

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 935 157**

51 Int. Cl.:

**F25B 1/053** (2006.01)

**F25B 49/02** (2006.01)

**F25B 25/00** (2006.01)

**F25B 31/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **11.01.2017 PCT/US2017/012966**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.07.2017 WO17123602**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.01.2017 E 17701408 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.11.2022 EP 3403034**

54 Título: **Compresor centrífugo con inyección de gas caliente**

30 Prioridad:

**12.01.2016 US 201614993226**

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

**02.03.2023**

73 Titular/es:

**DAIKIN INDUSTRIES, LTD. (100.0%)  
Umeda Center Building, 4-12, Nakazaki-nishi 2-  
chome, Kita-ku  
Osaka-shi, Osaka 530-8323, JP**

72 Inventor/es:

**UMEDA, NOBUHIRO;  
HOSSAIN, MD, ANWAR y  
TAKIGAWA, TAKATOSHI**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 935 157 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 inyección de gas caliente

**Antecedentes**

Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere en general a un compresor centrífugo. Más concretamente, la presente invención se refiere a un compresor centrífugo con inyección de gas caliente.

Información de antecedentes

10 Un sistema enfriador es una máquina o aparato frigorífico que elimina el calor de un medio. Comúnmente se usa un líquido, tal como agua, como medio y el sistema enfriador funciona en un ciclo de refrigeración por compresión de vapor. Este líquido puede luego circular a través de un intercambiador de calor para enfriar aire o equipos según sea necesario. Como subproducto necesario, la refrigeración genera calor residual que debe ser expulsado al entorno o, para una mayor eficiencia, recuperado para fines de calefacción. Un sistema enfriador convencional a menudo utiliza un compresor centrífugo, que con frecuencia se denomina turbocompresor. Por lo tanto, estos sistemas enfriadores pueden denominarse turbo enfriadores. Alternativamente, se pueden utilizar otros tipos de compresores, p. ej., un  
15 compresor de tornillo.

20 En un enfriador convencional (turbo), el refrigerante se comprime en el compresor centrífugo y se envía a un intercambiador de calor en donde 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) para que el medio se caliente. El refrigerante que sale del condensador se expande mediante una válvula de expansión y se envía a otro intercambiador de calor en donde 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. Luego, el refrigerante del evaporador se devuelve al compresor centrífugo y el ciclo se repite. El líquido utilizado es a  
25 menudo agua.

30 Un compresor centrífugo convencional incluye básicamente una carcasa, una paleta de guía de entrada, un impulsor, un difusor, un motor, varios sensores y un controlador. El refrigerante fluye en orden a través de la paleta de guía de entrada, el impulsor y el difusor. Así, la paleta de guía de entrada está conectada a un orificio de entrada de gas del compresor centrífugo, mientras que el difusor está conectado a un orificio de salida de gas del impulsor. La paleta de guía de entrada controla el caudal de gas refrigerante hacia el impulsor. El impulsor aumenta la velocidad del gas refrigerante. El difusor funciona para transformar la velocidad del gas refrigerante (presión dinámica), proporcionada por el impulsor, en presión (estática). El motor hace girar el impulsor. El controlador controla el motor, la paleta de guía de entrada y la válvula de expansión. De esta manera, el refrigerante se comprime en un compresor centrífugo convencional. La paleta de guía de entrada es típicamente ajustable y la velocidad del motor es típicamente ajustable para ajustar la capacidad del sistema. Además, el difusor puede ser ajustable para ajustar adicionalmente la capacidad del sistema. El controlador controla el motor, la paleta de guía de entrada y la válvula de expansión. El controlador puede controlar además cualquier elemento controlable adicional, tal como el difusor.  
35

40 Cuando la presión junto a la descarga del compresor es más alta que la presión de descarga del compresor, el fluido tiende a invertirse o incluso fluir hacia atrás en el compresor. Esto sucede cuando la presión de elevación ('lift pressure' en inglés) (presión del condensador - presión del evaporador) excede la capacidad de elevación del compresor. Este fenómeno, llamado inestabilidad ('surge' en inglés), se repite y ocurre en ciclos. El compresor pierde la capacidad de mantener su elevación cuando se produce una 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 de entrada del gas se denomina superficie de inestabilidad. En condiciones normales, el compresor funciona en el lado derecho de la superficie de inestabilidad. Sin embargo, durante un arranque/funcionamiento con carga parcial, el punto de funcionamiento se moverá hacia la línea de inestabilidad porque se reduce el caudal. Si las condiciones son tales que el punto de funcionamiento se acerca a la línea de inestabilidad, se produce recirculación de flujo en el impulsor y el difusor. La separación del flujo eventualmente causará una disminución en la presión de descarga y el flujo desde la succión hasta la descarga se reanudará. La inestabilidad puede causar daños en el sistema mecánico del impulsor/eje y/o en el cojinete de empuje debido a que el rotor se mueve de un lado a otro del lado activo al lado inactivo. Esto se define como el ciclo de inestabilidad del compresor.  
45  
50

Por lo tanto, se han desarrollado técnicas para controlar la inestabilidad. Ver, por ejemplo, la publicación de solicitud de patente US 2013/0180272.

55 Los documentos WO 2013/165841 A1 y WO 00/42366 A1 constituyen técnica anterior adicional. Además, el documento WO 2014/158468 A1 describe un compresor centrífugo según el preámbulo de la reivindicación 1.

**Sumario**

5 En un compresor centrífugo convencional, se puede proporcionar un baipás de gas caliente para conectar el lado de descarga del compresor y el lado de succión del compresor para expandir el intervalo de funcionamiento del compresor. Si bien esta técnica funciona relativamente bien, este sistema requiere una tubería de gran tamaño para el baipás de gas caliente, lo que aumenta los costes.

10 Además, en el caso de que un compresor centrífugo utilice un cojinete magnético, pueden producirse turbulencias de gas en un área entre la paleta de guía de entrada y el impulsor cuando la posición de apertura de la paleta de guía de entrada es pequeña, provocándose una vibración del eje en el cojinete magnético debido a dichas turbulencias de gas. Esto hace que el intervalo de funcionamiento del compresor centrífugo sea más pequeño sin un error de órbita del cojinete magnético.

Por lo tanto, un objeto de la presente invención es dar a conocer un compresor centrífugo que amplía el intervalo de funcionamiento del compresor sin aumentar los costes.

Otro objeto de la presente invención es dar a conocer un compresor centrífugo que reduce la turbulencia de gas en el área entre la paleta de guía de entrada y el impulsor.

15 Uno o más de los objetos anteriores se pueden lograr básicamente dando a conocer un compresor centrífugo adaptado para ser utilizado en un enfriador, incluyendo el compresor centrífugo una carcasa que tiene una parte de entrada y una parte de salida, una paleta de guía de entrada dispuesta en la parte de entrada, un impulsor dispuesto corriente abajo de la paleta de guía de entrada, estando unido el impulsor a un eje giratorio alrededor de un eje de giro, un motor dispuesto y configurado para hacer girar el eje a efectos de hacer girar el impulsor, un difusor dispuesto en la parte de salida corriente abajo del impulsor con un orificio de salida de la parte de salida dispuesto entre el impulsor y el difusor, un paso de inyección de gas caliente dispuesto y configurado para inyectar refrigerante de gas caliente entre la paleta de guía de entrada y el impulsor, y un controlador programado para controlar una cantidad de refrigerante de gas caliente inyectado entre la paleta de guía de entrada y el impulsor.

La invención se define en la reivindicación 1.

25 Estos y otros objetos, características, aspectos y ventajas de la presente invención resultarán evidentes para los expertos en la técnica a partir de la siguiente descripción detallada, que, en combinación con los dibujos adjuntos, describe realizaciones preferidas.

**Breve descripción de los dibujos**

Con referencia ahora a los dibujos adjuntos, que forman parte de esta descripción original:

30 la Figura 1 ilustra un enfriador según una realización de la presente invención que incluye tanto un paso de inyección de líquido como un baipás de gas caliente;

la Figura 2 ilustra un enfriador en donde se ha omitido un baipás de gas caliente;

la Figura 3 ilustra un enfriador según una realización de la presente invención en donde se ha omitido un paso de inyección de líquido;

35 la Figura 4 es una vista en perspectiva del compresor centrífugo del enfriador ilustrado en la Figura 1, con partes seccionadas y mostradas en sección transversal con fines ilustrativos;

la Figura 5 es una vista en sección longitudinal del impulsor, el motor y el cojinete magnético del compresor centrífugo ilustrado en la Figura 2;

40 la Figura 6 es un diagrama esquemático que ilustra el impulsor, el difusor y el motor del compresor centrífugo de las Figuras 1-5, con inyección de líquido;

la Figura 7 es un diagrama de flujo que ilustra un primer método de control de inyección de líquido que utiliza una válvula de solenoide como válvula de inyección de líquido;

45 la Figura 8A es un diagrama de flujo que ilustra un segundo método de control de inyección de líquido que utiliza una válvula de expansión de grado variable como válvula de inyección de líquido, la Figura 8B es una representación gráfica de una relación entre el grado de apertura de la válvula de inyección de líquido, la relación de presión y la aleta de guía de entrada, y las Figuras 8C y 8D son gráficos que ilustran una relación entre el grado de apertura de la válvula de inyección de líquido, la relación de presión y la paleta de guía de entrada;

la Figura 9 es un diagrama esquemático que ilustra la paleta de guía de entrada, el impulsor y el difusor del compresor centrífugo de las Figuras 1 a 5, con inyección de gas caliente;

la Figura 10A es un diagrama de flujo que ilustra un método de control de inyección de gas caliente, y la Figura 10B ilustra la apertura/cierre del baipás de gas caliente;

la Figura 11 es una vista axial del eje del cojinete magnético giratorio que ilustra la ubicación de un cojinete magnético radial;

- 5 la Figura 12 es un gráfico que ilustra la diferencia de presión ('head' en inglés) en comparación con el caudal para tres rpm diferentes del compresor centrífugo, con una línea de inestabilidad ilustrada;

la Figura 13 es un diagrama esquemático que ilustra la relación entre el conjunto de cojinete magnético, la sección de control de cojinete magnético 61, la sección de predicción de inestabilidad 62 y la sección de control de inestabilidad 63 del sistema enfriador de las Figuras 1-4; y

- 10 la Figura 14 es un diagrama esquemático del controlador de enfriador del sistema enfriador de las Figuras 1-4.

#### Descripción detallada de la(s) realización(es)

A continuación se explicarán realizaciones seleccionadas con referencia a los dibujos. Resultará evidente para los expertos en la técnica a partir de esta descripción que las siguientes descripciones de las realizaciones se proporcionan únicamente con fines ilustrativos y no con el propósito de limitar la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

- 15 Haciendo referencia inicialmente a la Figura 1, se ilustra un sistema enfriador 10, que incluye un paso de inyección de líquido 12 y un baipás de gas caliente 14, según una realización de la presente invención. El paso de inyección de líquido 12 básicamente incluye una primera sección de tubería 12a, una segunda sección de tubería 12b y una válvula de inyección de líquido 16, como se muestra en la Figura 2. El baipás de gas caliente 14 incluye básicamente una primera sección de tubería 14a, una segunda sección de tubería 14b y una válvula de gas caliente 18, como se muestra en la Figura 3.

- 20 El sistema enfriador 10 incluye tanto el paso de inyección de líquido 12 como el baipás de gas caliente 14, como se muestra en la Figura 1. Según otra realización, el paso de inyección de líquido 12 o el baipás de gas caliente 14 pueden omitirse en el sistema enfriador 10. Más específicamente, un sistema enfriador 10' no incluye el baipás de gas caliente 14, como se muestra en la Figura 2, y el sistema enfriador 10" no incluye el paso de inyección de líquido 12, como se muestra en la Figura 3. De esta manera, el sistema enfriador puede usar tanto la inyección de líquido como la inyección de gas caliente, o puede usar cualquiera de la inyección de líquido y la inyección de gas caliente. Los sistemas enfriadores sin inyección de gas caliente no entran dentro del alcance de la presente invención.

- 25 El sistema enfriador 10 es preferiblemente un enfriador de agua que utiliza agua refrigerante y agua de enfriador de manera convencional. El sistema enfriador 10 aquí ilustrado es un sistema enfriador de una única etapa. Sin embargo, resultará evidente para los expertos en la técnica a partir de esta descripción que el sistema enfriador 10 podría ser un sistema enfriador de múltiples etapas. El sistema enfriador 10 incluye básicamente un controlador de enfriador 20, un compresor 22, un condensador 24, una válvula de expansión 26 y un evaporador 28 conectados entre sí 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 enfriador 10 es convencional excepto por el hecho de que el sistema enfriador tiene el paso de inyección de líquido 12 y el baipás de gas caliente 14 según la presente invención.

- 30 Con referencia a las Figuras 1-5 en la realización ilustrada, el compresor 22 es un compresor centrífugo. El compresor centrífugo 22 de la realización ilustrada incluye básicamente una carcasa 30, una paleta de guía de entrada 32, un impulsor 34, un difusor 36, un motor 38 y un conjunto de cojinete magnético 40, así como varios sensores convencionales (solo se muestran algunos). El controlador de enfriador 20 recibe señales de los diversos sensores y controla la paleta de guía de entrada 32, el motor 38 y el conjunto de cojinete magnético 40 de manera convencional, como se explica con más detalle a continuación. El refrigerante fluye en orden a través de la paleta de guía de entrada 32, el impulsor 34 y el difusor 36. La paleta de guía de entrada 32 controla el caudal de gas refrigerante hacia el impulsor 34 de 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 cambiar la velocidad. El difusor 36 está fijado de manera no móvil con respecto a la carcasa 30. El motor 38 hace girar el impulsor 34 a través de un eje 42. El conjunto de cojinete magnético 40 soporta magnéticamente el eje 42. De esta manera, el refrigerante se comprime en el compresor centrífugo 22.

- 35 El sistema enfriador 10 es convencional, excepto por el hecho de que el sistema enfriador 10 tiene el paso de inyección de líquido 12 y el baipás de gas caliente 14 según la presente invención. Como se mencionó anteriormente y se explica con más detalle a continuación, el paso de inyección de líquido 12 o el baipás de gas caliente 14 se pueden eliminar, como puede observarse en las Figuras 2 y 3. El paso de inyección de líquido 12 se usa en el sistema enfriador 10 para inyectar refrigerante líquido en una parte de entrada (inicio) del difusor 36 ubicada entre el impulsor 34 y el difusor 36, como se explica con más detalle a continuación. El paso de inyección de líquido 12 incluye la primera sección de tubería 12a, la segunda sección de tubería 12b y la válvula de inyección de líquido 16 dispuesta entre las mismas, como se muestra en las Figuras 1 y 2. La primera sección de tubería 12a se extiende desde un orificio de salida (parte

inferior) del condensador 24 a la válvula de inyección de líquido 16. La segunda sección de tubería 12b se extiende desde la válvula de inyección de líquido 16 hasta la parte de entrada del difusor 36 ubicada entre el impulsor 34 y el difusor 36. De esta manera, el refrigerante líquido, que ha sido enfriado en el condensador 24, se inyecta en la parte de entrada del difusor 36 ubicada entre el impulsor 34 y el difusor 36.

5 Haciendo referencia a la Figura 6, la válvula de inyección de líquido 16 dispuesta en el paso de inyección de líquido 12 ajusta una cantidad "m" del refrigerante líquido que pasa a través del paso de inyección de líquido 12. La válvula de inyección de líquido 16 está conectada a una sección de control de paso de inyección de líquido 68 del controlador de enfriador 20, como se explica a continuación. La sección de control de paso de inyección de líquido 68 está programada para controlar la válvula de inyección de líquido 16 para ajustar la cantidad "m" del refrigerante líquido inyectado en la parte de entrada del difusor 36 ubicada entre el impulsor 34 y el difusor 36, como se explica con más detalle a continuación.

15 La válvula de inyección de líquido 16 puede ser una válvula de solenoide o una válvula de expansión de grado variable. Una válvula de solenoide es una válvula operada electromecánicamente controlada por un solenoide en donde el flujo pasa o se interrumpe de manera intermitente. Una válvula de expansión de grado variable es una válvula operada electromecánicamente dispuesta de manera que el grado de apertura de la válvula de expansión es ajustable. Ejemplos de la válvula de expansión de grado variable incluyen una válvula de bola y una válvula accionada por motor. La válvula de inyección de líquido 16 puede ser una sola válvula o una pluralidad de válvulas. Por ejemplo, una pluralidad de válvulas de solenoide pueden estar dispuestas en paralelo entre sí. La válvula de inyección de líquido 16 puede controlarse mediante un temporizador conectado a la sección de control de paso de inyección de líquido 68 para abrir/cerrar automáticamente la válvula cuando transcurre una cantidad predeterminada de tiempo.

20 El baipás de gas caliente 14 se usa en el sistema enfriador 10 para inyectar refrigerante de gas caliente entre la paleta de guía de entrada 32 y el impulsor 34, como se explica con más detalle a continuación. El baipás de gas caliente 14 incluye la primera sección de tubería 14a, la segunda sección de tubería 14b y la válvula de gas caliente 18 dispuesta entre las mismas, como se muestra en las Figuras 1 y 3. La primera sección de tubería 14a se extiende desde un lado de descarga del compresor 22 hasta la válvula de gas caliente 18. La segunda sección de tubería 14b se extiende desde la válvula de gas caliente 18 hacia un área entre la paleta de guía de entrada 32 y el impulsor 34. De esta manera, el refrigerante de gas caliente, que ha sido comprimido en el compresor 22, se inyecta entre la paleta de guía de entrada 32 y el impulsor 34.

25 La válvula de gas caliente 18 dispuesta en el baipás de gas caliente 14 ajusta la cantidad de refrigerante de gas caliente que pasa a través del baipás de gas caliente 14. La válvula de gas caliente 18 está conectada a una sección de control de baipás de gas caliente 69 del controlador de enfriador 20, como se explica a continuación. La sección de control de baipás de gas caliente 69 está programada para controlar la válvula de gas caliente 18 para ajustar la cantidad de refrigerante de gas caliente inyectado entre la paleta de guía de entrada 32 y el impulsor 34, como se explica con más detalle a continuación.

30 La válvula de gas caliente 18 puede ser una válvula de solenoide o una válvula de expansión de grado variable. Una válvula de solenoide es una válvula operada electromecánicamente controlada por un solenoide en donde el flujo pasa o se interrumpe de manera intermitente. Una válvula de expansión de grado variable es una válvula operada electromecánicamente dispuesta de manera que el grado de apertura de la válvula de expansión es ajustable. Ejemplos de la válvula de expansión de grado variable incluyen una válvula de bola y una válvula accionada por motor. La válvula de gas caliente 18 puede ser una sola válvula o una pluralidad de válvulas. Por ejemplo, una pluralidad de válvulas de solenoide pueden estar dispuestas en paralelo entre sí. La válvula de gas caliente 18 puede controlarse mediante un temporizador conectado a la sección de control de baipás de gas caliente 69 para abrir/cerrar automáticamente la válvula cuando transcurre una cantidad predeterminada de tiempo.

35 Haciendo referencia a las Figuras 4 y 5, el conjunto de cojinete magnético 40 es convencional y, por lo tanto, no se tratará y/o ilustrará en detalle en este documento, excepto en lo relacionado con la presente invención. Más bien, será evidente para los expertos en la técnica que se puede utilizar cualquier cojinete magnético adecuado sin apartarse de la presente invención. Como se ve en la Figura 4, el conjunto de cojinete magnético 40 incluye preferiblemente un primer cojinete magnético radial 44, un segundo cojinete magnético radial 46 y un cojinete magnético axial (de empuje) 48. En cualquier caso, al menos un cojinete magnético radial 44 o 46 soporta giratoriamente el eje 42. El cojinete magnético de empuje 48 soporta el eje 42 a lo largo de un eje de giro 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.

45 El disco de empuje 45 se extiende radialmente desde el eje 42 en una dirección perpendicular al eje de giro X, y está fijado en relación con el eje 42. La posición del eje 42 a lo largo del eje de giro X (la posición axial) está controlada por la posición axial del disco de empuje 45 según la presente invención. El primer y segundo cojinetes magnéticos radiales 44 y 46 están 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, analizados con más detalle a continuación, detectan las posiciones radial y axial del eje 42 en relación con los cojinetes magnéticos 44, 46 y 48, y envían señales al controlador de enfriador 20 de manera convencional. El controlador de enfriador 20 controla entonces 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 cojinete magnético tales como los cojinetes

magnéticos 44, 46 y 48 del conjunto de cojinete magnético 40 son bien conocidos en la técnica, el conjunto de cojinete magnético 40 no se explicará y/o ilustrará en detalle en el presente documento.

El conjunto de cojinete magnético 40 es preferiblemente una combinación de cojinetes magnéticos activos 44, 46 y 48, que utiliza sensores de posición sin contacto 54, 56 y 58 para monitorear la posición del eje y enviar señales indicativas de la posición del eje al controlador de enfriador 20. Por lo tanto, cada uno de los cojinetes magnéticos 44, 46 y 48 son preferiblemente cojinetes magnéticos activos. Una sección de control de cojinete magnético 61 usa esta información para ajustar la corriente requerida a un accionador magnético para mantener la posición adecuada del rotor tanto radial como axialmente. Los cojinetes magnéticos activos son bien conocidos en la técnica y, por lo tanto, no se explicarán y/o ilustrarán en detalle en este documento.

Haciendo referencia a las Figuras 1, 13 y 14, el controlador de enfriador 20 incluye una sección de control de cojinete magnético 61, una sección de predicción de inestabilidad 62, una sección de control de inestabilidad 63, un variador de frecuencia 64, una sección de control de motor 65, una sección de control de paleta de guía de entrada 66, y una sección de control de válvula de expansión 67. El controlador de enfriador 20 incluye además la sección de control de paso de inyección de líquido 68 y la sección de control de baipás de gas caliente 69, como se mencionó anteriormente. La sección de control de cojinete magnético 61, la sección de predicción de inestabilidad 62, la sección de control de inestabilidad 63, el variador de frecuencia 64, la sección de control de motor 65, la sección de control de paleta de guía de entrada 66, la sección de control de paso de inyección de líquido 68 y la sección de control de baipás de gas caliente 69 están conectados entre sí y forman partes de una parte de control de compresor centrífugo que está conectada eléctricamente a una interfaz I/O 50 del compresor 22.

Debido a que la sección de control de cojinete magnético 61 está conectada a varias partes del conjunto de cojinete magnético 40 y se comunica con varias secciones del controlador de enfriador 20, las diversas secciones del controlador de enfriador 20 pueden recibir señales de los sensores 54, 56 y 58 del compresor 22, realizar cálculos y transmitir señales de control a partes del compresor 22, como el conjunto de cojinete magnético 40. De manera similar, las diversas secciones del controlador de enfriador 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 de enfriador programadas para ejecutar el control de las partes descritas en este documento. En otras palabras, será evidente para los expertos en la técnica a partir de esta descripción que el número, la ubicación y/o la estructura precisos de las secciones de control, la parte de control y/o el controlador de enfriador 20 se pueden cambiar sin apartarse de la presente invención, siempre que el controlador o controladores estén programados para ejecutar el control de las partes del sistema enfriador 10 como se explica en este documento.

El controlador de enfriador 20 es convencional y, por lo tanto, incluye al menos un microprocesador o CPU, una interfaz de entrada/salida (I/O), memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de solo lectura (ROM), un dispositivo de almacenamiento (ya sea 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 de enfriador 20 puede incluir opcionalmente una interfaz de entrada, tal como un teclado, para recibir entradas de un usuario y un dispositivo de visualización utilizado para visualizar varios parámetros para un usuario. Las partes y la programación son convencionales, excepto en lo relacionado con el control de inestabilidad y, por lo tanto, no se discutirán en detalle en este documento, excepto según sea necesario para comprender la realización o realizaciones.

#### 40 Inyección de líquido

Con referencia en este caso a las Figuras 1, 2 y 6-8, se explicará ahora con más detalle el funcionamiento de la inyección de líquido en el sistema enfriador 10.

Como se mencionó anteriormente, cuando el compresor 22 funciona con una capacidad pequeña, la inyección de líquido se realiza para evitar que se produzca inestabilidad. En la operación de inyección de líquido, el refrigerante líquido se inyecta a través del paso de inyección de líquido 12 en la parte de entrada del difusor 36 ubicada entre el impulsor 34 y el difusor 36. La cantidad de refrigerante líquido que pasa a través del paso de inyección de líquido 12 se ajusta abriendo/cerrando la válvula de inyección de líquido 16. La sección de control de paso de inyección de líquido 68 está programada para abrir/cerrar la válvula de inyección de líquido 16 cuando la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina que el compresor 22 funciona con una capacidad pequeña. En la realización ilustrada, la sección de control de paso de inyección de líquido 68 está programada para determinar si el compresor 22 funciona o no con una capacidad pequeña en base a las rpm del motor 38 y la posición de la paleta de guía de entrada 32, como se explica con más detalle a continuación.

Con referencia a la Figura 6, el espacio  $G_1$  de la trayectoria del difusor 36 se puede reducir inyectando el refrigerante líquido L en la parte de entrada del difusor 36 sin usar una pared móvil convencional para el difusor 36. Más específicamente, como el refrigerante líquido inyectado L ocupa un área más grande en la trayectoria del difusor 36, la proporción de gas en la trayectoria del difusor 36 se vuelve más pequeña, como se ilustra como el espacio  $G_2$  en la Figura 6, lo que puede aumentar la velocidad del gas en la trayectoria del difusor 36. Al aumentar la velocidad del gas en la trayectoria del difusor 36, la presión del difusor 36 aumenta y, por lo tanto, la contrapresión que provoca la inestabilidad puede reducirse. Además, cuando el compresor 22 funciona con una capacidad pequeña, el intervalo de

funcionamiento del compresor 22 puede expandirse con el aumento de la velocidad del gas. Además, según la presente invención, el espacio de la trayectoria del difusor 36 se puede controlar fácilmente ajustando la cantidad del refrigerante líquido inyectado y, por lo tanto, el rendimiento del difusor 36 se puede optimizar fácilmente tanto para la condición de carga completa como la condición de carga pequeña del compresor 22.

5 A continuación, con referencia a las Figuras 7 y 8, se explicarán en detalle un primer y segundo métodos de control de inyección de líquido. El primer método de control de inyección de líquido en donde se usa una válvula de solenoide como válvula de inyección de líquido 16 (Figura 7) y el segundo método de control de inyección de líquido en donde se usa una válvula de expansión de grado variable como válvula de inyección de líquido 16 (Figura 8A) se explicarán en detalle, respectivamente. El primer y segundo métodos de control de inyección de líquido pueden lograr el mismo  
10 objetivo, es decir, el control de inestabilidad. Sin embargo, se utilizan diferentes etapas debido a las diferentes válvulas.

Según el primer método de control de inyección de líquido ilustrado en la Figura 7, después del arranque del compresor 22 (S101), la sección de control de paso de inyección de líquido 68 está programada para determinar primero si las rpm del motor 38 son superiores al A+3 % o no (S102). Aquí, "A" es un valor predeterminado y "3" es un margen. El valor "A" puede ser un valor umbral de las rpm del motor 38 en donde se ha observado una inestabilidad durante una  
15 prueba. El margen se puede agregar para asegurar que no se produzca una inestabilidad. Cuando la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina que las rpm del motor 38 son superiores al A+3 % (Sí en S102), la válvula de inyección de líquido (válvula de solenoide) 16 se cierra. Aquí no debería ocurrir ninguna inestabilidad.

Cuando la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina que las rpm del motor 38 no son superiores al A+3 % (No en S102), la sección de control de paso de inyección de líquido 68 procede a S103, en donde la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina si el compresor 22 se acerca a la parada o no (S103). Por ejemplo, la sección de control de paso de inyección de líquido 68 se puede programar para determinar que el compresor 22 se está acercando a la parada en caso de que se produzca una parada rápida en el compresor 22. La parada rápida en el compresor 22 podría monitorearse enviando una señal al compresor 22 y determinando si la señal se devuelve desde el compresor 22. Además, se puede usar un sistema de alarma en el caso de detectar una parada  
20 rápida. Cuando la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina que el compresor 22 se acerca a la parada (Sí en S103), la válvula de inyección de líquido (válvula de solenoide) 16 se cierra.

Por otro lado, cuando la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina que el compresor 22 no se está acercando a la parada (No en S103), la sección de control de paso de inyección de líquido 68 procede a S104, en donde la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina si el temporizador de la válvula de inyección de líquido 16 está contando o no (S104). Como se mencionó anteriormente, el temporizador está conectado a la sección de control de paso de inyección de líquido 68 para abrir/cerrar automáticamente la válvula de inyección de líquido (válvula de solenoide) 16 cuando transcurre una cantidad predeterminada de tiempo. Cuando el temporizador de la válvula de inyección de líquido 16 está contando (Sí en S104), el estado actual de la válvula de inyección de líquido (válvula de solenoide) 16 se mantiene, y la válvula de inyección de líquido (válvula de solenoide) 16 se abre/cierra automáticamente cuando transcurre una cantidad predeterminada de tiempo.  
30

En S104, cuando el temporizador de la válvula de inyección de líquido 16 no está contando (No en S104), la sección de control de paso de inyección de líquido 68 pasa a S105, en donde la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina si las rpm del motor 38 son inferiores al A % o no (S105). Cuando la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina que las rpm del motor 38 no son inferiores al A % (No en S105), se mantiene el estado actual de la válvula de inyección de líquido (válvula de solenoide) 16.  
40

Por otro lado, cuando la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina que las rpm del motor 38 son inferiores al A % (Sí en S105), la sección de control de paso de inyección de líquido 68 procede a S106, en donde la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina si la posición de la paleta de guía de entrada 32 es superior al a+b % o no (S106). Aquí, "a" es un valor predeterminado y "b" es un margen. El valor "a" puede ser un valor umbral de la posición de la paleta de guía de entrada 32 en donde se ha observado una inestabilidad durante una prueba. El margen "b" se puede determinar para asegurar que no se produzca una inestabilidad. Cuando la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina que la posición de la paleta de guía de entrada 32 es superior al a+b % (Sí en S106), la válvula de inyección de líquido (válvula de solenoide) 16 se cierra.  
45

En S106, cuando la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina que la posición de la paleta de guía de entrada 32 no es superior al a+b % (No en S106), la sección de control de paso de inyección de líquido 68 procede a S107, en donde la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina si la posición de la paleta de guía de entrada 32 es inferior a un % o no (S107). En S107, cuando la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina que la posición de la paleta de guía de entrada 32 es inferior a un % (Sí en S107), la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina que el compresor 22 funciona con una capacidad pequeña y la válvula de inyección de líquido (válvula de solenoide) 16 se abre. La sección de control de paso de inyección de líquido 68 puede programarse para mantener la válvula de inyección de líquido (válvula de solenoide) 16 abierta siempre que las rpm del motor 38 y la posición de la paleta de guía de entrada 32 permanezcan en los intervalos mencionados anteriormente (es decir, las rpm del motor 38 < A % y la posición de la paleta de guía de entrada 32 < a %). Alternativamente, cuando la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina que la posición de la paleta de guía de entrada 32 vuelve a un % o más, la sección de control de paso de inyección de líquido 68 puede  
50  
55  
60

5 programarse para configurar el temporizador de la válvula de inyección de líquido 16 para contar una cantidad de tiempo predeterminada. Entonces, la válvula de inyección de líquido (válvula de solenoide) 16 puede cerrarse después de que transcurra la cantidad de tiempo predeterminada. En la realización ilustrada, la cantidad de tiempo predeterminada es de 60 segundos. De esta manera, se puede evitar el encendido/apagado frecuente de la válvula 16.

En S107, cuando la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina que la posición de la paleta de guía de entrada 32 no es inferior a un % (No en S107), se mantiene el estado actual de la válvula de inyección de líquido (válvula de solenoide) 16.

10 En la realización ilustrada explicada anteriormente, los valores "A", "a" y "b" podrían establecerse en un valor deseado por un técnico o un operario instalador del sistema enfriador 10 teniendo en cuenta los tamaños o modelos de los componentes del sistema enfriador 10. Alternativamente, los valores "A", "a" y "b" podrían establecerse en la fábrica en base a los resultados de experimentos. Además, la sección de control de paso de inyección de líquido 68 puede programarse adicionalmente para prohibir que la válvula de inyección de líquido 16 se abra dentro de los 5 minutos posteriores al arranque del compresor 22.

15 Según el segundo método de control de inyección de líquido ilustrado en la Figura 8A, después del arranque del compresor 22 (S201), la sección de control de paso de inyección de líquido 68 está programada para determinar primero si la posición de la paleta de guía de entrada 32 es superior a un % o no (S202). Cuando la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina que la posición de la paleta de guía de entrada 32 es superior a un % (Sí en S202), la válvula de inyección de líquido (válvula de expansión de grado variable) 16 se cierra. Alternativamente, 20 la sección de control de paso de inyección de líquido 68 puede programarse para determinar si las rpm del motor 38 son superiores al A % o no en S202.

25 Cuando la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina que la posición de la paleta de guía de entrada 32 no es superior a un % (No en S202), la sección de control de paso de inyección de líquido 68 procede a S203, en donde la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina si el compresor 22 se acerca a la parada o no (S203). Por ejemplo, la sección de control de paso de inyección de líquido 68 puede programarse para determinar que el compresor 22 se está acercando a la parada en caso de que se produzca una parada rápida en el compresor 22. La parada rápida podría monitorizarse enviando una señal al compresor 22 y determinando si la señal se devuelve desde el compresor 22. Además, se puede usar un sistema de alarma en el caso de detectar una parada rápida. Cuando la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina que el compresor 22 se acerca a la parada (Sí en S203), la válvula de inyección de líquido (válvula de expansión de grado variable) 16 se cierra. 30

35 Por otro lado, cuando la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina que el compresor 22 no se está acercando a la parada (No en S203), la sección de control de paso de inyección de líquido 68 procede a S204, en donde la sección de control de paso de inyección de líquido 68 abre la válvula de inyección de líquido (válvula de expansión de grado variable) 16. En S204, el grado de apertura de la válvula de inyección de líquido (válvula de expansión de grado variable) 16 se determina en base a una función  $f$  (relación de presión, IGV). Más específicamente, el grado de apertura de la válvula de inyección de líquido (válvula de expansión de grado variable) 16 se determina en base a una función  $f$  de la relación de presión entre presión de succión y presión de descarga y la posición de la paleta de guía de entrada 32, como se ilustra en la Figura 8B. Cuando la posición de la paleta de guía de entrada 32 es igual o inferior a un %, se determina si la válvula de inyección de líquido (válvula de expansión de grado variable) 16 se abrirá o no. Ver la Figura 8C. Además, cuando la posición de la paleta de guía de entrada 32 es igual o inferior a un %, el grado de apertura de la válvula de inyección de líquido (válvula de expansión de grado variable) 16 se ajusta en proporción a la relación de presión entre presión de succión y presión de descarga, como se ilustra en la Figura 8D. Sin embargo, cuando la relación de presión entre presión de succión y presión de descarga es igual o inferior a 1,5, la válvula de inyección de líquido (válvula de expansión de grado variable) 16 no se abre (cerrada). Además, cuando la 45 relación de presión entre presión de succión y presión de descarga supera 2,5, el grado de apertura de la válvula de inyección de líquido (válvula de expansión de grado variable) 16 se mantiene en un grado de apertura en un caso en el que la relación de presión entre presión de succión y presión de descarga es 2,5.

50 Después de abrir la válvula de inyección de líquido (válvula de expansión de grado variable) 16, la sección de control de paso de inyección de líquido 68 continúa monitoreando la posición de la paleta de guía de entrada 32. La sección de control de paso de inyección de líquido 68 puede programarse para mantener la válvula de inyección de líquido (válvula de expansión de grado variable) 16 abierta hasta que la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina que la posición de la paleta de guía de entrada 32 vuelve a un % o más. Cuando la sección de control de paso de inyección de líquido 68 determina que la posición de la paleta de guía de entrada 32 vuelve a un % o más, la sección de control de paso de inyección de líquido 68 cierra de este modo la válvula de inyección de líquido (válvula de expansión de grado variable) 16. 55

60 En la realización ilustrada explicada anteriormente, un técnico o un operario instalador del sistema enfriador 10 podría establecer el valor "a" en un valor deseado teniendo en cuenta los tamaños o modelos de los componentes del sistema enfriador 10. Alternativamente, el valor "a" podría establecerse en la fábrica en base a los resultados de experimentos. Además, la sección de control de paso de inyección de líquido 68 puede programarse adicionalmente para prohibir que la válvula de inyección de líquido 16 se abra dentro de los 5 minutos posteriores al arranque del compresor 22.

El controlador de enfriador 20 puede programarse para realizar la inyección de gas caliente que se describe a continuación cuando el controlador de enfriador 20 determina que se necesita la inyección de gas caliente después de realizar la inyección de líquido descrita anteriormente.

#### Inyección de gas caliente

- 5 Con referencia en este caso a las Figuras 1, 3, 9 y 10, ahora se explicará con más detalle el funcionamiento de la inyección de gas caliente en el sistema enfriador 10.

10 En la inyección de gas caliente, el refrigerante de gas caliente se inyecta a través del baipás de gas caliente 14 entre la paleta de guía de entrada 32 y el impulsor 34. La cantidad de refrigerante de gas caliente que pasa a través del baipás de gas caliente 14 se ajusta abriendo/cerrando la válvula de gas caliente 18. La sección de control de baipás de gas caliente 69 se programa para abrir/cerrar la válvula de gas caliente 18, como se explica con más detalle a continuación.

15 Con referencia a la Figura 9, el refrigerante de gas caliente se inyecta en un área entre la paleta de guía de entrada 32 y el impulsor 34. La presión P2 en el área entre la paleta de guía de entrada 32 y el impulsor 34 es menor que la presión P1 en el lado de succión del compresor 22 en donde se inyecta el refrigerante de gas caliente según una técnica convencional. El caudal de gas en una tubería se determina en base a la diferencia de presión y el diámetro interior de la tubería. Más específicamente, un diámetro interior pequeño de la tubería puede lograr un caudal elevado cuando la diferencia de presión se hace grande. En consecuencia, inyectando el refrigerante de gas caliente en el área de la presión P2 que es más pequeña que la presión P1, la diferencia de presión  $\Delta P2$  (la presión en el lado de descarga del compresor - P2) es mayor que la diferencia de presión  $\Delta P1$  (la presión en el lado de descarga del compresor - P1), y por lo tanto, se puede lograr un caudal de gas suficientemente alto con una tubería de menor diámetro. De esta manera, se puede utilizar una tubería de pequeño tamaño como baipás de gas caliente 16 según la presente invención.

25 Además, se produce fácilmente turbulencia de gas en el área entre la paleta de guía de entrada 32 y el impulsor 34, lo que provoca una vibración del eje cuando la posición de apertura de la paleta de guía de entrada es pequeña en el caso del cojinete magnético. Inyectando el refrigerante de gas caliente en el área entre la paleta de guía de entrada 32 y el impulsor 34, se puede reducir dicha turbulencia de gas y se puede disminuir la vibración del eje en el cojinete magnético.

30 Según un método de control de inyección de gas caliente ilustrado en la Figura 10A, después del arranque del compresor 22 (S301), la sección de control de baipás de gas caliente 69 se programa para determinar si la temperatura real del agua en la salida del evaporador 28 es inferior a un valor predeterminado o no (S302). La temperatura del agua en la salida del evaporador 28 se denomina en lo sucesivo EOWT. El valor predeterminado en S302 se determina en base a la diferencia entre el valor objetivo y el valor de banda muerta de la EOWT. Aquí, el valor objetivo es un valor deseado de la EOWT que establece un técnico o un operario instalador teniendo en cuenta los tamaños o modelos de los componentes del sistema enfriador 10. El valor de banda muerta es un intervalo de valores en donde un cambio en la EOWT no provocará una respuesta observable en el proceso de enfriador subsiguiente. El valor objetivo y el valor de banda muerta de la EOWT podrían establecerse en fábrica en base a los resultados de experimentos.

40 Cuando la sección de control de baipás de gas caliente 69 determina que la EOWT real es menor que el valor predeterminado (Sí en S302), la sección de control de baipás de gas caliente 69 procede a S303, en donde la sección de control de baipás de gas caliente 69 determina si la posición de la aleta de guía de entrada 32 es menor que un % de posición mínimo o no (S303).

45 En S303, cuando la sección de control de baipás de gas caliente 69 determina que la posición de la paleta de guía de entrada 32 es menor que un % de posición mínimo (Sí en S303), la válvula de gas caliente 18 se abre y la paleta de guía de entrada 32 se controla para mantenerse en la posición actual. La sección de control de baipás de gas caliente 69 puede programarse adicionalmente para mantener abierta la válvula de gas caliente 18 de manera que la EOWT real alcance el valor objetivo.

En S303, cuando la sección de control de baipás de gas caliente 69 determina que la posición de la paleta de guía de entrada 32 no es inferior a un % de posición mínimo (No en S303), la paleta de guía de entrada 32 se cierra.

50 Por otro lado, en S302, cuando la sección de control de baipás de gas caliente 69 determina que la EOWT real no es menor que el valor predeterminado (No en S302), la sección de control de baipás de gas caliente 69 procede a S304, en donde la sección de control de baipás de gas caliente 69 determina si el valor absoluto de la diferencia entre el valor real y el valor objetivo de la EOWT es menor que el valor de banda muerta o no (S304).

55 En S304, cuando la sección de control de baipás de gas caliente 69 determina que el valor absoluto de la diferencia entre el valor real y el valor objetivo de la EOWT es menor que el valor de banda muerta (Sí en S304), la válvula de gas caliente 18 y la paleta de guía de entrada 32 se controlan para permanecer en las posiciones actuales. En S304, cuando la sección de control de baipás de gas caliente 69 determina que el valor absoluto de la diferencia entre el valor real y el valor objetivo de la EOWT no es menor que el valor de banda muerta (No en S304), la sección de control

de baipás de gas caliente 69 pasa a S305, en donde la sección de control de baipás de gas caliente 69 determina si la posición de la válvula de gas caliente 18 es superior al 0 % (S305).

En S305, cuando la sección de control de baipás de gas caliente 69 determina que la posición de la válvula de gas caliente 18 es superior al 0 % (Sí en S305), la válvula de gas caliente 18 se cierra y la paleta de guía de entrada 32 se controla para permanecer en la posición actual. Por otra parte, en S305, cuando la sección de control de baipás de gas caliente 69 determina que la posición de la válvula de gas caliente 18 no es superior al 0 % (No en S305), la paleta de guía de entrada 32 se abre. La sección de control de baipás de gas caliente 69 puede programarse adicionalmente para cerrar la válvula de inyección de gas caliente 18 de vuelta a la posición cero y posteriormente abrir la paleta de guía de entrada 32 cuando aumenta la carga requerida del compresor centrífugo 22.

Después del arranque del compresor 22 (S301), la sección de control de baipás de gas caliente 69 puede proceder a S306. En S306, la sección de control de baipás de gas caliente 69 determina si la posición de la paleta de guía de entrada 32 es inferior a un %. "a" es un valor predeterminado. El valor "a" puede ser un valor umbral de la posición de la paleta de guía de entrada 32 en donde se ha observado una inestabilidad durante una prueba. Cuando la sección de control de baipás de gas caliente 69 determina que la posición de la paleta de guía de entrada 32 es inferior a un % (Sí en S306), la sección de control de baipás de gas caliente 69 procede a S307, en donde la sección de control de baipás de gas caliente 69 determina si la posición del cojinete magnético 44, 46 o 48 está fuera de un intervalo de órbita predeterminado o no (S307). Aquí, la sección de control de baipás de gas caliente 69 puede programarse para determinar la posición de los cojinetes magnéticos 44, 46 o 48 del conjunto de cojinete magnético 40 al recibir señales de los sensores de posición 54, 56 y 58 a través de la sección de control de cojinete magnéticos 61, como se explica con más detalle a continuación.

Cuando la sección de control de baipás de gas caliente 69 determina que la posición del cojinete magnético 44, 46 o 48 está fuera de un intervalo de órbita predeterminado, la sección de control de baipás de gas caliente 69 abre la válvula de gas caliente 18 para devolver el cojinete magnético 44, 46 o 48 a una posición dentro del intervalo de órbita predeterminado. Este proceso de abrir la válvula de gas caliente 18 anula los procesos mencionados anteriormente de cerrar la válvula de gas caliente 18 y controlar la válvula de gas caliente 18 para permanecer en la posición actual. Al abrir la válvula de gas caliente 18 para inyectar el refrigerante de gas caliente entre la paleta de guía de entrada 32 y el impulsor 34 de esta manera, se puede reducir la turbulencia de gas en el área entre la paleta de guía de entrada 32 y el impulsor 34, y el nivel de vibración del eje en el cojinete magnético 44, 46 o 48 puede reducirse.

El controlador de enfriador 20 está programado para parar el compresor centrífugo 22 de manera convencional cuando la vibración del eje en el cojinete magnético 44, 46 o 48 excede un nivel aceptable y la posición del cojinete magnético 44, 46 o 48 está fuera de un intervalo de órbita deseado. En S307, el intervalo de órbita predeterminado del cojinete magnético 44, 46 o 48 podría establecerse más pequeño que el intervalo de órbita del cojinete magnético 44, 46 o 48 en donde el compresor centrífugo 22 está dispuesto para pararse.

El controlador de enfriador 20 puede programarse para realizar la inyección de líquido cuando el controlador de enfriador 20 determina que se necesita una inyección de líquido después de realizar la inyección de gas caliente descrita anteriormente.

La sección de control de cojinete magnético 61 normalmente recibe señales de los sensores 54, 56 y 58 del conjunto de cojinete magnético 40, y transmite señales eléctricas a los cojinetes magnéticos 44, 46 y 48 para mantener el eje 42 en la posición deseada de manera convencional. Más específicamente, la sección de control de cojinete magnético 61 está programada para ejecutar un programa de control de cojinete magnético para mantener el eje 42 en la posición deseada de una manera convencional durante el funcionamiento normal cuando no se prevén inestabilidades. Sin embargo, si se prevén inestabilidades, la posición axial del eje 42 se puede ajustar utilizando la sección de control de inestabilidad 62 y el cojinete magnético axial 48. Por lo tanto, la posición axial del impulsor 34, que está fijado al eje 42, se puede ajustar en relación con el difusor 36, tal como se explica con más detalle a continuación.

El variador de frecuencia 64 y la sección de control de motor 65 reciben señales de al menos un sensor del motor (no mostrado) y controlan la velocidad de giro 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 de motor 65 están programados para ejecutar uno o más programas de control de motor para controlar la velocidad de giro del motor 38 para controlar la capacidad del compresor 22 de manera convencional. La sección de control de paleta de guía de entrada 66 recibe señales de al menos un sensor de paleta de guía de entrada (no mostrado) y controla la posición de la paleta de guía de entrada 32 para controlar la capacidad del compresor 22 de manera convencional. Más específicamente, la sección de control de paleta de guía de entrada 66 está programada para ejecutar un programa de control de paleta de guía de entrada para controlar la posición de la paleta de guía de entrada 32 para controlar la capacidad del compresor 22 de manera convencional. La sección de control de válvula de expansión 67 controla la posición 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 válvula de expansión 67 está programada para ejecutar un programa de control de válvula de expansión para controlar la posición de apertura de la válvula de expansión 26 para controlar la capacidad del sistema enfriador 10 de manera convencional. La sección de control de motor 65 y la sección de control de paleta de guía de entrada 66 funcionan conjuntamente y con la sección de control de válvula de expansión 67 para controlar la capacidad general del sistema enfriador 10 de manera convencional. El controlador de

enfriador 20 recibe señales de los sensores S y, opcionalmente, T, para controlar la capacidad general de manera convencional. Los sensores opcionales T son sensores de temperatura. Los sensores S son preferiblemente sensores de presión y/o sensores de temperatura convencionales utilizados de manera convencional para realizar el control.

5 Cada cojinete magnético 44 incluye una pluralidad de accionadores 74 y al menos un amplificador 84. De manera similar, cada cojinete magnético 46 incluye una pluralidad de accionadores 76 y al menos un amplificador 86. Asimismo, cada cojinete magnético 48 incluye una pluralidad de accionadores 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 su número de accionadores, o pueden incluir amplificadores separados para cada accionador 74, 76 y 78. En cualquier caso, los amplificadores 84, 86 y 88 están eléctricamente conectados a los accionadores 74, 76 y 78 de cada cojinete magnético respectivo 44, 46 y 48.

10 Haciendo referencia a las Figuras 13 y 14, la sección de control de cojinete magnético 61 está conectada eléctricamente a la sección de control de inestabilidad 63, y recibe señales de la sección de control de inestabilidad 63. La sección de control de cojinete magnético 61 puede ajustar la posición axial deseada del eje 42 para ser cualquier punto dentro de un intervalo de desplazamiento del cojinete magnético 48. En la realización ilustrada, el intervalo de desplazamiento del cojinete magnético 48 está preferiblemente entre 200 mm y 300 mm. La sección de control de cojinete magnético 61 está programada para ajustar la señal eléctrica al amplificador 88 del cojinete magnético 48 para ajustar la posición axial del eje 42. El cojinete magnético 48 puede incluir un amplificador 88 con dos canales para controlar independientemente cada accionador 78 del cojinete magnético 48, respectivamente, o cada accionador 78 del cojinete magnético 48 puede tener un amplificador único 88 correspondiente. Los accionadores 78 del cojinete magnético 48 actúan sobre el disco de empuje 45 ejerciendo una fuerza magnética. Los accionadores 78 del cojinete magnético 48 generan una fuerza magnética que se basa en una corriente eléctrica. Por lo tanto, la fuerza magnética se puede controlar de forma variable controlando la cantidad de corriente suministrada a cada accionador 78, tal como se explicará con más detalle a continuación.

15 En la realización ilustrada, el cojinete magnético 48 incluye el disco de empuje 45, dos accionadores 78 dispuestos en lados opuestos del disco de empuje 45, dos sensores de posición 58 dispuestos en lados opuestos del disco de empuje 45, un amplificador 88 conectado eléctricamente a los dos accionadores 78, y la sección de control de cojinete magnético 61. La sección de control de cojinete magnético 61 está conectada eléctricamente a los sensores de posición 58, el amplificador 88 y las otras partes del controlador de enfriador 20. Cada accionador 78 recibe una corriente respectiva del amplificador 88, y cada corriente es determinada por la sección de control de cojinete magnético 61 y comunicada al amplificador 88 mediante una señal. Los accionadores 78 del cojinete magnético 48 desvían el disco de empuje 45 a una posición axial en donde la fuerza neta de los dos accionadores 78 alcanza el equilibrio.

20 Convencionalmente, la sección de control de paleta de guía de entrada 66 controla el caudal de gas refrigerante hacia el impulsor controlando la paleta de guía de entrada 32. Por ejemplo, la sección de control de paleta de guía puede determinar una capacidad objetivo del sistema, determinar la cantidad de ajuste de la paleta de guía 32 necesaria para alcanzar la capacidad objetivo, y controlar la paleta de guía 32 para lograr la capacidad objetivo. Sin embargo, cuando se utiliza un cojinete magnético en el compresor centrífugo, la posición de cierre de la paleta de guía de entrada permitida se limita para evitar una gran vibración del eje provocada por la turbulencia del gas que se produce entre la paleta de guía de entrada y el impulsor. Algunos compresores centrífugos utilizan una pared difusora ajustable para obtener capacidad de control de inestabilidad.

25 Al controlar la inestabilidad utilizando las técnicas descritas en el presente documento, el sistema enfriador 10 ya no se limita a controlar la inestabilidad limitando la posición de la paleta de guía de entrada y/o una pared difusora ajustable. Además, es posible que se eliminen o resulten innecesarias otras estructuras de ajuste. En otras palabras, el difusor puede no tener paredes difusoras ajustables (no ilustradas). Prescindiendo de la paleta de guía 32, es posible aumentar la fiabilidad del sistema enfriador 10 y se puede reducir el coste.

30 Con referencia a la Figura 12, la inestabilidad es la ruptura completa de flujo constante en el compresor, que generalmente ocurre con un caudal reducido. La Figura 12 ilustra una línea de inestabilidad SL, que conecta los puntos de inestabilidad S1, S2 y S3 a rpm 1, rpm2 y rpm3, respectivamente. Estos puntos son los puntos pico, en donde la presión generada por el compresor es menor que la presión de tubería corriente 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 la línea PA y SL muestra la ineficiencia de los métodos de control de inestabilidad. Reduciendo la diferencia entre una línea de control de inestabilidad PA y una línea de inestabilidad SL, el compresor 22 puede controlarse para que sea más eficiente. Una ventaja de los métodos de control de inestabilidad mencionados anteriormente es que comprenden métodos novedosos para controlar la inestabilidad; por lo tanto, la línea de control de inestabilidad PA puede estar más cerca de la línea de inestabilidad SL en comparación con los métodos anteriores.

#### Interpretación general de los términos

Al entender el alcance de la presente invención, el término "que comprende" y sus derivados, como se usa en este documento, pretenden ser términos abiertos que especifican la presencia de las características, elementos, componentes, grupos, números enteros y/o etapas declarados, pero no excluye la presencia de otras características,

elementos, componentes, grupos, números enteros y/o etapas no declarados. Lo anterior también se aplica a palabras que tienen significados similares, como los términos "que incluye", "que tiene" y sus derivados. Además, los términos "parte", "sección", "porción", "miembro" o "elemento" cuando se usan en singular pueden tener el significado doble de una sola parte o una pluralidad de partes.

5 El término "detectar", tal como se utiliza en el presente documento para describir una operación o función realizada por un componente, una sección, un dispositivo o similar, incluye un componente, una sección, un dispositivo o similar que no requiere detección física, sino que incluye determinar, medir, modelar, predecir o calcular o similares para llevar a cabo la operación o función.

10 El término "configurado" tal como se usa en el presente documento para describir un componente, sección o parte de un dispositivo incluye hardware y/o software que está creado y/o programado para llevar a cabo la función deseada.

Los términos de grado tales como "sustancialmente", "alrededor de" y "aproximadamente", tal como se usan en el presente documento, significan una cantidad razonable de desviación del término modificado de manera que el resultado final no cambia significativamente.

15 Si bien solo se han elegido realizaciones seleccionadas para ilustrar la presente invención, será evidente para los expertos en la técnica a partir de esta descripción que se pueden realizar varios cambios y modificaciones en el presente documento sin apartarse del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, el tamaño, la forma, la ubicación o la orientación de los diversos componentes se pueden cambiar 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 los mismos. Las funciones de un elemento pueden ser realizadas por dos, y viceversa. Las estructuras y funciones de una realización pueden adoptarse en otra realización. No es necesario que todas las ventajas estén presentes en una realización particular al mismo tiempo. Por lo tanto, las descripciones anteriores de las realizaciones según la presente invención se proporcionan únicamente a modo de ilustración, y no con el fin de limitar la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

20

**REIVINDICACIONES**

1. Compresor centrífugo (22) adaptado para ser utilizado en un enfriador, comprendiendo el compresor centrífugo:  
una carcasa (30) que tiene una parte de entrada y una parte de salida;  
una paleta de guía de entrada (32) dispuesta en la parte de entrada;
- 5 un impulsor (34) dispuesto corriente abajo de la paleta de guía de entrada (32), estando unido el impulsor (34) a un eje (42) giratorio alrededor de un eje de giro;  
un motor (38) dispuesto y configurado para hacer girar el eje (42) a efectos de hacer girar el impulsor (34);  
un difusor (36) dispuesto en la parte de salida corriente abajo del impulsor (34) con un orificio de salida de la parte de salida dispuesto entre el impulsor (34) y el difusor (36);
- 10 un paso de inyección de gas caliente (14) dispuesto y configurado para inyectar refrigerante de gas caliente entre la paleta de guía de entrada (32) y el impulsor (34); y  
un controlador (20) programado para controlar una cantidad de refrigerante de gas caliente inyectado entre la paleta de guía de entrada (32) y el impulsor (34), caracterizado por que
- 15 el controlador (20) está programado además para inyectar el refrigerante de gas caliente entre la paleta de guía de entrada (32) y el impulsor (34) cuando la temperatura del agua de salida de un evaporador es inferior a un valor predeterminado y una posición de la paleta de guía de entrada (32) es inferior a un valor de posición predeterminado, en donde
- 20 el paso de inyección de gas caliente (14) incluye al menos una válvula (18) dispuesta en el mismo, siendo controlada la al menos una válvula (18) por el controlador (20) para controlar la cantidad de refrigerante de gas caliente inyectado entre la paleta de guía de entrada (32) y el impulsor (34).
2. Compresor centrífugo (22) según la reivindicación 1, en donde  
el controlador (20) está programado además para inyectar el refrigerante de gas caliente entre la paleta de guía de entrada (32) y el impulsor (34) de modo que la temperatura del agua de salida del evaporador alcanza un valor objetivo.
3. Compresor centrífugo (22) según la reivindicación 1, en donde
- 25 el controlador (22) está programado además para cerrar el paso de inyección de gas caliente y posteriormente abrir la paleta de guía de entrada (32) cuando aumenta la carga requerida del compresor centrífugo (22).
4. Compresor centrífugo según la reivindicación 1, que comprende además  
un cojinete magnético (40) que soporta giratoriamente el eje (42).
5. Compresor centrífugo según la reivindicación 4, en donde
- 30 el controlador (20) está programado además para inyectar el refrigerante de gas caliente entre la paleta de guía de entrada (32) y el impulsor (34) cuando una posición del cojinete magnético (40) está fuera de un intervalo de órbita predeterminado para devolver el cojinete magnético (40) a una posición dentro del intervalo de órbita predeterminado.
6. Compresor centrífugo (22) según la reivindicación 5, en donde  
el intervalo de órbita predeterminado del cojinete magnético (40) se establece más pequeño que un intervalo de órbita del cojinete magnético (40) en donde el compresor centrífugo está dispuesto para desactivarse.
- 35 7. Compresor centrífugo (22) según una de las reivindicaciones 1 a 6, en donde  
la al menos una válvula (18) incluye una válvula de solenoide.
8. Compresor centrífugo (22) según una de las reivindicaciones anteriores, en donde  
la al menos una válvula (18) incluye una pluralidad de válvulas de solenoide dispuestas en paralelo entre sí.
- 40 9. Compresor centrífugo (22) según una de las reivindicaciones 1 a 6, en donde  
la al menos una válvula (18) incluye una válvula de expansión de grado variable.
10. Compresor centrífugo (22) según la reivindicación 9,  
en donde la válvula de expansión de grado variable incluye una válvula de bola.
11. Compresor centrífugo (22) según la reivindicación 9,
- 45 en donde la válvula de expansión de grado variable incluye una válvula accionada por motor.

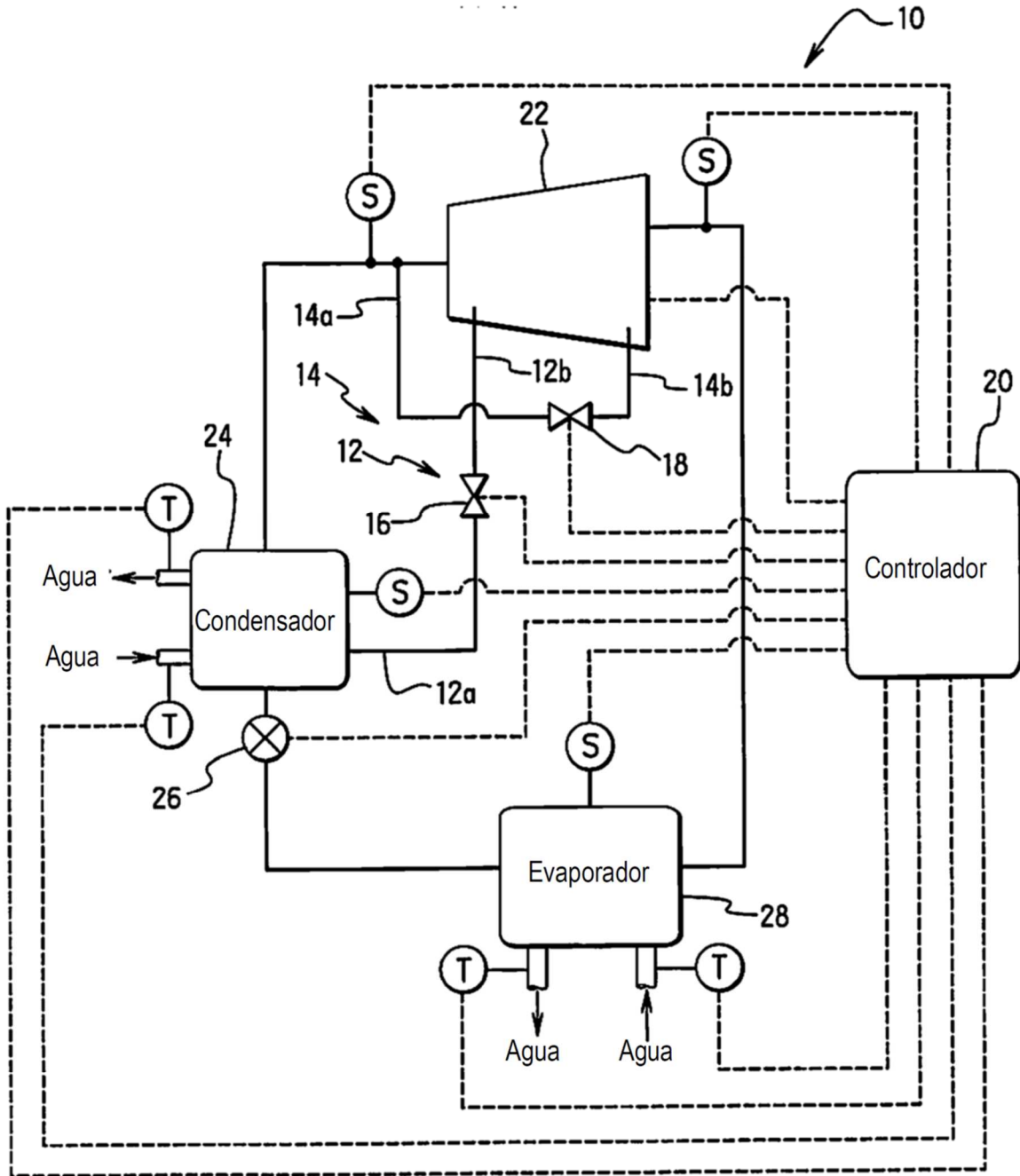


FIG. 1

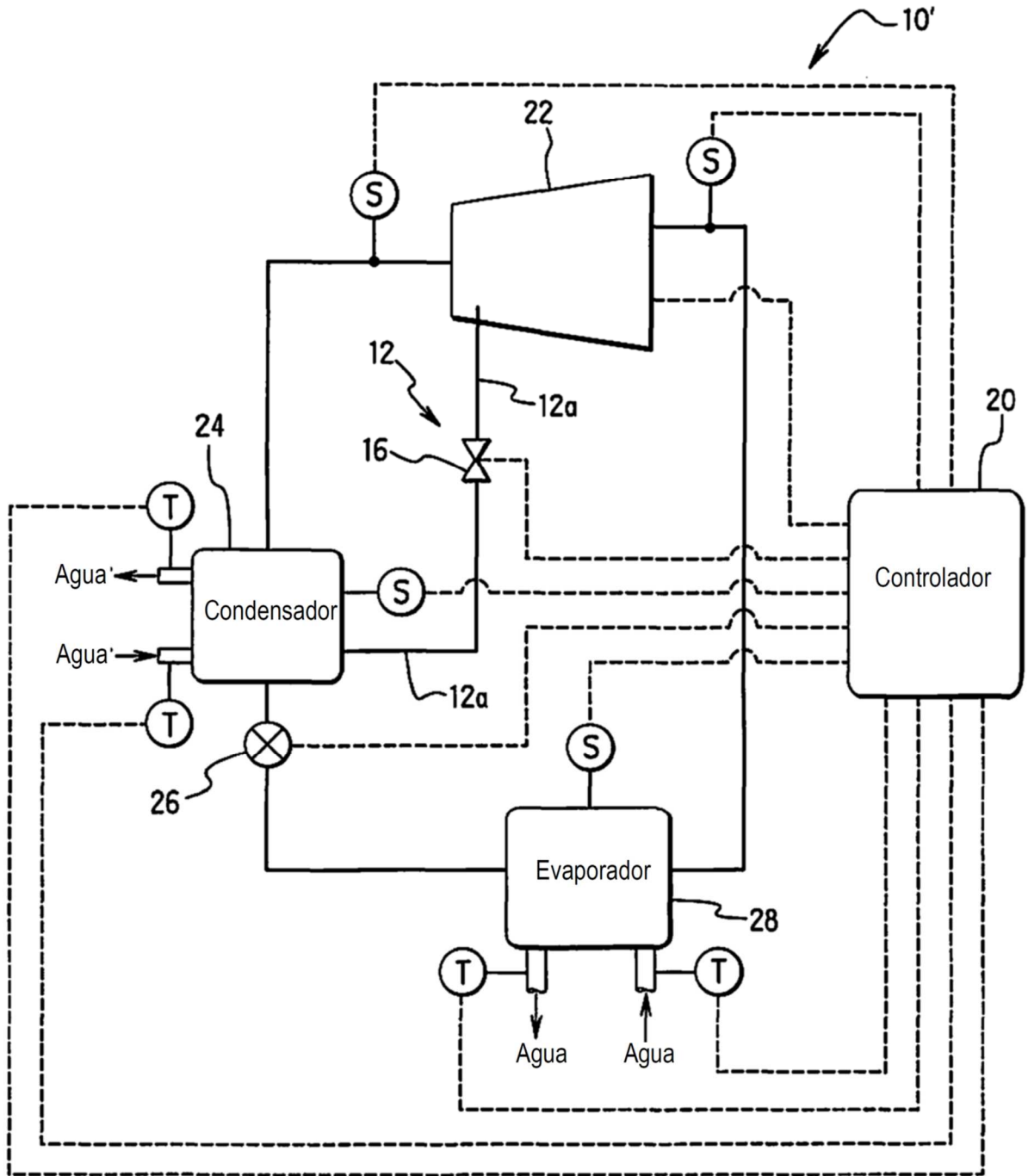


FIG. 2

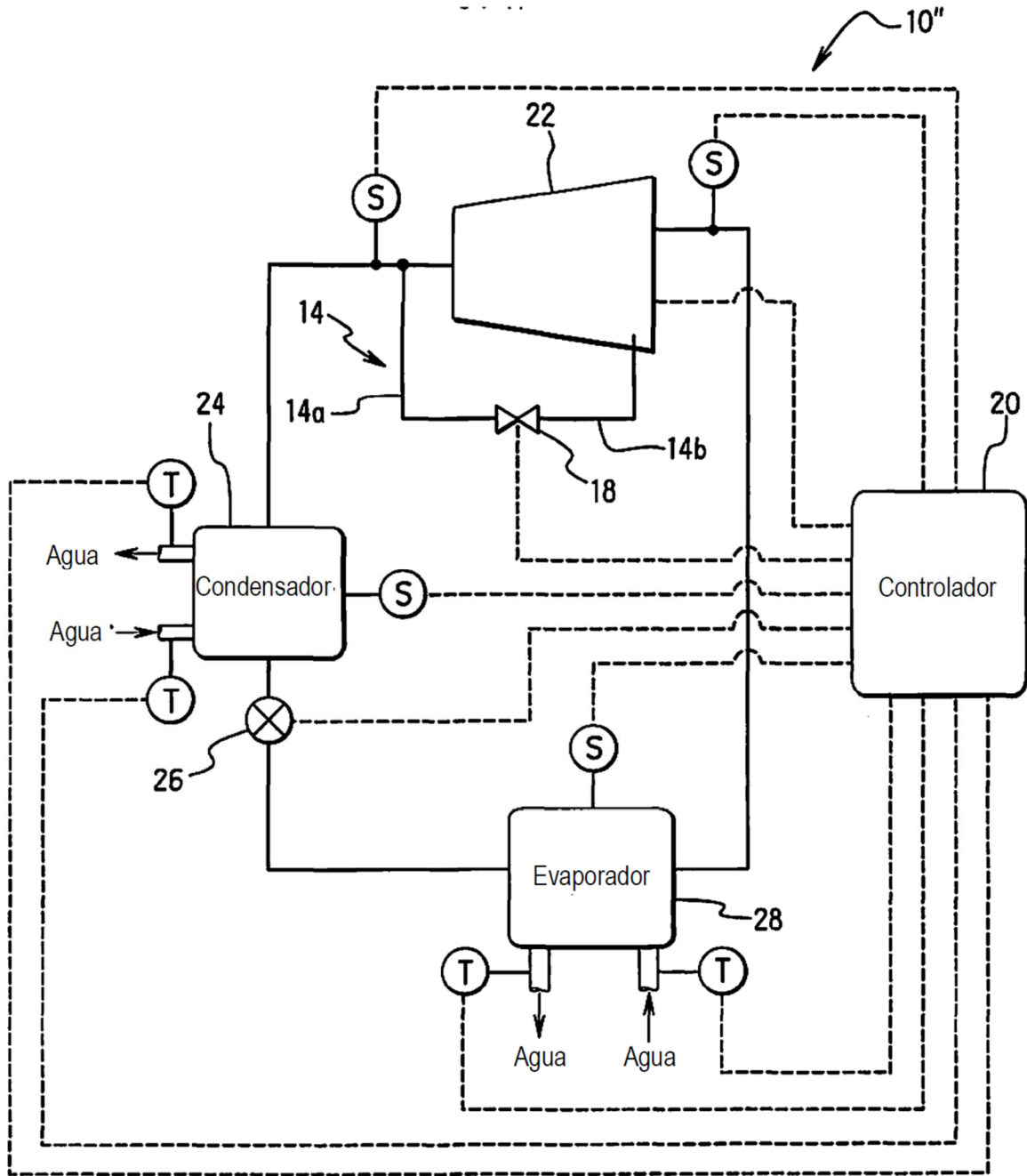
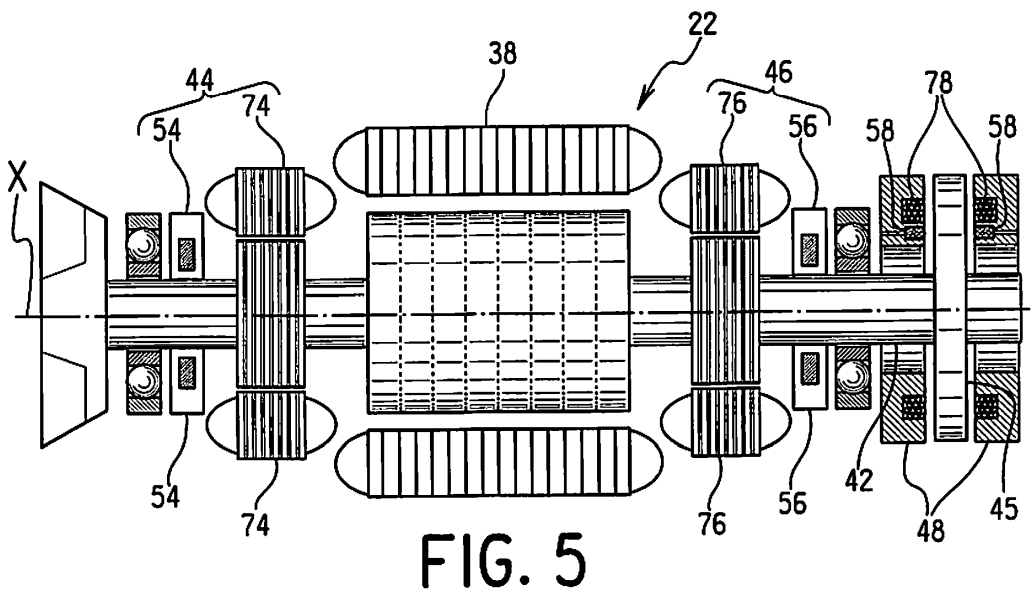
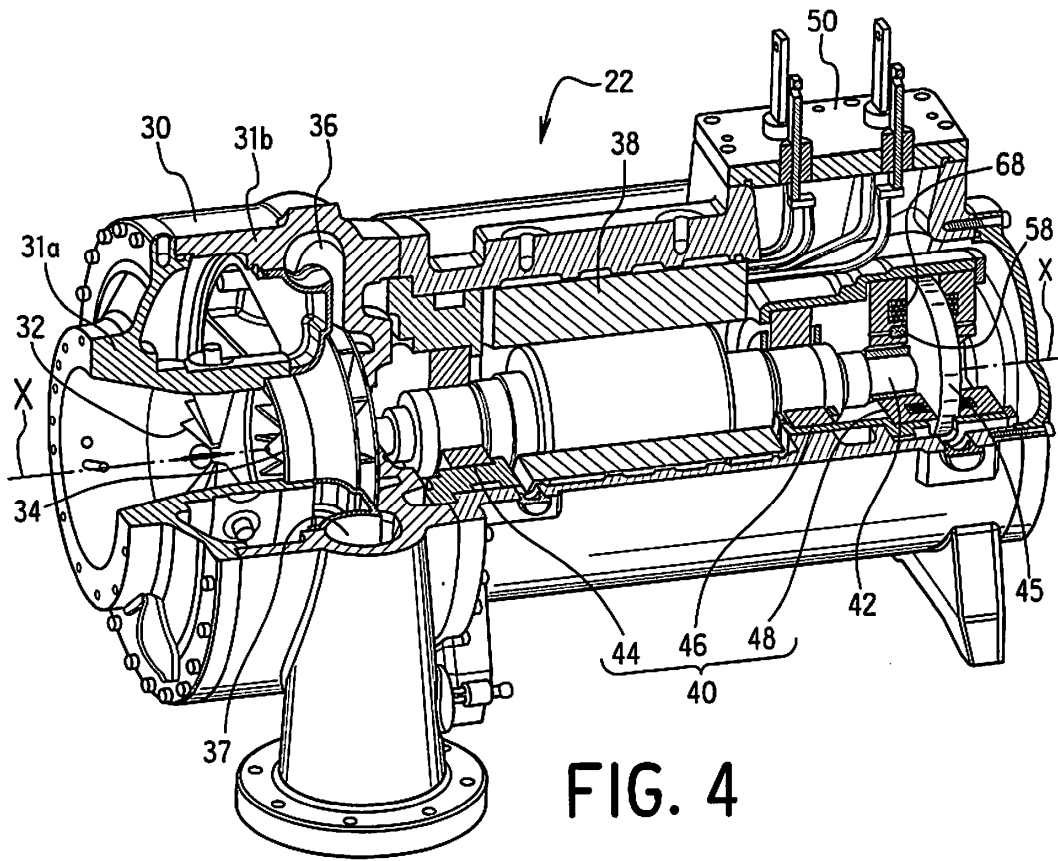


FIG. 3



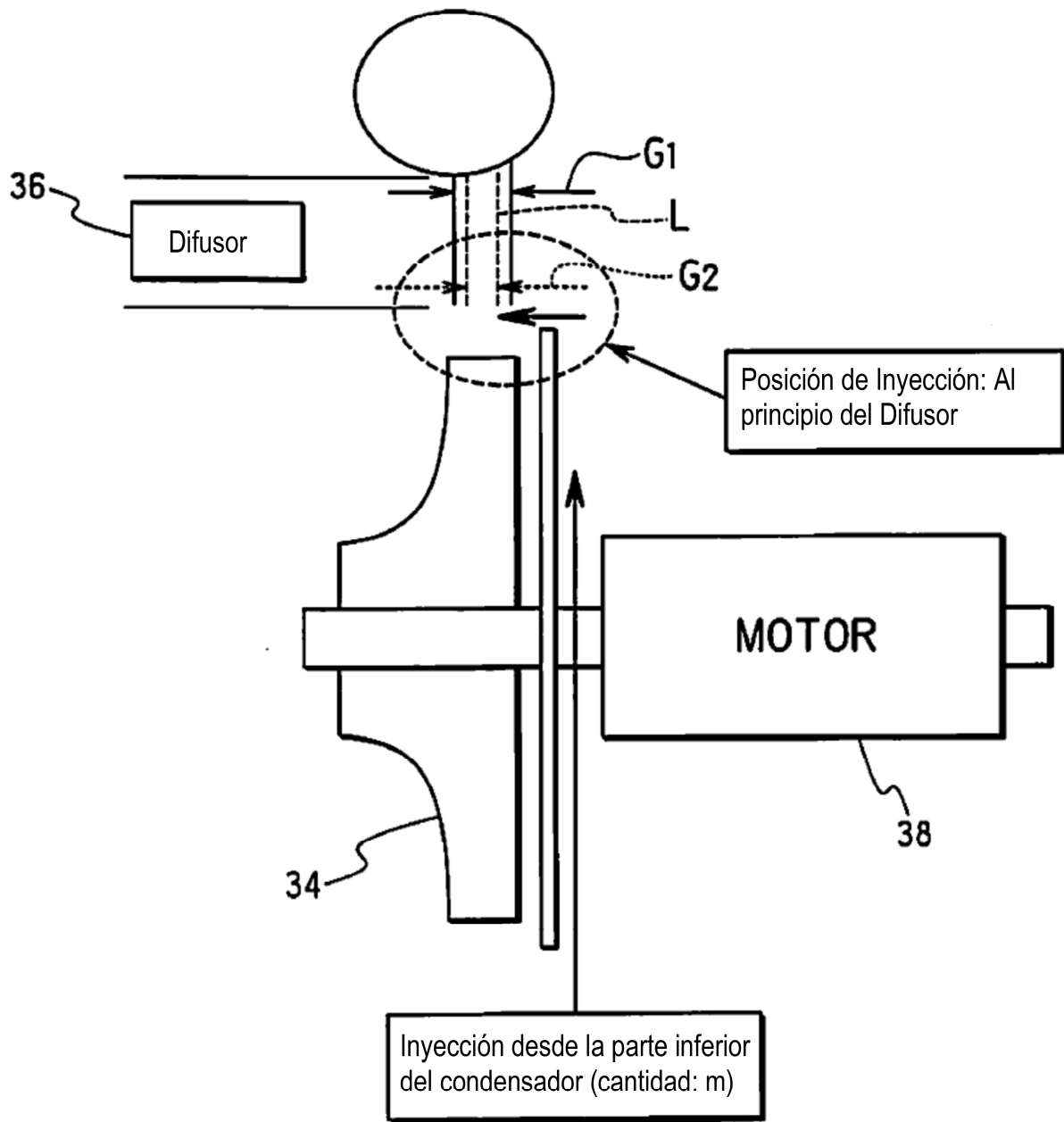


FIG. 6

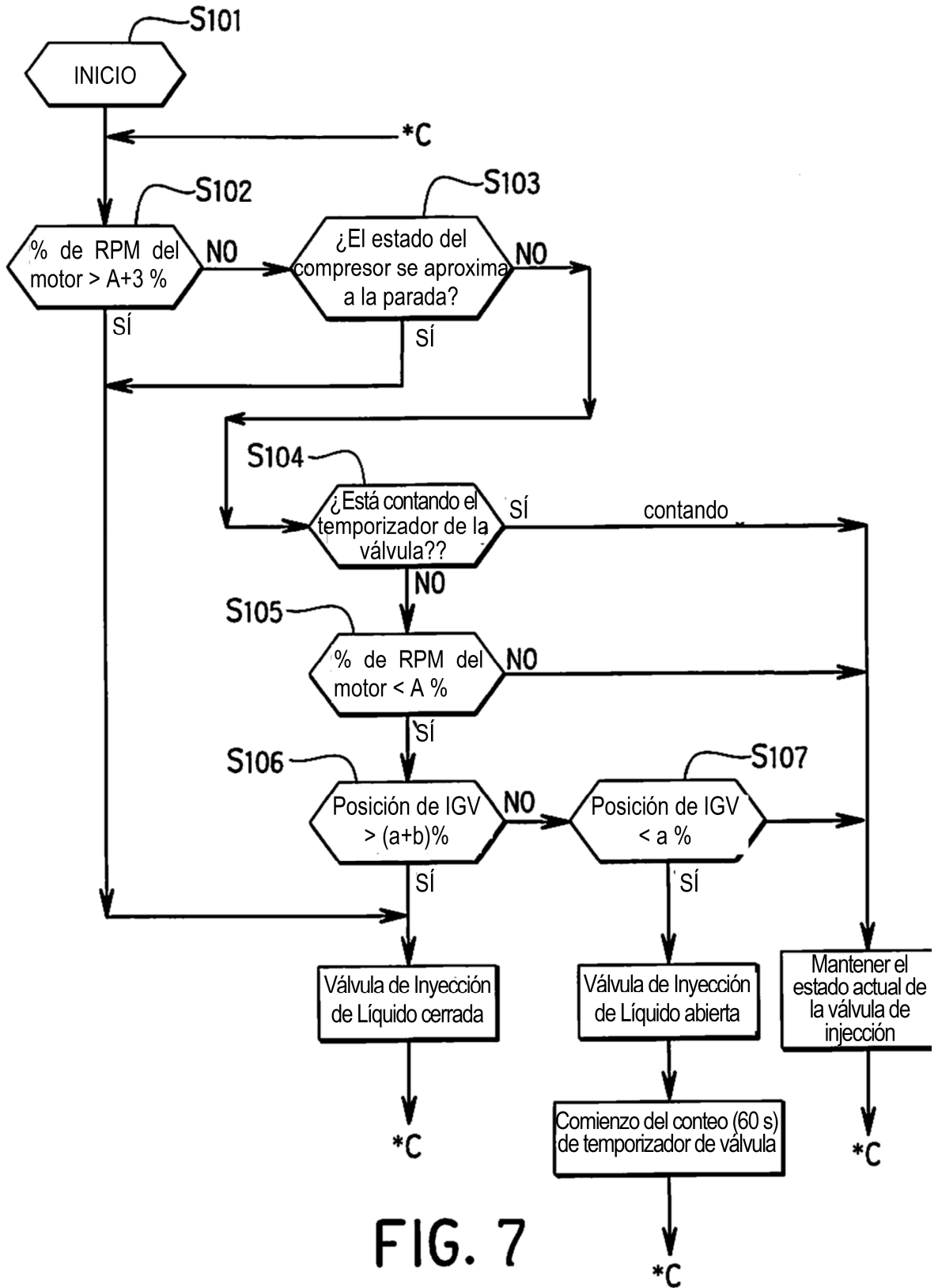


FIG. 7

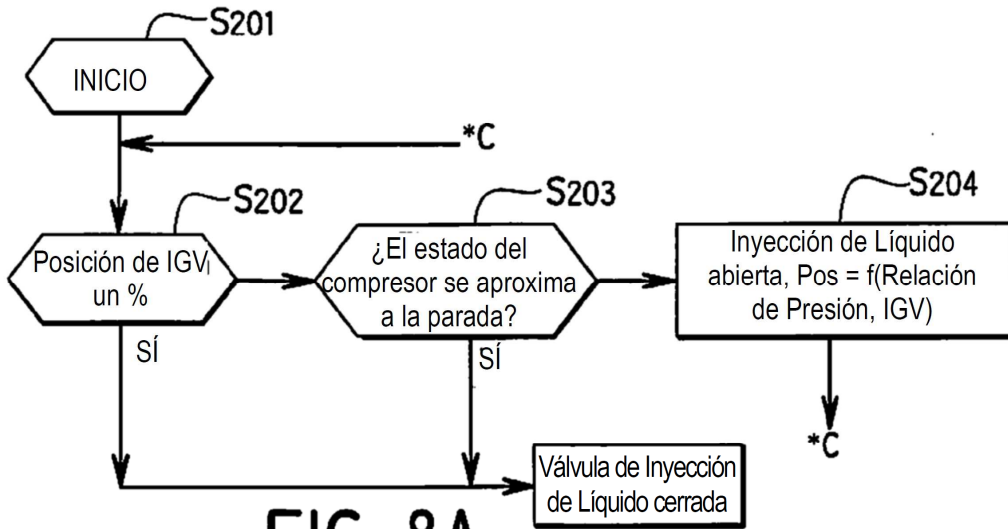


FIG. 8A

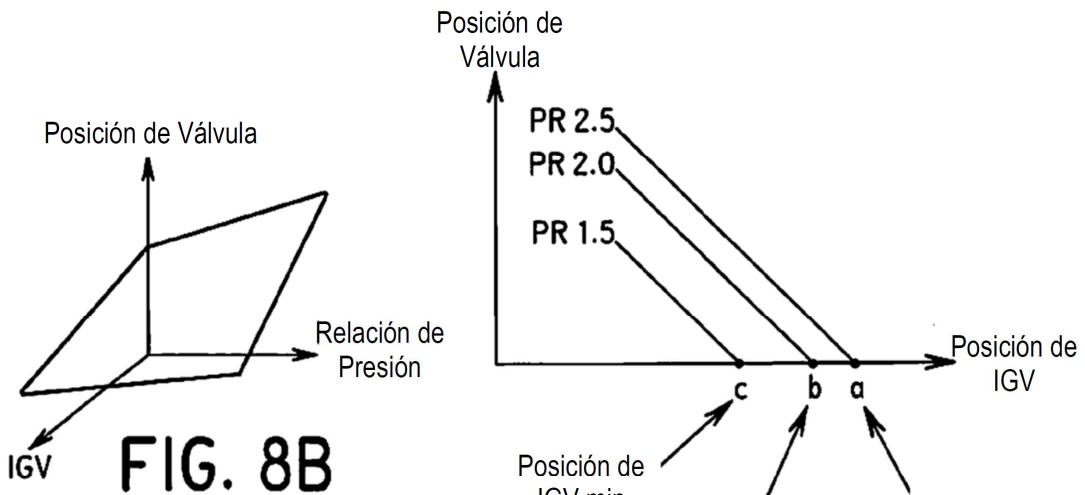


FIG. 8B

FIG. 8C

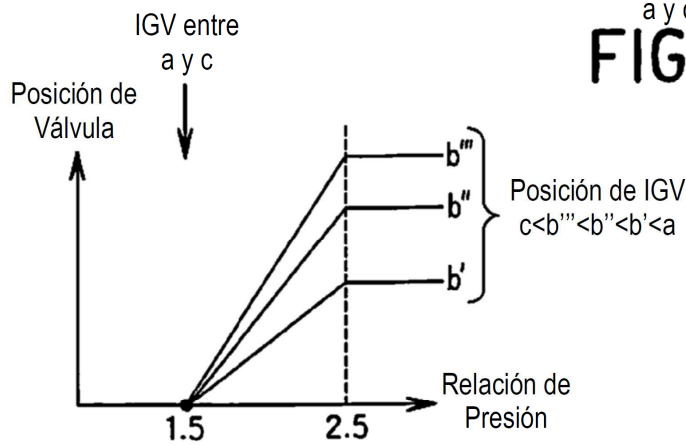


FIG. 8D

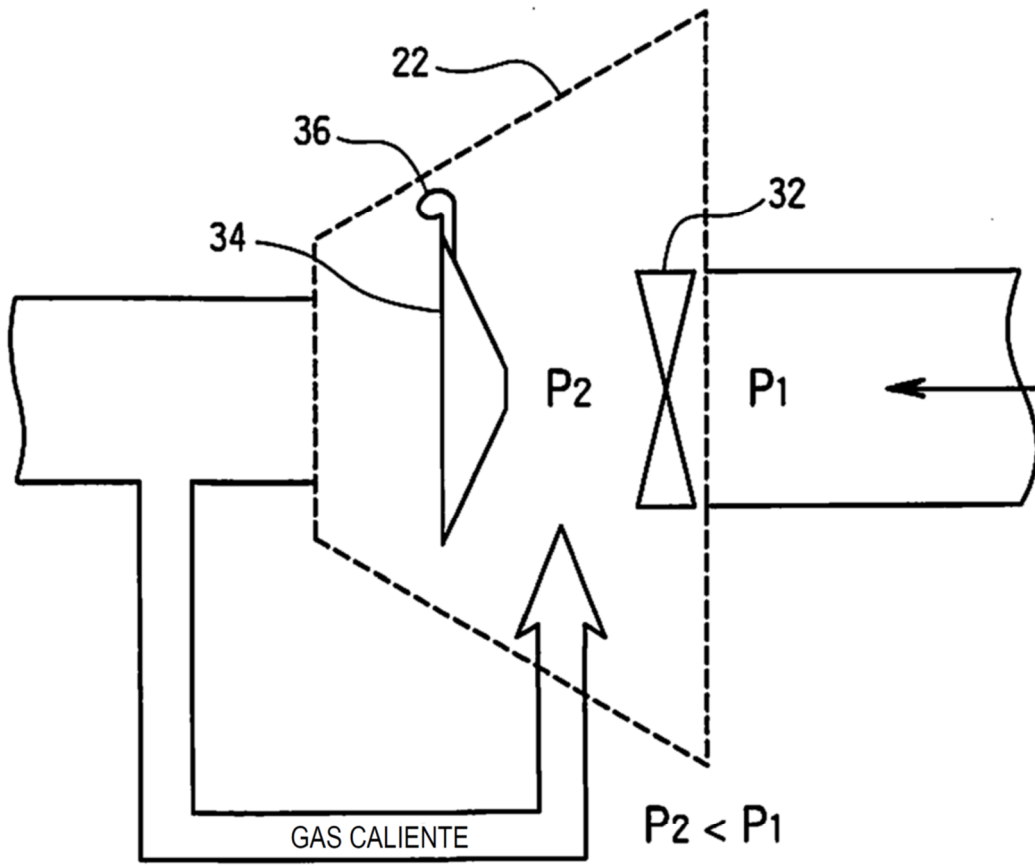


FIG. 9

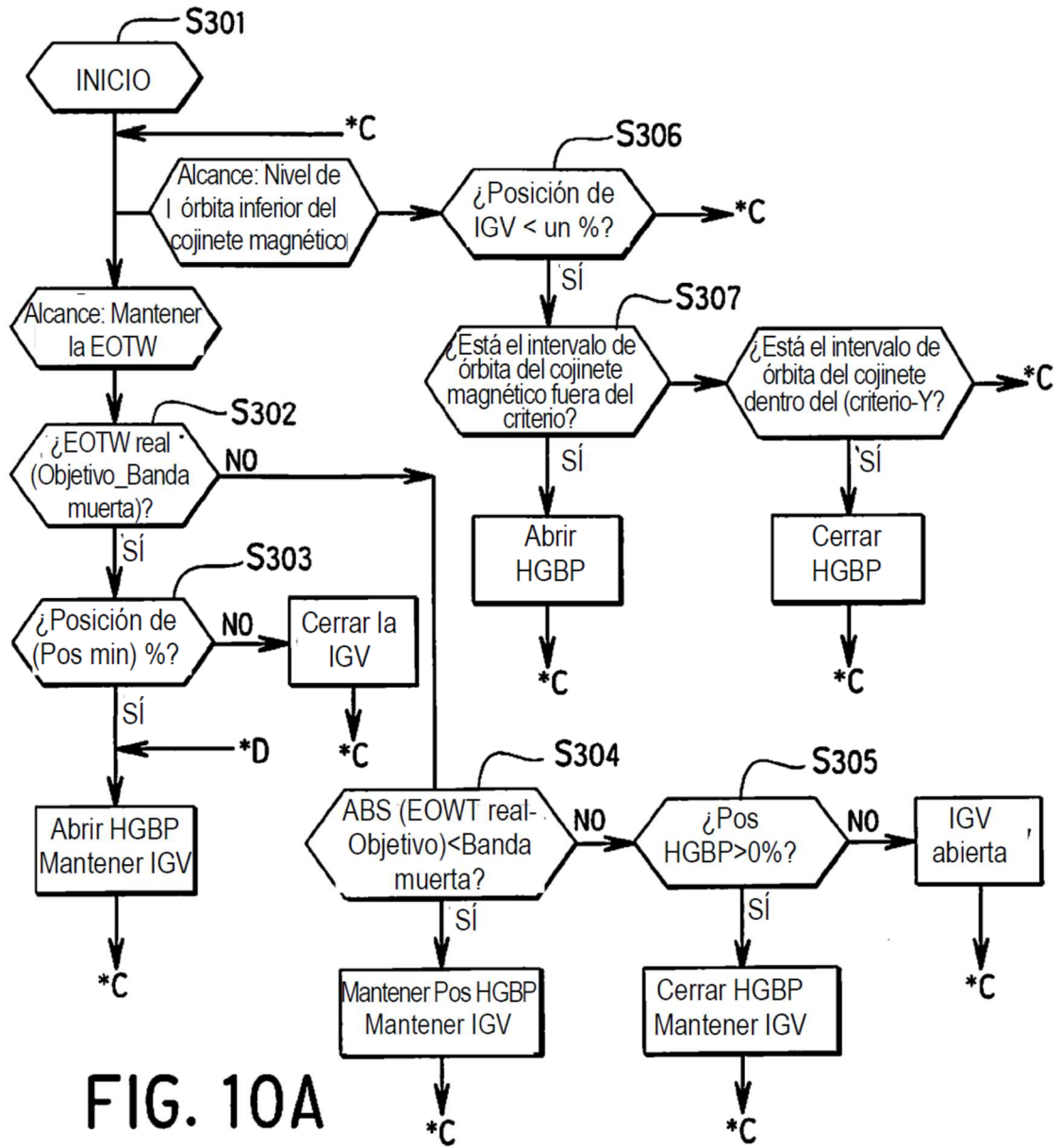


FIG. 10A

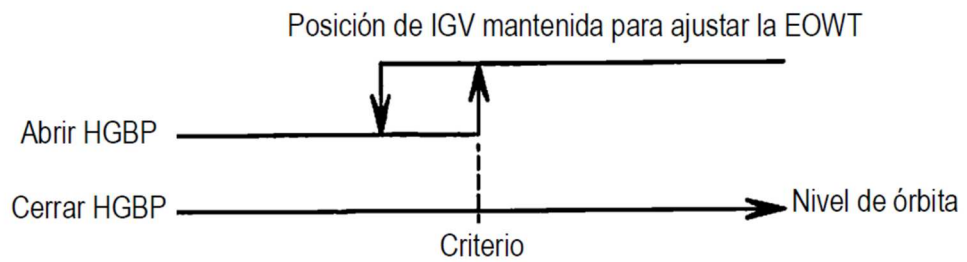


FIG. 10B

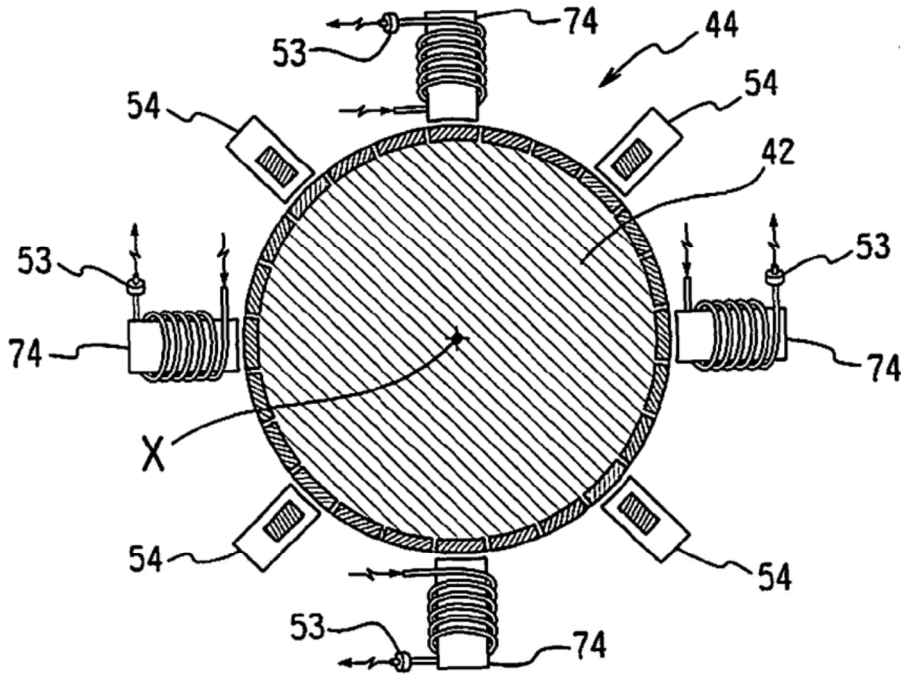


FIG. 11

Elevación (Diferencia de presión,  $\Delta p$ )

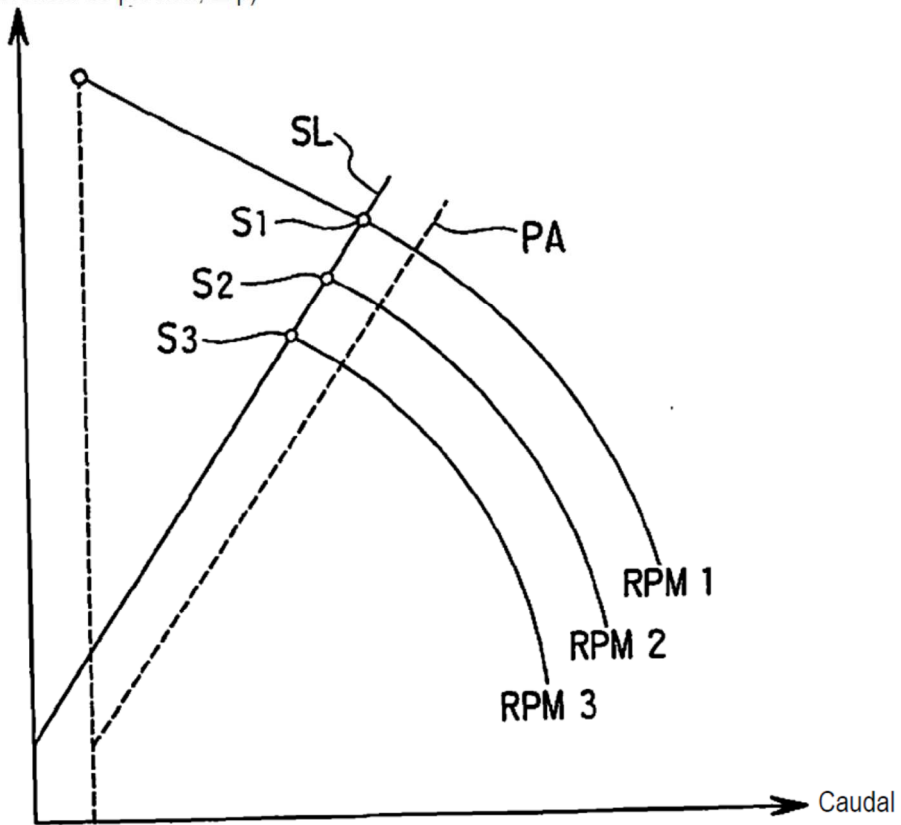


FIG. 12

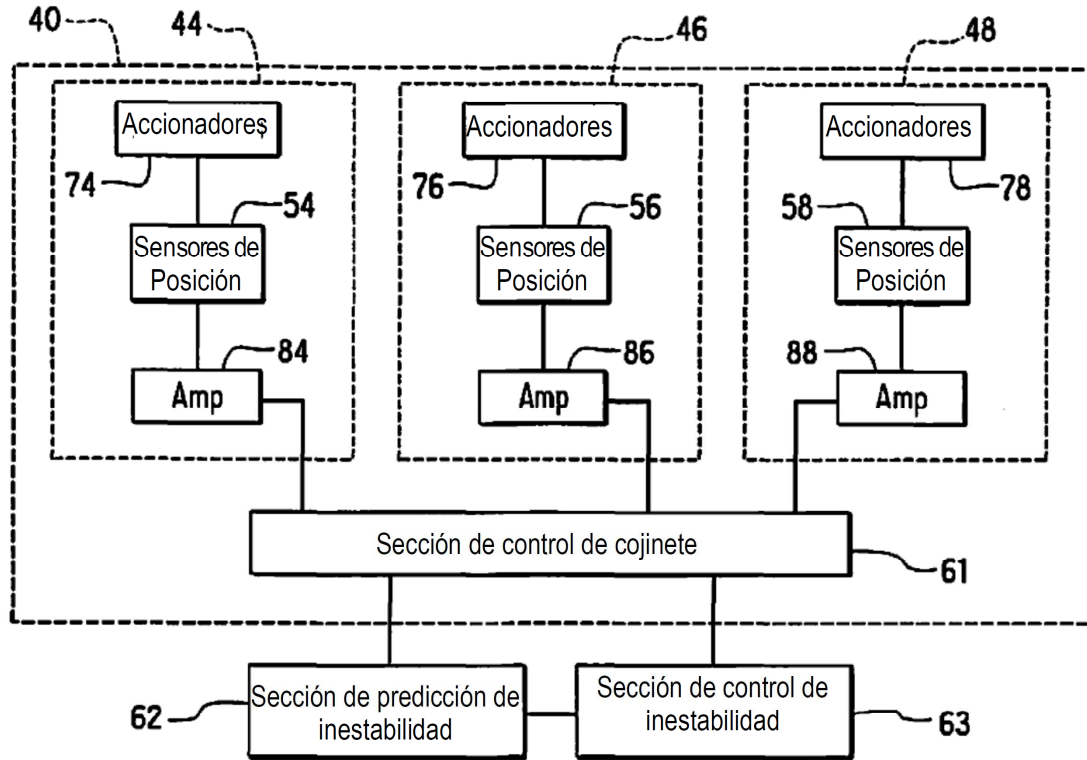


FIG. 13

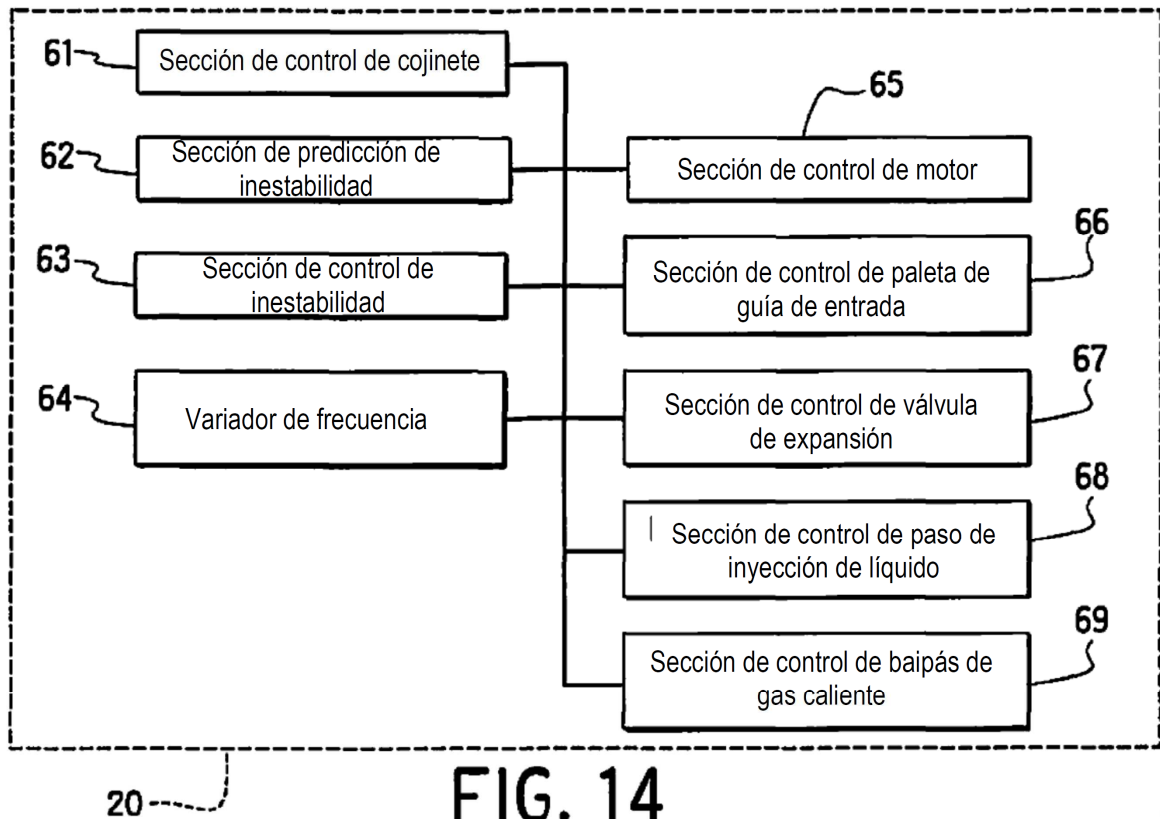


FIG. 14