

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 028 876**

51 Int. Cl.:

F04D 27/00 (2006.01)

F04D 29/058 (2006.01)

F25B 49/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.09.2016 PCT/US2016/054702**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.04.2017 WO17059211**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.09.2016 E 16784314 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.05.2025 EP 3356680**

54 Título: **Compresor centrífugo con cojinetes magnéticos y predicción de inestabilidad mediante la posición del eje**

30 Prioridad:
02.10.2015 US 201514873573

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.06.2025

73 Titular/es:
**DAIKIN INDUSTRIES, LTD. (100.00%)
Osaka Umeda Twin Towers South, 1-13-1, Umeda,
Kita-ku
Osaka-Shi, Osaka 530-0001, JP**

72 Inventor/es:
**HOSSAIN, MD ANWAR;
UMEDA, NOBUHIRO y
TAKIGAWA, TAKATOSHI**

74 Agente/Representante:
ELZABURU, S.L.P

ES 3 028 876 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

Compresor centrífugo con cojinetes magnéticos y predicción de inestabilidad mediante la posición del eje

5 Antecedentes**Campo de la invención**

10 La presente invención se refiere en general a un compresor centrífugo. Más específicamente, la presente invención se refiere a un compresor centrífugo con predicción de inestabilidad. Información general

15 Un sistema de enfriamiento es una máquina o aparato frigorífico que elimina el calor de un medio. Normalmente se utiliza un líquido como el agua como medio y el sistema de enfriamiento funciona en un ciclo de refrigeración por compresión de vapor. Este líquido puede circular a continuación a través de un intercambiador de calor para enfriar el aire o los equipos según sea necesario. Como subproducto necesario, la refrigeración genera calor residual que debe evacuarse al ambiente o, para una mayor eficacia, recuperarse para calefacción. Un sistema de enfriamiento convencional suele utilizar un compresor centrífugo, que suele denominarse turbocompresor. Por tanto, dichos sistemas de refrigeración pueden denominarse turboenfriadores. Como alternativa, pueden utilizarse otros tipos de compresores, p. ej. un compresor de tornillo.

20 En un (turbo) enfriador convencional, el refrigerante se comprime en el compresor centrífugo y se envía a un intercambiador de calor en el que se produce el intercambio de calor entre el refrigerante y un medio de intercambio de calor (líquido). Este intercambiador de calor se denomina condensador porque el refrigerante se condensa en este intercambiador de calor. Como resultado, el calor se transfiere al medio (líquido), de modo que el medio se calienta. El refrigerante que sale del condensador se expande mediante una válvula de expansión y se envía a otro intercambiador de calor en el que se produce el intercambio de calor entre el refrigerante y un medio de intercambio de calor (líquido). Este intercambiador de calor se denomina evaporador porque el refrigerante se calienta (evapora) en este intercambiador de calor. Como resultado, el calor se transfiere del medio (líquido) al refrigerante, y el líquido se enfría. A continuación, el refrigerante del evaporador vuelve al compresor centrífugo y se repite el ciclo. El líquido utilizado suele ser agua.

35 Un compresor centrífugo convencional incluye básicamente una carcasa, un álabe guía de entrada, un impulsor, un difusor, un motor, varios sensores y un controlador. El refrigerante fluye en orden a través del álabe guía de entrada, el impulsor y el difusor. Por tanto, el álabe guía de entrada está acoplado a un puerto de admisión de gas del compresor centrífugo, mientras que el difusor está acoplado a un puerto de salida de gas del impulsor. El álabe guía de entrada controla el caudal de gas refrigerante que entra en el impulsor. El impulsor aumenta la velocidad del gas refrigerante, generalmente sin cambiar la presión. El difusor aumenta la presión del refrigerante sin modificar la velocidad. El motor hace girar el impulsor. El controlador controla el motor, el álabe guía de entrada y la válvula de expansión. De esta manera, el refrigerante se comprime en un compresor centrífugo convencional. El álabe guía de entrada suele ser ajustable y la velocidad del motor también para ajustar la capacidad del sistema. Además, el difusor puede ser regulable para ajustar aún más la capacidad del sistema. El controlador controla el motor, el álabe guía de entrada y la válvula de expansión. El controlador puede controlar además cualquier elemento controlable adicional, como el difusor.

45 Cuando la presión detrás del compresor es superior a la presión de salida del compresor, el fluido tiende a invertirse o incluso a retroceder en el compresor. En consecuencia, la presión disminuirá, la presión de entrada aumentará y el flujo se invertirá de nuevo. Este fenómeno, llamado inestabilidad, se repite y se produce en ciclos. El compresor pierde la capacidad de mantener la altura máxima cuando se produce inestabilidad y todo el sistema se vuelve inestable. Una colección de puntos de inestabilidad durante la variación de la velocidad del compresor o la variación del ángulo del álabe guía de entrada se denomina línea de inestabilidad. En condiciones normales, el compresor funciona en el lado derecho de la línea de inestabilidad. Sin embargo, durante el arranque/parada de emergencia, el punto de funcionamiento se desplazará hacia la línea de inestabilidad porque se reduce el caudal. Si las condiciones son tales que el punto de funcionamiento se aproxima a la línea de inestabilidad, la recirculación del flujo se produce en el impulsor y el difusor. La recirculación del flujo, que provoca la separación del flujo, eventualmente causará una disminución en la presión de descarga, y el flujo de succión a descarga se reanudará. Las inestabilidades pueden hacer que el compresor se sobrecaliente hasta el punto de superar la temperatura máxima admisible de la unidad. Asimismo, las inestabilidades pueden causar daños en el cojinete de empuje debido al desplazamiento del rotor de un lado a otro del lado activo al inactivo. Esto se define como el ciclo de inestabilidad del compresor.

60 Por lo tanto, se han desarrollado técnicas para predecir la inestabilidad. Véase, por ejemplo, la patente estadounidense n.º 5,095,714.

65 El documento US 2013156544 A1 divulga un compresor que tiene un conjunto de carcasa con un puerto de succión y un puerto de descarga. Un eje se monta para que rote alrededor de un eje y se monta un impulsor al eje para que lo impulse en al menos una primera condición para extraer el líquido a través del puerto de succión

y descargar el líquido desde el puerto de descarga. Un sistema de cojinetes magnéticos soporta el eje. Se acopla un controlador a un sensor y se configura para detectar al menos uno de inestabilidad y pérdida rotativa antes de la inestabilidad y, en respuesta a dicha detección, se toman medidas para prevenir o contrarrestar la inestabilidad.

5 El documento US 6463748 B1 divulga un sistema de control y un método para controlar un enfriador centrífugo a través del cual pasa un fluido a enfriar incluye un aparato enfriador que tiene al menos uno de cada uno de los siguientes componentes; un evaporador, un compresor, preferiblemente un compresor de cojinete magnético, un condensador y un dispositivo de expansión. Una pluralidad de sensores miden y generan señales que representan las condiciones de funcionamiento dentro del aparato de enfriamiento. Una unidad de control del enfriador que incluye un procesador de señales recibe las señales generadas por la pluralidad de sensores. La unidad de control del enfriador incluye además un dispositivo de memoria que almacena información relativa a las propiedades termodinámicas de fluidos específicos y un dispositivo de comparación programado con un algoritmo de comparación que compara las señales recibidas generadas por la pluralidad de sensores con las propiedades termodinámicas del fluido específico contenidas en el dispositivo de memoria. Basándose en la comparación, la unidad de control genera al menos una señal de control para variar el funcionamiento de uno o varios de los evaporadores, el compresor, el condensador y el dispositivo de expansión para garantizar que el sistema de enfriamiento funciona con la máxima eficacia.

20 El documento WO 2009055878 A2 divulga un método para evitar una condición de trabajo inestable en compresores centrífugos, y esta condición de trabajo inestable es más conocida con el término de "inestabilidad" o "bombeo", caracterizada por que consiste en medir y/o calcular las fuerzas sobre los cojinetes del rotor; para detectar a tiempo un desequilibrio excepcional de las fuerzas radiales sobre los cojinetes que se produce antes de que el compresor centrífugo acabe en una condición inestable; y, cuando se haya detectado el desequilibrio radial excepcional antes mencionado, en modificar de los parámetros de funcionamiento del compresor centrífugo para evitar la "inestabilidad".

30 El documento JP H03 19497 U divulga un compresor centrífugo que comprende una carcasa, un álabe guía, un impulsor, un cojinete magnético radial, y un cojinete de empuje axial, así como sensores para detectar las posiciones de los ejes.

Compendio

35 En un compresor centrífugo convencional, se detecta la presión diferencial entre una presión del lado del concentrador y una presión del lado de la cubierta. A continuación, la presión diferencial se compara con los valores establecidos para predecir la inestabilidad. Aunque esta técnica funciona relativamente bien, es deseable predecir la inestabilidad con mayor rapidez y precisión.

40 Por lo tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar un compresor centrífugo que prediga la inestabilidad con mayor rapidez y/o precisión.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un compresor centrífugo que prediga la inestabilidad sin una construcción excesivamente complicada y/o piezas adicionales.

45 Un compresor centrífugo de acuerdo con la presente invención se define por la reivindicación 1. Las reivindicaciones dependientes se refieren a realizaciones preferidas.

50 Estos y otros objetivos, características, aspectos y ventajas de la presente invención resultarán evidentes para los expertos en la materia a partir de la siguiente descripción detallada, que, en relación con los dibujos adjuntos, divulga realizaciones preferidas.

Breve descripción de los dibujos

Remitiéndonos ahora a los dibujos adjuntos que forman parte de esta divulgación original:

55 La figura 1 ilustra un enfriador que incluye un compresor centrífugo de acuerdo con una realización de la presente invención;

60 La figura 2 es una vista en perspectiva del compresor centrífugo del enfriador ilustrado en la figura 1, con partes separadas y mostradas en sección transversal a efectos ilustrativos;

La figura 3 es una vista en sección transversal longitudinal del impulsor, el motor y el cojinete magnético del compresor centrífugo ilustrado en la figura 2;

65 La figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra un primer método de predicción de inestabilidad;

La figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra un segundo método de predicción de inestabilidad;

La figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra un tercer método de predicción de inestabilidad;

La figura 7 es una vista axial del eje del cojinete magnético de rotación que ilustra la ubicación de un cojinete magnético radial;

5

La figura 8 es un gráfico que ilustra la altura en comparación con el caudal para tres rpm diferentes del compresor centrífugo, con una línea de inestabilidad ilustrada;

10

La figura 9A es un diagrama esquemático que ilustra una primera disposición ilustrativa del conjunto de cojinetes magnéticos y la sección de control de cojinetes magnéticos;

La figura 9B es un diagrama esquemático que ilustra una segunda disposición ilustrativa del conjunto de cojinetes magnéticos y la sección de control de cojinetes magnéticos;

15

La figura 9C es un diagrama esquemático que ilustra una tercera disposición ilustrativa del conjunto de cojinetes magnéticos y la sección de control de cojinetes magnéticos;

La figura 10A es una vista en planta de sección transversal parcial del cojinete de empuje magnético de las figuras 2 y 3;

20

La figura 10B es una vista en perspectiva recortada del cojinete de empuje magnético de las figuras 2 y 3; y

La figura 11 es un diagrama esquemático que ilustra el controlador del enfriador.

25

Descripción detallada de las realizaciones

Las realizaciones seleccionadas se explicarán ahora con referencia a los dibujos. Será evidente para los expertos en la materia a partir de esta divulgación que las siguientes descripciones de las realizaciones se proporcionan únicamente a título ilustrativo y no con el fin de limitar la invención, que se define por las reivindicaciones adjuntas.

30

Refiriéndose inicialmente a la figura 1, se ilustra un sistema de enfriamiento 10 que incluye un compresor centrífugo de acuerdo con una realización de la presente invención. El sistema de enfriamiento 10 es preferiblemente un enfriador refrigerado por agua que utiliza agua de refrigeración y agua de enfriamiento de manera convencional. El sistema de enfriamiento 10 ilustrado en el presente documento es un sistema de enfriamiento de una sola etapa. Sin embargo, será evidente para los expertos en la materia a partir de esta divulgación que el sistema de enfriamiento 10 podría ser un sistema de enfriamiento de múltiples etapas. El sistema de enfriamiento 10 incluye básicamente un controlador 20, un compresor 22, un condensador 24, una válvula de expansión 26 y un evaporador 28 conectados en serie para formar un ciclo de refrigeración en bucle. Además, varios sensores S y T están dispuestos a lo largo del circuito como se muestra en la figura 1. El sistema de enfriamiento 10 es convencional excepto que el sistema de enfriamiento predice la inestabilidad de acuerdo con la presente invención.

35

40

45

En referencia a las figuras 1-3, en la realización ilustrada, el compresor 22 es un compresor centrífugo. El compresor centrífugo 22 de la realización ilustrada incluye básicamente una carcasa, 30, un álabe guía de entrada 32, un impulsor 34, un difusor 36, un motor 38 y un conjunto de cojinetes magnéticos 40, así como diversos sensores convencionales. El controlador 20 recibe señales de los distintos sensores y controla la álabe guía de entrada 32, el motor 38 y el conjunto de cojinetes magnéticos 40 de manera convencional, como se explica con más detalle a continuación. El refrigerante fluye en orden a través del álabe guía de entrada 32, el impulsor 34 y el difusor 36. La álabe guía de entrada 32 controla el caudal de gas refrigerante en el impulsor 34 de una manera convencional. El impulsor 34 aumenta la velocidad del gas refrigerante, generalmente sin cambiar la presión. La velocidad del motor determina la cantidad de aumento de la velocidad del gas refrigerante. El difusor 36 aumenta la presión del refrigerante sin modificar la velocidad. El motor 38 hace girar el impulsor 34 a través de un eje 42. El conjunto de cojinetes magnéticos 40 soporta magnéticamente el eje 42. De esta manera, el refrigerante se comprime en el compresor centrífugo 22.

50

55

El compresor centrífugo 22 es convencional, excepto que el compresor centrífugo 22 predice la inestabilidad de acuerdo con la presente invención. En concreto, el controlador 20 utiliza los datos recibidos del conjunto de cojinetes magnéticos 40 del compresor centrífugo 22 para predecir la inestabilidad. Más específicamente, el controlador 20 en la realización ilustrada utiliza una señal de posición del eje, una señal de corriente de cojinete magnético a través de un controlador de cojinete magnético con el fin de predecir la inestabilidad, como se explica con más detalle a continuación.

60

65

En referencia a las figuras 2-3, el conjunto de cojinetes magnéticos 40 es convencional, y por lo tanto, no se discutirá y/o ilustrará en detalle en el presente documento, excepto en lo relativo a la predicción de la inestabilidad según la realización ilustrada. Más bien, será evidente para aquellos expertos en la materia que

puede utilizarse cualquier cojinete magnético adecuado sin apartarse de la presente invención. Como se ve en la figura 2, el conjunto de cojinetes magnéticos 40 incluye preferiblemente un primer cojinete magnético radial 44, un segundo cojinete magnético radial 46 y un cojinete magnético axial 48 (de empuje). Los cojinetes magnéticos radiales 44 y 46 primero y segundo pueden estar dispuestos en extremos axiales opuestos del motor 38, o pueden estar dispuestos en el mismo extremo axial con respecto al motor 38 (no ilustrado). Varios sensores, que se analizan con más detalle a continuación, detectan las posiciones radiales y axiales del eje 42 con respecto a los cojinetes magnéticos 44, 46 y 48, y envían señales a la sección de control 61 de los cojinetes magnéticos de manera convencional. La sección de control 61 de los cojinetes magnéticos controla a continuación la corriente eléctrica enviada a los cojinetes magnéticos 44, 46 y 48 de manera convencional para mantener el eje 42 en la posición correcta. Dado que el funcionamiento de los cojinetes magnéticos y los conjuntos de cojinetes magnéticos como los cojinetes magnéticos 44, 46 y 48 del conjunto de cojinetes magnéticos 40 son bien conocidos en la técnica, el conjunto de cojinetes magnéticos 40 no se explicará y/o ilustrará en detalle en el presente documento, excepto en lo relativo a la predicción de inestabilidad de acuerdo con la presente invención. Específicamente, en la realización ilustrada, se detectan las vibraciones del cojinete magnético y se utilizan para predecir la inestabilidad, como se explica con más detalle a continuación.

El conjunto de cojinetes magnéticos 40 es preferiblemente una combinación de cojinetes magnéticos 44, 46 y 48 activos, que utiliza sensores de posición 54, 56 y 58 sin contacto para controlar la posición del eje y enviar señales indicativas de la posición del eje a la sección de control 61 de los cojinetes magnéticos. Por tanto, cada uno de los cojinetes magnéticos 44, 46 y 48 son preferiblemente cojinetes magnéticos activos. Cada cojinete magnético activo suele incluir un controlador proporcional-integral-derivativo (controlador PID, o PID). Un PID utiliza la información de los sensores de posición 54, 56 y 58 para ajustar la corriente requerida a los cojinetes magnéticos 44, 46 y 48 del conjunto de cojinetes 40 para mantener la posición adecuada del rotor tanto radial como axialmente, como se desprendería de la divulgación. Los cojinetes magnéticos activos son bien conocidos en la técnica, y por tanto, no se explicarán y/o ilustrarán en detalle en el presente documento, excepto en lo relativo a la predicción de inestabilidad de acuerdo con la presente invención.

Véanse las figuras 1, 2 y 11, en la realización ilustrada, el controlador 20 incluye una sección de control 61 de los cojinetes magnéticos, una sección de predicción 62 de inestabilidad, una sección de control 63 de inestabilidad, un variador de frecuencia 64, una sección de control 65 del motor, una sección de control 66 del álabe guía de entrada, y una sección de control 67 de la válvula de expansión. El controlador 20 también puede incluir cualquier PID como procesos de una sección de control 61 de los cojinetes magnéticos como se ilustra en la figura 9A. La sección de control 61 de los cojinetes magnéticos, la sección de predicción 62 de inestabilidad, la sección de control 63 de inestabilidad, el variador de frecuencia 64, la sección de control 65 del motor y la sección de control 66 del álabe guía de entrada forman parte de una parte de control del compresor centrífugo del controlador 20 que está acoplada eléctricamente a una interfaz de E/S 50 del compresor 22. La sección de control 61 de los cojinetes magnéticos puede estar conectada a los sensores de corriente 53, 55 y 57 para controlar la corriente suministrada a los cojinetes magnéticos 44, 46 y 48 del conjunto de cojinetes 40.

Debido a que la sección de control 61 de los cojinetes magnéticos está conectada a varias partes del conjunto de cojinetes magnéticos 40 y se comunica con varias secciones del controlador 20, las distintas secciones del controlador 20 pueden recibir señales de los sensores 53 a 58 del compresor 22, realizar cálculos y transmitir señales de control a partes del compresor 22 como el conjunto de cojinetes magnéticos 40. De forma similar, las distintas secciones del controlador 20 pueden recibir señales de los sensores S y T, realizar cálculos y transmitir señales de control al compresor 22 (p. ej., el motor) y la válvula de expansión 26. Las secciones de control y el variador de frecuencia 64 pueden ser controladores separados o pueden ser meras secciones del controlador del enfriador programadas para ejecutar el control de las partes descritas en el presente documento. En otras palabras, será evidente para los expertos en la materia a partir de esta divulgación que el número exacto, la ubicación y/o la estructura de las secciones de control, la parte de control y/o el controlador 20 pueden cambiarse sin apartarse de la presente invención siempre que los uno o más controladores estén programados para ejecutar el control de las partes del sistema enfriador 10 como se explica en el presente documento.

El controlador 20 es convencional, y por lo tanto, incluye al menos un microprocesador o CPU, una interfaz de entrada/salida (E/S), memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de solo lectura (ROM), un dispositivo de almacenamiento (temporal o permanente) que forma un medio legible por ordenador programado para ejecutar uno o más programas de control para controlar el sistema enfriador 10. El controlador 20 puede incluir opcionalmente una interfaz de entrada como un teclado para recibir entradas de un usuario y un dispositivo de visualización utilizado para mostrar diversos parámetros a un usuario. Las piezas y la programación son convencionales, excepto en lo relacionado con la predicción de inestabilidad, y por lo tanto, no se tratarán en detalle en el presente documento, excepto cuando sea necesario para comprender las realizaciones.

La sección de control 61 de los cojinetes magnéticos, directa o indirectamente de uno o varios PID, recibe señales de los sensores 54, 56 y 58 del conjunto de cojinetes magnéticos 40, y transmite señales eléctricas a los cojinetes 44, 46 y 48 para mantener el eje 42 en la posición deseada de manera convencional durante el funcionamiento normal cuando no se prevé ninguna inestabilidad. Al menos uno de los PID y la sección de

- control 61 de los cojinetes magnéticos está programado para ejecutar un programa de control de los cojinetes magnéticos para mantener el eje 42 en la posición deseada de una manera convencional. En la realización ilustrada, la sección de control 61 de los cojinetes magnéticos puede controlar (p. ej. ejecuta un programa de control de cojinetes magnéticos) el conjunto de cojinetes magnéticos 40 utilizando el hardware y/o el software del controlador 20. Sin embargo, será evidente para los expertos en la materia a partir de esta divulgación que la sección de control 61 de los cojinetes magnéticos, así como las otras secciones de control del controlador 20, pueden implementarse de forma independiente por uno o más controladores separados adicionales que incluyan los mismos componentes del controlador 20, pero que están conectados al controlador 20 aunque no se ilustren.
- En referencia a las figuras 9A-9C, la sección de control 61 de los cojinetes magnéticos se ilustra como una porción del controlador 20 como un único controlador independiente directamente integrado en los cojinetes magnéticos, conectada a una pluralidad de reguladores PID correspondientes a los cojinetes magnéticos, o conectada a un único regulador PID conectado a cada cojinete magnético. Estos son meramente tres ejemplos de posibles estructuras para la sección de control 61 de los cojinetes magnéticos y no pretenden limitar la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas. La sección de control 61 de los cojinetes magnéticos está conectada eléctricamente de forma directa, o indirectamente a través de uno o más PID, a cualquiera de los sensores 53 a 58, y un amplificador 84, 86 u 88 de cada cojinete magnético respectivo del conjunto de cojinetes magnéticos 40. Cada cojinete magnético 44 incluye una pluralidad de sensores de posición 54, una pluralidad de actuadores 74 y al menos un amplificador 84. De forma similar, cada uno de los cojinetes magnéticos 46 incluye una pluralidad de sensores de posición 56, una pluralidad de actuadores 76 y al menos un amplificador 86. De la misma manera, cada cojinete magnético 48 incluye una pluralidad de sensores de posición 58, una pluralidad de actuadores 78 y al menos un amplificador 88. Los amplificadores 84, 86 y 88 de cada cojinete magnético 44, 46 y 48 pueden ser un amplificador multicanal para controlar los sensores de posición de los mismos, o pueden incluir amplificadores separados para cada sensor de posición 54, 56 y 58. En cualquier caso, los amplificadores 84, 86 y 88 están conectados eléctricamente a los actuadores 74, 76 y 78 de cada uno de los respectivos cojinetes magnéticos 44, 46 y 48.
- La sección de control 61 de los cojinetes magnéticos está conectada a los sensores de corriente 53, 55 y 57 en el caso de que la sección de control 61 de los cojinetes magnéticos deba controlar la corriente suministrada a cada accionador 74, 76 y 78 del conjunto de cojinetes magnéticos 40 (véase la figura 6); conectados a los sensores de posición 54, 56 y 58 en el caso de que la sección de control 61 de los cojinetes magnéticos deba controlar la posición del eje 42 (véase la figura 4).
- La sección de control 61 de los cojinetes magnéticos está programada para ejecutar el control de cada actuador respectivo 74, 76 y 78 de los cojinetes magnéticos 44, 46, y 48 para mantener una posición deseada del eje 42. La sección de control 61 de los cojinetes magnéticos controla el conjunto de cojinetes magnéticos 40 generando o ajustando la señal de control enviada a cada amplificador 84, 86 y 88 del conjunto de cojinetes magnéticos 40. La señal de control indica la corriente que cada amplificador debe suministrar a un actuador respectivo 74, 76 y 78 del conjunto de cojinetes magnéticos 40. Cada amplificador 84, 86 y 88 puede tener varios canales para controlar independientemente cada actuador 74, 76 y 78 del conjunto de cojinetes magnéticos 40 respectivamente, cada actuador 74, 76 y 78 del conjunto de cojinetes magnéticos 40 puede tener un único amplificador correspondiente, o una combinación como se entendería a la luz de la divulgación.
- Los cojinetes magnéticos 44, 46 y 48 incluyen sensores de corriente 53, 55 y 57 dispuestos entre el amplificador 84, 86 y 88 y el actuador 74, 76 y 78 de cada cojinete magnético, respectivamente. Los sensores de corriente 53, 55 y 57 detectan la corriente que se suministra a cada actuador 74, 76 y 78 del conjunto de cojinetes magnéticos 40 mediante la monitorización de la salida de corriente de cada amplificador 84, 86 y 88 del conjunto de cojinetes magnéticos 40, o mediante la monitorización de la corriente suministrada a cada amplificador 84, 86 y 88 del conjunto de cojinetes magnéticos 40 (no ilustrado). Los sensores de corriente 53, 55 y 57 están conectados a la sección de predicción 62 de inestabilidad, y generan señales de corriente que indican la corriente que se suministra a cada actuador 74, 76 y 78 del conjunto de cojinetes magnéticos 40. De esta manera, la sección de predicción 62 de inestabilidad puede configurarse para controlar la corriente que se suministra a los actuadores 74, 76 y 78 de cada uno de los cojinetes magnéticos 44, 46 y 48. Como alternativa, la sección de predicción 62 de inestabilidad puede configurarse para controlar individualmente la corriente suministrada a cualquier combinación de los cojinetes magnéticos 44, 46 y 48. Los sensores de corriente 53, 55 y 57 se utilizan en las técnicas ilustradas en las figuras 5-6, pero los sensores de corriente 53, 55 y 57 pueden omitirse en la técnica ilustrada en la figura 4, a menos que se utilice para otro fin que no sea la predicción de la inestabilidad.
- El variador de frecuencia 64 y la sección de control del motor 65 reciben señales de al menos un sensor del motor (no mostrado) y controlan la velocidad de rotación del motor 38 para controlar la capacidad del compresor 22 de manera convencional. Más específicamente, el variador de frecuencia 64 y la sección de control del motor 65 están programados para ejecutar uno o más programas de control del motor para controlar la velocidad de rotación del motor 38 para controlar la capacidad del compresor 22 de una manera convencional. La sección de control del álabe guía de entrada 66 recibe señales de al menos un sensor del álabe guía de entrada (no mostrado) y controla la posición del álabe guía de entrada 32 para controlar la capacidad del

compresor 22 de una manera convencional. Más específicamente, la sección de control del álabe guía de entrada 66 está programada para ejecutar un programa de control del álabe guía de entrada para controlar la posición del álabe guía de entrada 32 para controlar la capacidad del compresor 22 de una manera convencional. La sección de control de la válvula de expansión 67 controla el grado de apertura de la válvula de expansión 26 para controlar la capacidad del sistema enfriador 10 de manera convencional. Más específicamente, la sección de control de la válvula de expansión 67 está programada para ejecutar un programa de control de la válvula de expansión para controlar el grado de apertura de la válvula de expansión 26 para controlar la capacidad del sistema enfriador 10 de una manera convencional. La sección de control del motor 65 y la sección de control del álabe guía de entrada 66 trabajan juntas y con la sección de control de la válvula de expansión 67 para controlar la capacidad global del sistema de enfriamiento 10 de una manera convencional. El controlador 20 recibe señales de los sensores S y, opcionalmente, T para controlar la capacidad global de manera convencional. Los sensores T opcionales son sensores de temperatura. Los sensores S son preferiblemente sensores de presión convencionales y/o sensores de temperatura utilizados de manera convencional para realizar el control.

En referencia ahora las figuras 2-8, a continuación se explicará con más detalle la estructura y el funcionamiento del compresor centrífugo 22. Como se ha mencionado anteriormente, el compresor centrífugo 22 está adaptado para ser utilizado en el enfriador 10. La carcasa 30 tiene una porción de entrada 31a y una porción de salida 31b. Un puerto de salida 37 de la porción de salida 31b está dispuesto entre el impulsor 34 y el difusor 36. La álabe guía de entrada 32 está dispuesto en la porción de entrada 31a. El impulsor 34 está situado aguas abajo del álabe guía de entrada 32. El impulsor 34 está unido al eje 42, que puede girar alrededor de un eje de rotación X. Los cojinetes magnéticos radiales 44 y 46 soportan rotativamente el eje 42. Por tanto, en la realización ilustrada, hay un par de cojinetes magnéticos radiales 44 y 46 dispuestos en lados axiales opuestos del motor 38. En cualquier caso, al menos un cojinete magnético radial 44 o 46 soporta rotativamente el eje 42. El cojinete magnético de empuje 48 soporta el eje 42 a lo largo del eje de rotación X actuando sobre un disco de empuje 45. El cojinete magnético de empuje 48 incluye el disco de empuje 45 que está unido al eje 42. El disco de empuje 45 se extiende radialmente desde el eje 42 en dirección perpendicular al eje de rotación X. El motor 38 está dispuesto y configurado para girar el eje 42 a fin de hacer girar el impulsor 34. El difusor 36 está dispuesto en la porción de salida 31b aguas abajo del impulsor 34 con un puerto de salida de la porción de salida 31b dispuesto entre el impulsor 34 y el difusor 36.

En referencia a las figuras 7, 10A y 10B, los sensores de posición 54, 56 y 58 detectan la posición del eje 42. Los sensores de posición 54 se ilustran como axialmente desplazados respecto de los actuadores 74 por motivos ilustrativos, pero pueden estar dispuestos en el mismo plano que los actuadores 74 del cojinete magnético 44. Los cojinetes de apoyo (mecánicos) no numerados están situados axialmente adyacentes a los sensores de posición 54 y 56 de manera convencional. De la misma manera, los sensores de posición 56 se ilustran como axialmente desplazados respecto de los actuadores 76 por motivos ilustrativos, pero pueden estar dispuestos en el mismo plano que los actuadores 76 del cojinete magnético 46. Los sensores de posición 54 y 56 detectan una posición radial del eje 42. Preferiblemente, el cojinete magnético 44 incluye cuatro sensores de posición 54 dispuestos radialmente alrededor del eje 42, como se ilustra en la figura 7, y el cojinete magnético 46 tiene una configuración idéntica a la del cojinete magnético 44, excepto la ubicación del cojinete magnético 46. Por tanto, el cojinete magnético 46 también incluye cuatro sensores de posición 56 dispuestos radialmente alrededor del eje 42 (no todos ilustrados). Los sensores de posición 58 detectan la posición axial del eje 42 a lo largo del eje de rotación X, y están dispuestos axialmente desplazados respecto del disco de empuje 45. Preferiblemente, el cojinete magnético 48 incluye dos sensores de posición 58, estando cada uno de los sensores de posición 58 dispuestos en lados opuestos del disco de empuje 45, como se ilustra en las figuras 10A y 10B.

Todos los sensores de posición 54, 56 y 58 emiten una señal de posición que indica la posición del eje 42. Los sensores de posición 54 emiten señales de posición que indican la posición del eje 42 en el cojinete magnético 44. Los sensores de posición 56 emiten señales de posición que indican la posición del eje 42 en el cojinete magnético 46. Los sensores de posición 58 emiten señales de posición que indican la posición axial del disco de empuje 45 del eje 42. Dado que únicamente ciertos movimientos del impulsor 34 pueden ser relevantes para predecir la inestabilidad, una señal de posición puede ser cualquier combinación de las señales de posición que indican la posición del eje 42 respecto de los sensores de posición 54, 56, y 58. A modo de ejemplo no limitativo, la inestabilidad puede predecirse controlando cualquier cambio en el eje de rotación X en uno de los cojinetes magnéticos de rotación 44 y 46; una modificación de la posición axial del eje 42 en el cojinete magnético 48; o cambios de posición del eje 42 indicados en posiciones controladas por cualquier combinación de cojinetes magnéticos 42, 44 y 46.

Según la invención, la inestabilidad se predice a partir de una señal de posición radial y una señal de posición axial, como se especifica en la reivindicación 1.

Los sensores de posición 54, 56 y 58 pueden enviar la señal de posición a la sección de control 61 de los cojinetes magnéticos directamente, o indirectamente a través de uno o más PID. La sección de predicción 62 de inestabilidad puede recibir la señal de posición directamente de los sensores de posición 54, 56 y 58;

indirectamente a través de uno o varios PID; o desde la sección de control 61 de los cojinetes.

5 Durante su operación, la sección de control 61 de los cojinetes magnéticos, o uno o más PID, recibe las señales de posición y genera señales de control. Se envía una señal de control a cada amplificador 84, 86 y 88 del conjunto de cojinetes magnéticos 40. Cada señal de control indica una cantidad de corriente que debe ser emitida por un amplificador 84, 86 y 88 correspondiente del conjunto de cojinetes magnéticos 40. La sección de control 61 de los cojinetes magnéticos, o uno o más PID, está programada para calcular la señal de control basándose en las señales de posición. La sección de control 61 de los cojinetes magnéticos comparte preferiblemente al menos una de las informaciones de posición y las señales de control con los distintos componentes del controlador 20, como la sección de predicción 62 de inestabilidad. Las señales de control se generan a partir de las señales de posición.

15 La sección de predicción 62 de inestabilidad del controlador 20 está programada para predecir la inestabilidad. De acuerdo con la presente invención, la sección de predicción 62 de inestabilidad predice la inestabilidad basándose en una señal de posición (figura 4). Como alternativa, pero no de acuerdo con la invención, puede predecir la inestabilidad basándose en la señal de corriente (figura 6) y en la señal de fuerza o de control (figura 5), como se describe con más detalle a continuación. La sección de predicción 62 de inestabilidad puede ejecutarse por el hardware y/o software del controlador 20, o puede implementarse independientemente en uno o más controladores externos como se mencionó anteriormente.

20 De acuerdo con un primer método compatible con la invención, como se ilustra en la figura 4, la sección de predicción 62 de inestabilidad está programada para predecir la inestabilidad basándose en la señal de posición. En S100, la sección de predicción 62 de inestabilidad recibe la señal de posición, y determina un valor de posición del eje según lo indicado por la señal de posición en S102. En S104, la sección de predicción 62 de inestabilidad compara a continuación el valor de posición del eje indicado por la señal de posición con un valor de posición predeterminado. El valor de posición predeterminado suele ser una posición ideal del eje, y comparando el valor de posición del eje con el valor de posición predeterminado, la sección de predicción 62 de inestabilidad determina la cantidad de desplazamiento del eje 42. El valor de posición predeterminado se establece en función de los componentes y el tamaño del sistema de enfriamiento 10 basándose en experimentos realizados por el fabricante. Como alternativa, pueden realizarse pruebas *in situ* para determinar dichos valores. Si el valor de posición del eje indicado por la señal de posición difiere del valor de posición predeterminado en una cantidad igual o superior a un umbral en S104, la sección de predicción 62 de inestabilidad procede a S108 en la que la sección de predicción 62 de inestabilidad predice que se producirá una inestabilidad. En S110, al predecir que se producirá una inestabilidad, la sección de predicción 62 de inestabilidad envía una señal a la sección de control 63 de inestabilidad indicando que se producirá una inestabilidad. Dado que la vibración se produce durante la inestabilidad, la cantidad de desplazamiento es indicativa de la cantidad de vibración. Por lo tanto, la cantidad de desplazamiento puede utilizarse para determinar la cantidad de vibración, lo que indica que se puede predecir la inestabilidad.

40 Después de emitir la señal en S110, la sección de predicción 62 de inestabilidad vuelve a S100, es decir, recibir la señal de posición. Si el valor de posición del eje indicado por la señal de posición difiere del valor de posición predeterminado en una cantidad menor que el umbral en S104, la sección de predicción 62 de inestabilidad pasa a S106 en la que la sección de predicción 62 de inestabilidad predice que no se producirá ninguna inestabilidad. Al predecir que no se producirá ninguna inestabilidad en S106, la sección de predicción 62 de inestabilidad vuelve a recibir la señal de posición en S100. Será evidente para un experto en la materia a la luz de la divulgación, que el método para predecir la inestabilidad basado en el valor de la posición del eje 42 puede determinarse de maneras alternativas.

50 De acuerdo con un segundo método que no es compatible con la invención, como se ilustra en la figura 5, la sección de predicción 62 de inestabilidad puede programarse para predecir la inestabilidad basándose en la fuerza emitida por cada actuador 74, 76 y 78, que puede calcularse basándose en la señal o señales de corriente detectadas por los sensores de corriente S3, 55 y 57, así como en otra información. A modo de ejemplo no limitante, en S200, la sección de predicción 62 de inestabilidad recibe las señales de corriente de cualquier combinación de sensores de corriente 53, 55 y 57. En S202, la sección de predicción 62 de inestabilidad determina el valor de corriente que se suministra a los cojinetes magnéticos individuales 44, 46 y 48 basándose en las señales de corriente de los sensores de corriente 53, 55 y 57. El valor de la fuerza emitida por cada actuador 74, 76 y 78 puede determinarse a continuación mediante la siguiente ecuación:

$$F = \frac{\mu N^2 i^2 A}{4g^2}$$

60 En donde F es la fuerza de salida, μ es la permeabilidad magnética del imán del actuador, N es el número de vueltas de la bobina del actuador, i es la corriente suministrada al actuador, A es el área de la cara polar del actuador, y g es el grosor del entrehierro entre el actuador y el eje 42, o disco de empuje 45, respectivamente. En S204, la sección de predicción 62 de inestabilidad calcula a continuación una salida de fuerza agregando

la salida de fuerza en cada actuador 74, 76 y 78 de cada cojinete magnético 44, 46 y 48 respectivo, respectivamente. En S206, la sección de predicción 62 de inestabilidad compara a continuación el valor de fuerza emitido por cada actuador 74, 76 y 78 con un conjunto predeterminado de valores de fuerza para cada uno de los cojinetes magnéticos 44, 46 y 48, respectivamente.

5 El conjunto predeterminado de valores de fuerza se establece en función de los componentes y el tamaño del sistema de enfriamiento 10 basándose en experimentos realizados por el fabricante. Como alternativa, pueden realizarse pruebas *in situ* para determinar dichos valores. Si alguno de los valores de fuerza calculados a partir de la señal de corriente difiere del conjunto predeterminado de valores de fuerza para cada actuador 74, 76 y 10 78 en una cantidad superior a un valor umbral, la sección de predicción 62 de inestabilidad continúa hasta S210 y predice que se producirá una inestabilidad. Al predecir que se producirá una inestabilidad, la sección de predicción 62 de inestabilidad procede a S212 y emite una señal a la sección de control 63 de inestabilidad indicando la predicción de que se producirá una inestabilidad, y vuelve a recibir la señal actual en S200. Si alguno de los valores de fuerza calculados a partir de la señal de corriente difiere del valor de posición 15 predeterminado en una cantidad inferior a un umbral en S206, la sección de predicción 62 de inestabilidad predice que no se producirá ninguna inestabilidad en S208. Al predecir que no se producirá ninguna inestabilidad, la sección de predicción 62 de inestabilidad vuelve a recibir la señal de corriente en S200. Será evidente para un experto en la materia a la luz de la divulgación, que el método para predecir la inestabilidad basado en los valores de fuerza para cada actuador 74, 76 y 78 y/o el método exacto para calcular la fuerza 20 para cada actuador 74, 76 y 78 pueden determinarse de maneras alternativas.

Según un tercer método que no es compatible con la invención, como se ilustra en la figura 6, la sección de predicción 62 de inestabilidad puede programarse para predecir la inestabilidad basándose en la(s) señal(es) 25 de salida de corriente a los actuadores 74, 76 y 78. La señal o señales de corriente pueden ser detectadas por los sensores de corriente 53, 55 y 57 o pueden basarse en una señal de control indicativa de esta información. A modo de ejemplo no limitante, en S300, la sección de predicción 62 de inestabilidad recibe las señales de corriente de cualquier combinación de sensores de corriente 53, 55 y 57. La sección de predicción 62 de inestabilidad pasa a S302, en la que la sección de predicción 62 de inestabilidad determina un valor de corriente para cada uno de los cojinetes magnéticos 44, 46 y 48. En S304, la sección de predicción 62 de inestabilidad 30 compara a continuación el valor de corriente que debe suministrarse a cada actuador 74, 76 y 78 de la sección de cojinetes magnéticos 40 con un conjunto predeterminado de valores de corriente para cada accionador 74, 76 y 78 de la sección de cojinetes magnéticos 40. Si cualquiera de los valores de corriente indicados por las señales de control difiere del conjunto predeterminado de valores de control para cada uno de los cojinetes magnéticos 44, 46 y 48 en una cantidad mayor que un valor umbral en S304, la sección de predicción 62 de inestabilidad predice que se producirá una inestabilidad en S308. Como alternativa, las señales de corriente 35 pueden detectarse por los sensores de corriente 53, 55 y 57 y compararse directamente con los valores umbral. En cualquier caso, los valores umbral se fijan en función de los componentes y el tamaño del sistema de enfriamiento 10 basándose en experimentos realizados por el fabricante. Como alternativa, pueden realizarse pruebas *in situ* para determinar dichos valores. Al predecir que se producirá una inestabilidad en S308, la sección de predicción 62 de inestabilidad envía una señal a la sección de control 63 de inestabilidad indicando la predicción de que se producirá una inestabilidad y vuelve a recibir la señal de control en S310. Si cualquiera de los valores de control calculados a partir de las señales de control difiere de los valores de control 40 predeterminados en una cantidad inferior a un umbral en S304, la sección de predicción 62 de inestabilidad predice que no se producirá ninguna inestabilidad en S306. Al predecir que no habrá inestabilidad en S306, la sección de predicción 62 de inestabilidad vuelve a recibir la señal de control en S300. Será evidente para un 45 experto en la materia a la luz de la divulgación, que el método para predecir la inestabilidad basado en la señal de control puede determinarse de maneras alternativas si es necesario y/o se desea.

La sección de control 63 de inestabilidad está programada para evitar la inestabilidad. La sección de control 63 50 de inestabilidad está conectada eléctricamente a la sección de predicción 62 de inestabilidad. La sección de control 63 de inestabilidad también está conectada eléctricamente a al menos uno de los variadores de frecuencia 64, la sección de control del motor 65, la sección de control 66 del álabe guía de entrada y la sección 67 de control de la válvula de expansión. La sección de control 63 de inestabilidad está programada para evitar la inestabilidad, al recibir la señal predice que se producirá una inestabilidad, ajustando el funcionamiento del sistema de enfriamiento 10. A modo de ejemplo no limitativo, la sección de control 63 de inestabilidad puede 55 programarse para aumentar un intervalo de funcionamiento del compresor 22 en respuesta a una señal indicadora de inestabilidad procedente de la sección de predicción 62 de inestabilidad.

Más específicamente, a modo de ejemplo no limitativo, la sección de control 63 de inestabilidad puede aumentar 60 el intervalo de funcionamiento del compresor 22 ajustando el control de al menos una de las secciones de control 65 del motor y la sección de control 66 del álabe guía de entrada. La sección de control 63 de inestabilidad puede ajustar el control de la velocidad del motor a través de la sección de control 65 del motor de manera que aumente el intervalo de funcionamiento del compresor 22. De forma similar, la sección de control 63 de inestabilidad puede ajustar la posición del álabe guía de entrada a través de la sección de control 65 del motor 65 de control 66 del álabe guía de entrada de forma que aumente el intervalo de funcionamiento del compresor 22. Debería ser evidente para un experto en la materia, a la luz de esta divulgación, que los métodos convencionales de

prevención de inestabilidad también pueden implementarse por la sección de control 63 de inestabilidad.

5 Con referencia a la figura 8, la inestabilidad es la ruptura completa del flujo constante en el compresor, que suele producirse a un caudal bajo. La figura 8 ilustra una línea de inestabilidad SL, que conecta los puntos de inestabilidad S1, S2 y S3 a rpm1, rpm2 y rpm3, respectivamente. Estos puntos son los picos en los que la presión generada por el compresor es inferior a la presión de la tubería aguas abajo del compresor. Estos puntos ilustran el inicio del ciclo de inestabilidad. La línea discontinua PA ilustra una línea de control de inestabilidad. La distancia entre las líneas PA y SL muestra la ineficacia de los métodos de control de inestabilidad. Al reducir la diferencia entre una línea de control de inestabilidad PA y una línea de inestabilidad SL, el compresor 22 puede controlarse para ser más eficiente. Una ventaja de los métodos de detección de inestabilidad mencionados es que son más precisos que los métodos de detección de inestabilidad conocidos hasta ahora; por lo que la línea de control de inestabilidad PA puede estar más cerca de la línea de inestabilidad SL en comparación con los métodos anteriores.

15 Interpretación general de los términos

20 Para comprender el alcance de la presente invención, la expresión "que comprende" y sus derivados, como se usa en el presente documento, son expresiones abiertas que especifican la presencia de las características, elementos, componentes, grupos, números enteros y/o etapas indicados, pero no excluyen la presencia de otras características, elementos, componentes, grupos, números enteros y/o etapas no indicados. Lo anterior también se aplica a las expresiones con significados similares, como las expresiones, "que incluye", "que tiene" y sus derivados. Asimismo, los términos "parte", "sección", "porción", "miembro" o "elemento", cuando se utilizan en singular, pueden tener el doble significado de una sola parte o de una pluralidad de partes.

25 El término "detectar" como se utiliza en el presente documento para describir una operación o función llevada a cabo por un componente, una sección, un dispositivo o similar incluye un componente, una sección, un dispositivo o similar que no requiera detección física, sino que incluye la determinación, medición, modelado, predicción o computación o similares para llevar a cabo la operación o función.

30 El término "configurado" como se utiliza en el presente documento para describir un componente, sección o parte de un dispositivo incluye hardware y/o software construido y/o programado para llevar a cabo la función deseada.

35 Los términos de grado como "sustancialmente" y "aproximadamente", como se utilizan en el presente documento, significan una desviación razonable del término modificado de forma que el resultado final no cambie significativamente.

40 Aunque únicamente se han seleccionado algunas realizaciones para ilustrar la presente invención, los expertos en la materia podrán observar en el presente documento que pueden introducirse diversos cambios y modificaciones sin apartarse del alcance de la invención, que se define en las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, el tamaño, forma, ubicación u orientación de los distintos componentes puede modificarse según sea necesario y/o se desee. Los componentes que se muestran directamente conectados o en contacto entre sí pueden tener estructuras intermedias dispuestas entre ellos. Las funciones de un elemento pueden realizarse por dos elementos y viceversa. Las estructuras y funciones de una realización pueden adoptarse en otra realización. No es necesario que todas las ventajas estén presentes al mismo tiempo en una realización concreta. Las descripciones anteriores de las realizaciones de acuerdo con la presente invención se proporcionan únicamente a título ilustrativo, y no con el fin de limitar la invención, que se define por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un compresor centrífugo (22) que comprende:

- 5 una carcasa (30) con una porción de entrada y una porción de salida;
una álabes guía de entrada (32) dispuesto en la porción de entrada;
- 10 un impulsor (34) situado aguas abajo del álabes guía de entrada (32), estando el impulsor (34) unido a un eje (42) que gira alrededor de un eje de rotación,
al menos un cojinete magnético radial (44, 46) que soporta rotativamente el eje (42);
- 15 un cojinete de empuje axial (48), en donde el cojinete de empuje axial (48) es un cojinete de empuje magnético, el cojinete de empuje axial (48) incluye un disco de empuje (45) que está unido al eje (42) y el cojinete de empuje axial (48) soporta el eje (42) a lo largo del eje de rotación actuando sobre el disco de empuje (45);
- 20 cuatro sensores de posición (54, 56) dispuestos para detectar una señal de posición radial indicativa de la posición radial del eje con respecto a al menos un cojinete magnético radial (44, 46);
al menos dos segundos sensores (58) dispuestos para detectar una señal de posición axial indicativa de la posición axial del eje en el al menos un cojinete de empuje axial (48);
- 25 un motor (38) dispuesto y configurado para hacer girar el eje (42) con el fin de hacer girar el impulsor (34);
un difusor (36) dispuesto en la porción de salida aguas abajo del impulsor (34) con un puerto de la porción de salida dispuesto entre el impulsor y el difusor;
- 30 en donde el compresor centrífugo se caracteriza por que
está adaptado para su uso en un enfriador y comprende
un controlador (20) programado para predecir la inestabilidad basándose en:
- 35 - la señal de posición radial y la señal de posición axial de los al menos dos segundos sensores.
2. El compresor centrífugo de acuerdo con la reivindicación 1, en donde
- 40 el controlador (20) está programado además para ajustar un funcionamiento del compresor centrífugo (22) basándose en la predicción de una inestabilidad.
3. El compresor centrífugo de acuerdo con la reivindicación 2, en donde
- 45 el controlador (20) está programado además para aumentar un intervalo de funcionamiento del compresor centrífugo (22) basándose en la inestabilidad prevista.
4. El compresor centrífugo de acuerdo con la reivindicación 3, en donde
- 50 al menos una de las posiciones del álabes guía de entrada y la velocidad del motor se ajusta para aumentar el intervalo de funcionamiento del compresor centrífugo.
5. El compresor centrífugo de acuerdo con la reivindicación 1, en donde
- 55 el controlador (20) está programado además para comparar la señal de posición radial y/o axial del eje con un valor predeterminado de posición del eje, y para predecir la inestabilidad basándose en la comparación de la señal de posición radial y/o axial del eje con el valor predeterminado de posición del eje.
6. El compresor centrífugo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en donde
- 60 el al menos un cojinete magnético radial (44, 46) incluye
un primer cojinete magnético radial (44) dispuesto axialmente entre el motor (38) y el impulsor (34) a lo largo del eje (42), y
- 65 un segundo cojinete magnético radial (46) dispuesto en un lado opuesto del motor (38) respecto del

ES 3 028 876 T3

primer cojinete magnético radial (44) a lo largo del eje (42) de modo que el motor (38) esté dispuesto axialmente entre los cojinetes magnéticos radiales (44, 46) primero y segundo.

DIBUJOS

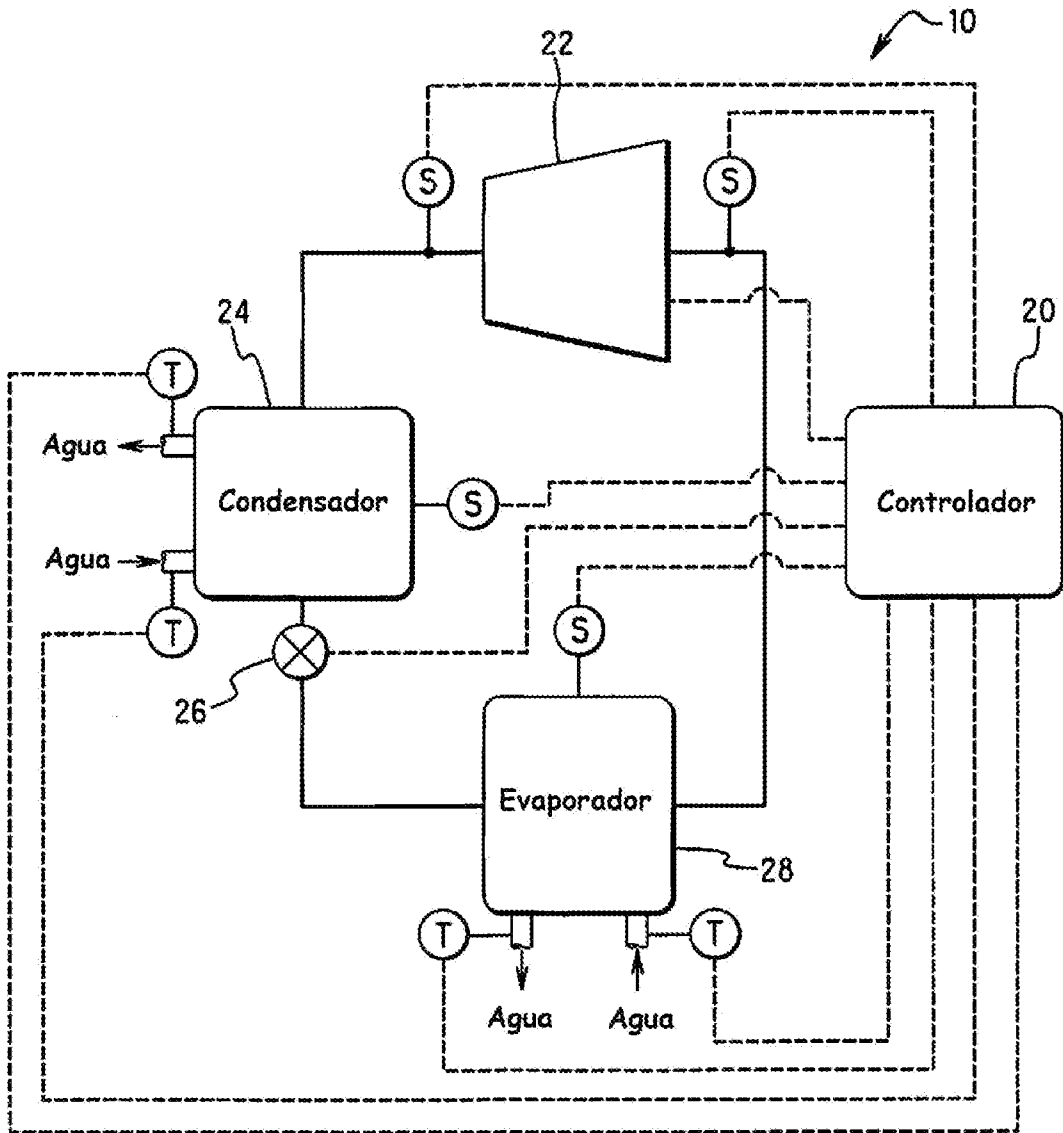
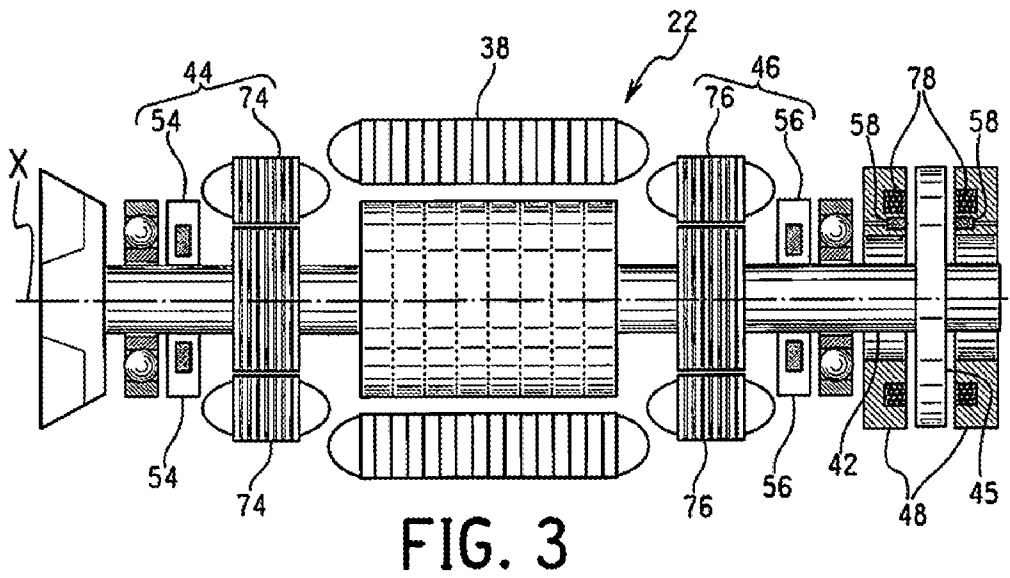
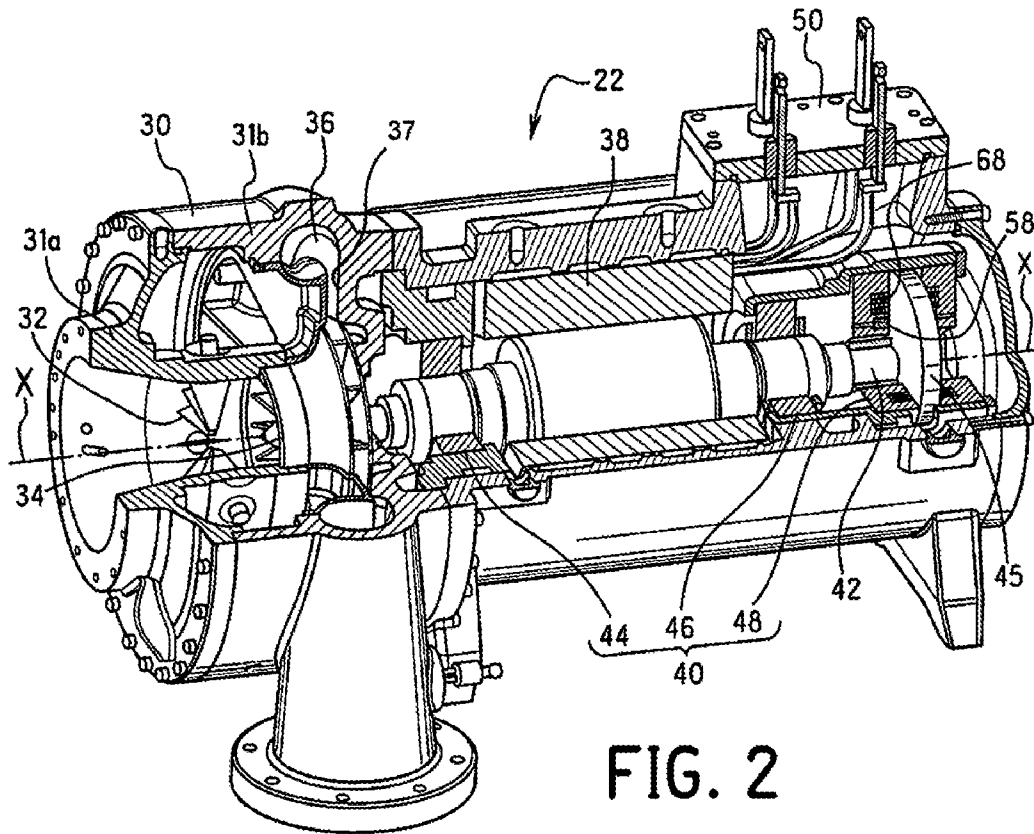
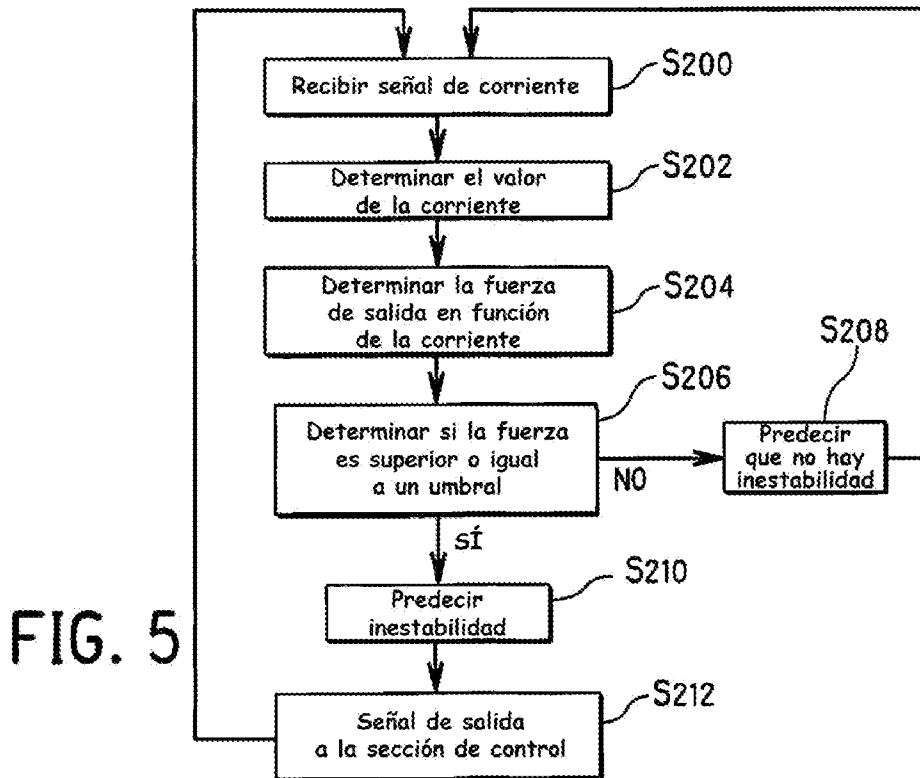
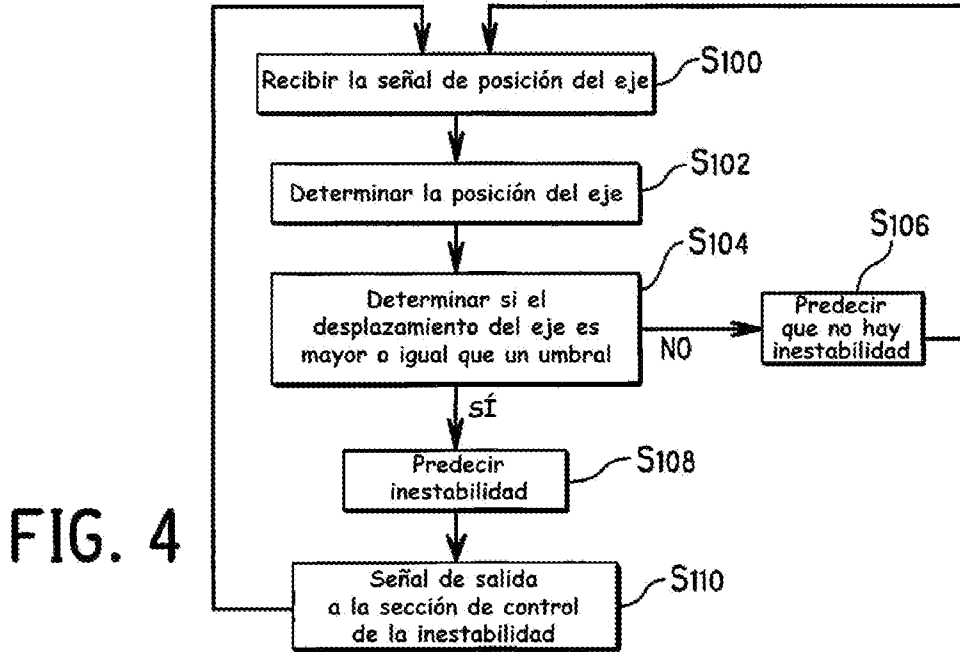


FIG. 1





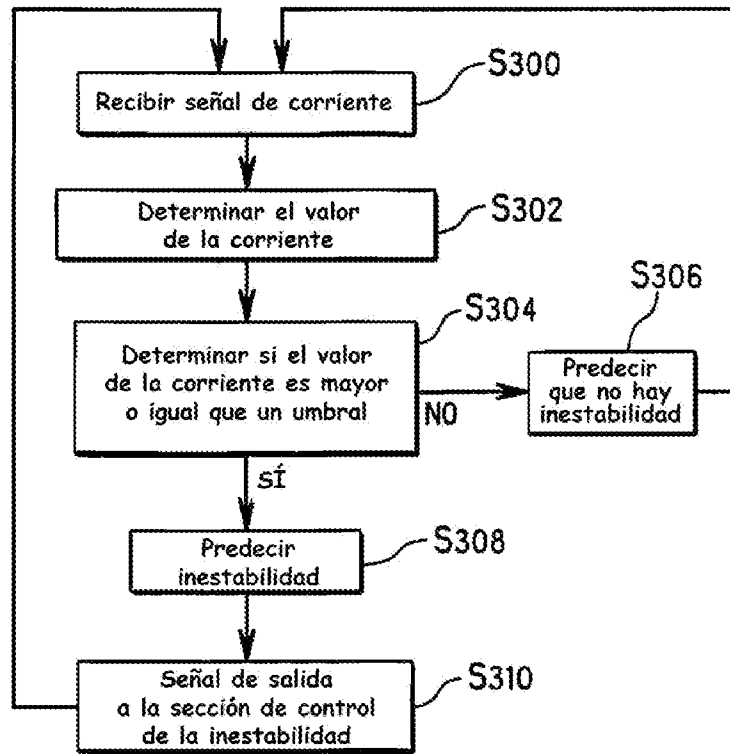


FIG. 6

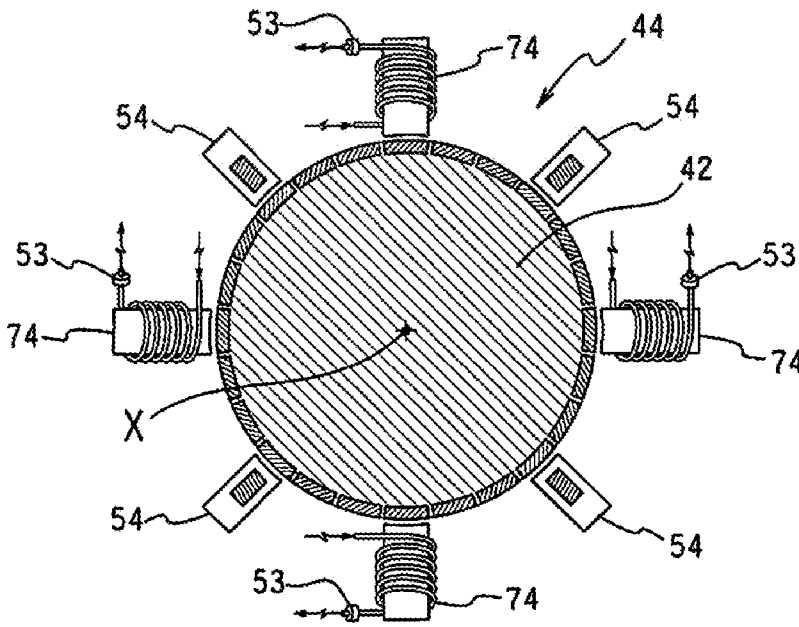


FIG. 7

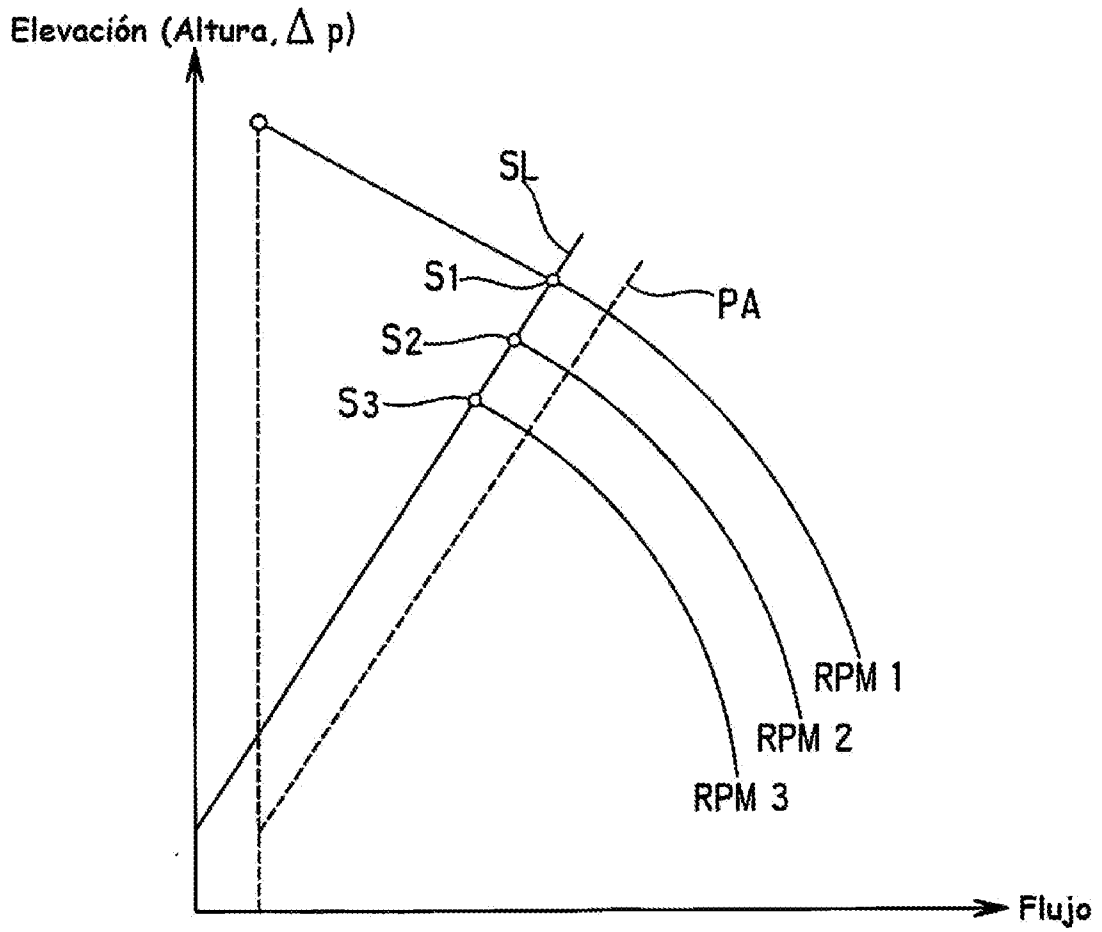


FIG. 8

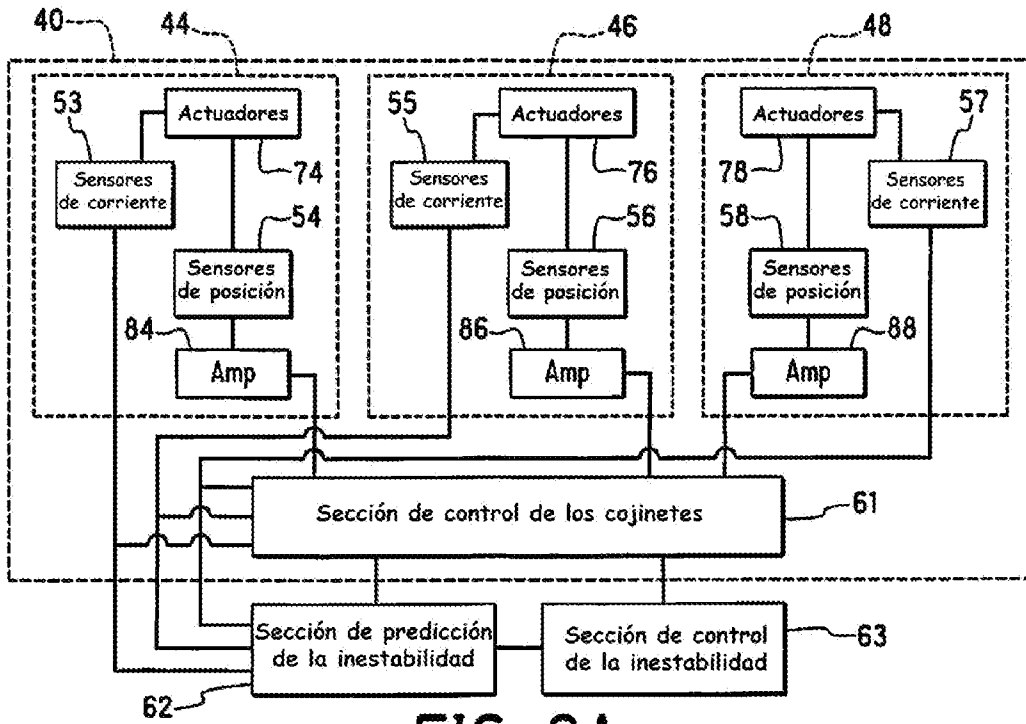


FIG. 9A

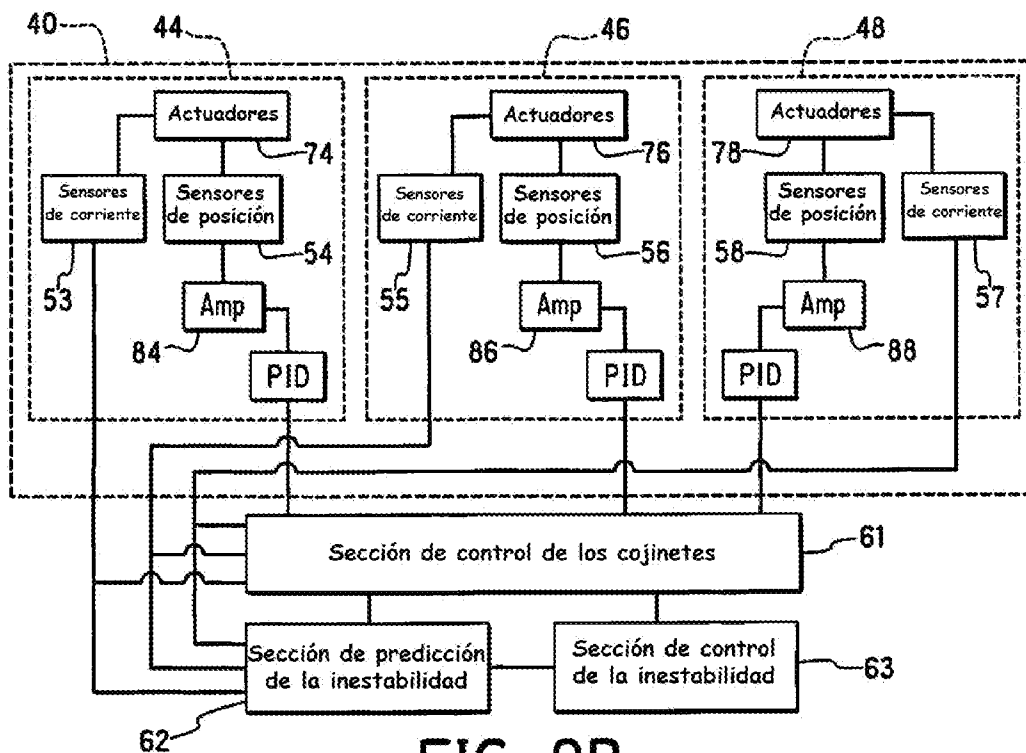


FIG. 9B

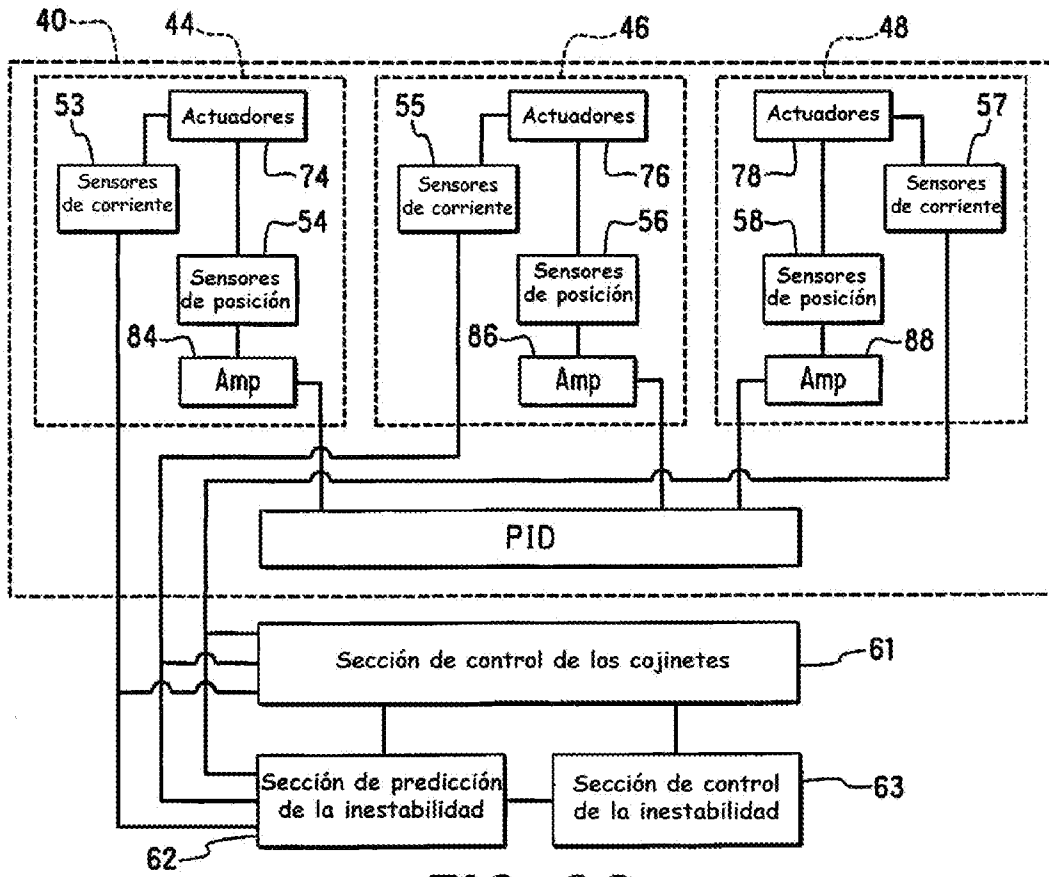


FIG. 9C

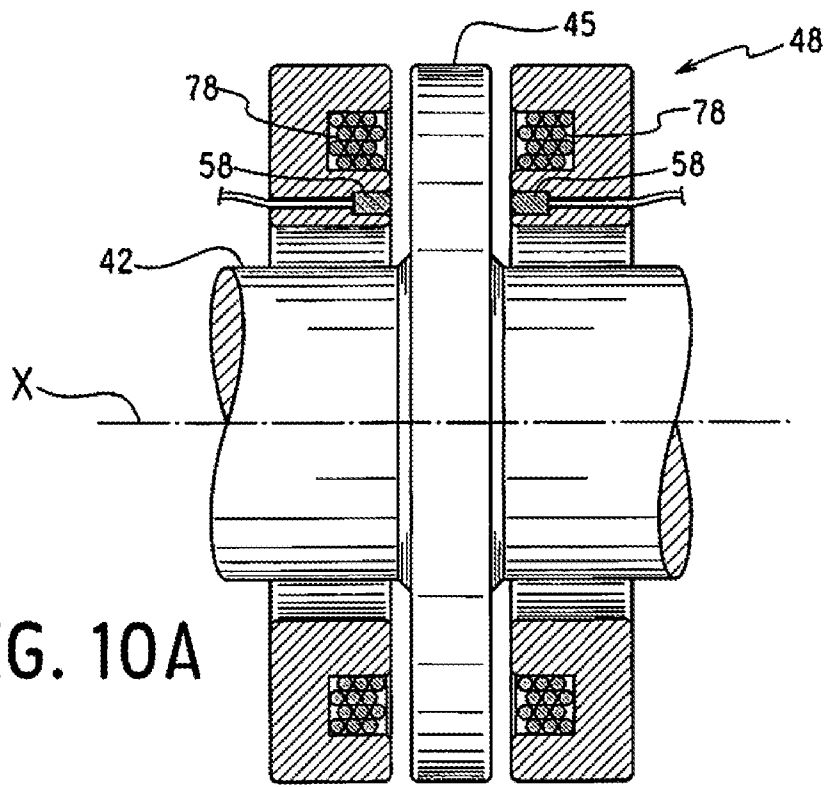


FIG. 10A

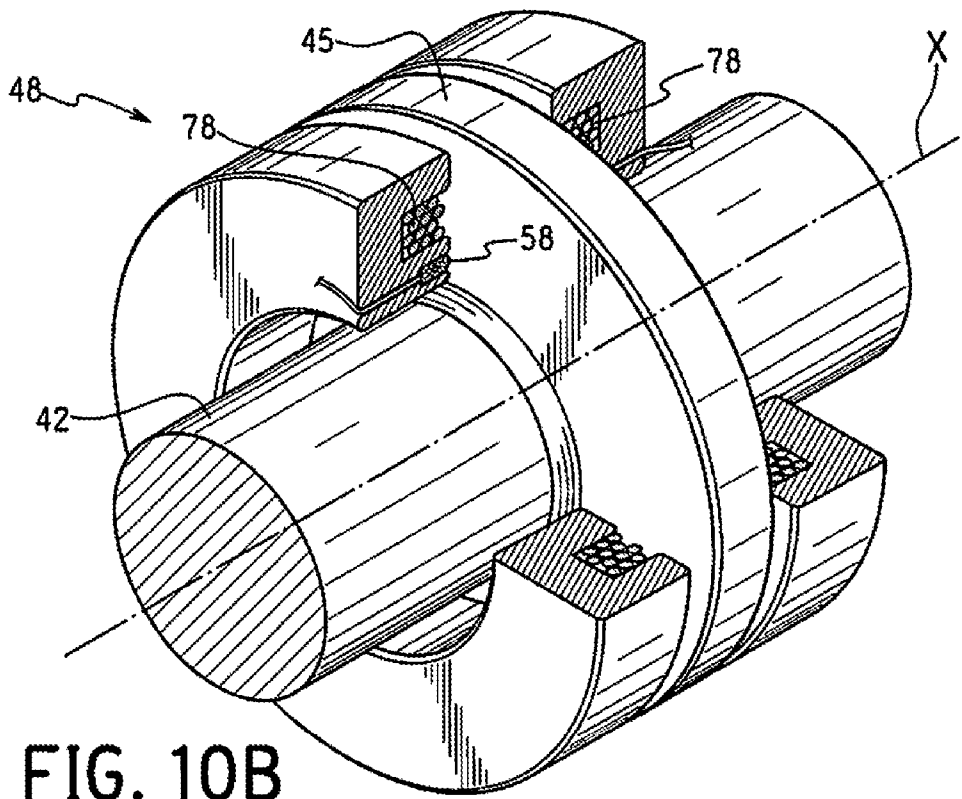


FIG. 10B

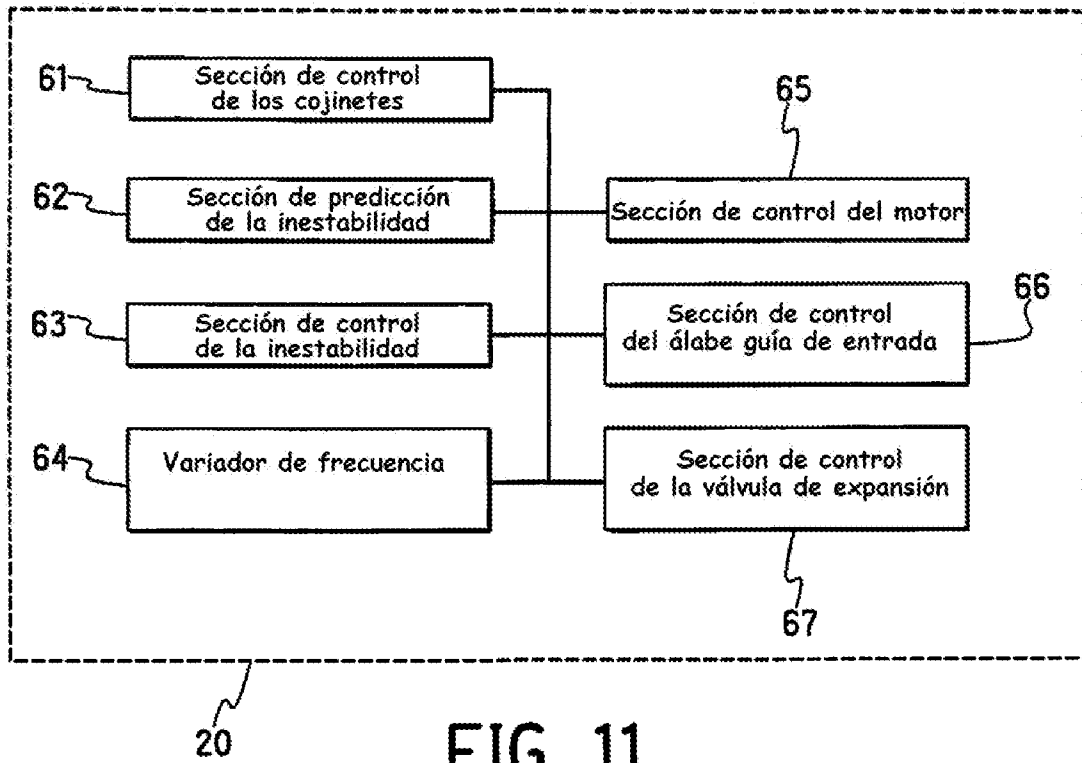


FIG. 11