantes mantienen sus velocidades del ventilador al nivel que resulta en la mejor eficiencia para la unidad de refrigeración respectiva. Esta modalidad alternativa puede tardar más tiempo en realizar la deshumidificación requerida, pero puede resultar en un menor consumo de energía general. Esta modalidad alternativa puede incluir además una característica de manera que la unidad de deshumidificación se alterna entre las unidades de refrigeración para igualar el desgaste en las unidades de refrigeración.

En las modalidades descritas anteriormente, se usa un modelo de la unidad de refrigeración para determinar el punto de operación óptimo para cada unidad. En una modalidad alternativa, puede seguirse un enfoque de lazo cerrado, de manera que se mide el consumo de energía de cada unidad de refrigeración (101, 102, 103) y se minimiza el consumo de energía total al ajustar el punto de operación de cada unidad de refrigeración (101, 102, 103) en consecuencia. El enfoque de lazo cerrado aún requiere un modelo razonablemente preciso de la unidad de refrigeración y requiere transductores adicionales para medir la energía de entrada de cada unidad de refrigeración. A menudo, el costo adicional y la complejidad de un sistema de este tipo no justifican las ganancias en el rendimiento si se comparan con una unidad modelada suficientemente bien mediante el uso del enfoque de lazo abierto descrito anteriormente.

En una modalidad de lazo abierto descrita anteriormente, cada unidad de refrigeración controla la temperatura del espacio acondicionado hasta el punto de ajuste de manera independiente y se usa un bus de comunicaciones para compartir información, para permitir que las unidades igualen sus velocidades del compresor y proporcionen información de estado. En una modalidad alternativa de lazo abierto, cada unidad de refrigeración se construye de manera que su velocidad del compresor es proporcional a la diferencia entre la temperatura medida y la temperatura del punto de ajuste. Como la temperatura del espacio acondicionado medida por cada unidad será cercana a la medida por todas las demás unidades, las velocidades del compresor en cada unidad de refrigeración serán similares, sin necesidad de ninguna conexión o comunicación entre las unidades de refrigeración. Sin embargo, habrá un error de estado estacionario resultante entre la temperatura del punto de ajuste y la temperatura medida del espacio acondicionado.

Si la carga de calor en el espacio acondicionado es relativamente constante y es aceptable un cierto error entre la temperatura del punto de ajuste y la real, esto puede compensarse manualmente al ajustar los puntos de ajuste de temperatura en las unidades de refrigeración. Alternativamente, un controlador de temperatura externo puede medir la temperatura del espacio acondicionado y ajustar los puntos de ajuste de las unidades de refrigeración para compensar este error de estado estacionario resultante; sin embargo, este controlador requerirá una conexión a cada unidad de refrigeración para poder ajustar los puntos de ajuste. Es probable que una conexión más sencilla y de menor costo (tal como una señal analógica) pueda usarse para ajustar la temperatura del punto de ajuste de esta modalidad alternativa en lugar del bus de comunicación descrito anteriormente. Sin embargo, es posible menos control e información de estado hacia/desde cada unidad con una conexión más simple de la que está disponible cuando se utiliza un bus de comunicación, lo que hace que la detección de fallos, diagnósticos y ajustes sean más complicados cuando se usa una conexión simple. Además, las velocidades del compresor no se igualarán tan bien como en la modalidad de lazo abierto que presenta un bus de comunicación como se describió anteriormente, debido a las tolerancias en los sensores de temperatura y las diferencias en las posiciones donde se mide la temperatura del espacio acondicionado.

Como se describió anteriormente, las diversas modalidades se optimizan para su uso con equipos generadores de calor que requieren la refrigeración por aire para eliminar el exceso de calor. Un sistema de refrigeración redundante también puede construirse de una manera similar y con beneficios y características similares a los descritos para su uso con equipos generadores de calor que requieren refrigeración líquida para eliminar el calor. En este caso, los intercambiadores de calor interiores de aire a líquido y los ventiladores de las unidades de refrigeración individuales podrían reemplazarse por intercambiadores de calor de líquido a líquido, o el refrigerante de cada unidad de refrigeración podría circular directamente a través de un intercambiador de calor o intercambiadores de calor en el equipo generador de calor, si el equipo generador de calor se diseña adecuadamente.

Varias modalidades de la descripción también podrían incluir permutaciones de los diversos elementos enumerados en las reivindicaciones como si cada reivindicación dependiente fuera una reivindicación dependiente múltiple que incorporara las limitaciones de cada una de las reivindicaciones dependientes anteriores, así como también las reivindicaciones independientes. Tales permutaciones están expresamente dentro del alcance de esta descripción.

5 Si bien la invención se ha mostrado y descrito particularmente con referencia a varias modalidades, los expertos en la técnica entenderían que pueden realizarse cambios en la forma y detalles de las diversas modalidades descritas en la presente descripción sin apartarse del espíritu y alcance de la invención y que las diversas modalidades descritas en la presente descripción no pretenden actuar como limitaciones en el alcance de las reivindicaciones. Todas las referencias citadas en la presente descripción se incorporan en su totalidad como referencia.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un método para implementar un sistema de refrigeración redundante para proporcionar una carga de refrigeración máxima predeterminada para el aire en un espacio acondicionado (111), el método que comprende:

proporcionar una pluralidad de unidades de refrigeración por aire con flujo de refrigerante variable (101, 102, 103) que comprenden un compresor de velocidad variable, en donde la cantidad de unidades de refrigeración por aire (101, 102, 103) es al menos una más de la requerida para cumplir con la carga de refrigeración máxima predeterminada al operar las unidades de refrigeración por aire (101, 102, 103) hasta una capacidad de refrigeración máxima;

10 acoplar la pluralidad de unidades de refrigeración por aire de flujo de refrigerante variable (101, 102, 103) en comunicación térmica con el aire en el espacio acondicionado (111); y

determinar una condición de operación óptima seleccionada para cada una de la pluralidad de unidades de refrigeración por aire de flujo de refrigerante variable (101, 102, 103) que resultará en un consumo de energía general más bajo para el sistema de refrigeración redundante, mientras se mantiene una temperatura promedio del aire en el espacio acondicionado (111) en un punto de ajuste requerido; y

15 a) operar los compresores de velocidad variable de cada una de la pluralidad de unidades de refrigeración por aire de flujo de refrigerante (101, 102, 103) a aproximadamente la misma velocidad cuando la salida de refrigeración de cada unidad de refrigeración (101, 102, 103) está por encima de aquella a la que se produce una relación de eficiencia energética máxima de la unidad; y

20 b) al menos uno de i) apagar los compresores de velocidad variable de una o más de la pluralidad de unidades de refrigeración por aire (101, 102, 103) cuando la salida de refrigeración promedio requerida de toda la pluralidad de unidades de refrigeración por aire (101, 102, 103) está por debajo de aquella en la que se produce la relación de eficiencia energética máxima de la unidad de refrigeración por aire (101, 102, 103); y ii) operar cada una de la pluralidad de unidades de refrigeración por aire (101, 102, 103) en aproximadamente el punto en el que se produce la relación de eficiencia energética máxima de la unidad de refrigeración por aire (101, 102, 103).
- 30 2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, de manera que cada una de las unidades de refrigeración por aire de flujo de refrigerante variable (101, 102, 103) se asocia con un controlador que proporciona la variación de la salida de refrigeración de la unidad de refrigeración (101, 102, 103) para controlar la temperatura del espacio acondicionado (111) aproximadamente igual a la del punto de ajuste de la temperatura.
- 35 3. El método de acuerdo con la reivindicación 2 que comprende, además:

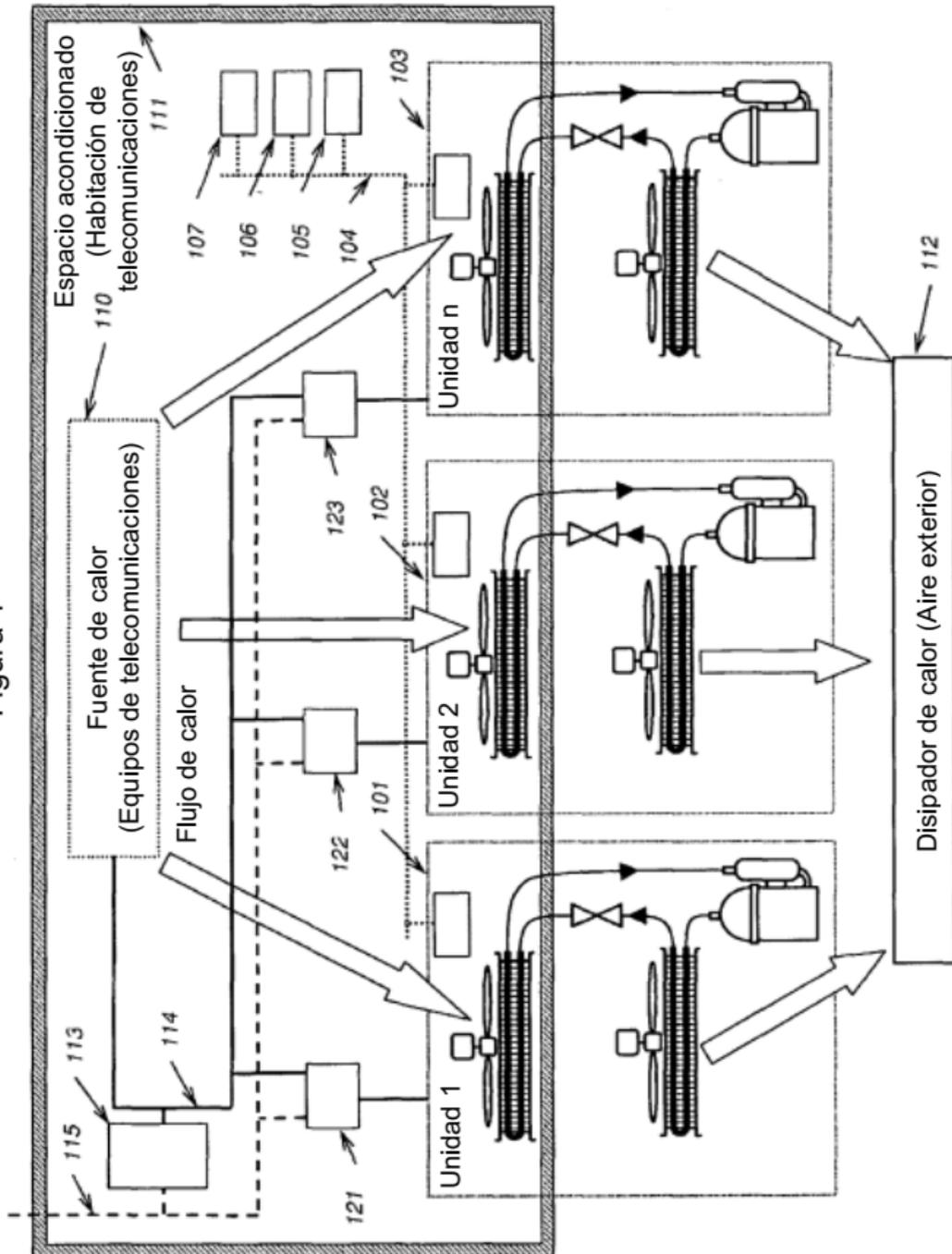
controlar la cantidad de tiempo que el compresor de cada una de la pluralidad de unidades de refrigeración por aire (101, 102, 103) está encendido; y

controlar la cantidad de tiempo que el compresor de cada una de la pluralidad de unidades de refrigeración por aire (101, 102, 103) está apagado, de manera que el desgaste del compresor de cada una de las unidades de refrigeración por aire (101, 102, 103) se iguala aproximadamente a través del tiempo.

40
- 45 4. El método de acuerdo con las reivindicaciones 2 ó 3, que comprende además comunicar información para determinar un punto de operación óptimo para cada unidad de refrigeración (101, 102, 103) entre el controlador asociado con cada unidad de refrigeración por aire de flujo de refrigerante variable (101, 102, 103), de manera que el controlador asociado con cada unidad (101, 102, 103) proporciona y recibe información que resultará en aproximadamente el consumo de energía general más bajo para el sistema de refrigeración redundante y opera cada unidad de refrigeración (101, 102, 103) en aproximadamente el punto de operación óptimo determinado.
- 50 5. El método de acuerdo con la reivindicación 4, de manera que el controlador en cada unidad de refrigeración por aire de flujo de refrigerante variable (101, 102, 103) incorpora un medio de comunicación, y de manera que el controlador en cada unidad (101, 102, 103) proporciona información sobre la unidad de refrigeración (101, 102, 103) que permite determinar al menos uno de sus estados operativo o de fallo, y de manera que pueden ajustarse los puntos de ajuste de la unidad de refrigeración.
- 55 6. El método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, de manera que cada unidad de refrigeración por aire de flujo de refrigerante variable (101, 102, 103) incorpora un variador de velocidad y medios de control asociados, el método que comprende además ajustar la velocidad de un ventilador interior para controlar la capacidad de refrigeración latente de la unidad de refrigeración (101, 102, 103).
- 60 7. El método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende además medir la humedad del espacio acondicionado (111) y ajustar la capacidad de refrigeración latente de las unidades de refrigeración (101, 102, 103) para controlar la humedad del espacio acondicionado (111).
- 65 8. El método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende además ajustar la velocidad de un ventilador interior asociado con una o más de la pluralidad de unidades de refrigeración por aire de flujo de refrigerante variable (101, 102, 103) para minimizar aproximadamente el consumo de energía de la unidad de refrigeración (101, 102, 103) a una salida de refrigeración seleccionada.

- 5 9. El método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende además ajustar la velocidad de un ventilador exterior asociado con una o más de la pluralidad de unidades de refrigeración por aire de flujo de refrigerante variable (101, 102, 103) para minimizar aproximadamente el consumo de energía de la unidad de refrigeración (101, 102, 103) a una salida de refrigeración seleccionada.
- 10 10. El método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende, además: monitorear el estado de las unidades de refrigeración individuales (101, 102, 103) con medios de comunicación, y la información de estado se usa como una de las entradas para determinar las condiciones de fallo; y notificar a un usuario o personal de servicio sobre una condición de fallo en el sistema de refrigeración redundante.
- 15 11. El método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende además aumentar la relación de calor sensible del sistema al operar una o más unidades seleccionadas de la pluralidad de unidades de refrigeración por aire de flujo de refrigerante variable (101, 102, 103) con un flujo de aire interior proporcionalmente más alto para una salida de refrigeración seleccionada que un flujo de aire interior máximo a una salida de refrigeración máxima.
- 20 12. El método de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende además aumentar el MTBF de la pluralidad de unidades de refrigeración por aire de flujo de refrigerante variable (101, 102, 103) al minimizar las pérdidas totales en el sistema y dividir las pérdidas minimizadas de manera uniforme entre todas las unidades de refrigeración (101, 102, 103).
- 25 13. Un sistema de refrigeración para proporcionar una carga de refrigeración máxima predeterminada para el aire en un espacio acondicionado (111), el sistema que comprende:
una pluralidad de unidades de refrigeración por aire de flujo de refrigerante variable (101, 102, 103), en donde la cantidad de unidades de refrigeración por aire (101, 102, 103) es al menos una más de la requerida para cumplir con la carga de refrigeración máxima predeterminada al operar las unidades de refrigeración por aire (101, 102, 103) hasta una capacidad de refrigeración máxima, y la pluralidad de unidades de refrigeración por
30 aire de flujo de refrigerante variable (101, 102, 103) se acoplan en comunicación térmica con el aire en el espacio acondicionado (111); y
medios para determinar una condición de operación óptima seleccionada para cada una de la pluralidad de unidades de refrigeración por aire de flujo de refrigerante variable (101, 102, 103) lo que resulta en un consumo de energía general más bajo para el sistema de refrigeración redundante, mientras se mantiene una
35 temperatura promedio del aire en el espacio acondicionado (111) en un punto de ajuste requerido;
las unidades de refrigeración por aire de flujo de refrigerante variable (101, 102, 103) que comprenden un compresor de velocidad variable y en donde los compresores de velocidad variable de cada una de la pluralidad de unidades de refrigeración por aire de flujo de refrigerante (101, 102, 103) son capaces de operar a
40 aproximadamente la misma velocidad cuando la salida de refrigeración de cada unidad de refrigeración (101, 102, 103) está por encima de aquella en la que se produce una relación de eficiencia energética máxima de la unidad;
y el sistema es capaz de al menos uno de a) apagar los compresores de velocidad variable de una o más de la pluralidad de unidades de refrigeración por aire (101, 102, 103) cuando la salida de refrigeración promedio
45 requerida de toda la pluralidad de unidades de refrigeración por aire (101, 102, 103) está por debajo de aquella en la que se produce la relación de eficiencia energética máxima de la unidad de refrigeración por aire, y b) operar cada una de la pluralidad de unidades de refrigeración por aire (101, 102, 103) en aproximadamente el punto en el que se produce la relación de eficiencia energética máxima de la unidad de refrigeración por aire.

Figura 1



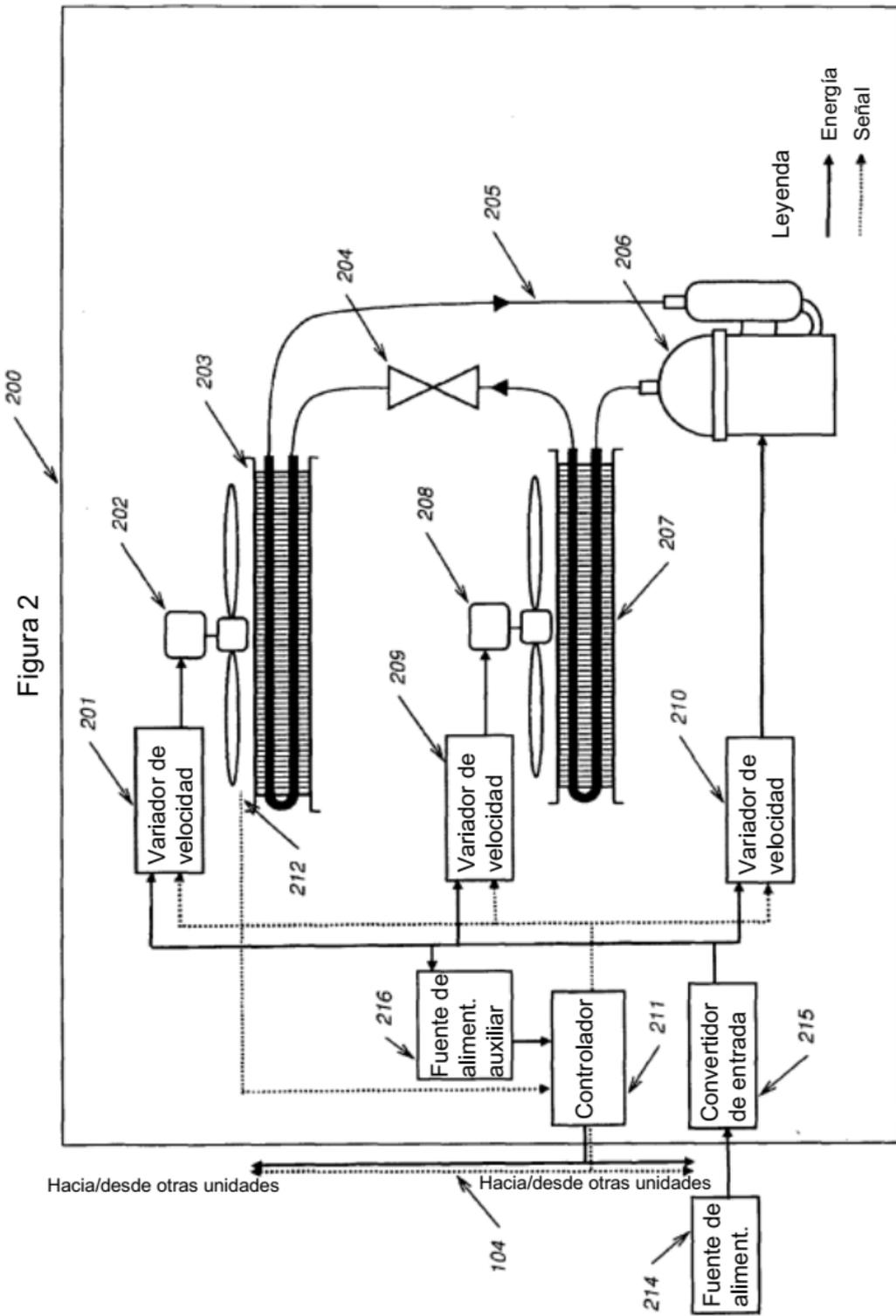


Figura 3

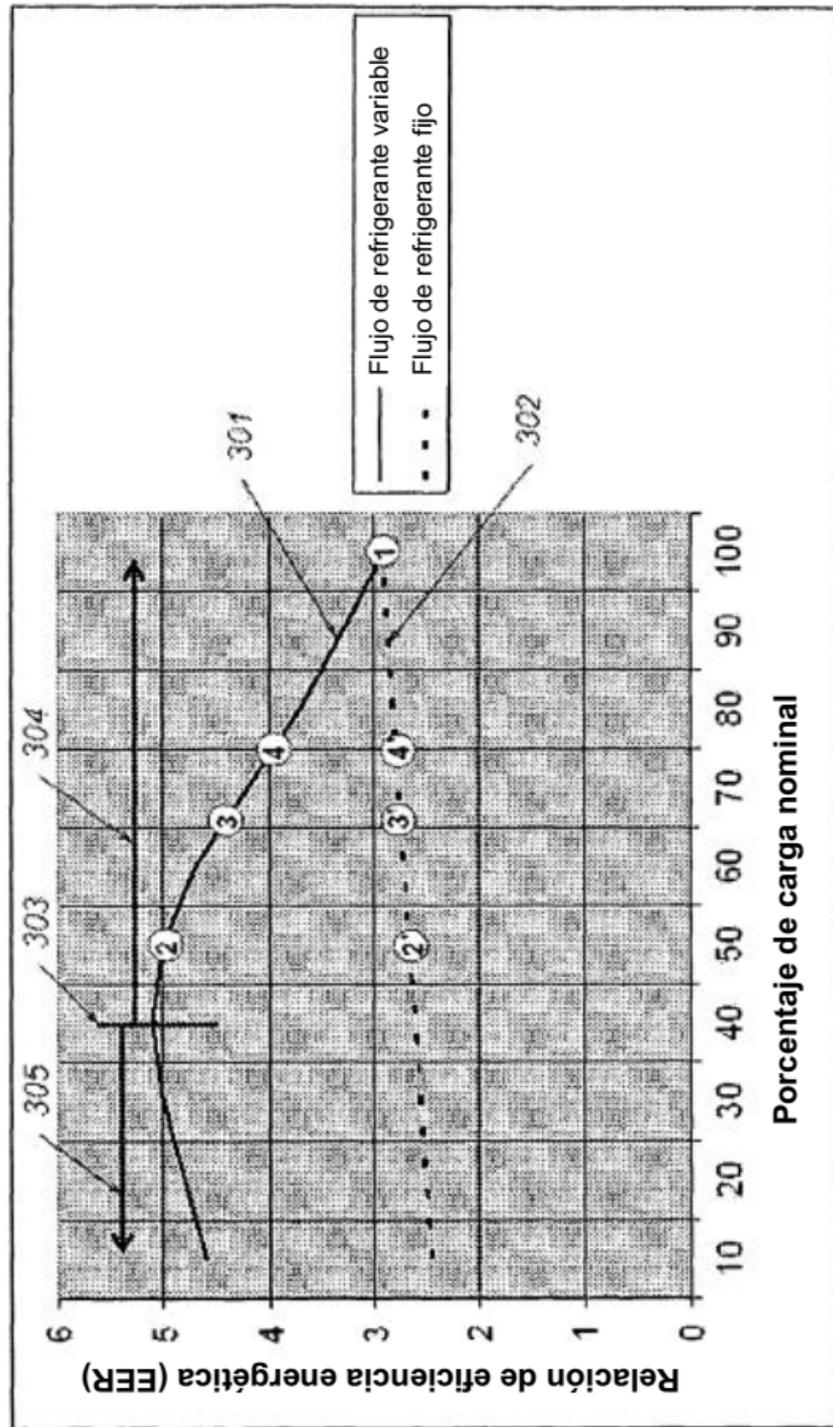
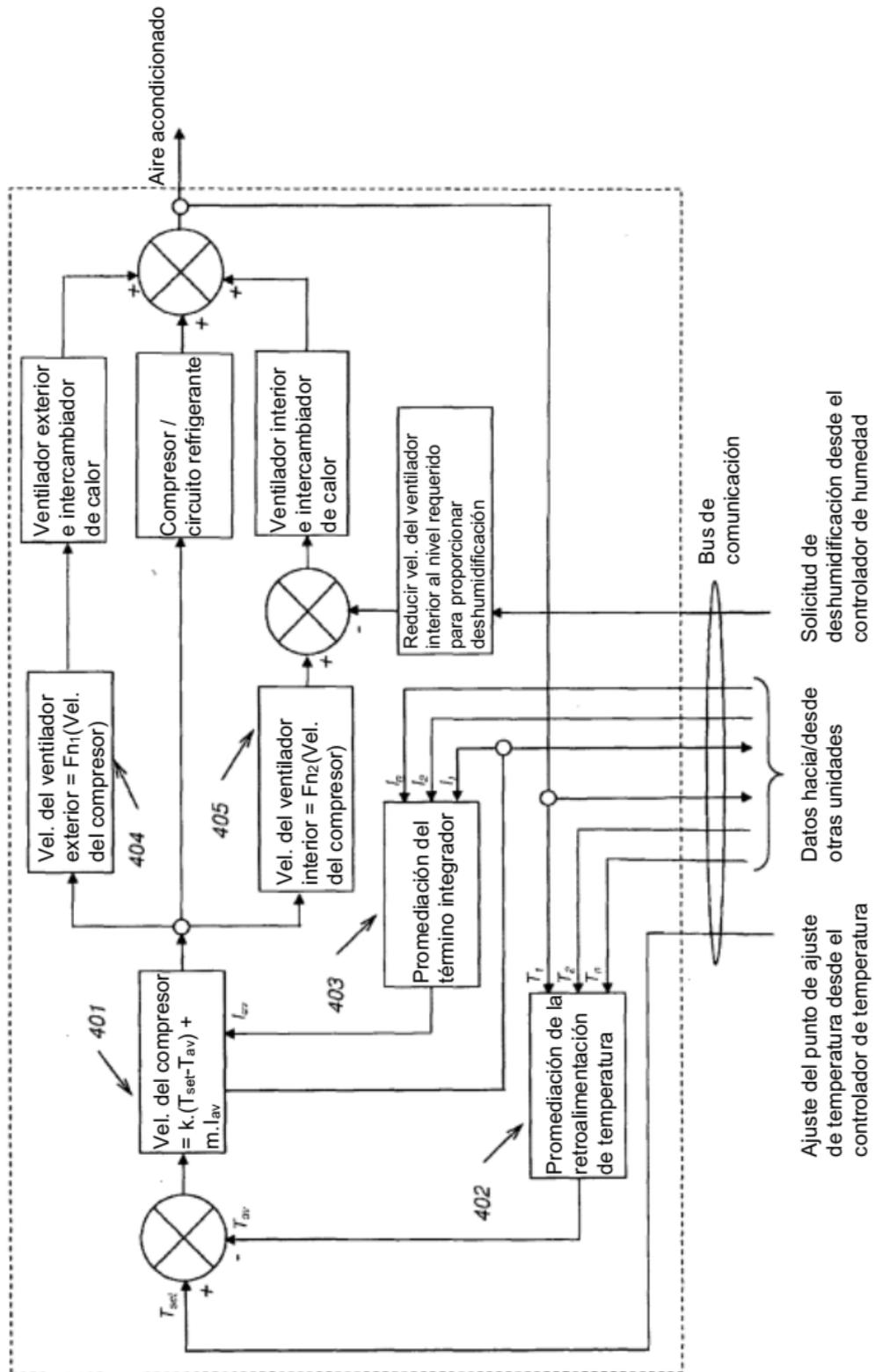


Figura 4



Ajuste del punto de ajuste de temperatura desde el controlador de temperatura

Datos hacia/desde otras unidades

Solicitud de deshumidificación desde el controlador de humedad

Figura 5

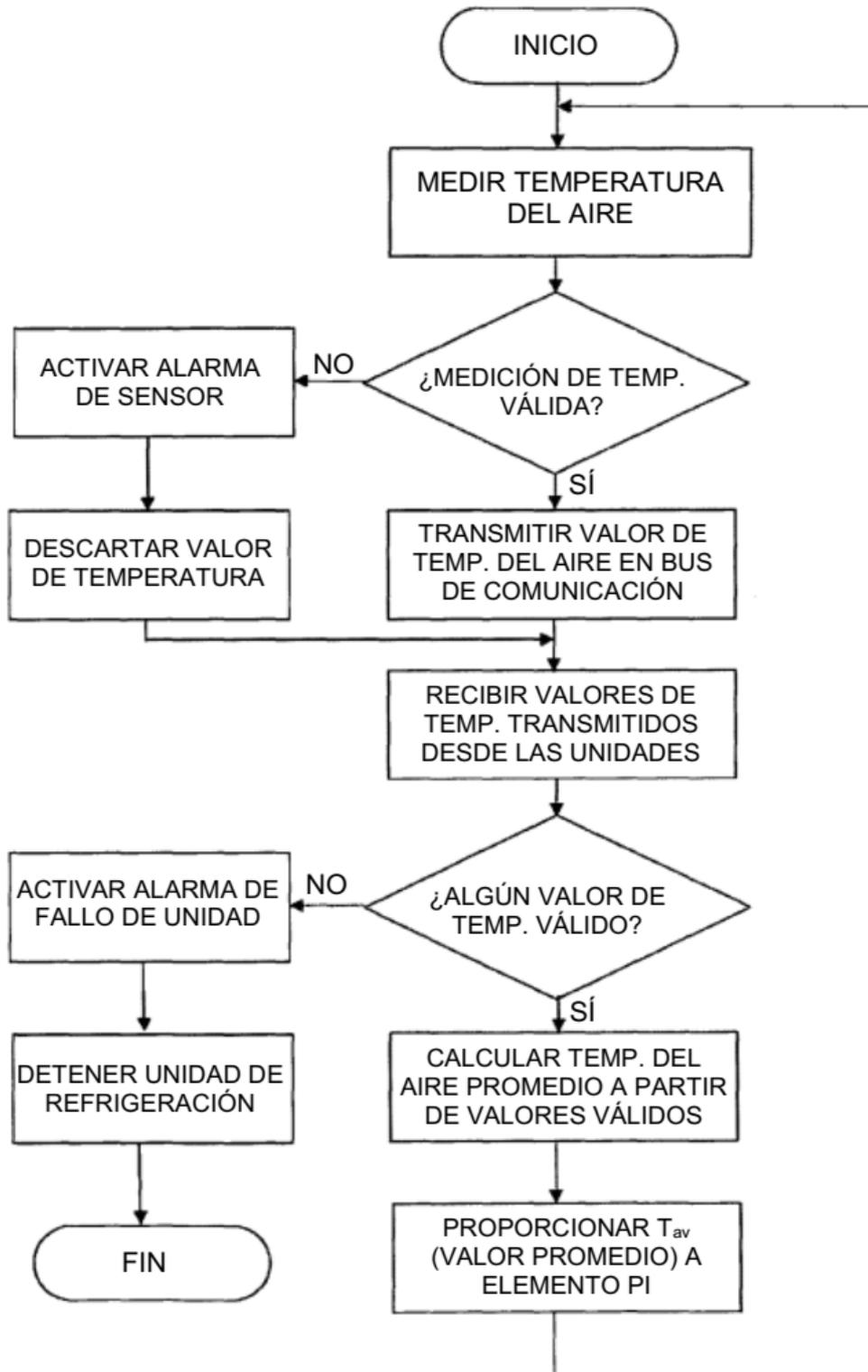


Figura 6

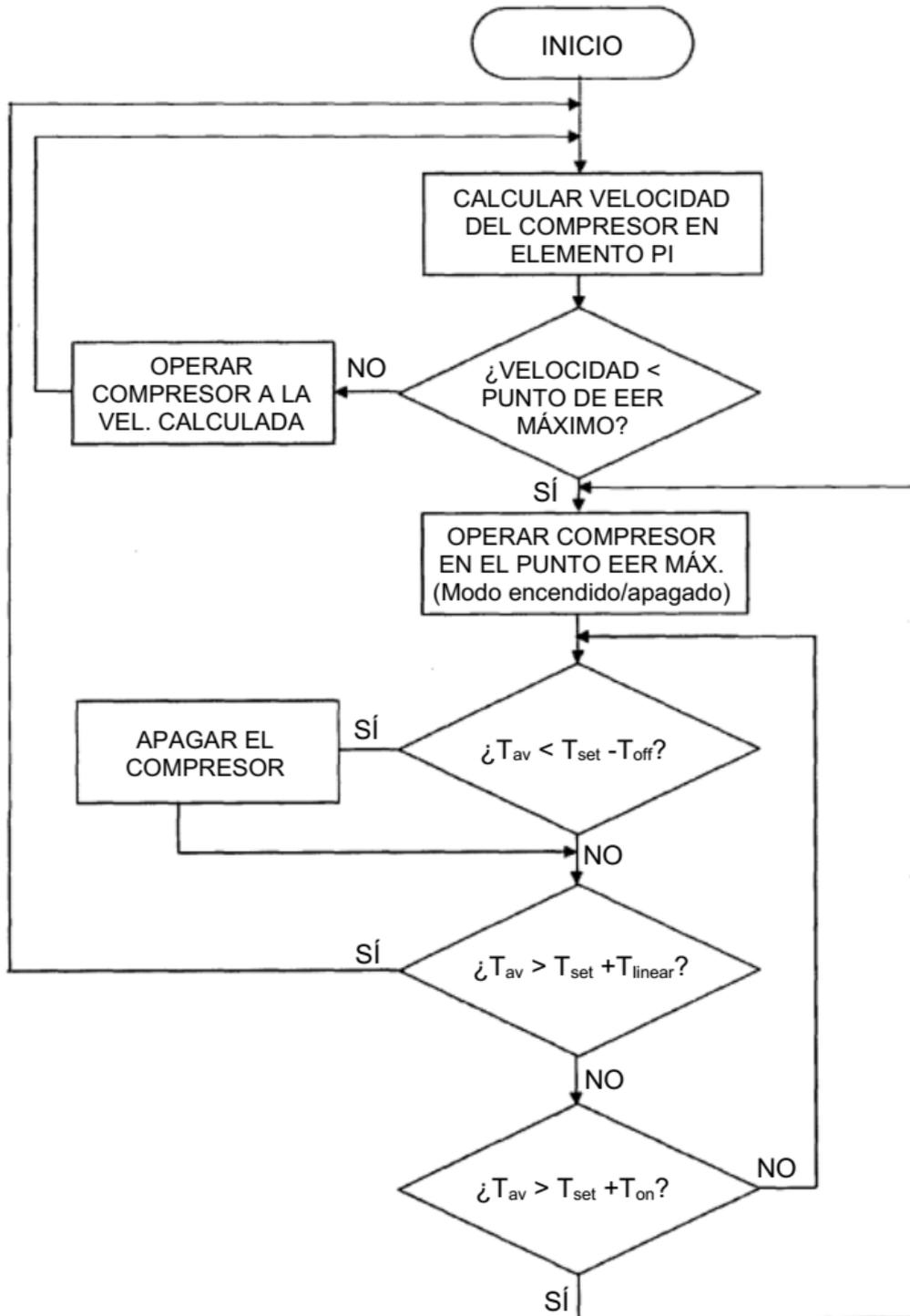


Figura 7

