

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 643 319**

51 Int. Cl.:

F04B 39/00 (2006.01)

F04B 39/12 (2006.01)

F04C 29/00 (2006.01)

F25B 31/00 (2006.01)

F25D 19/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.10.2008 PCT/US2008/011441**

87 Fecha y número de publicación internacional: **09.04.2009 WO09045495**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.10.2008 E 08835849 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.09.2017 EP 2198157**

54 Título: **Protección contra las vibraciones en un compresor de velocidad variable**

30 Prioridad:

05.10.2007 US 977859 P

02.10.2008 US 244528

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

22.11.2017

73 Titular/es:

EMERSON CLIMATE TECHNOLOGIES, INC.

(100.0%)

**1675 W. CAMPBELL ROAD
SIDNEY, OH 45365-0669, US**

72 Inventor/es:

CAILLAT, JEAN-LUC M.

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 643 319 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

Protección contra las vibraciones en un compresor de velocidad variable

5 La presente divulgación se refiere a compresores y, más particularmente, a la protección contra vibraciones de un sistema compresor con un compresor de velocidad variable.

Los enunciados de esta sección solamente proporcionan información básica relacionada con la presente divulgación y quizás no constituyan la técnica anterior.

10 Los compresores se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones industriales y residenciales para hacer circular refrigerante dentro de una refrigeración, bomba de calor, climatización o sistema enfriador (generalmente denominado "sistemas de refrigeración") para proporcionar un efecto de calentamiento y/o enfriamiento deseado. En cualquiera de las aplicaciones anteriores, el compresor debe proporcionar un funcionamiento consistente y eficiente para asegurar que el sistema de refrigeración particular funcione correctamente.

15 Un sistema de refrigeración puede incluir una serie de componentes tales como un compresor, condensador, evaporador, válvulas, tubería y componentes eléctricos. Un sistema compresor del sistema de refrigeración puede incluir el compresor y los componentes relacionados que pueden ser empaquetados como una unidad. El compresor puede ser accionado por un motor y el sistema del compresor puede experimentar vibraciones. El compresor y el sistema compresor pueden tener una o más frecuencias resonantes (o naturales) que pueden ser excitadas a velocidades (es decir, frecuencia) de motor correspondientes y dar lugar a vibraciones de amplitud relativamente alta del compresor y del sistema compresor.

25 Para un compresor de velocidad fija, se puede añadir al sistema compresor un sistema de suspensión tal como arandelas de goma u otros tales dispositivos de manera que la velocidad de funcionamiento del compresor no corresponda a una frecuencia de resonancia del sistema. En otras palabras, el sistema compresor puede estar diseñado de tal manera que su frecuencia resonante esté en un valor aceptable en relación con la frecuencia de funcionamiento del compresor. Un compresor de velocidad variable puede funcionar a frecuencias por encima, por
30 debajo e incluyendo la frecuencia de funcionamiento de un compresor típico de velocidad fija. Por consiguiente, un sistema de suspensión tal como se describió con respecto al compresor de velocidad fija quizás no sea adecuado para un compresor de velocidad variable, puesto que normalmente funcionaría a alguna frecuencia resonante sin ninguna otra solución preventiva.

35 El documento US 5.428.965 divulga la parte de caracterización previa de la reivindicación 1.

40 Un método de protección contra vibraciones en un sistema compresor con un compresor de velocidad variable que incluye el funcionamiento de un compresor de velocidad variable en una pluralidad de frecuencias, la medición de una pluralidad de valores de vibración asociados con la pluralidad de frecuencias, la determinación de una característica de frecuencia del sistema compresor basándose en la pluralidad de valores de vibración, en el que la característica de frecuencia incluye un intervalo de frecuencias en el que los valores de vibración exceden una amplitud de aceleración máxima y la identificación de frecuencias prohibidas del compresor basándose en la característica de frecuencia.

45 La característica de frecuencia puede incluir una frecuencia de resonancia.

Las frecuencias de compresor prohibidas pueden incluir un intervalo de la frecuencia de resonancia más o menos una diferencia de frecuencia crítica.

50 La diferencia de frecuencia crítica puede ser de al menos 1 Hz.

$$\text{La amplitud de aceleración máxima puede ser } (A) = 4\pi^2 \times (\text{frecuencia})^2 \times (\text{desplazamiento permitido máximo}).$$

55 La amplitud de desplazamiento permitido máximo puede ser de al menos 25×10^{-6} metros.

Las frecuencias de compresor prohibidas pueden incluir el intervalo de frecuencia en el que los valores de vibración exceden la amplitud de aceleración máxima.

60 La etapa de funcionamiento puede incluir el funcionamiento de un compresor de velocidad variable a una frecuencia de barrido mínima, el aumento de la frecuencia del compresor de velocidad variable mediante un aumento de frecuencia y seguir aumentando hasta que la frecuencia del compresor de velocidad variable sea al menos una frecuencia de barrido máxima.

65 La etapa de medición puede incluir la medición de un valor de vibración asociado con cada aumento de frecuencia.

ES 2 643 319 T3

El valor de vibración puede ser al menos una de las siguientes: una aceleración del sistema, una velocidad del sistema y una amplitud de la vibración.

5 La etapa de identificación puede incluir almacenar un valor de frecuencia prohibido para cada frecuencia en la que el valor de vibración excede una vibración permitida máxima.

La etapa de medición puede incluir la recepción de una pluralidad de valores de vibración de un acelerómetro y el almacenamiento de los valores de vibración en la memoria.

10 El método puede incluir además el funcionamiento del compresor de velocidad variable a una primera frecuencia (F_1) fuera de las frecuencias prohibidas por una primera vez (T_1) y el funcionamiento del compresor de velocidad variable a una segunda frecuencia (F_2) fuera de las frecuencias prohibidas por una segunda vez (T_2), en el que la frecuencia promedio en el tiempo es igual a una frecuencia solicitada (T_R) entre las frecuencias prohibidas.

15 La primera frecuencia puede ser una frecuencia superior permitida más próxima, la segunda frecuencia es una frecuencia inferior permitida más próxima y la primera vez T_1 es igual a un tiempo total predeterminado $\times (F_R - F_2) / (F_1 - F_2)$ y la segunda vez $T_2 =$ tiempo total predeterminado $- T_1$.

20 El método puede incluir además la petición de funcionamiento a una primera frecuencia, la determinación de una primera frecuencia permitida más alejada de la primera frecuencia, el funcionamiento a dicha primera frecuencia permitida durante un tiempo predeterminado, la determinación de una segunda frecuencia permitida en una dirección opuesta a una dirección de la primera frecuencia permitida, y el funcionamiento a dicha segunda frecuencia permitida durante un periodo de tiempo básicamente igual a dicho tiempo predeterminado.

25 El método puede incluir además la repetición del funcionamiento, la medición, la determinación y la identificación cuando se reinicia el compresor.

El método puede incluir además la repetición de las etapas de funcionamiento, medición, determinación e identificación en un intervalo predeterminado.

30 El intervalo predeterminado puede tener lugar una vez por semana.

35 El método puede incluir además la repetición de las etapas de funcionamiento, medición, determinación e identificación cuando un sistema de bomba de calor modifica un modo de funcionamiento entre el calentamiento y el enfriamiento.

El método puede incluir además la repetición de las etapas de funcionamiento, medición, determinación e identificación cuando un valor de vibración medido excede un umbral de barrido predeterminado.

40 El umbral de barrido predeterminado puede ser del 110 % de una amplitud de aceleración máxima $A = 4T_r^2 \times (\text{frecuencia})^2 \times (\text{desplazamiento permitido máximo})$.

45 El método puede incluir además la repetición del funcionamiento, la medición, la determinación y la identificación cuando el cambio de temperatura ambiente durante un tiempo predeterminado excede un umbral de temperatura predeterminado.

El tiempo predeterminado puede ser de al menos 24 horas y el umbral de temperatura predeterminado es de al menos 4,4 °C.

50 La frecuencia inferior permitida puede ser una frecuencia más próxima por debajo de la primera frecuencia en la que una aceleración medida es menor que un valor de aceleración máximo para la frecuencia inferior permitida.

55 La etapa de calcular el tiempo de funcionamiento superior y el tiempo de funcionamiento inferior puede incluir el cálculo de una relación superior de la diferencia entre la primera frecuencia y la frecuencia inferior permitida dividida por la diferencia entre la frecuencia superior permitida y la frecuencia inferior permitida, calculando el tiempo de funcionamiento superior multiplicando un tiempo de funcionamiento predeterminado por la relación superior y calculando el tiempo de funcionamiento inferior restando el tiempo de funcionamiento superior del tiempo de funcionamiento predeterminado.

60 El tiempo de funcionamiento predeterminado puede ser de al menos cuatro minutos.

65 Un compresor de velocidad variable y un sistema de accionamiento pueden incluir un compresor que incluya un motor que tiene una frecuencia variable basándose en una entrada de motor, un accionamiento en comunicación con el motor que proporciona la entrada de motor basándose en una entrada de accionamiento, un dispositivo de medición de vibraciones acoplado operativamente al compresor para recibir vibración de un sistema compresor y valores de vibración de salida basándose en la vibración recibida, y un módulo de control en comunicación con el

dispositivo de medición de vibración y el accionamiento, en el que el módulo de control recibe y almacena los valores de vibración, determina las características de frecuencia del compresor basándose en los valores de vibración, y proporciona la entrada de accionamiento basándose en las características de frecuencia.

5 El dispositivo de medición de vibraciones puede montarse en la cubierta del compresor.

El dispositivo de medición de vibraciones puede montarse en el accionamiento.

El sistema puede incluir además una caja de terminales unida al compresor.

10

El dispositivo de medición de vibraciones se puede montar en la caja de terminales.

Las características de frecuencia pueden incluir una frecuencia de resonancia.

15 Los dibujos descritos en el presente documento son solamente para fines ilustrativos y no pretenden limitar el alcance de la presente divulgación de ninguna manera.

La figura 1 es una ilustración esquemática de un sistema de bomba de calor;

la figura 2 es una vista esquemática de un sistema de control para protección contra vibraciones;

20

la figura 3 es un diagrama de flujo de etapas de un sistema de control para protección contra vibraciones;

la figura 4 es un diagrama de flujo de etapas de un sistema de control para protección contra vibraciones; y

la figura 5 es un diagrama de flujo de etapas de un sistema de control para protección contra vibraciones.

La siguiente descripción es meramente de naturaleza ejemplar y no pretende limitar la presente divulgación, aplicación o uso. Debe entenderse que a través de los dibujos, los números de referencia correspondientes indican partes y características similares o correspondientes. Como se utiliza en el presente documento, el término módulo se refiere a un circuito integrado específico de aplicación (ASIC), un circuito electrónico, un procesador (compartido, dedicado o de grupo) y una memoria que ejecutan uno o más programas de *software* o *firmware*, un circuito lógico combinacional u otros componentes adecuados que proporcionan la funcionalidad descrita.

25

30

Como se ve en la figura 1, un sistema de bomba de calor 10 puede incluir una unidad 12 interior y un sistema compresor 14. Se utiliza un sistema de bomba de calor solamente con fines ilustrativos y debe entenderse que las presentes enseñanzas se aplican a cualquier aplicación en el que puede utilizarse un compresor. Por ejemplo, puede utilizarse alternativamente un compresor en un sistema de aire acondicionado, un sistema de refrigeración o, generalmente, en cualquier sistema en el que se comprime un refrigerante para proporcionar un efecto de calentamiento o enfriamiento deseado. Aunque el sistema compresor 14 se ha representado incluyendo los componentes descritos a continuación, el sistema compresor 14 puede ser cualquier grupo de componentes que se empaqueta como unidad con el compresor 32.

35

40

La unidad 12 interior puede incluir un serpentín interior o un intercambiador de calor 16 y un ventilador interior 18 de velocidad variable accionado por un motor 20. El serpentín interior 16 y el ventilador interior 18 pueden encerrarse en un armario 22 de manera que el ventilador 18 fuerza el aire ambiente a través del serpentín interior 16. El sistema compresor 14 puede incluir un serpentín exterior o un intercambiador de calor 24 y un ventilador exterior 26 de velocidad variable accionado por un motor 28. El serpentín exterior 24 y el ventilador exterior 26 pueden encerrarse en una carcasa 30 protectora de manera que el ventilador 26 extraerá aire ambiente exterior a través del serpentín exterior 24 para mejorar la transferencia de calor.

45

El sistema compresor 14 puede incluir además un compresor 32 en comunicación con el serpentín interior 16 y el serpentín exterior 24. El compresor 32 puede incluir un accionamiento 36 inversor y una caja 38 terminal. El accionamiento 36 inversor puede estar unido fijamente a una cubierta del compresor 32 y puede proporcionar una potencia de entrada variable a un motor de compresor 32, permitiendo que el compresor 32 funcione a una velocidad (es decir, frecuencia) variable. La caja 38 terminal puede estar unida fijamente a una cubierta del compresor 32 y puede proporcionar un punto de entrada para las entradas eléctricas, de comunicación y otras entradas al compresor 32.

50

55

El acelerómetro 40 y el módulo de control 42 se representan montados en el accionamiento 36 inversor. El acelerómetro 40 puede medir la aceleración y puede montarse alternativamente en una cubierta del compresor 32, una caja de terminales 38 u otras ubicaciones dentro del sistema de bomba de calor 10. El módulo de control 42 puede ser integral al accionamiento 32 inversor. El módulo de control 42 puede recibir una señal del acelerómetro 40 y controlar la salida del accionamiento 36 inversor.

60

La comunicación entre el compresor 32, el serpentín interior 16 y el serpentín exterior 24 puede formar generalmente un bucle, en el que el compresor 32, el serpentín interior 16 y el serpentín exterior 24 están dispuestos en serie entre sí con un dispositivo de expansión 33 situado entre el serpentín interior 16 y el serpentín exterior 24. El sistema de bomba de calor 10 puede incluir una válvula de inversión 34 dispuesta entre el compresor 32 y las bobinas interiores y exteriores 16, 24, de tal manera que la dirección del flujo entre el compresor 32, el serpentín interior 16 y el

65

serpentín exterior 24 pueda invertirse entre la primera y segunda dirección.

En la primera dirección, el sistema de bomba de calor 10 funciona en un modo de enfriamiento que proporciona un flujo en una dirección indicada por la flecha de "enfriamiento". En el modo de enfriamiento, el compresor 32 proporciona un fluido al serpentín exterior 24. El fluido se desplaza entonces hacia el serpentín interior 16 y después de vuelta al compresor 32. En el modo de refrigeración, el serpentín interior 16 funciona como un serpentín evaporador y el serpentín exterior 24 funciona como un serpentín condensador.

En la segunda dirección, el sistema de bomba de calor 10 funciona en un modo de calentamiento proporcionando un flujo en una dirección indicada por la flecha de "calentamiento". En el modo de calentamiento, el flujo es invertido, desplazándose desde el compresor 32 al serpentín interior 16 hasta el serpentín exterior 24, y después de nuevo al compresor 32. En el modo de calentamiento, el serpentín interior 16 funciona como un serpentín condensador y el serpentín exterior 24 funciona como un serpentín evaporador.

Haciendo referencia ahora a la figura 2, el módulo de control 42 puede incluir módulo de control de frecuencia 140, módulo de frecuencia 142 y módulo de almacenamiento 144. El módulo de frecuencia 142 puede comunicarse con una salida de acelerómetro 40 así como con otros sensores 120 del sistema de bomba de calor 10 y otros módulos de control 122 del sistema de bomba de calor 10, tal como un controlador de compresor o un controlador de sistema. El módulo de frecuencia 142 puede estar en comunicación con el módulo de almacenamiento 144 y el módulo de control de frecuencia 140.

El módulo de almacenamiento 144 puede recibir valores medidos o determinados del módulo de frecuencia 142 y puede almacenar dichos valores. El módulo de almacenamiento 144 también puede contener valores y umbrales predeterminados. El módulo de control de frecuencia 140 puede estar en comunicación con el módulo de frecuencia 142 y puede controlar el accionamiento 36 inversor para hacer funcionar un motor de compresor 32 a una frecuencia elegida. Aunque el módulo de control 42 se representa como separado del accionamiento 36 inversor, debe reconocerse que el módulo de control 42 puede ser integral al accionamiento 36 inversor.

El compresor 32 puede ser accionado por un motor (no mostrado) y el sistema compresor 14 puede experimentar vibraciones. Las vibraciones experimentadas por el sistema compresor 14 pueden definirse de diferentes maneras incluyendo, pero no limitándose a, una amplitud de la vibración, una velocidad máxima del sistema 14, o como una aceleración máxima del sistema 14.

Haciendo referencia ahora a la figura 3, se representan las etapas en la determinación de las características de vibración de un compresor a partir de la información de acelerómetro y frecuencia. La lógica de control 200 representa un bucle continuo, pero para fines de la presente divulgación, la descripción de la lógica de control 200 comenzará en el bloque 201. En el bloque 201, el compresor 32 del sistema compresor 14 puede funcionar en estado estacionario hasta que se inicia una comprobación de barrido. Como se describirá con más detalle en la figura 4 a continuación, el funcionamiento en estado estacionario puede incluir un módulo de control 42 que hace funcionar el compresor 32 para evitar intervalos de frecuencia prohibidos cuando no se está realizando un barrido de frecuencia. Se puede iniciar una comprobación de barrido en respuesta a una bandera de una entrada, a un intervalo de tiempo regular, a un intervalo de reloj electrónico, o como una parte regular de una subrutina programada. Cuando se inicia la comprobación de barrido, la lógica de control 200 puede continuar en el bloque 202.

En la primera serie de etapas (es decir, las etapas 202, 204, 220, 222, 224), el módulo de frecuencia 142 puede determinar si es necesario ejecutar un barrido de frecuencia para determinar las características de vibración del compresor. En la etapa 202, el módulo de frecuencia 142 puede determinar si el sistema compresor 14 ha pasado de APAGADO a ENCENDIDO. La capacidad para determinar el estado del sistema compresor 14 APAGADO o ENCENDIDO puede ser interna al módulo de frecuencia 142 o puede determinarse a partir de comunicaciones con otros sensores 120 u otros módulos de control 122. Si el estado del sistema compresor 14 ha cambiado de APAGADO a ENCENDIDO, la lógica de control 200 puede continuar en el bloque 206. Si el estado del sistema compresor 14 no ha cambiado de APAGADO a ENCENDIDO, la lógica de control 200 puede continuar en el bloque 204.

En el bloque 204, el módulo de frecuencia 142 puede determinar si se ha producido un cambio en el modo de funcionamiento del sistema de bomba de calor 10. Esto puede ocurrir cuando el sistema de bomba de calor 10 conmuta del modo de calentamiento al modo de enfriamiento o viceversa. El módulo de frecuencia 142 puede comunicarse con otros módulos de control 122 u otros sensores 120 para determinar si el modo ha cambiado. Si ha habido un cambio de modo, la lógica de control 200 puede continuar en la etapa 206. Si no ha habido un cambio de modo, la lógica de control 200 puede continuar en la etapa 220.

En el bloque 220, el módulo de frecuencia 142 puede determinar si una entrada procedente del acelerómetro 40 excede un límite de barrido. Y puede ser una amplitud máxima de movimiento que no se puede exceder en ninguna frecuencia de rotación del compresor, donde la frecuencia es representada por la variable F en hercios (Hz). Un ejemplo de valor Y puede ser 25×10^{-6} metros. Una aceleración máxima A puede estar relacionada con F e Y

- mediante la siguiente ecuación en la que la amplitud de aceleración aceptable máxima A es igual a $A = 4\pi^2 \times F^2 \times Y$. En el bloque 220, el módulo de frecuencia 142 puede comparar la salida de acelerómetro 40 con una amplitud máxima A para la frecuencia de funcionamiento actual del motor de compresor 32. Si la salida de acelerómetro 40 medida es un 110 por ciento de la amplitud máxima A para una frecuencia particular, la lógica de control 200 puede
- 5 continuar en el bloque 206. Cuando el funcionamiento en una frecuencia de funcionamiento permitida anteriormente presenta vibraciones al 110 por ciento de A, es una buena indicación de que el funcionamiento del sistema compresor 14 ha cambiado de alguna manera. Si la salida de acelerómetro 40 medida es inferior al 110 por ciento del límite A, la lógica de control puede continuar en la etapa 222.
- 10 En el bloque 222, el módulo de frecuencia 142 puede determinar el tiempo transcurrido desde que se realizó el último barrido de frecuencia. En muchas situaciones, un sistema de bomba de calor 10 puede funcionar durante un período prolongado sin apagarse o sin otras condiciones que puedan iniciar un barrido de frecuencia. Por consiguiente, el módulo de frecuencia 142 puede determinar el tiempo transcurrido desde el último barrido de frecuencia y puede acceder a un valor de tiempo predeterminado tal como una semana desde el módulo de
- 15 almacenamiento 144. Si el tiempo transcurrido desde el último barrido de frecuencia excede el tiempo predeterminado, la lógica de control puede continuar en el bloque 206. Si el tiempo transcurrido desde el último barrido de frecuencia no excede el límite predeterminado, la lógica de control 200 puede continuar en el bloque 224.
- En el bloque 224, el módulo de frecuencia 142 puede recibir una temperatura ambiente. Un sensor de temperatura puede ser integral al módulo de control 142 o un valor de temperatura puede medirse desde otros sensores 120. Alternativamente, el módulo de frecuencia 142 puede comunicarse con otros módulos de control 122 del sistema de bomba de calor 10 que puede medir un valor de temperatura ambiente. El módulo de frecuencia 142 puede acceder el módulo de almacenamiento 144 para adquirir valores de temperatura almacenados anteriormente y un límite de cambio de temperatura predeterminado. Por ejemplo, los valores de temperatura anteriores pueden almacenarse
- 20 durante 24 horas y un límite de cambio de temperatura predeterminado puede ser de al menos 4,4 °C. El módulo de frecuencia 142 puede comparar la temperatura medida con los valores de temperatura almacenados de las 24 horas anteriores y si la diferencia entre cualquier conjunto de mediciones de temperatura excede el límite de cambio de temperatura predeterminado, la lógica de control 200 puede continuar en el bloque 206. Si la diferencia de temperatura no excede 4,4 °C, la lógica de control 200 puede volver al bloque 201 para continuar el funcionamiento en estado estacionario.
- 25 30
- En el bloque 206, puede iniciarse la rutina de barrido de frecuencia. El módulo de frecuencia 142 puede recibir una frecuencia de barrido mínima y una frecuencia de barrido máxima del módulo de almacenamiento 144. El módulo de frecuencia 142 puede comunicar con el módulo de control de frecuencia 140 para hacer funcionar el accionamiento 36 inversor para que un motor de compresor 32 funcione a la frecuencia de barrido mínima. La lógica de control 200 puede continuar en el bloque 208. En el bloque 208, el módulo de frecuencia 142 puede recibir una salida de acelerómetro 40 asociada con la frecuencia controlada. El módulo de frecuencia 142 puede almacenar el acelerómetro y los valores de frecuencia en el módulo de almacenamiento 144. La lógica de control 200 puede
- 35 40
- En el bloque 210, el módulo de frecuencia 142 puede determinar si la presente frecuencia de funcionamiento es al menos la frecuencia de barrido máxima. Si la presente frecuencia de funcionamiento no es al menos la frecuencia de barrido máxima, la lógica de control 200 puede continuar en el bloque 212. En el bloque 212, el módulo de frecuencia 142 puede aumentar la frecuencia actual de funcionamiento del motor hasta un valor superior para continuar el barrido de frecuencia. El módulo de control de frecuencia 140 puede controlar el accionamiento 36 inversor de tal manera que el motor de compresor 32 funcione a la frecuencia aumentada. De esta manera, los bloques 208, 210 y 212 pueden realizar un bucle hasta que se complete el barrido de frecuencia y almacenar los valores de frecuencia y las mediciones de aceleración asociadas del acelerómetro 40. Una vez que la frecuencia de funcionamiento alcanza la frecuencia de barrido máxima, la lógica de control 200 puede continuar en el bloque 214.
- 45 50
- En el bloque 214, el módulo de frecuencia 142 puede determinar las frecuencias de resonancia a partir de los valores de aceleración y frecuencia almacenados en el módulo de almacenamiento 144. Puede encontrarse una frecuencia de resonancia en cualquier intervalo de frecuencia dado cuando se produce una amplitud de desplazamiento o velocidad o aceleración máxima local. En otras palabras, dentro de cada intervalo de frecuencias en el que la aceleración medida excede la amplitud de aceleración máxima $A = 4\pi^2 \times F^2 \times Y$, se encuentra una
- 55 frecuencia resonante o natural donde se produce una amplitud de aceleración máxima local dentro de ese intervalo. También se puede encontrar una frecuencia resonante o natural dentro de un intervalo de frecuencias dado donde se produce un desplazamiento máximo local o una amplitud de velocidad dentro del intervalo dado. El módulo de frecuencia 142 puede almacenar las frecuencias de resonancia en el módulo de almacenamiento 144.
- 60
- En el bloque 216, el módulo de frecuencia 142 puede determinar un intervalo de frecuencias prohibido de manera que el módulo de control de frecuencia 140 no haga funcionar el accionamiento 36 inversor para que el motor de compresor 32 funcione a cualquier frecuencia dentro del intervalo de frecuencias prohibido en modo de estado estacionario. El intervalo de frecuencias prohibido puede ser un intervalo definido por la frecuencia de resonancia más o menos una diferencia de frecuencia crítica (CFD), que para un compresor habitual puede ser de al menos 1
- 65 hertzio (Hz). Esta CFD puede ser aproximadamente 1,5 por ciento de la frecuencia de resonancia particular

5 encontrada basándose en la siguiente relación. Una relación de frecuencia puede ser representada por la ecuación $R = f_o/f_n$, donde f_o es la frecuencia de funcionamiento y f_n es la frecuencia natural. Pueden producirse vibraciones indeseables cuando el valor f_o está dentro del 1,5 por ciento del f_n tal como se representa por la siguiente ecuación de $|R-1| < \Delta_R$, donde Δ_R es igual a 0,015. A partir de estas ecuaciones también se puede reconocer que la diferencia de frecuencia crítica (en Hz) puede aumentar a frecuencias naturales superiores.

10 Alternativamente, el intervalo de frecuencias prohibido puede ser los intervalos reales donde la aceleración medida excede el máximo A. El módulo de frecuencia 142 puede almacenar los intervalos de frecuencia prohibidos en el módulo de almacenamiento 144. Debe observarse que las etapas descritas en los bloques 214 y 216 también pueden realizarse como parte del bucle de los bloques 208, 210 y 212, en el que los bloques 214 y 216 pueden calcular las frecuencias de resonancia y los intervalos de frecuencia prohibidos durante el barrido de frecuencia. La lógica de control 200 puede volver al bloque 201 para funcionar en estado estacionario.

15 Haciendo referencia ahora a la figura 4, se representa una lógica de control para hacer funcionar un motor de compresor 32 a una frecuencia solicitada. Una frecuencia solicitada puede basarse en una entrada de un usuario para modificar el efecto de calentamiento o enfriamiento del sistema de bomba de calor 10 o puede basarse en una salida de otros módulos de control 122 del sistema de bomba de calor 10 tal como un termostato. Aunque la lógica de control 300 representa un bucle continuo, la lógica de control 300 es un circuito cerrado de funcionamiento global en estado estacionario que demuestra una respuesta a una frecuencia solicitada cambiada. La descripción de la
20 lógica de control 300 comenzará en el bloque 301.

25 En el bloque 301, el módulo de frecuencia 142, tras recibir una orden de otros controladores 122, puede ordenar al módulo de control de frecuencia 140 que haga funcionar el accionamiento 36 inversor para que un motor de compresor 32 funcione a una frecuencia solicitada anteriormente. De lo contrario, el funcionamiento en estado estacionario puede continuar hasta que cambie la frecuencia solicitada. Cuando la frecuencia solicitada cambia, como se determina por el módulo de frecuencia 142 en el bloque 302, la lógica de control 300 puede continuar en el bloque 304.

30 En el bloque 304, el módulo de frecuencia 142 puede comparar la frecuencia solicitada con los valores de frecuencia prohibidos almacenados en el módulo de almacenamiento 144. Si el valor de frecuencia solicitado no está dentro de los intervalos de frecuencia prohibidos, la lógica de control 300 puede volver al funcionamiento de estado estacionario en el bloque 301. Si el valor de frecuencia solicitado está dentro de los intervalos de frecuencia prohibidos, la lógica de control 300 puede continuar en el bloque 306.

35 En el bloque 306, el módulo de frecuencia 142 puede recibir una frecuencia superior permitida desde el módulo de almacenamiento 144. Esta frecuencia superior permitida puede ser una primera frecuencia por encima de la frecuencia solicitada pero fuera del intervalo de frecuencia prohibido. La frecuencia superior permitida también puede incluir un factor de seguridad por encima de esta primera frecuencia. Una vez que se determina la frecuencia superior permitida, la lógica de control 300 puede continuar en el bloque 308.

40 En el bloque 308, el módulo de frecuencia 142 puede recibir una frecuencia inferior permitida desde el módulo de almacenamiento 144. Esta frecuencia inferior permitida puede ser una primera frecuencia por debajo de la frecuencia solicitada pero fuera del intervalo de frecuencias prohibido. La frecuencia inferior permitida también puede incluir un factor de seguridad por debajo de esta primera frecuencia. Una vez que se determina la frecuencia inferior permitida, la lógica de control 300 puede continuar en el bloque 310.

45 En el bloque 310, el módulo de frecuencia 142 puede acceder a un valor de tiempo predeterminado desde el módulo de almacenamiento 144. El valor de tiempo predeterminado puede corresponder a un tiempo total durante el cual puede ejecutarse la rutina promedio de frecuencia descrita a continuación. Por ejemplo, el tiempo total puede ser de cuatro minutos. El módulo de frecuencia 142 puede entonces determinar una relación de funcionamiento de frecuencia superior basándose en lo siguiente: relación superior = (frecuencia solicitada - frecuencia inferior) ÷ (frecuencia superior - frecuencia inferior). El tiempo de funcionamiento de la frecuencia superior puede ser equivalente al tiempo predeterminado multiplicado por la relación superior. Una vez que se determina el tiempo de funcionamiento de la frecuencia superior, la lógica de control 300 puede continuar en el bloque 312.

50 En el bloque 312, el módulo de frecuencia 142 puede utilizar el tiempo predeterminado y el tiempo de funcionamiento de frecuencia superior calculado para determinar el tiempo de funcionamiento de frecuencia inferior. El tiempo de funcionamiento de la frecuencia inferior puede ser simplemente igual al tiempo predeterminado menos el tiempo de funcionamiento de la frecuencia superior. También es posible calcular el tiempo de funcionamiento de la frecuencia inferior utilizando primero una relación inferior = (frecuencia superior - frecuencia solicitada) ÷ (frecuencia superior - frecuencia inferior). El tiempo de funcionamiento de la frecuencia inferior y el tiempo de funcionamiento de la frecuencia superior podrían calcularse a partir de la relación inferior. Una vez que se determina el tiempo de funcionamiento de la frecuencia inferior permitido, la lógica de control 300 puede continuar en el bloque 314.

65 En el bloque 314, el módulo de frecuencia 142 puede ordenar al módulo de control de frecuencia 140 que haga funcionar el accionamiento 36 inversor y el motor de compresor 32 a la frecuencia superior permitida y siga

funcionando a esa frecuencia durante el tiempo de funcionamiento de la frecuencia superior. Una vez transcurrido el tiempo de funcionamiento de la frecuencia superior, la lógica de control 300 puede continuar en el bloque 316. En el bloque 316, el módulo de frecuencia 142 puede ordenar al módulo de control de frecuencia 140 que haga funcionar el accionamiento 36 inversor y el motor de compresor 32 a la frecuencia inferior permitida para el tiempo de funcionamiento de la frecuencia inferior. Una vez finalizado el tiempo de funcionamiento de la frecuencia inferior, la salida de frecuencia promedio en el tiempo del compresor durante el tiempo predeterminado total puede ser igual a la frecuencia solicitada. La lógica de control 300 puede entonces continuar en el bloque 318.

En el bloque 318, el módulo de frecuencia 142 puede determinar si ha habido un cambio en la frecuencia solicitada. Si no se ha producido ningún cambio en la frecuencia solicitada, la lógica de control 300 puede volver al bloque 314 y seguir realizando un bucle a través del funcionamiento a la frecuencia superior permitida y la frecuencia inferior permitida de manera que la frecuencia promedio sea equivalente a la frecuencia solicitada. Si ha habido un cambio en la frecuencia solicitada, la lógica de control 300 puede continuar en el bloque 304 para determinar si está prohibida la frecuencia solicitada.

Aunque el funcionamiento a una frecuencia promedio equivalente a una frecuencia solicitada dentro del intervalo de frecuencia prohibido ha sido descrito de cierta manera anteriormente, debe reconocerse que tal funcionamiento también puede realizarse de otras maneras. Por ejemplo, el módulo de frecuencia 142 puede determinar la frecuencia permitida más alejada de la frecuencia solicitada. El motor de compresor 32 puede hacerse funcionar por el accionamiento 36 inversor y el módulo de control de frecuencia 140 a esta frecuencia durante un tiempo predeterminado. El módulo de frecuencia 142 puede entonces determinar una segunda frecuencia de funcionamiento en la dirección opuesta (mayor o menor) desde la primera frecuencia de funcionamiento. La segunda frecuencia de funcionamiento puede estar a una misma diferencia de frecuencia de la frecuencia solicitada como la primera frecuencia de funcionamiento. El motor de compresor 32 puede entonces hacerse funcionar por el accionamiento 36 inversor y el módulo de frecuencia 140 a la segunda frecuencia durante el mismo tiempo predeterminado que la primera frecuencia de funcionamiento porque las diferencias entre la frecuencia solicitada y las dos frecuencias de funcionamiento son las mismas.

Haciendo referencia ahora a la figura 5, se representan etapas alternativas para la protección contra vibraciones en un compresor de velocidad variable. Las etapas descritas en la figura 3 y la figura 4 muestran la realización de un barrido de frecuencia basándose en ciertas condiciones, almacenando intervalos de frecuencia prohibidos y evitando estos intervalos de frecuencia durante el funcionamiento normal. Las etapas descritas en la figura 5 miden simplemente la aceleración y evita las frecuencias donde la aceleración medida excede el límite $A = 4\pi^2 \times F^2 \times Y$.

Aunque la lógica de control 400 representa el funcionamiento en un bucle continuo, la descripción de la lógica de control 400 puede comenzar con el bloque 401. En el bloque 401, el módulo de frecuencia 142 puede ordenar al módulo de control de frecuencia 140 que haga funcionar el accionamiento 36 inversor para que el motor de compresor 32 funcione a una frecuencia solicitada. De esta manera, el funcionamiento puede continuar hasta que se inicie una comprobación de un valor de aceleración del acelerómetro 40. Se puede iniciar una comprobación de varias maneras, tal como con cada cambio en la frecuencia solicitada, en un intervalo de tiempo predeterminado, o cuando se reciba un valor de aceleración. La lógica de control 400 puede continuar en el bloque 402.

En el bloque 402, el módulo de frecuencia 142 puede recibir una medición de aceleración desde el acelerómetro 40. La lógica de control 400 puede continuar en el bloque 404. En el bloque 404, el módulo de frecuencia 142 puede entonces determinar si la medición de aceleración del acelerómetro excede un límite A para la frecuencia particular F basándose en la ecuación $A = 4\pi^2 \times F^2 \times Y$. Si la aceleración no excede el límite A, la lógica de control 400 puede volver al bloque 401. Si la aceleración supera el límite A, la lógica de control 400 puede continuar en el bloque 406.

En el bloque 406, el módulo de frecuencia 142 puede ordenar al módulo de control de frecuencia 140 que haga funcionar el accionamiento 36 inversor de tal manera que un motor de compresor 32 funcione a una frecuencia más alta. El módulo de frecuencia 142 puede recibir mediciones del acelerómetro 40 y puede continuar para ordenar al módulo de control de frecuencia 140 que aumente la frecuencia del accionamiento 36 inversor y el motor de compresor 32 hasta que una medición de aceleración del acelerómetro 40 sea menor que $A = 4\pi^2 \times F^2 \times Y$ para la frecuencia dada. Esta primera frecuencia en la que la aceleración medida no excede el límite de aceleración puede ser la frecuencia superior permitida. La frecuencia superior permitida también puede ser esta primera frecuencia medida más un factor de seguridad. Una vez que se determina la frecuencia superior permitida, la lógica de control 400 puede continuar en el bloque 408.

En el bloque 408, el módulo de frecuencia 142 puede ordenar al módulo de control de frecuencia 140 que haga funcionar el accionamiento 36 inversor de tal manera que un motor de compresor 32 funcione a una frecuencia inferior a la frecuencia solicitada. El módulo de frecuencia 142 puede recibir mediciones desde el acelerómetro 40 y puede continuar a ordenar al módulo de control de frecuencia 140 que disminuya la frecuencia del accionamiento 36 inversor y el motor de compresor 32 hasta que una medición de aceleración del acelerómetro 40 sea inferior a $A = 4\pi^2 \times F^2 \times Y$ para la frecuencia dada. Esta primera frecuencia en la que la aceleración medida no excede el límite de aceleración puede ser la frecuencia inferior permitida. La frecuencia inferior permitida también puede ser esta primera frecuencia medida menos un factor de seguridad. Una vez que se determina la frecuencia inferior permitida,

la lógica de control 400 puede continuar en el bloque 410.

5 En el bloque 410, el módulo de frecuencia 142 puede acceder a un valor de tiempo predeterminado desde el módulo de almacenamiento 144. El valor de tiempo predeterminado puede corresponder a un tiempo total durante el cual puede ejecutarse la rutina de promedio de frecuencia descrita a continuación. Por ejemplo, el tiempo total puede ser de cuatro minutos. El módulo de frecuencia 142 puede entonces determinar una relación de funcionamiento de frecuencia superior basándose en lo siguiente: relación superior = (frecuencia solicitada - frecuencia inferior) ÷ (frecuencia superior - frecuencia inferior). El tiempo de funcionamiento de la frecuencia superior puede ser equivalente al tiempo predeterminado multiplicado por la relación superior. Una vez que se determina el tiempo de funcionamiento de la frecuencia superior, la lógica de control 400 puede continuar en el bloque 412.

15 En el bloque 412, el módulo de frecuencia 142 puede utilizar el tiempo predeterminado y el tiempo de funcionamiento superior calculado para determinar el tiempo de funcionamiento de la frecuencia inferior. El tiempo de funcionamiento de la frecuencia inferior puede ser simplemente igual al tiempo predeterminado menos el tiempo de funcionamiento de la frecuencia superior. También es posible calcular el tiempo de funcionamiento de la frecuencia inferior primero utilizando una relación inferior = (frecuencia superior - frecuencia solicitada) ÷ (frecuencia superior - frecuencia inferior). El tiempo de funcionamiento de la frecuencia inferior y el tiempo de funcionamiento de la frecuencia superior podrían calcularse entonces a partir de la relación inferior. Una vez que se determina el tiempo de funcionamiento de la frecuencia inferior, la lógica de control 400 puede continuar en el bloque 414.

20 En el bloque 414, el módulo de frecuencia 142 puede ordenar al módulo de control de frecuencia 140 que haga funcionar el accionamiento 36 inversor y el motor de compresor 32 a la frecuencia superior permitida y que siga funcionando a esa frecuencia para el tiempo de funcionamiento de la frecuencia superior. Una vez transcurrido el tiempo de funcionamiento de la frecuencia superior, la lógica de control 400 puede continuar en el bloque 416. En el bloque 416, el módulo de frecuencia 142 puede ordenar al módulo de control de frecuencia 140 el accionamiento 36 inversor y el motor de compresor 32 a la frecuencia inferior permitida para el tiempo de funcionamiento de la frecuencia inferior. Una vez finalizado el tiempo de funcionamiento de la frecuencia inferior, la lógica de control 400 puede continuar en el bloque 418.

30 En el bloque 418, el módulo de frecuencia 142 puede determinar si ha habido un cambio en la frecuencia solicitada. Si no se ha producido ningún cambio en la frecuencia solicitada, la lógica de control 400 puede volver al bloque 414 y seguir realizando un bucle funcionando a la frecuencia superior permitida y a la frecuencia inferior permitida de manera que la frecuencia promedio sea equivalente a la frecuencia solicitada. Si se ha producido un cambio en la frecuencia solicitada, la lógica de control 400 puede continuar en el bloque 420. En el bloque 420, el módulo de frecuencia 142 puede ordenar al módulo de control de frecuencia 140 que haga funcionar el accionamiento 36 inversor y al motor de compresor 32 a la nueva frecuencia solicitada. La lógica de control 400 puede continuar en el bloque 401 para funcionar en estado estacionario hasta la siguiente comprobación del acelerómetro.

40 Los expertos en la técnica pueden apreciar ahora a partir de lo mencionado anteriormente que las enseñanzas generales de la presente divulgación pueden implementarse de diversas maneras. Por lo tanto, aunque esta divulgación se ha descrito en conexión con ejemplos particulares de la misma, el verdadero alcance de la divulgación no debería estar muy limitado, puesto que otras modificaciones comprendidas en las reivindicaciones serán evidentes para el experto en la materia tras un estudio de los dibujos, la especificación y las reivindicaciones siguientes.

45

REIVINDICACIONES

1. Un método de protección contra vibraciones en un sistema compresor (14) con un compresor de velocidad (32) variable que comprende:
- 5 el funcionamiento de un compresor de velocidad (32) variable en una pluralidad de frecuencias;
la medición de una pluralidad de valores de vibración asociados con la pluralidad de frecuencias;
la determinación de una característica de frecuencia del sistema compresor (14) basándose en la pluralidad de valores de vibración, la identificación de frecuencias prohibidas del compresor (32) basándose en la
- 10 característica de frecuencia y **caracterizado por que** la característica de frecuencia incluye un intervalo de frecuencias en la que los valores de vibración exceden una amplitud de aceleración máxima.
2. El método según la reivindicación 1, en el que la característica de frecuencia incluye una frecuencia de resonancia.
- 15 3. El método según la reivindicación 2, en el que las frecuencias de compresor prohibidas incluyen un intervalo de la frecuencia de resonancia más o menos una diferencia de frecuencia crítica.
4. El método según la reivindicación 3, en el que la diferencia de frecuencia crítica es de al menos 1 Hz.
- 20 5. El método según la reivindicación 1, en el que la amplitud de aceleración máxima (A) = $4\pi^2 \times (\text{frecuencia})^2 \times$ (desplazamiento permitido máximo).
6. El método según la reivindicación 5, en el que la amplitud de desplazamiento permitido máximo es de al menos 25×10^{-6} metros.
7. El método según la reivindicación 6, en el que las frecuencias de compresor prohibidas incluyen el intervalo de frecuencia en el que los valores de vibración exceden la amplitud de aceleración máxima.
- 30 8. El método según la reivindicación 1, en el que el funcionamiento incluye:
- hacer funcionar un compresor de velocidad variable a una frecuencia de barrido mínima;
aumentar la frecuencia del compresor de velocidad variable mediante un aumento de frecuencia; y
seguir aumentando hasta que la frecuencia del compresor de velocidad variable sea al menos una frecuencia de
- 35 barrido máxima.
9. El método según la reivindicación 8, en el que la medición incluye medir un valor de vibración asociado con cada aumento de frecuencia.
- 40 10. El método según la reivindicación 9, en el que el valor de vibración es al menos uno de los siguientes: una aceleración del sistema, una velocidad del sistema y una amplitud de la vibración.
11. El método según la reivindicación 1, en el que la identificación incluye almacenar un valor de frecuencia prohibido para cada frecuencia en la que el valor de vibración excede una vibración permitida máxima.
- 45 12. El método según la reivindicación 1, en el que la medición incluye la recepción de una pluralidad de valores de vibración de un acelerómetro y el almacenamiento de los valores de vibración en la memoria.
13. El método según la reivindicación 1, que comprende además el funcionamiento del compresor de velocidad variable a una primera frecuencia (F₁) fuera de las frecuencias prohibidas por una primera vez (T₁) y el funcionamiento del compresor de velocidad variable a una segunda frecuencia (F₂) fuera de las frecuencias prohibidas por una segunda vez (T₂), en el que la frecuencia promedio en el tiempo es igual a una frecuencia solicitada (T_R) entre las frecuencias prohibidas.
- 50 14. El método según la reivindicación 13, en el que la primera frecuencia es una frecuencia superior permitida más próxima, la segunda frecuencia es una frecuencia inferior permitida más próxima y la primera vez T₁ es igual a un tiempo total predeterminado $\times (F_R - F_2) / (F_1 - F_2)$ y la segunda vez T₂ = tiempo total predeterminado - T₁.
- 55 15. El método según la reivindicación 1, que comprende además:
- 60 solicitar el funcionamiento a una primera frecuencia;
determinar una primera frecuencia permitida más alejada de la primera frecuencia;
funcionar a dicha primera frecuencia permitida durante un tiempo predeterminado;
determinar una segunda frecuencia permitida en una dirección opuesta a una dirección de la primera frecuencia permitida; y
- 65 funcionar a dicha segunda frecuencia permitida durante un periodo de tiempo básicamente igual a dicho tiempo

predeterminado.

16. El método según la reivindicación 1, que comprende además repetir el funcionamiento, la medición, la determinación y la identificación según una cualquiera de los siguientes criterios:

- 5
- (a) cuando se reinicia el compresor;
 - (b) a un intervalo predeterminado;
 - (c) cuando un sistema de bomba de calor modifica un modo de funcionamiento entre el calentamiento y el enfriamiento;
- 10
- (d) cuando un valor de vibración medido excede un umbral de barrido predeterminado; o
 - (e) cuando el cambio de temperatura ambiente durante un tiempo predeterminado excede un umbral de temperatura predeterminado.

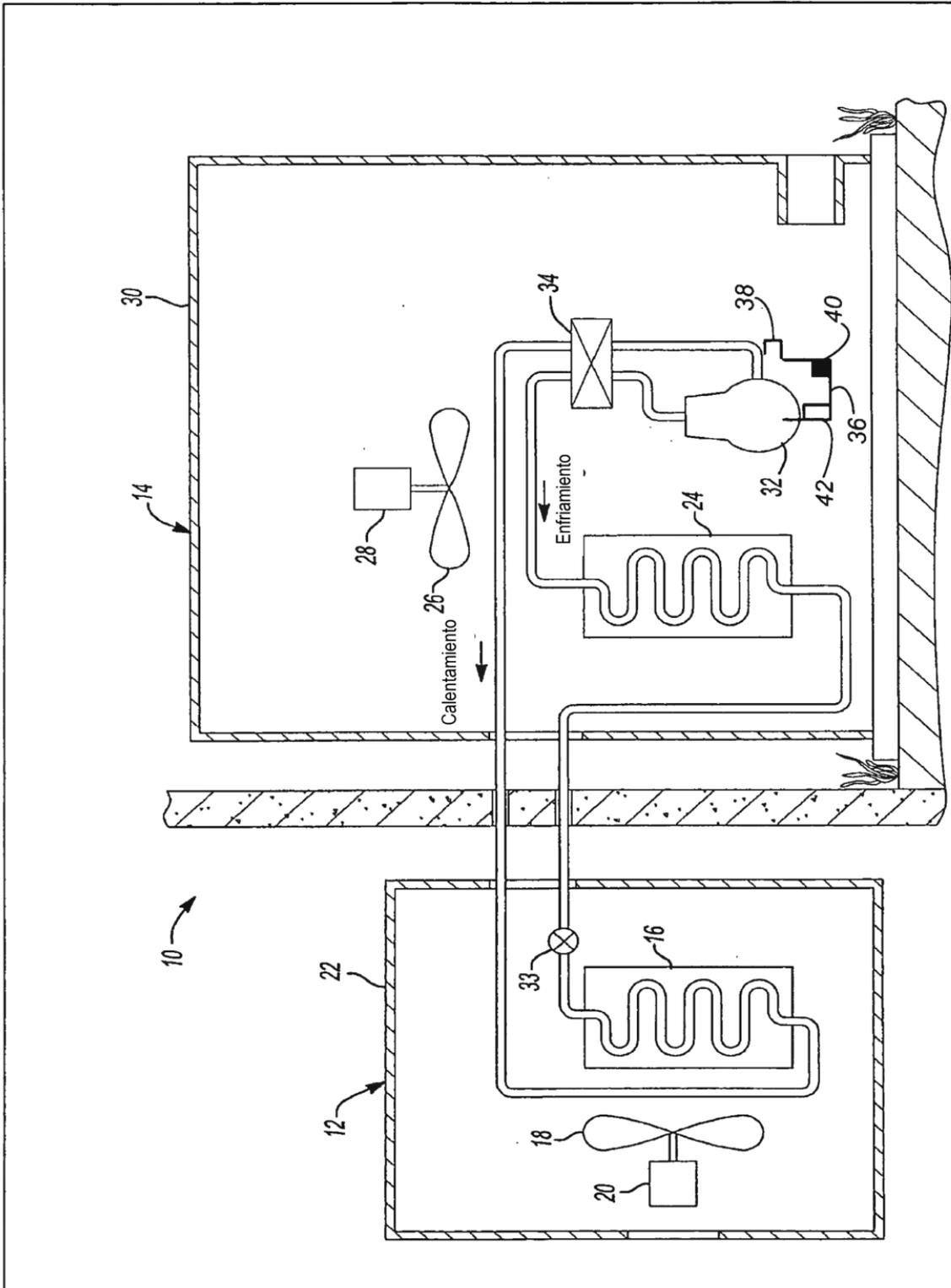


FIG. 1

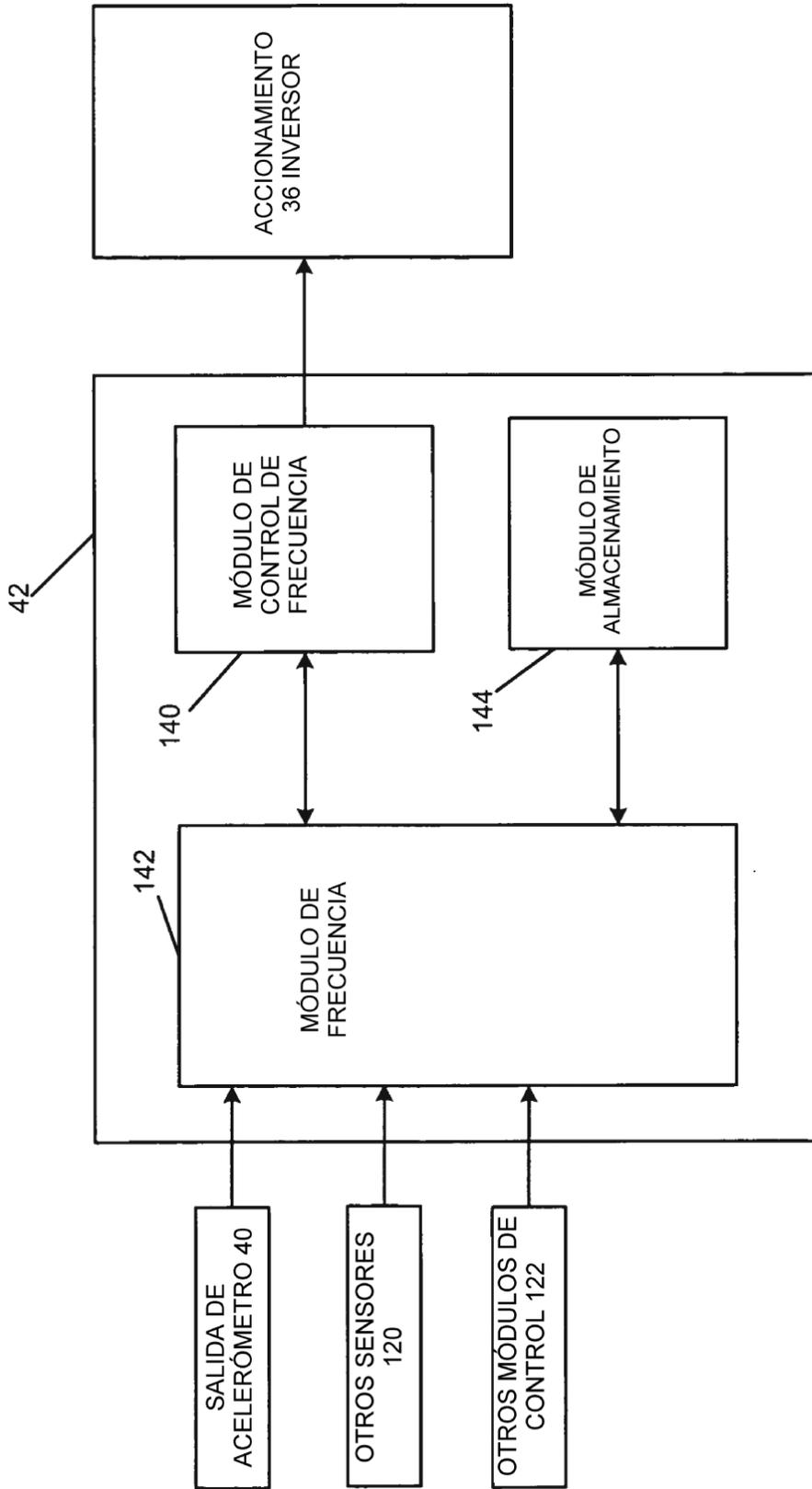


FIG. 2

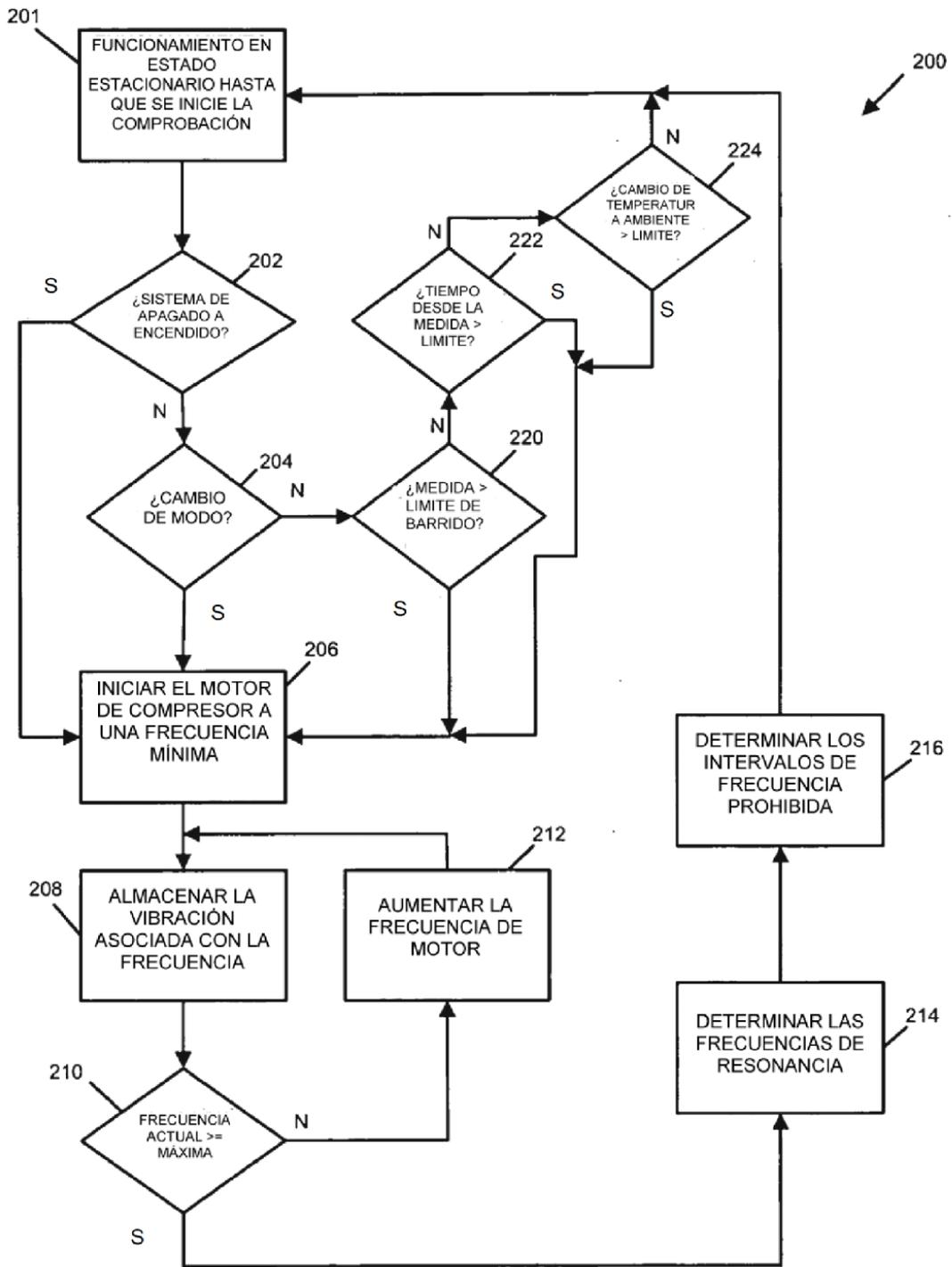


FIG. 3

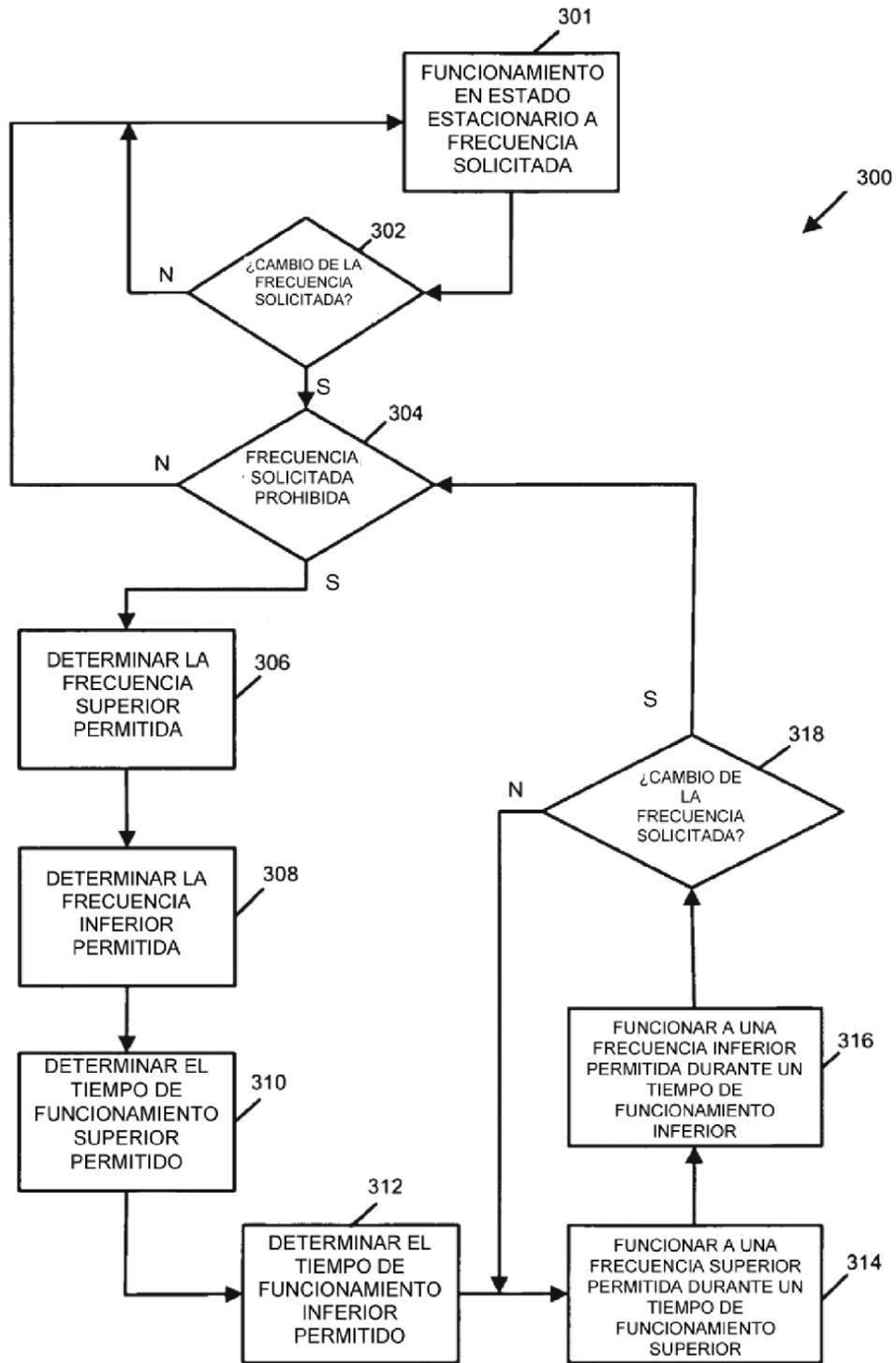


FIG. 4

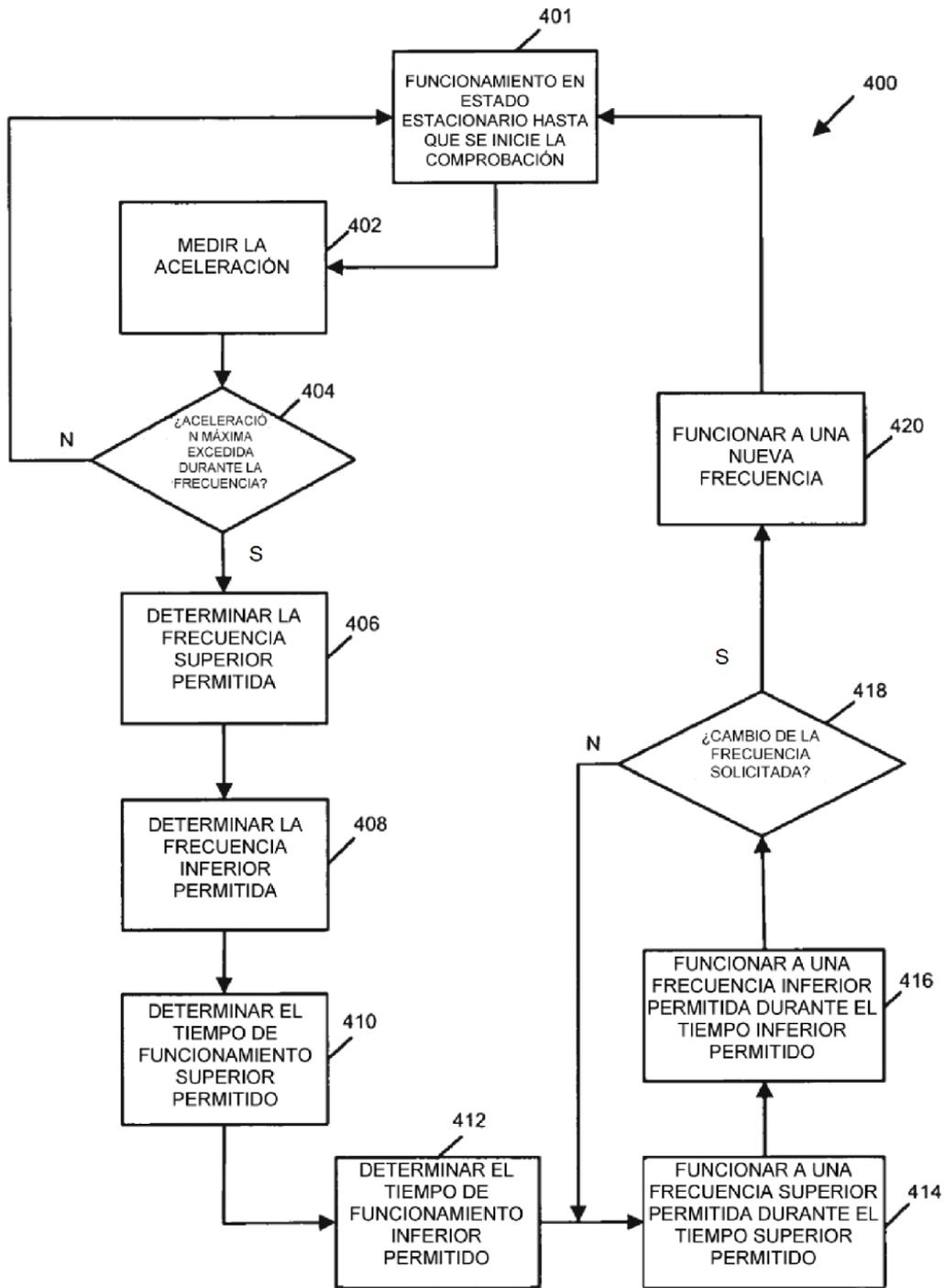


FIG. 5