

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 381 186**

51 Int. Cl.:

F25B 49/02

(2006.01)

F25B 41/04

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **04022920 .5**

96 Fecha de presentación: **09.09.1998**

97 Número de publicación de la solicitud: **1489368**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **22.12.2004**

54 Título: **Control adaptable para un sistema de refrigeración que usa un compresor de espiral de ciclo de trabajo modulado en anchura de pulso**

30 Prioridad:
29.09.1997 US 939779

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
23.05.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
23.05.2012

73 Titular/es:
**EMERSON CLIMATE TECHNOLOGIES, INC.
1675 W. CAMPBELL ROAD
SIDNEY, OH 45365-0669, US**

72 Inventor/es:
**Pham, Hung M.;
Singh, Abtar;
Caillat, Jean-Luc M. y
Bass, Mark**

74 Agente/Representante:
Pons Ariño, Ángel

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).

ES 2 381 186 T3

DESCRIPCIÓN

Control adaptable para un sistema de refrigeración que usa un compresor de espiral de ciclo de trabajo modulado en anchura de pulso.

La presente invención se refiere, en general, a sistemas de refrigeración. Más particularmente, la invención se refiere a un sistema de refrigeración que emplea un compresor modulado en anchura de pulso controlado por una señal con ciclo de trabajo variable obtenida a partir de un sensor de carga. Preferentemente, un controlador adaptable genera la señal de ciclo de trabajo variable. El compresor posee dos elementos mecánicos separados por un elemento de estanqueidad, y estos elementos mecánicos se pueden mover cíclicamente el uno con respecto al otro para crear una presión en el fluido. El compresor incluye un mecanismo para romper el elemento de estanqueidad como respuesta a la señal de control, y de esta manera modula la capacidad del sistema.

En los documentos US 4.494.383, US 4.843.834 y EP 0.747.597 se describen compresores en los que se puede alternar entre una capacidad baja y una alta.

El sistema de refrigeración puede presentarse como un sistema distribuido en vitrinas de refrigeración y similares. La configuración preferida permite disponer los subsistemas del compresor y el condensador en la vitrina de refrigeración, o montarlos en la misma, con lo que se reduce en gran medida la longitud de los conductos de refrigeración y el refrigerante necesario.

Convencionalmente, los sistemas de refrigeración para vitrinas de refrigeración de supermercados han utilizado condensadores refrigerados por aire o agua y alimentados por un sistema modular de compresores. Los compresores están conectados en paralelo, de manera que se puedan encender o apagar a modo de etapas para ajustar la capacidad de refrigeración del sistema a los requisitos de la carga. Por lo general, los condensadores están situados en el exterior, en el tejado o en una sala de máquinas contigua al espacio de venta en el que se encuentran las vitrinas de refrigeración.

Dentro de cada vitrina de refrigeración hay un evaporador alimentado por tuberías que parten desde los condensadores, a través de las cuales circula el refrigerante expandido para enfriar la vitrina. Convencionalmente, un sistema de control de lazo cerrado regula el flujo de refrigerante a través del evaporador para mantener la temperatura deseada en la vitrina. Para este fin, es frecuente el empleo de sistemas de control de lazo cerrado proporcional-integral-derivativo (PID), con sensores de temperatura o sensores de presión para proporcionar los datos de entrada de los estados detectados.

En los supermercados, se acostumbra a utilizar sistemas independientes para proporcionar diferentes intervalos individuales de temperatura de refrigeración: baja temperatura (para alimentos congelados, helado, nominalmente -32°C (-25°F)); intermedia (para productos cárnicos y lácteos, nominalmente -7°C (+20°F)); alta (para productos florales, nominalmente de 2°C a 4°C (+35 a +40°F)). Los sistemas independientes de temperatura baja, intermedia y alta están optimizados según sus respectivos intervalos de temperatura. Normalmente, cada uno de ellos empleará su propio sistema modular de compresores y su propio grupo de conductos de refrigeración de entrada y salida de los compresores y condensadores.

La configuración convencional, descrita anteriormente, es muy cara de construir y mantener. Gran parte del coste está relacionado con la longitud del recorrido de los conductos de refrigerante. Los conductos de largo recorrido no solo son caros en lo que respecta a los costes de material e instalación, sino que la cantidad de refrigerante necesario para rellenar los conductos también constituye un factor importante. Cuanto más largo sea el recorrido de los conductos, más refrigerante se necesitará. Al coste se le suman los factores ambientales. Con el tiempo, las juntas sufren fugas, que permiten que el refrigerante se escape hacia la atmósfera. De forma invariable, los conductos de largo recorrido implican más juntas de empalme de tuberías que, potencialmente, pueden sufrir fugas. Cuando se produce una fuga, cuanto mayor sea la longitud del recorrido del conducto, más refrigerante se perderá.

Actualmente existe un gran interés en los sistemas de refrigeración respetuosos con el medio ambiente. Se contempla el acortamiento del recorrido de los conductos como una forma de lograr un sistema más respetuoso con el medio ambiente. Para lograrlo, será necesario diseñar nuevas configuraciones de condensador/compresor y nuevos sistemas de control.

La tarea de rediseñar las configuraciones de condensador/compresor para sistemas más respetuosos con el medio ambiente no resulta sencilla, ya que no se debe sacrificar la eficiencia del sistema. Por lo general, el sistema de condensador montado en el tejado, alimentado por condensadores, se aprovecha de las economías de escala y resulta bastante eficiente. Estos sistemas sirven como modelo de referencia con el que habrá que comparar los sistemas del futuro más respetuosos con el medio ambiente.

Para comprender por qué el rediseño de un sistema respetuoso con el medio ambiente y al mismo tiempo eficiente ha resultado ser tan difícil, consideremos estos problemas termodinámicos. La típica vitrina de refrigeración funciona en un entorno muy poco predecible. Desde el punto de vista del diseño, la masa térmica que se enfría rara vez es

constante. Dentro del entorno del supermercado, la temperatura y la humedad pueden variar enormemente en diferentes momentos del día y a lo largo de las diferentes estaciones del año. La carga de productos (artículos en la vitrina de refrigeración) también puede cambiar de forma impredecible. Los clientes que retiran los productos y los empleados que reponen los productos rara vez se sincronizan. Fuera del entorno del supermercado, la temperatura y la humedad del aire también pueden variar de forma bastante notable entre el día y la noche o entre el verano y el invierno. La capacidad del sistema debe diseñarse para hacer frente a las condiciones más duras (cuando el entorno del condensador es más cálido). De este modo, los sistemas pueden experimentar un exceso de capacidad en condiciones menos duras, como por ejemplo en las noches frescas o durante el invierno.

La descongelación periódica también incorpora fluctuaciones térmicas en el sistema. A diferencia de las fluctuaciones térmicas debidas a las condiciones ambientales, las fluctuaciones térmicas inducidas por el ciclo de descongelación son provocadas por el propio sistema de control y no por su entorno.

De manera similar, el sistema de control para gestionar múltiples vitrinas de refrigeración puede inducir fluctuaciones térmicas que resultan muy difíciles de predecir. Si todas las vitrinas integradas en un sistema de vitrinas múltiples se encienden a la vez repentinamente -para cumplir con las respectivas demandas de refrigeración- la capacidad de refrigeración se debe aumentar rápidamente hasta alcanzar el máximo. De igual modo, si todas las vitrinas se apagan repentinamente, la capacidad de refrigeración se deberá reducir en consecuencia. Sin embargo, dado que las vitrinas de refrigeración individuales pueden funcionar de manera independiente, la demanda instantánea de capacidad de refrigeración tenderá a variar mucho y de forma impredecible.

Todos estos son problemas que han dificultado el diseño de sistemas respetuosos con el medio ambiente. A estas dificultades se añaden los problemas de ingeniería/ergonomía para los usuarios. El controlador PID de la actualidad puede ser difícil de adaptar para sistemas de refrigeración distribuida. Los expertos en ingeniería de control saben que un controlador PID bien ajustado puede requerir una cierta habilidad a la hora de seleccionar las constantes de control correctas usadas en el algoritmo PID. En un sistema de refrigeración de grandes dimensiones y con una arquitectura convencional (no distribuida), el tamaño del sistema justifica la visita a las instalaciones de un ingeniero de control (quizás en repetidas ocasiones) para llevar a cabo el calibrado fino de los parámetros constantes de control.

Puede que esto no resulte práctico para sistemas distribuidos en los que los componentes sean, individualmente, de una escala mucho más pequeña y mucho más numerosos. A modo de comparación, un sistema convencional podría emplear un controlador para un sistema completo de múltiples vitrinas para todo el establecimiento. Un sistema distribuido para el mismo establecimiento podría requerir un controlador para cada vitrina o grupo de vitrinas contiguas en el interior del establecimiento. Es necesario diseñar los sistemas distribuidos para minimizar la participación del usuario final. Por lo tanto, lo ideal sería que el controlador pudiera autoconfigurarse. En la actualidad, los sistemas de control carecen de esta capacidad.

La presente invención proporciona un sistema de refrigeración distribuida en el que el condensador está dispuesto sobre la vitrina de refrigeración y está alimentado por un compresor especial modulado en anchura del pulso, que también puede estar dispuesto en el interior de la vitrina. Si se desea, el condensador y el compresor se pueden conectar a un grupo de alimentación de vitrinas de refrigeración contiguas, cada una de ellas provista de su propio evaporador.

El compresor modulado en anchura de pulso puede emplear dos elementos mecánicos, tales como elementos en espiral, que se muevan de forma giratoria uno con respecto al otro para crear una presión en el fluido para bombear el refrigerante. El compresor puede incluir un mecanismo que romperá selectivamente el elemento de estanqueidad entre los dos elementos mecánicos, con lo cual se altera la presión del fluido creada por el compresor mientras se permite que los elementos mecánicos mantengan un movimiento sustancialmente constante de uno con respecto a otro. El compresor se puede modular en anchura de pulso mediante la creación y rotura del elemento de estanqueidad del fluido sin necesidad de arrancar y detener el motor eléctrico que impulsa los elementos mecánicos.

El compresor modulado en anchura de pulso está accionado por un sistema de control que suministra una señal de control de ciclo de trabajo variable basada en la carga medida del sistema. El controlador también puede regular la frecuencia (o el tiempo de ciclo) de la señal de control para minimizar las fluctuaciones de presión en el sistema de refrigeración. De este modo, el tiempo de funcionamiento es igual al ciclo de trabajo multiplicado por el tiempo de ciclo, donde el tiempo de ciclo es el inverso de la frecuencia.

El sistema de refrigeración de la invención posee varias ventajas. Debido a que la capacidad instantánea del sistema se regula fácilmente mediante el control del ciclo de trabajo variable, se puede usar un compresor sobredimensionado para lograr un descenso de temperatura más rápido en el arranque y tras la descongelación, sin provocar un ciclo corto tal como lo harían los sistemas de compresores convencionales. Otra ventaja del control de ciclo de trabajo variable consiste en que el sistema puede responder rápidamente a los cambios repentinos en el punto de consigna de la temperatura del condensador o de la temperatura de la caja. El controlador ajusta la capacidad en correspondencia a las perturbaciones sin producir oscilaciones inestables y sin que se produzca un sobrepulso considerable. Además, la facultad de hacer que la capacidad instantánea se corresponda con la demanda permite que el sistema funcione a

temperaturas más altas del evaporador. (Se evitan las caídas pronunciadas en la temperatura experimentadas por los sistemas convencionales a un exceso de capacidad).

5 El funcionamiento a temperaturas del evaporador más elevadas reduce la energía de descongelación necesaria debido a que el sistema acumula escarcha más lentamente a temperaturas más elevadas. Además, el tiempo transcurrido entre las descongelaciones se puede alargar en un porcentaje proporcional al tiempo de ejecución acumulado establecido por la propia señal de control del ciclo de trabajo variable. Por ejemplo, un ciclo de trabajo del sesenta por ciento aumentaría un tiempo estándar de tres horas entre las descongelaciones hasta cinco horas ($3/0,60=5$).

10 El funcionamiento modulado en anchura de pulso del sistema produce una mejora en el retorno de aceite. El flujo de refrigerante oscila entre alta capacidad y baja capacidad (por ejemplo, 100% y 0%), creando más turbulencia, que deshace la capa límite de aceite en los intercambiadores de calor.

15 Otra ventaja del sistema de control de ciclo de trabajo variable consiste en su capacidad para funcionar con diversos dispositivos de expansión, incluido el orificio simple, la válvula de expansión térmica (TXV) y la válvula de expansión electrónica. Una señal obtenida a partir del controlador del dispositivo de expansión se puede introducir en el controlador del compresor de la invención. Esta señal permite ajustar la señal de control del ciclo de trabajo variable y/o su frecuencia para que se correspondan con las condiciones de funcionamiento instantáneas del dispositivo de expansión. Se puede usar un planteamiento similar para poner en marcha ventiladores de velocidad variable en sistemas de condensadores refrigerados por aire. En tal caso, el controlador de la invención puede proporcionar una señal para controlar la velocidad de los ventiladores basada en el actual ciclo de trabajo del funcionamiento del compresor.

20 Otra ventaja más del sistema de control de ciclo de trabajo variable consiste en su capacidad para detectar el momento en el que el nivel de carga de refrigerante del sistema sea bajo, un asunto medioambiental de importancia. Un bajo nivel de carga de refrigerante puede indicar la presencia de fugas en el sistema. El bajo nivel de carga se detecta observando el cambio en el error entre la propia temperatura y la consigna de temperatura a medida que se modula el ciclo de trabajo del sistema. El sistema de control se puede configurar para detectar el momento en que la modulación en un ciclo de trabajo no surte el efecto deseado sobre el mantenimiento de la temperatura. Esto puede deberse a una pérdida en la carga de refrigerante, una válvula de expansión térmica atascada u otras averías.

30 Para comprender de forma más completa la invención, sus objetos y ventajas, consúltese la siguiente descripción y los dibujos adjuntos, en los que:

35 La figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema de una configuración de sistema de refrigeración de la técnica anterior;

La figura 2 es un diagrama de bloques de un sistema de refrigeración de acuerdo con la presente invención;

40 La figura 3 es una vista en sección de una forma de realización del compresor modulado en anchura de pulso, que se muestra en el estado cargado;

La figura 4 es una vista en sección del compresor de la figura 3, que se muestra en el estado descargado;

45 La figura 5 es otra forma de realización de un sistema de refrigeración o enfriamiento de acuerdo con la presente invención;

La figura 6 es un diagrama de bloques del controlador;

50 La figura 7 es un diagrama de bloques que muestra el modo en que se puede usar el controlador para modular un regulador de motor de velocidad gradual de un evaporador;

La figura 8 es un diagrama de bloques del módulo de condicionamiento de señales del controlador de la figura 6;

La figura 9 es un diagrama de bloques del módulo de control del controlador de la figura 6;

55 La figura 10 es un diagrama de estado que ilustra los estados de funcionamiento del controlador;

La figura 11 es un diagrama de flujo que ilustra el algoritmo de control PI preferido en la actualidad;

60 La figura 12 es un diagrama de forma de onda que ilustra la señal de ciclo de trabajo variable producida por el controlador, y que ilustra el funcionamiento a una frecuencia constante;

La figura 13 es un diagrama de forma de onda de la señal de ciclo de trabajo variable, que ilustra el funcionamiento a una frecuencia variable;

65 La figura 14 es una serie de gráficas que comparan la dinámica de la temperatura y presión del sistema que emplea la invención con la de un sistema de diseño convencional;

La figura 15 es un diagrama de bloques que ilustra el módulo de calibrado adaptable de la invención;

5 La figura 16a es un diagrama de flujo que ilustra el funcionamiento preferido en la actualidad del módulo de calibrado adaptable, específicamente con respecto a la decisión de si se debe comenzar el calibrado;

La figura 16b es un diagrama de flujo que ilustra el proceso preferido en la actualidad llevado a cabo por el módulo de calibrado adaptable en el modo de integración;

10 La figura 16c es un diagrama de flujo que ilustra el funcionamiento del módulo de calibrado adaptable en el modo de cálculo;

La figura 17 es un diagrama de estado que ilustra los estados de funcionamiento del módulo de calibrado adaptable;

15 La figura 18 es un diagrama de bloques que ilustra el bloque de lógica difusa del lazo de calibrado adaptable;

La figura 19 es un diagrama de función de pertenencia para el bloque de lógica difusa de la figura 18;

20 La figura 20 es una tabla de verdad relativa a la función de pertenencia de la figura 19 que usa el bloque de lógica difusa de la figura 18;

La figura 21 es un diagrama de función de pertenencia de salida para el bloque de lógica difusa de la figura 18; y

25 La figura 22 es un esquema que ilustra las posiciones ejemplares de los sensores para las funciones relativas al control y relativas al diagnóstico de la presente invención.

La figura 1 ilustra el modo en que está configurado un sistema de refrigeración convencional para supermercados. Tal como se ha explicado anteriormente, de forma convencional se acostumbra a situar los compresores (30) y el condensador (32) en una posición alejada de las cajas de refrigeración (34). En esta ilustración, los compresores (30) están configurados en un banco paralelo situado en tejado (36) del edificio. El banco de compresores alimenta a un gran condensador (32), que puede estar refrigerado con aire o con agua. El condensador suministra líquido refrigerante a un receptor (38). El receptor (38), a su vez, alimenta a las cajas de refrigeración individuales, que están conectadas en paralelo, tal como se ilustra. En la mayoría de las aplicaciones, se usa una válvula de solenoide de tubería de líquido (40) para regular el flujo que llega hasta el evaporador asociado (42). El refrigerante se suministra al evaporador a través de un dispositivo de expansión adecuado, tal como una válvula de expansión (44). La válvula de expansión (44) proporciona un orificio restringido que hace que el líquido refrigerante se atomice y forme minúsculas gotas de líquido que son introducidas en el lado de entrada del evaporador (42). El evaporador (42), situado en el interior de la caja de refrigeración (34), extrae el calor de la caja y de su contenido mediante la vaporización de las gotitas de líquido refrigerante hasta convertirlo en un gas. Los compresores (30) extraen este gas mediante aspiración y lo comprimen hasta que vuelva a alcanzar el estado líquido. El líquido refrigerante se enfría después en el condensador (32) y se devuelve al receptor (38), tras lo cual continúa el ciclo.

Para hacer que la capacidad se corresponda con la carga, los compresores (30) se pueden encender y apagar de forma individual o por grupos, según sea necesario. En una configuración típica de supermercado pueden existir varios sistemas independientes, cada uno configurado tal como se muestra en la figura 1, para gestionar los diferentes intervalos de temperatura de funcionamiento. Obsérvese que es posible que la tubería de líquido (46) y la tubería de aspiración (48) tengan que ser, cada una de ellas, bastante largas (por ejemplo, hasta unos 45 metros (150 pies) para abarcar la distancia entre la caja de refrigeración y el tejado.

50 La figura 2 muestra una caja de refrigeración (34) configurada de acuerdo con los principios de la presente invención. El condensador (32) y el compresor (30) están ambos dispuestos en el interior de la caja (34) o conectados a la misma. El evaporador (42) y la válvula de expansión asociada (44) están asimismo dispuestos en el interior de la caja. El condensador (32) está provisto de un mecanismo de eliminación de calor (50) mediante el cual se transfiere el calor al ambiente. El mecanismo de eliminación de calor puede consistir en una camisa de agua conectada a un sistema de tuberías adecuadas para transportar el calor residual a una torre de enfriamiento de agua situada en el tejado del edificio. Otra posibilidad consiste en que el mecanismo de eliminación de calor sea un sistema de enfriamiento por aire forzado o un sistema de enfriamiento por aire de convección pasiva.

60 El sistema de refrigeración de la invención emplea un controlador de compresor (52) que suministra una señal de control modulada en anchura de pulso en la tubería (54) a una válvula de solenoide (56) en el compresor (30). El controlador del compresor ajusta la anchura del pulso de la señal de control usando un algoritmo descrito más adelante. Un sensor de temperatura (58) suministra la señal de entrada usada por el controlador para determinar la anchura del pulso.

65 Las figuras 3 y 4 muestran los detalles del compresor (30). La figura 3 muestra el compresor en su estado cargado y la figura 4 muestra el compresor en su estado descargado. La válvula de solenoide (56) alterna el compresor entre estos dos estados, mientras que el motor del compresor permanece activado. Una ventaja importante de esta configuración

consiste en que el compresor se puede modular en la anchura del pulso de forma muy rápida, entre los estados cargado y descargado sin interrumpir la energía suministrada al motor del compresor. Este ciclo modulado en la anchura del pulso ejerce un menor desgaste en el compresor, debido a que el motor no se ve sometido a cambios repentinos en el momento angular.

En referencia a las figuras 3 y 4, se muestra un compresor (30) ejemplar. El compresor (30) se puede usar dentro de un compresor de espiral hermético, generalmente del tipo que se describe en la patente de EE.UU. n.º 5.102.316 del titular.

El compresor (30) del ejemplo incluye una carcasa externa (61) y un elemento en espiral de movimiento orbital (64) sostenido sobre un alojamiento de cojinete superior (63) y conectado al cigüeñal (62), de forma que transmita el pulso, a través de la muñequilla (65) y el casquillo de transmisión (60). Hay un segundo elemento en espiral sin movimiento orbital (67) colocado en una posición de engrane con el elemento en espiral (64) y fijado al alojamiento de cojinete superior (63) de forma que se pueda mover axialmente. Se proporciona una placa separadora (69) contigua al extremo superior de la carcasa (61) y que sirve para definir una cámara de descarga (70) en su extremo superior.

Durante el funcionamiento, a medida que el elemento en espiral de movimiento orbital (64) orbita con respecto al elemento en espiral (67), el gas de aspiración se introduce en la carcasa (61) a través de la entrada de aspiración (71) y, desde allí, pasa al compresor (30) a través de la entrada (72) proporcionada en el elemento en espiral sin movimiento orbital (67). Los arrollamientos de engrane provistos en los elementos en espiral (64) y (67) definen unas bolsas de fluido en movimiento que disminuyen progresivamente de tamaño y se mueven radialmente hacia dentro a consecuencia del movimiento orbital del elemento en espiral (64), comprimiendo así el gas de aspiración que entra a través de la entrada (72). El gas comprimido se descarga después en la cámara de descarga (70) a través del orificio de descarga (73) proporcionado en el elemento en espiral (67) y el conducto (74).

Para descargar el compresor (30), se accionará una válvula de solenoide (56) como respuesta a una señal procedente del módulo de control (87) para interrumpir la comunicación de fluidos para aumentar la presión en el interior de la cámara (77) hasta alcanzar la del gas de descarga. La fuerza de desvío resultante de esta presión de descarga superará la fuerza de desvío del elemento de estanqueidad, lo que provoca que el elemento en espiral (67) se mueva axialmente hacia arriba alejándose del elemento en espiral con movimiento orbital (64). Este movimiento axial dará lugar a la creación de una línea de fuga entre las puntas respectivas de los arrollamientos y las placas terminales de los elementos en espiral (64) y (67), con lo que se elimina sustancialmente la compresión continuada del gas de aspiración. Una tubería flexible de fluido (91) se extiende desde el extremo exterior del conducto (90) hasta un empalme (92) que se extiende a través de la carcasa (61) con una segunda tubería (93) que conecta el empalme (92) con la válvula de solenoide (56). La válvula de solenoide (56) posee unas tuberías de fluido (82) y (84) conectadas a la tubería de aspiración (83) y la tubería de descarga (85) y está controlada por el módulo de control (87) como respuesta a las condiciones detectadas por el sensor (88) para efectuar el movimiento del elemento en espiral sin movimiento orbital (67) entre las posiciones que se muestran en las figuras 3 y 4.

Cuando se deba retomar la compresión del gas de aspiración, la válvula de solenoide (56) se accionará de forma que mueva el elemento en espiral (67) hasta que se engrane de forma estanca con el elemento en espiral (64).

La forma de realización de la caja de refrigeración de la figura 2 puede estar integrada como una unidad autónoma. Aunque esa puede ser una configuración ideal para muchas aplicaciones, la invención no se limita a configuraciones de caja de refrigeración autónomas. Más bien, la invención se presta a diversos sistemas de refrigeración distribuida diferentes. La figura 5 muestra un ejemplo de este tipo de sistemas distribuidos.

En referencia a la figura 5, un único compresor (30) y condensador (32) pueden dar servicio a varias cajas de refrigeración distribuida o varias unidades de enfriamiento distribuido en un sistema de calentamiento y enfriamiento (HVAC). En la figura 5, las cajas de refrigeración o los alojamientos del sistema de enfriamiento se muestran como cajas con líneas discontinuas, indicadas como (34a) (34b) y (34c). Convenientemente, el compresor (30) y el condensador (32) pueden estar dispuestos en el interior de una de las cajas o alojamientos de refrigeración, como por ejemplo la caja o alojamiento de refrigeración (34a), o conectados a uno de ellos.

Cada caja o alojamiento de refrigeración posee su propio evaporador y válvula de expansión asociados, tal como se ilustra en (42) (a, b, c) y (44) (a, b, c). Además, cada caja o alojamiento de refrigeración puede tener su propio sensor de temperatura (58) (a, b, c) que suministre información de entrada al controlador del compresor (52). Por último, un sensor de presión (60) monitoriza la presión de la tubería de aspiración (48) y suministra esta información al controlador del compresor (52). El controlador del compresor suministra una señal de ciclo de trabajo variable a la válvula de solenoide (56), tal como se describe anteriormente.

La forma de realización de caja múltiple o unidad múltiple de enfriamiento de la figura 5 muestra el modo en que se puede modular un único compresor en anchura de pulso mediante el controlador del compresor (52) para suministrar la demanda instantánea de enfriamiento. Los sensores de temperatura (58) (a, b, c) proporcionan colectivamente una indicación de la carga presente en el sistema, al igual que lo hace el sensor de presión (60). El controlador ajusta la anchura de pulso de la señal de control para modular el compresor entre sus estados de alta capacidad y baja capacidad (100%, 0%) para cumplir con la demanda instantánea de refrigerante.

El controlador (52) no está limitado únicamente a aplicaciones de control de compresores. La señal de control de ciclo de trabajo variable se puede usar también para controlar otros tipos de dispositivos de control del flujo y la presión del refrigerante, tales como válvulas reguladoras de refrigerante. La figura 7 muestra dicha aplicación, en la que la salida del controlador (52) suministra señales de control al regulador del motor de velocidad gradual del evaporador (43). Este dispositivo es un regulador de presión del fluido que se ajusta mediante el motor de velocidad gradual (45). La válvula reguladora del motor de velocidad gradual del evaporador (ESR) (43) ajusta la presión de aspiración para ajustar de ese modo la capacidad del sistema.

En la figura 6 se ilustra un diagrama de bloques del controlador del compresor preferido en la actualidad. En la siguiente tabla I se resume una descripción de las diversas señales y valores de datos que se muestran en esta y sucesivas figuras.

N.º	Nombre de la variable	Valor predeterminado	Descripción
1	Condicionamiento de señal: - Alarma del sensor - Modo del sensor - Tiempo de muestreo (Ts) - Tipo de control	- Falso - Min. - 0,5 sec - Tipo T/P	- Indica que la lectura del sensor no se encuentra dentro del intervalo esperado - Configuración de usuario para indicar si se realiza la Mín/Máx/Med para todos los sensores de temperatura - Velocidad a la que se ejecuta el bloque de condicionamiento de la señal - Si se controla únicamente mediante la temperatura o mediante la temperatura y la presión.
2	Bloque de control: - Alarma del sensor - Alarma del sistema - SSL - Estado de descongelación - Tiempo de Descenso - Ganancia (K) - Tiempo integral (Ti) - Tiempo de control (Tc) - Consigna de control (St) - Estado de funcionamiento	- Falso - Falso - 0 - Falso - 0 - 7 - 100 - 10 sec - 0 F - 1	- Igual que la anterior - Generada por el bloque adaptable, e indica algún problema del sistema - % de carga en el estado de régimen - Si el sistema está descongelándose - Tiempo necesario para descenso tras la descongelación - Ganancia usada en el algoritmo PI - Usado en PI - Usado en PI - Usada en PI - En qué estado está funcionando la máquina
3	Control de descongelación: - Estado de descongelación - Tipo de descongelación - Intervalo de descongelación - Duración de la descongelación - Temp. de terminación de descongelación	- Falso - Externa - 8 h - 1 h - 50F	- Si el estado de descongelación de la caja - Si la descongelación la determina un temporizador externo o un reloj interno del controlador - Tiempo entre descongelaciones - Duración de la descongelación - Temperatura de terminación para la descongelación

En el núcleo del controlador se encuentra el módulo del bloque de control (102). Este módulo es el responsable de suministrar la señal de control de ciclo de trabajo variable al cable (104). El módulo (102) también suministra la señal de encendido/apagado (ON/OFF) en el cable (106) y una señal de instrucción de estado de funcionamiento en el cable (108). La señal de ON/OFF del compresor acciona los contactos que suministran la corriente de funcionamiento al motor del compresor. La señal de estado de funcionamiento indica en qué estado se encuentra actualmente la máquina (fig. 10).

El módulo del bloque de control recibe entradas procedentes de varias fuentes, incluidas lecturas de temperatura y presión procedentes de los sensores de temperatura y presión descritos anteriormente. Estas lecturas de temperatura pasan a través del módulo de condicionamiento de señales (110), cuyos detalles se muestran en el apéndice de pseudocódigos. El módulo del bloque de control también recibe una señal de estado de descongelación procedente del módulo de control de descongelación (112). El módulo de control de descongelación (112) contiene la lógica adecuada para determinar cuándo se lleva a cabo la descongelación. La presente forma de realización permite controlar la descongelación mediante una señal lógica externa (suministrada a través del cable (114)) o bien mediante una señal de lógica interna generada por el propio módulo de control de descongelación. El usuario puede escoger entre usar una lógica de control de descongelación externa o interna a través de la entrada de usuario (116). El control de

descongelación interno usa parámetros proporcionados por el usuario a través de la entrada de usuario (118).

El controlador del compresor preferido en una forma es autoconfigurable. El controlador incluye un módulo de calibrado adaptable opcional (120) que ajusta automáticamente los parámetros del algoritmo de control (la constante proporcional K) basándose en las condiciones de funcionamiento del sistema. El módulo de calibrado adaptable detecta el porcentaje de carga (en el cable (104)) y el estado de funcionamiento (en el cable (108)) así como la temperatura medida tras el condicionamiento de la señal (en el cable (122)). El módulo (120) suministra los parámetros de calibrado adaptable al bloque de control (102), tal como se ilustra. La presente forma de realización suministra una constante proporcional K en el cable (124)) y el parámetro SSL en el cable (126), indicativo del porcentaje de carga del estado de régimen. Una señal de alarma del sistema en el cable (126) alerta al módulo del bloque de control cuando el sistema no esté respondiendo del modo esperado a los cambios en los parámetros calibrados de forma adaptable. De este modo, la alarma indica cuándo existe una avería o pérdida de carga de refrigerante. La alarma puede activar rutinas de diagnóstico sofisticadas, si así se desea. El controlador del compresor proporciona varios puntos de interfaz de usuario a través de los cuales se introducen los ajustes suministrados por el usuario. La entrada del tipo de descongelación (interna/externa) (116) y los parámetros de descongelación interna en la entrada (118) ya se han explicado. Una entrada de usuario (128) permite al usuario especificar el punto de consigna de temperatura al módulo de calibrado adaptable (120). La misma información se suministra en la entrada de usuario (130) al módulo del bloque de control (102). El usuario también puede interactuar directamente con el módulo del bloque de control de diversas maneras. La entrada de usuario (132) permite al usuario encender y apagar el compresor durante el modo de descongelación. La entrada de usuario (134) permite al usuario especificar los parámetros iniciales del controlador, incluida la constante proporcional K. La constante proporcional K se puede modificar a continuación mediante el módulo de calibrado adaptable (120). La entrada de usuario (136) permite al usuario especificar el diferencial de presión (dP) que el sistema usa como consigna.

Además de estas entradas de usuario, se proporcionan varias entradas de usuario para interactuar con el módulo de condicionamiento de señales (110). La entrada de usuario (138) selecciona el modo funcionamiento del sensor para el módulo de condicionamiento de señales. Esto se describirá con más detalle más adelante. La entrada de usuario (140) permite al usuario especificar el tiempo de muestreo usado por el módulo de condicionamiento de señales. La entrada de usuario (142) permite al usuario especificar si el controlador funcionará usando únicamente los sensores de temperatura (T) o los sensores de temperatura y de presión (T/P).

Haciendo referencia ahora a la figura 8, se muestra detalladamente el módulo de condicionamiento de señales. Las entradas (sensores de temperatura y/o presión) se muestran esquemáticamente en (144). Estas entradas se procesan a través de un convertidor de analógico a digital (146) y después se suministran al selector del tipo de control (148). Las lecturas de temperatura procedentes de los sensores de temperatura y/o presión se toman secuencialmente y se suministran en serie a través del convertidor de analógico a digital. El selector del tipo de control codifica o almacena los datos de manera que los valores de temperatura y presión se interpreten correctamente.

Después se aplica un filtrado digital a la señal en (150) para eliminar fluctuaciones y ruidos parásitos. A continuación, los datos se comprueban en el módulo (152) para garantizar que todas las lecturas estén dentro de límites esperados para el intervalo del sensor. Esto se puede realizar convirtiendo los datos de conteo digital en los valores correspondientes de temperatura o presión y comprobando estos valores comparándolos con los límites del intervalo del sensor prealmacenados. Si las lecturas no están dentro del intervalo del sensor, se genera una señal de alarma para la salida en la salida (154).

A continuación, se lleva a cabo una manipulación de datos en (156) para suministrar los datos de temperatura y/o presión en la forma seleccionada por la entrada de usuario (138) del modo del sensor. La presente forma de realización calculará selectivamente la media de los datos o determinará el mínimo o el máximo de los datos (Mín/Máx/Med). El modo Mín/Máx/Med se puede usar para calcular la oscilación en el diferencial de presión, o un valor de temperatura condicionado. El modo de media se puede usar para suministrar un valor de temperatura condicionado. Estos se muestran como las salidas (158) y (160) respectivamente.

La figura 9 muestra el módulo del bloque de control con mayor detalle. La señal condicionada de temperatura o presión se introduce en el módulo de cálculo (162) que calcula el error entre la propia temperatura o presión y el punto de consigna de temperatura o presión. El módulo (162) también calcula la velocidad de cambio en esos valores.

El módulo del bloque de control está diseñado para actualizar el estado de funcionamiento del sistema de forma periódica (cada T_c segundos, nominalmente una vez por segundo). El módulo de estado de funcionamiento de búsqueda (164) lleva a cabo esta función de actualización. El diagrama de estado de la figura 10 proporciona los detalles sobre el modo de llevarlo a cabo. Básicamente, el estado de funcionamiento avanza, de un estado a otro, basándose en si hay alguna alarma de sensor (SA) presente, si hay alguna señal de estado de descongelación (DS) presente y cuál es el valor calculado del error. El módulo de estado de funcionamiento de búsqueda (164) suministra el parámetro de estado de funcionamiento y el parámetro de tiempo de descenso al módulo de lógica de decisiones (166).

En referencia a la figura 10, el módulo de estado de funcionamiento de búsqueda (164) avanza de un estado a otro de la siguiente manera. Comenzando en el estado inicial (168), el módulo avanza hasta el estado de funcionamiento normal (170) tras la inicialización. Permanece en ese estado hasta que se cumplen ciertas condiciones. La figura 10 muestra

mediante flechas de etiquetas qué condiciones son necesarias para efectuar el ciclo desde el estado de funcionamiento normal (170) al estado de descongelación (172); al estado de descenso (174); al estado de descenso de alarma del sensor (176); al estado de funcionamiento de la alarma del sensor (178) y al estado de descongelación de alarma del sensor (180).

El módulo de lógica de decisiones (166) (figura 9) determina el ciclo de trabajo de la señal de ciclo de trabajo variable. Sale por el cable (182), indicado como % de carga. El módulo de lógica de decisiones también genera la señal ON/OFF del compresor en el cable (184). La propia lógica de decisiones se describirá a continuación en relación con la figura 11. El módulo de lógica de decisiones es una forma de control proporcional integral (PI) que está basada en el tiempo de ciclo calculado de forma adaptable T_{cyc} . Este tiempo de ciclo se calcula mediante el módulo de cálculo (186) basándose en un valor de error calculado generado por el módulo (188). Volviendo a hacer referencia a la figura 6, la señal condicionada de diferencial de presión en el cable (122) (dP cond.) se suministra al módulo de cálculo de error (188) (figura 9) junto con el valor de consigna de diferencial de presión que se suministra a través de la entrada de usuario (136) (figura 6). La diferencia entre los diferenciales de presión reales y los del punto de consigna se calcula mediante el módulo (188) y se introducen en el módulo de cálculo (186). El tiempo de ciclo adaptable T_{cyc} es una función del error del diferencial de presión y el estado de funcionamiento que determina el módulo de estado de funcionamiento de búsqueda (164) de acuerdo con el siguiente cálculo:

$$T_{cyc(new)} = T_{cyc(old)} + K_c * \text{Error} \dots\dots\dots (1)$$

en el que:
Kc: constante proporcional; y
Error: (real – consigna) oscilación de presión de aspiración.

El algoritmo de control PI preferido actualmente y aplicado por el módulo de lógica de decisiones (166) se ilustra en la figura 11. La rutina comienza en la etapa (200) con la lectura de los parámetros suministrados por el usuario K , T_i , T_c y S_i . Véase la figura 6 para encontrar una descripción de estos valores suministrados por el usuario. Se calcula la constante K_p como igual al valor suministrado inicialmente K ; y la constante K_i se calcula como el producto de la constante suministrada inicialmente K y la proporción T_c/T_i .

A continuación, en la etapa (202), se toma la decisión de si el valor absoluto del error entre el punto de consigna de temperatura y la temperatura condicionada (en el cable (190), figura 9) es mayor que el 5% de F . Si lo es, se establece una constante K_p en un valor igual a cero en la etapa (204). Si no, la rutina simplemente continúa hasta la etapa (206), en la que se calcula un nuevo valor porcentual de carga, tal como describe la ecuación en la etapa (206) de la figura 11. Si el porcentaje de carga es mayor que 100 (etapa (208)), se establece un porcentaje de carga igual a 100% en la etapa (210). Si el porcentaje de carga no es superior al 100% sino que es menos que 0% (etapa (212)) se establece un porcentaje de carga igual al 0% en la etapa (214). Si el porcentaje de carga está entre los límites del 0% y el 100%, se establece un porcentaje de carga igual al nuevo porcentaje de carga en la etapa (216).

La señal de control de ciclo de trabajo variable generada por el controlador puede adoptar varias formas. Las figuras 12 y 13 dan dos ejemplos. La figura 12 muestra la señal de ciclo de trabajo variable en la que el ciclo de trabajo varía, pero la frecuencia permanece constante. En la figura 12, obsérvese que los tiempos de ciclo, indicados por marcas (220), están espaciados de manera uniforme. En comparación, la figura 13 ilustra la señal de ciclo de trabajo variable en la que la frecuencia también varía. Obsérvese que en la figura 13 las marcas (220) no están espaciadas de manera uniforme. Más bien, la forma de onda presenta regiones de frecuencia constante, regiones de frecuencia creciente y regiones de frecuencia decreciente. La frecuencia variable ilustrada en la figura 13 es el resultado de la modulación adaptable del tiempo de ciclo T_{cyc} .

La figura 14 muestra gráficamente las ventajas que posee el sistema de control de la invención en el mantenimiento de un control más estricto de la temperatura y una mayor presión de aspiración con una eficiencia mejorada del sistema. Obsérvese cómo la curva de temperatura (222) de la invención presenta una fluctuación considerablemente menor que la correspondiente curva de temperatura (224) de un controlador convencional. Igualmente, obsérvese que la curva de presión (226) de la invención posee una línea de base muy por encima de la de la curva de presiones (228) del controlador convencional. Además, la fluctuación de pico a pico en la presión que presenta la invención (curva (226)) es mucho más pequeña que la del controlador convencional (curva (228)).

El controlador de la invención funciona a una velocidad que es al menos cuatro veces más rápida (normalmente del orden de al menos ocho veces más rápida) que la constante temporal térmica de la carga. En la forma de realización preferida actualmente, el tiempo de ciclo de la señal de ciclo de trabajo variable es aproximadamente ocho veces más corto que la constante temporal de la carga. A modo de ejemplo, el tiempo de ciclo de la señal de ciclo de trabajo variable puede ser del orden de 10 a 15 segundos, mientras que la constante temporal del sistema que se está enfriando puede ser del orden de 1 a 3 minutos. La constante temporal térmica de un sistema que se esté enfriando está determinada generalmente por las propiedades físicas y termodinámicas del sistema. Aunque se pueden usar diversos modelos para describir la respuesta física o termodinámica de un sistema de calentamiento o de enfriamiento, el siguiente análisis demostrará el principio.

Modelado de la constante de tiempo térmica del sistema que se está enfriando

Es posible modelar el cambio de temperatura a lo largo del serpentín del evaporador de un sistema de refrigeración o bomba de calor como un sistema de primer orden, en el que el cambio de temperatura se puede modelar de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\Delta T = \Delta T_{ss} [1 - \exp(-t/\gamma)] + \Delta T_0 \exp(-t/\gamma).$$

En la que:

ΔT = cambio de temperatura del aire a lo largo del serpentín
 ΔT_{ss} = cambio de temperatura del aire a lo largo del serpentín en el estado de régimen
 ΔT_0 = cambio de temperatura del aire a lo largo del serpentín en el instante cero
 t = tiempo
 γ = constante temporal del serpentín.

La capacidad transitoria de la unidad se puede obtener multiplicando la anterior ecuación por la velocidad de flujo de la masa de aire (m) y el calor específico a presión constante (C_p) e integrando con respecto al tiempo.

Por lo general, la salida de refrigerante del evaporador es la que controla el tiempo necesario para alcanzar el estado de funcionamiento del estado de régimen, y de este modo, el cambio de temperatura en el estado de régimen a lo largo del serpentín del condensador. Si se desea, el sistema se puede modelar usando dos constantes temporales, una basada en la masa del serpentín y otra basada en el tiempo necesario para llevar el exceso de refrigerante desde el evaporador hacia el resto del sistema. Además, también puede ser deseable tener en cuenta, como otro retardo temporal, la gran distancia física entre los serpentines del evaporador y del condensador en algunos sistemas.

La respuesta térmica del serpentín del evaporador se puede modelar mediante la siguiente ecuación:

$$\theta = \frac{1}{2} [(1 - e^{-\gamma_1 t}) + (1 - e^{-\gamma_2 t})]$$

En la que:

θ = cambio de temperatura a lo largo el serpentín/cambio de temperatura en el estado de régimen a lo largo del serpentín
 t = tiempo
 γ_1 = constante temporal basada en la masa del serpentín
 γ_2 = constante temporal basada en el tiempo necesario para eliminar el exceso de refrigerante del evaporador

En la práctica, el controlador de la invención efectúa ciclos a una velocidad considerablemente mayor que los controladores convencionales. Esto se debe a que el controlador convencional efectúa ciclos de encendido y apagado como respuesta directa a la comparación de temperaturas (o presiones) reales y de consigna. Dicho de otro modo, el controlador convencional efectúa un ciclo de encendido cuando existe demanda de enfriamiento, y un ciclo de apagado cuando el error entre la temperatura real y la del punto de consigna está por debajo de un límite predeterminado. De este modo, el ciclo encendido-apagado del controlador convencional depende en gran medida de la constante temporal del sistema que se está enfriando.

Por contraste, el controlador de la invención efectúa ciclos de encendido y apagado a una velocidad determinada por los valores calculados que no están vinculados directamente con la relación instantánea entre las temperaturas o presiones reales y las de consigna. Más bien, el tiempo de ciclo lo determinan la velocidad del ciclo y el ciclo de trabajo del ciclo de trabajo variable suministrado por el controlador. De forma notable, el punto en el que el controlador efectúa el ciclo de encendido a apagado en cada ciclo no es necesariamente el punto en el que se haya satisfecho la demanda de enfriamiento, sino más bien el punto determinado por el ciclo de trabajo necesario para satisfacer la demanda.

Calibrado adaptable

El controlador Geneva descrito anteriormente puede estar configurado para llevar a cabo un algoritmo de control clásico, tal como un algoritmo de control proporcional-integral-derivativo (PID) convencional. En la configuración convencional, el usuario normalmente tendría que ajustar los parámetros de control por medio de una programación adecuada. El controlador también puede ser de tipo adaptable, descrito en la presente memoria descriptiva, para eliminar la necesidad de que el usuario determine y programe los parámetros de control correctos.

De este modo, una ventaja importante del controlador adaptable consiste en su capacidad para llevar a cabo un calibrado adaptable. En general, el calibrado requiere seleccionar los parámetros de control apropiados para que el sistema de bucle sea estable a lo largo de un amplio intervalo de condiciones de funcionamiento, reaccione rápidamente para reducir el efecto de la perturbación sobre el bucle de control y no provoque un desgaste excesivo de los componentes mecánicos por los ciclos continuos. A menudo estos criterios son mutuamente excluyentes, y por lo general se debe alcanzar un compromiso. En la figura 18 (y también en la figura 6) hay dos tipos de bucles básicos: el bucle de control de refrigeración y el bucle de calibrado adaptable. El bucle de control de refrigeración lo administra el módulo del bloque de control (102); el bucle adaptable lo administra el módulo de calibrado adaptable (120). En las

figuras 15, 16a a 16c y 17 se muestran detalles del módulo de calibrado adaptable (120). El módulo de calibrado adaptable preferido actualmente usa un algoritmo de control de lógica difusa que se describirá en relación con las figuras 18 a 20.

5 En referencia a la figura 15, el módulo de calibre adaptable realiza básicamente tres funciones. En primer lugar, decide si llevar a cabo el calibrado adaptable. De esto se encarga el módulo (240). En segundo lugar, recoge los parámetros necesarios para llevar a cabo el calibrado adaptable. De esto se encarga el módulo (242). En tercer lugar, calcula la ganancia adaptable usada por el bucle de control. De esto se encarga el módulo (244).

10 El módulo (240) basa la decisión de comenzar o no el calibrado basándose en dos factores: el actual estado de funcionamiento del sistema y el punto de consigna de control. El diagrama de flujo de la figura 16a muestra las etapas requeridas para esta decisión. El módulo (242) integra parámetros clave necesarios para los cálculos realizados por el módulo (244). Básicamente, el módulo (242) introduce el porcentaje de carga, los valores de temperatura y presión y el punto de consigna de temperatura. Genera la salida de los siguientes datos: S_ER (el número total de puntos de datos de temperatura y presión que se encuentran entre 0,3°C (0,5 grados F) o 6,9 KPa (1 Psig) del valor de consigna), S_Close (el número total de puntos de datos de porcentaje de carga que llegan al cero por ciento durante un intervalo de muestreo determinado, por ejemplo 30 minutos), S_Open (el número total de puntos de datos de porcentaje de carga que llegan al cien por cien en el intervalo de muestreo) y SSLP (una media móvil del porcentaje de carga durante el intervalo de muestreo). El módulo (242) responde ante un indicador de calibrado que establece el módulo (240). El módulo (242) lleva a cabo la integración de estos parámetros clave cuando el indicador de calibrado le indica que debe hacerlo. La figura 16b muestra las etapas requeridas para la integración de estos parámetros clave.

Por último, el bloque de cálculo toma los datos suministrados por el módulo (242) y calcula la ganancia adaptable usando el proceso que se ilustra en la figura 16c.

25 El módulo de calibrado adaptable (120) efectuará ciclos a través de diversos estados de funcionamiento, dependiendo del estado de un temporizador. La figura 17 es un diagrama de estado que muestra cómo funcionará la forma de realización preferida en la actualidad. Obsérvese que la secuencia pasa del modo de inicialización al modo de integración o bien al modo de no calibrado, dependiendo de si se ha establecido el indicador de calibrado. Una vez en el modo de integración, el sistema lleva a cabo la integración hasta que el temporizador se agote (nominalmente, 30 minutos), tras lo cual se entra en el modo de cálculo. Una vez finalizados los cálculos, se restablece el estado inicial del temporizador y el sistema vuelve al modo de inicialización.

30 El diagrama de bloques del esquema adaptable se muestra en la figura 18. Existen dos bucles básicos. El primero es el bucle de control PID (260) que se ejecuta cada "dt" segundos, y el segundo es el bucle adaptable (262) que se ejecuta cada (ta) segundos.

35 Cuando el sistema de control arranca, el bucle de control PID (260) usa un valor preestablecido de ganancia (K) para calcular la salida de control. El bucle adaptable (262), comprueba el error e(t) (264) cada "ta" segundos (266) (preferentemente menos de $0,2 * dt$ segundos). En el módulo (268), si el valor absoluto del error, e(t), es menor que la desviación deseada (OS), se incrementa un contador Er_new. La desviación (OS) es el error aceptable del estado de régimen (por ejemplo, para el control de temperatura puede ser 0,6°C (+/- 1 °F)). Este proceso de comprobación continúa durante "tsum" segundos (270) (preferentemente de 200 a 500 por dt segundos). Tras los "tsum" segundos (270), el valor Er_new se convierte en un porcentaje (Er_new% (272)). El parámetro Er_new% (272) indica el porcentaje de e(t) muestreado que se encontraba dentro de la desviación (OS) aceptado durante el periodo de tiempo "tsum". Dicho de otro modo, es una medida de lo bien que se controló la variable de control para los últimos "tsum" segundos transcurridos. Un valor de 100% corresponde a un control "estricto" y 0% corresponde a un control "escaso". Siempre que Er_new% sea 100%, la ganancia permanece sustancialmente inalterada, ya que indica un control más estricto. Sin embargo, si se da el caso de que Er_new se encuentra entre 0 y 100%, el módulo de algoritmo de lógica difusa adaptable (274) calcula una nueva ganancia (K_new (276)) usada para los siguientes "tsum" segundos por el módulo de algoritmo de control (278).

En la forma de realización preferida, hay una salida y dos entradas al módulo de algoritmo de lógica difusa (274). La salida es la nueva ganancia (K_new) calculada usando la entrada, Er_new%, y una variable, Dir, definida de la siguiente manera:

$$55 \quad \text{Dir} = \text{Sign}[(\text{Er_new\%} - \text{Er_old\%}) * (\text{K_new} - \text{K_old})] \quad \text{.....(2)}$$

En la que:

Sign corresponde al signo (+ve, -ve o cero) del término que está entre los corchetes;
60 Er_new% es el porcentaje de e(t) que está dentro de la desviación durante los últimos "tsum" segundos;
Er_old% es el valor de Er_new% en la iteración "(tsum-1)";
K_new es la ganancia usada en el tiempo "tsum"; y
K_old es la ganancia en el tiempo (tsum-1).

65 Por ejemplo, supongamos que el controlador comienza en 0 segundos con un valor preestablecido de K=10, y ta=1 segundo, tsum=1000 segundos y OS=1. Supongamos que 600 datos de e(t) de 1000 datos posibles se encontraban

dentro de la desviación. Por lo tanto, después de 1000 sec, $Er_new\%=60$ (es decir, $600/1000 \cdot 100$), $K_new=10$. Se establece $Er_old\%$ y K_old igual a cero cuando el módulo de algoritmo de lógica difusa adaptable (274) se usa por primera vez. Al introducir estos números en la ecuación (2), nos da un signo positivo para la variable "Dir". Por consiguiente, las entradas al módulo de algoritmo de lógica difusa (274) para la primera iteración son, respectivamente, $Er_new\%=60$ y $Dir=+ve$.

La siguiente etapa consiste en llevar a cabo una difusión (*fusificación*) de estas entradas para obtener entradas difusas mediante el uso de funciones de pertenencia.

Fusificación:

Una función de pertenencia es una correspondencia entre el universo de discurso (eje x) y el espacio de grados (eje y). El universo de discurso consiste en el intervalo de posibles valores para las entradas o salidas. Para $Er_new\%$ se encuentra preferentemente entre 0 y 100. El valor en el espacio de grados varía normalmente entre 0 y 1 y se denomina entrada difusa, valor de verdad, o un grado de pertenencia. La figura 19 muestra el gráfico (300) que contiene las funciones de pertenencia para la entrada, $Er_new\%$. $Er_new\%$ se divide en tres variables lingüísticas: GRANDE (304), MEDIANA (306) y PEQUEÑA (308). Para $Er_new\%=60$, las entradas difusas (o función de grado de pertenencia) son: 0,25 de la GRANDE y 0,75 de la MEDIANA. La variable de entrada "Dir" está bien definida (+ve, -ve o cero) y, por tanto, no requiere una función de pertenencia en esta aplicación. La siguiente etapa consiste en crear la "tabla de verdad" o evaluación de reglas.

Evaluación de reglas:

La evaluación de reglas toma las entradas difusas procedentes de la etapa de difusión y las reglas de la base de conocimientos y calcula salidas difusas. La figura 20 muestra las reglas en forma de tabla de verdad. Para la primera columna y la primera fila, la regla es: "SI $Er_new\%$ es GRANDE Y Dir es NEGATIVA, ENTONCES la Nueva Ganancia NO CAMBIA (NC)" (es decir, si el porcentaje de datos $e(t)$ que está dentro de la desviación (OS) durante los últimos "tsum" segundos es GRANDE y la dirección (DIR) es NEGATIVA/CERO, entonces: no cambiar el valor de K existente (NO CAMBIAR)).

En el ejemplo, debido a que $Er_new\%$ tiene entradas difusas GRANDE (0,25) Y MEDIANA (0,75) con Dir POSITIVA, las reglas que se usarán son:

SI $Er_new\%$ es GRANDE (0,25) Y Dir es POSITIVA, ENTONCES la Nueva Ganancia NO CAMBIA (NC=1)
SI $Er_new\%$ es MEDIANO (0,75) Y Dir es POSITIVA, ENTONCES la Nueva Ganancia experimenta un PEQUEÑO CAMBIO POSITIVO (PSC=1,2)

Desfusificación:

Por último, el proceso de desfusificación convierte las salidas difusas obtenidas con la etapa de evaluación de reglas en la salida final mediante el uso de la gráfica (310) de la figura 21. La gráfica (310) usa las siguientes etiquetas = "NBC" para un gran cambio negativo; "NSC" para un pequeño cambio negativo; "NC" para ausencia de cambios; "PSC" para un pequeño cambio positivo; y "PBC" para un gran cambio positivo. En la forma de realización preferida se usa el procedimiento del centro de gravedad o del centroide para la desfusificación. En la figura 21 se muestra la función de pertenencia de salida para el cambio en la ganancia.

El centroide (la salida de lógica difusa) se calcula del siguiente modo:

$$Centroide = K_new \cdot \left[\frac{\sum_{toda.x} \mu(x) \cdot x}{\sum_{toda.x} \mu(x)} \right] \quad \dots(3)$$

donde:

$\mu(x)$ es el valor de salida difusa para el valor x del universo de discurso. En nuestro ejemplo, la salida (K_new) pasa a ser

$$Salida = 10 \cdot \left[\frac{0,25(1) + 0,75(1,2)}{0,25 + 0,75} \right] = 11,50 \quad \dots(4)$$

Una vez que han concluido las tres etapas de fusificación, evaluación de reglas y desfusificación, y que se ha calculado la salida, el proceso se repite otra vez para un nuevo conjunto de $Er_new\%$.

En el ejemplo anterior, después de los primeros 1000 sec, el algoritmo adaptable calcula una nueva ganancia de $K_{new}=11,50$. El bucle de control PID usa esta nueva ganancia para los siguientes 1000 sec (es decir, desde $t=1000$ a 2000 sec en tiempo real). En $t=1001$ sec, el contador Er_{new} se pone a cero para realizar la cuenta para los siguientes 1000 segundos. Al final de otros 1000 segundos más (es decir, en $t=2000$ segundos), se vuelve a calcular $Er_{new}\%$.

Supongamos esta vez que $Er_{new}\%$ sea 25. Esto significa, con el cambio de K de 10 a 11,5, que el control empeoró. Por lo tanto, sería mejor cambiar la ganancia en la otra dirección, es decir, reducir la ganancia en lugar de aumentarla. Así, en $t=2000$ sec, $Er_{new}\%=25$, $Er_{old}\%=60$ (valor previo de $Er_{new}\%$), $K_{new}=11,5$ y $K_{old}=10$ (valor previo de K). Al aplicar la ecuación (2), se obtiene una "Dir" negativa. Con un $Er_{new}\%$ de 25 y Dir=negativa, se vuelve a realizar el cálculo de lógica difusa para calcular una nueva ganancia para los siguientes 1000 segundos. El nuevo valor de ganancia es $K_{new}=7,76$ y es usado por el bucle PID desde $t=2000$ a 3000 segundos.

Supongamos para la tercera iteración, es decir, desde $t=2000$ a 3000 segundos, $Er_{new}\%$ resulta ser 95% (que representa un control más estricto). La realización de la misma operación de lógica difusa arroja el mismo valor de K_{new} , y la ganancia permanece inalterada hasta que $Er_{new}\%$ se vuelve a degradar.

Aplicaciones ejemplares

Se usa un compresor modulando en anchura de pulso (PWM) para controlar la temperatura/presión del evaporador o la temperatura del fluido refrigerante (aire o agua) del evaporador. La válvula del compresor ejerce el control mediante la modulación del flujo de refrigerante. Volviendo a hacer referencia a la figura 18, se muestra el diagrama de bloques del sistema de control para dicho accionador que forma parte de un sistema de refrigeración (279). En la figura 18, se muestrean una y preferentemente hasta cuatro temperaturas del fluido refrigerante del evaporador o una presión de aspiración del evaporador (que se muestra en general en (282)) cada dt segundos. Se descubrió que un tiempo de muestreo de $dt=10$ segundos resultaba óptimo para ambas aplicaciones. Después de procesarla mediante el módulo analógico a digital (284), la señal muestreada se reduce a un número tomando la media o el mínimo o el máximo de las cuatro temperaturas dependiendo de la configuración del sistema o las preferencias del usuario en el módulo (286). Normalmente, en un único sistema accionador (PWM) en el que todo el serpentín del evaporador se deja descongelar de una sola vez, se prefiere calcular el promedio de la señal de control. En un sistema con un único accionador y múltiples evaporadores en el que la descongelación de los serpentines de los evaporadores no se produce al mismo tiempo, se prefiere el modo del mínimo. El valor obtenido tras med/mín/máx se denomina señal condicionada. En el módulo de comparación (288), se compara con el valor de consigna que se desee para calcular el error, $e(t)$.

El algoritmo de control usado en el bucle es una técnica de control (PID) proporcional integral (PI). El algoritmo PI calcula el porcentaje de carga (0 a 100%) en el caso del compresor PWM. 60 segundos sería un tiempo típico de restablecimiento integral, T_i , para ambos accionadores. El bucle adaptable calibra la ganancia de forma adaptable. El algoritmo adaptable se desactiva en la forma de realización preferida siempre que: el sistema se encuentre en descongelación; se esté produciendo un descenso de temperatura; se produzca un gran cambio en el valor de consigna; se haya detectado una avería en los sensores; o se haya detectado cualquier otra avería en el sistema.

Por consiguiente, el algoritmo adaptable se usa normalmente cuando el sistema está funcionando en modo normal. Preferentemente, el tiempo "ta" usado es aproximadamente 1 segundo y "tsum" es aproximadamente 1800 segundos (30 minutos).

Diagnósticos relacionados con el compresor PWM

En referencia a la figura 22, un sensor de temperatura del fluido refrigerante de descarga (312) (T_a), un sensor de temperatura de la entrada del serpentín del evaporador (314) (T_i) y un sensor de temperatura de la salida del serpentín del evaporador (316) (T_o) pueden proporcionar funciones de diagnóstico para el control del evaporador usando el PWM. El sensor de temperatura de la entrada (314) puede estar situado en cualquier lugar del serpentín del evaporador (318). No obstante, la ubicación preferida se encuentra aproximadamente a un tercio de la longitud total del evaporador desde el distribuidor del serpentín del evaporador (320).

Usando estos tres sensores de temperatura, se puede llevar a cabo un aprendizaje del sistema que puede usarse para tareas de diagnóstico. Por ejemplo, se puede realizar un diagnóstico para el PWM cuando se usa en un único evaporador junto con una válvula de expansión. En este ejemplo, se efectúa un seguimiento de las siguientes variables cada "tsum" segundos en el bucle adaptable. Las variables se pueden integrar justo después de que se haya efectuado la integración de ER_{new} en el bucle adaptable.

N-Close: Número de veces que la carga del PWM era 0%.
N-Open: Número de veces que la carga del PWM era 100%.
MAVP: la media móvil de la carga del PWM durante "tsum" segundos.
SSLP: Se establece una carga del PWM en estado de régimen igual a MAVP si durante "tsum" $ER_{new}\%$ es mayor del 50%.
dT: Media móvil de la diferencia entre T_a y T_i (T_a-T_i).
SH: Media móvil de la diferencia entre T_o y T_i (T_o-T_i) durante dicho periodo. Es aproximadamente el sobrecalentamiento

del evaporador.

N_FL: Número de veces que To era menor que Ti durante dicho periodo, es decir "tsum" segundos. Este número indicará en qué medida la válvula de expansión está inundando el evaporador.

- 5 Además, también se aprende el tiempo de descenso tras la descongelación, tdp. Basándose en estas variables, se realizan los siguientes diagnósticos: avería del sensor de temperatura, válvula de expansión degradada, compresor PWM degradado, PWM sobredimensionado; PWM infradimensionado; y ausencia de flujo de aire.

Avería del sensor de temperatura:

- 10 Las averías en los sensores de temperatura se detectan comprobando si la lectura de temperatura queda dentro del intervalo esperado. Si el PWM se controla usando Ta como variable de control, entonces, cuando falle, el control se realizará del siguiente modo. El accionador mencionado anteriormente se controla basándose en los Ti, o los valores de Ta se estiman usando la dT aprendida (es decir, añadir dT al valor de Ti para estimar Ta). Durante el descenso, se
15 puede poner el PWM en lleno-abierto/carga durante el tiempo de descenso aprendido (tdp). Si Ti también falla al mismo tiempo o no está disponible, el accionador se abre al 100% durante el periodo de descenso y después se ajusta a un porcentaje de carga en el estado de régimen (SSLP) tras el periodo de descenso. Cuando aparece este estado se envía una alarma al supervisor.

Válvula de expansión degradada:

- 20 Si una válvula de expansión está atascada o está descalibrada o infradimensionada/sobredimensionada, se pueden usar las siguientes combinaciones de las variables a las que se ha hecho un seguimiento para diagnosticar estos problemas. N_FL > 50% y ER_new% >10% indican que la válvula de expansión está atascada en su posición abierta o está
25 descalibrada o incluso puede estar sobredimensionada, y por ello está inundando el serpentín del evaporador. Cuando aparece este estado se envía una alarma. Además, SH>20 y N_FL=0% indican una válvula de expansión descalibrada o una válvula infradimensionada o que la válvula está atascada en si posición cerrada.

Compresor PWM degradado:

- 30 Un compresor PWM degradado es aquel cuyo solenoide está atascado en la posición cerrada o abierta. Estos problemas se detectan en una configuración en la que la descongelación se lleva a cabo ajustando el PWM a 0%. El problema se detecta del siguiente modo.
35 Si ER_new%=0 y N_Close es 100% y Ti < 32°F y SH > 5°F, entonces se determina que el PWM está atascado en la posición abierta. Si ER_new%=0 y N_Open es 100% y Ti > 32°F y SH > 5°F, entonces se determina que el PWM está atascado en la posición cerrada.

PWM sobredimensionado:

- 40 Si N_Close > 90% y 30% < ER_new% < 100%, entonces se envía una alarma de PWM sobredimensionado.

PWM infradimensionado:

- 45 Si N_Open > 90% y ER_new%=0 y SH > 5, entonces se envía una alarma de PWM infradimensionado.

Ausencia de flujo de aire:

- 50 Si N_Open =100%, ER_new%=0, SH < 5° F y Ti < 25°F y N_FL > 50%, entonces el aire está bloqueado o los ventiladores no están funcionando correctamente.

Además, estas estrategias de diagnóstico b se pueden aplicar a un controlador de válvula de expansión electrónica.

- 55 Las formas de realización que se han expuesto anteriormente tenían fines ilustrativos y no se tienen el objeto de limitar la invención. Los expertos en la materia observarán que se pueden realizar diversos cambios y modificaciones en las formas de realización explicadas en la presente memoria descriptiva sin alejarse del alcance de la invención, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

Apéndice

- 60 Pseudocódigo para llevar a cabo el condicionamiento de la señalización

Repetir lo siguiente cada Ts segundos:

- 65 Leer entradas de usuario:
- Tiempo de muestreo (Ts)

	- Tipo de control (P o T) - Modo del sensor (med/mín/máx)
5	Realizar la conversión de analógico a digital (ADC) - en todos (los cuatro) datos de salida de los canales de los sensores de temperatura en forma de cuentas
10	Filtrar las cuentas digitalmente - $Y_{new} = 0,75 * Y_{old} + 0,25 * \text{cuentas}$ - dar salida a los datos en forma de cuentas filtradas
15	Convertir las cuentas filtradas en grados F. Comprobar si al menos un sensor se encuentra dentro de sus límites operativos normales - por ejemplo, entre -40 y +90° F Si ninguno de ellos se encuentra dentro de los límites, ajustar la alarma del sensor a TRUE En caso contrario, realizar la operación med/mín/máx basándose en el modo del sensor Si el tipo NO es un tipo de control T/P Terminar la rutina de condicionamiento de la señal (hasta el siguiente ciclo Ts) En caso contrario, hacer lo siguiente:
20	Realizar una ADC en el canal del sensor de presión - dar salida a los datos en forma de cuentas
25	Filtrar las cuentas digitalmente - $Y_{new} = 0,75 * Y_{old} + 0,25 * \text{cuentas}$ - dar salida a los datos en forma de cuentas filtradas
30	Convertir las cuentas filtradas en Psig Comprobar si el sensor de temperatura se encuentra dentro de sus límites operativos normales -por ejemplo, entre 0 y +200
35	Si no se encuentra dentro del límite: Ajustar dP = Consigna dP. En caso contrario: Calcular $dP = P_{máx} - P_{mín}$ Ajustar alarma del sensor en T/dP Terminar la rutina de condicionamiento de señal (hasta el próximo ciclo Ts)

REIVINDICACIONES

1. Sistema de refrigeración que comprende,
5 una caja de refrigeración (34);
un evaporador (42) dispuesto en dicha caja (34);
10 un condensador (32) y compresor (30) emparejados en comunicación de fluidos con dicho evaporador (42);
estando dicho condensador (32) dispuesto en dicha caja y provisto de unos medios (50) para transferir calor (H) al ambiente;
15 siendo dicho compresor un compresor de capacidad variable modulado en anchura de pulso;
un sensor de temperatura (58) dispuesto en dicha caja y configurado para detectar una temperatura real dentro de dicha caja de refrigeración (34); y
20 un controlador (52) que reacciona ante dicho sensor de temperatura (58) y está acoplado a dicho compresor (30) para proporcionar una señal de control de ciclo de trabajo variable al dicho compresor (30), mediante la cual se modula dicho compresor (30) entre un primer y un segundo estados de capacidad mientras está en funcionamiento para ajustar de ese modo la capacidad de funcionamiento del sistema de refrigeración a su carga térmica, estando dicho controlador (52) configurado para detectar un estado de baja carga de refrigerante mediante la observación del cambio en el error entre dicha temperatura real y un valor de consigna de temperatura al modular el ciclo de trabajo
25 del sistema.
2. El sistema de la reivindicación 1, que además comprende una segunda caja de refrigeración (34b) provista de un segundo evaporador (42b) dispuesto en su interior, estando dicho segundo evaporador (42b) conectado en comunicación de fluidos con dicho condensador (32).
30
3. El sistema de la reivindicación 1, que además comprende una segunda caja de refrigeración (34b) provista de un segundo evaporador (42b) dispuesto en su interior, estando dicho segundo evaporador (42b) conectado en comunicación de fluidos con dicho compresor (30).
- 35 4. El sistema de la reivindicación 1, en el que dicho controlador (52) produce dicha señal de control de ciclo de trabajo variable con un tiempo de ciclo variable que es una función de las fluctuaciones en la presión.
5. El sistema de la reivindicación 1, que además comprende una válvula reguladora de refrigerante (45c) conectada en comunicación de fluidos con dicho evaporador (42) y controlada eléctricamente por dicha señal de control de ciclo de trabajo variable para ajustar más la capacidad de dicho sistema de refrigeración.
40
6. El sistema de la reivindicación 5, en el que dicha válvula (45c) incluye un motor de velocidad gradual.
7. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que adicionalmente comprende un sensor de presión (60) conectado a dicho controlador (52).
45
8. El sistema de la reivindicación 1, en el que dicho controlador (52) proporciona dicha señal de control de ciclo de trabajo variable que efectúa un ciclo en un tiempo de ciclo más corto que la constante de tiempo de la carga.
50
9. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicho primer estado se encuentra sustancialmente a una capacidad del cien por cien y en el que dicho segundo estado se encuentra sustancialmente a una capacidad del cero por ciento.
- 55 10. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicha detección de dicho estado de baja carga de refrigerante es indicativa de una pérdida de carga de refrigerante o de una válvula de expansión térmica (44) atascada.
11. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que dicho controlador (52) emite una alarma cuando dicho controlador (52) detecta dicho estado de baja carga de refrigerante.
60

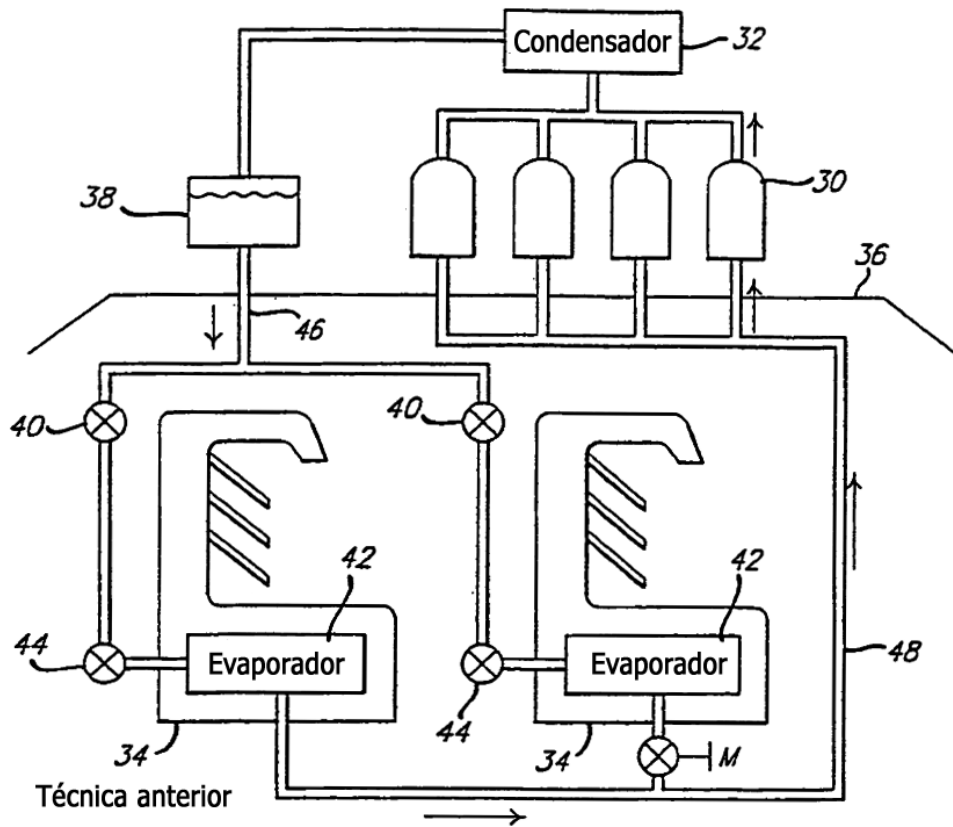
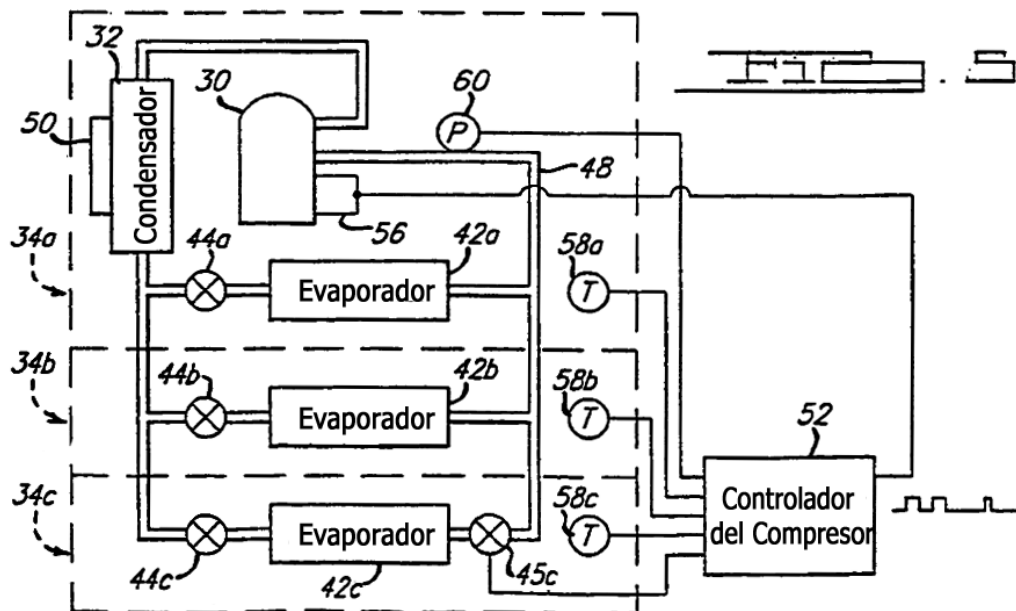


FIG. 1.



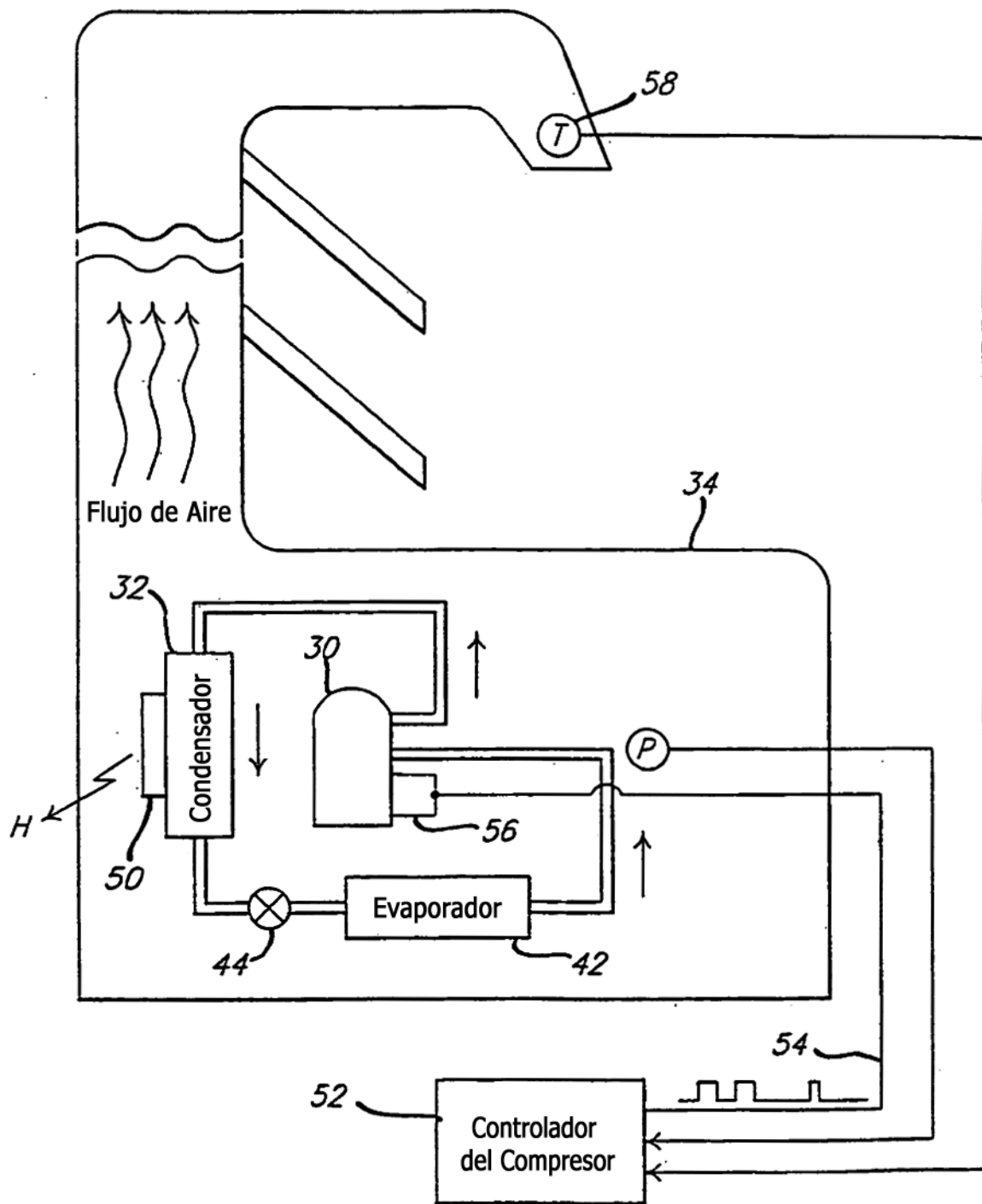
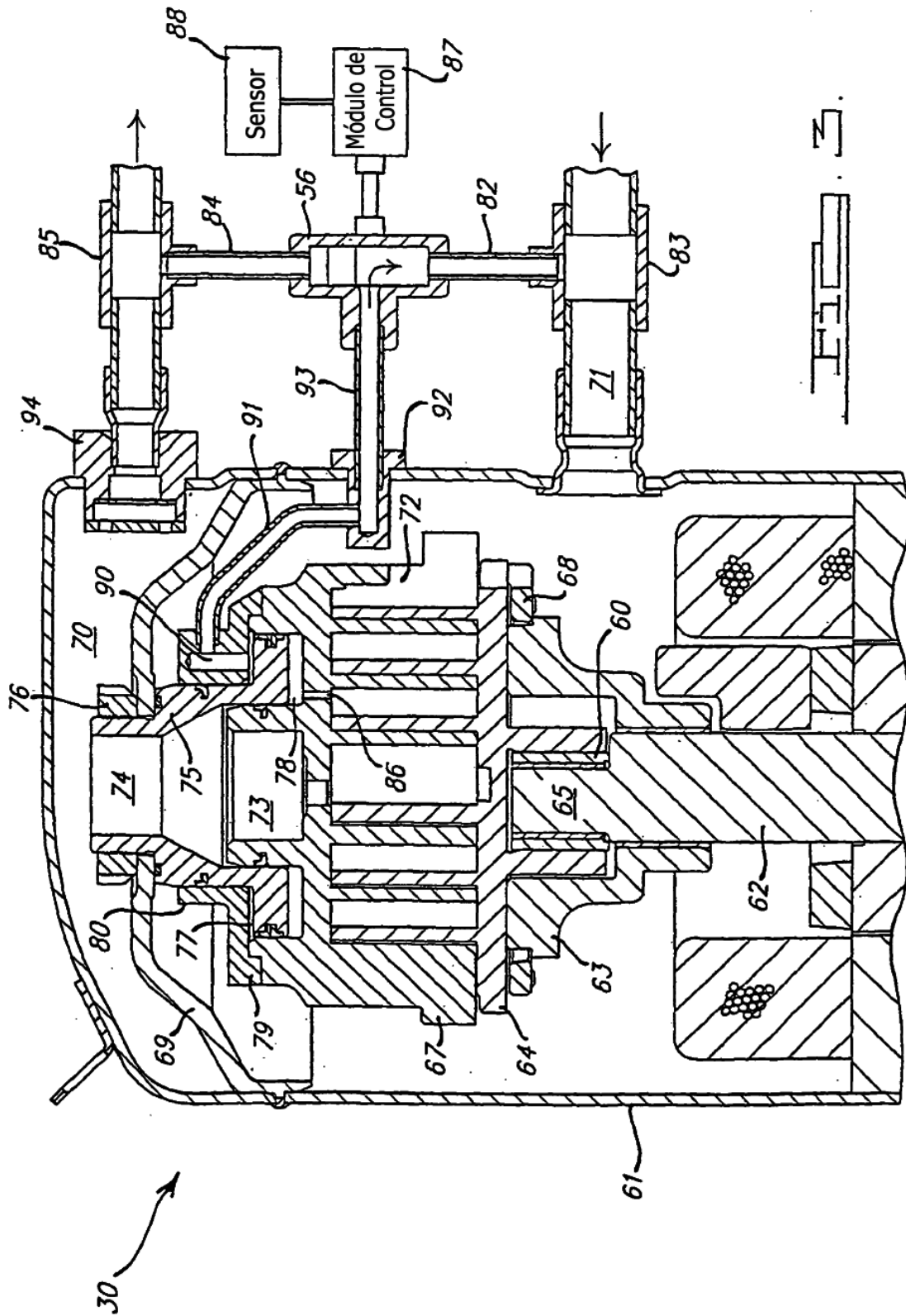
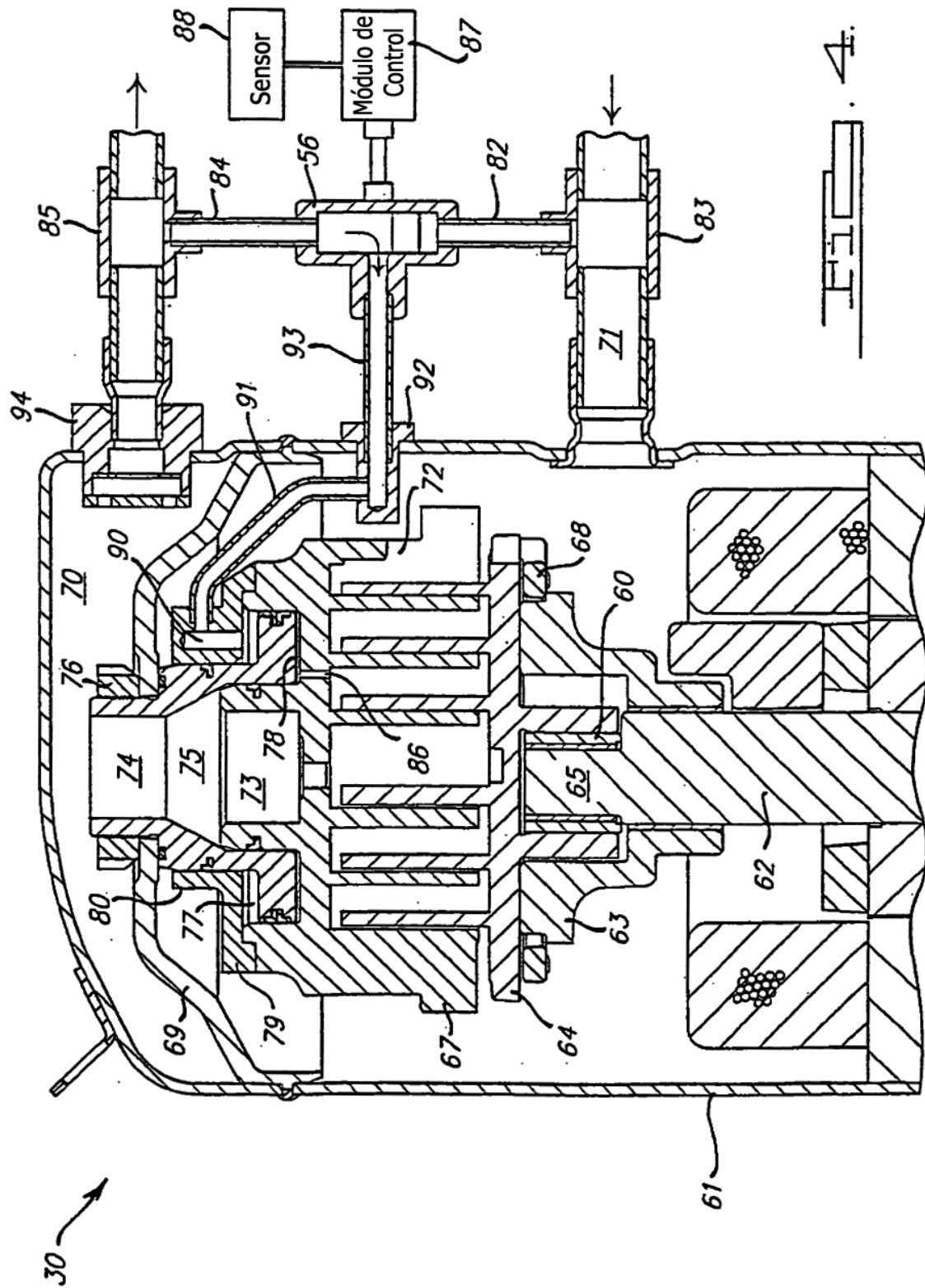
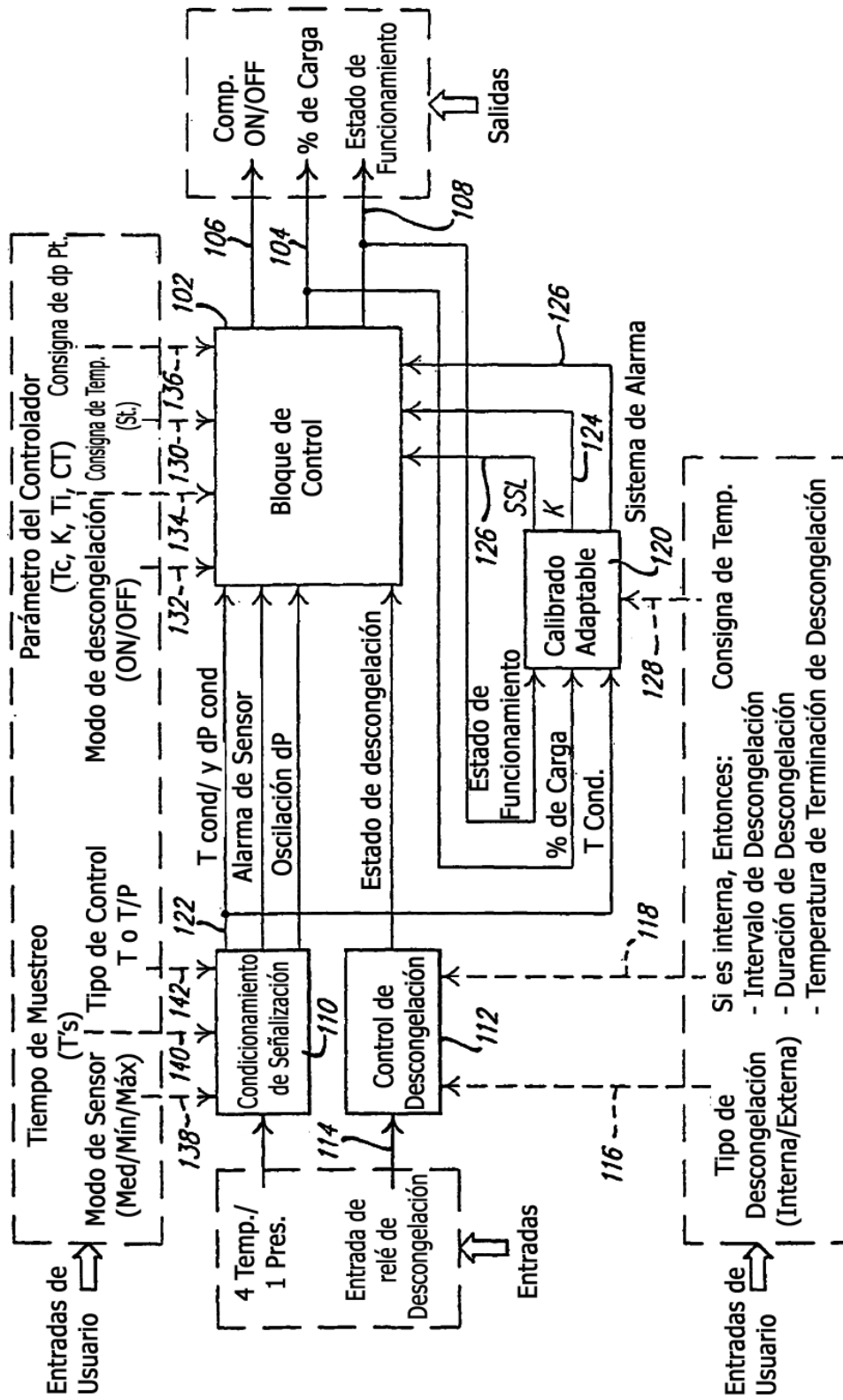
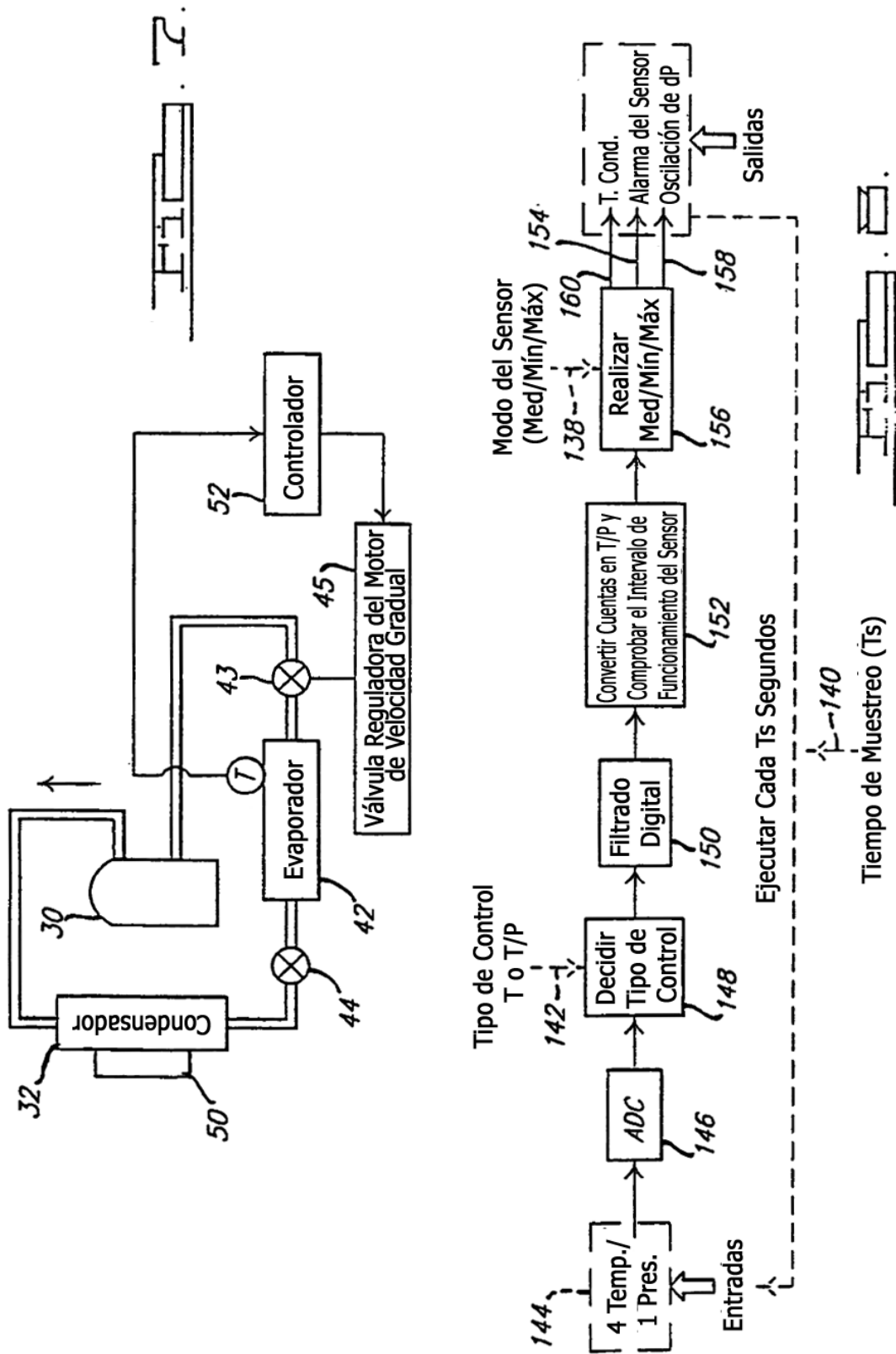


Fig. 2.









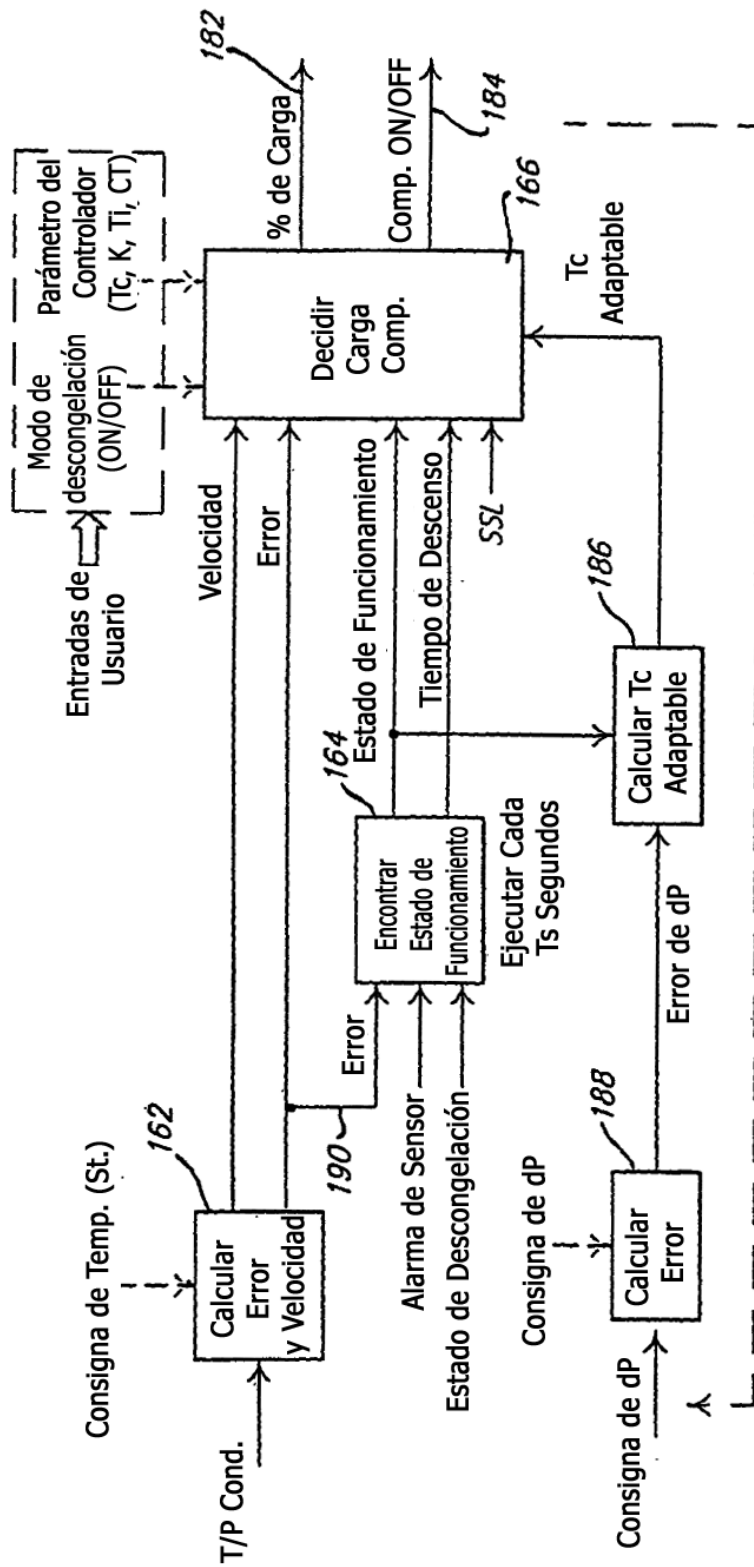
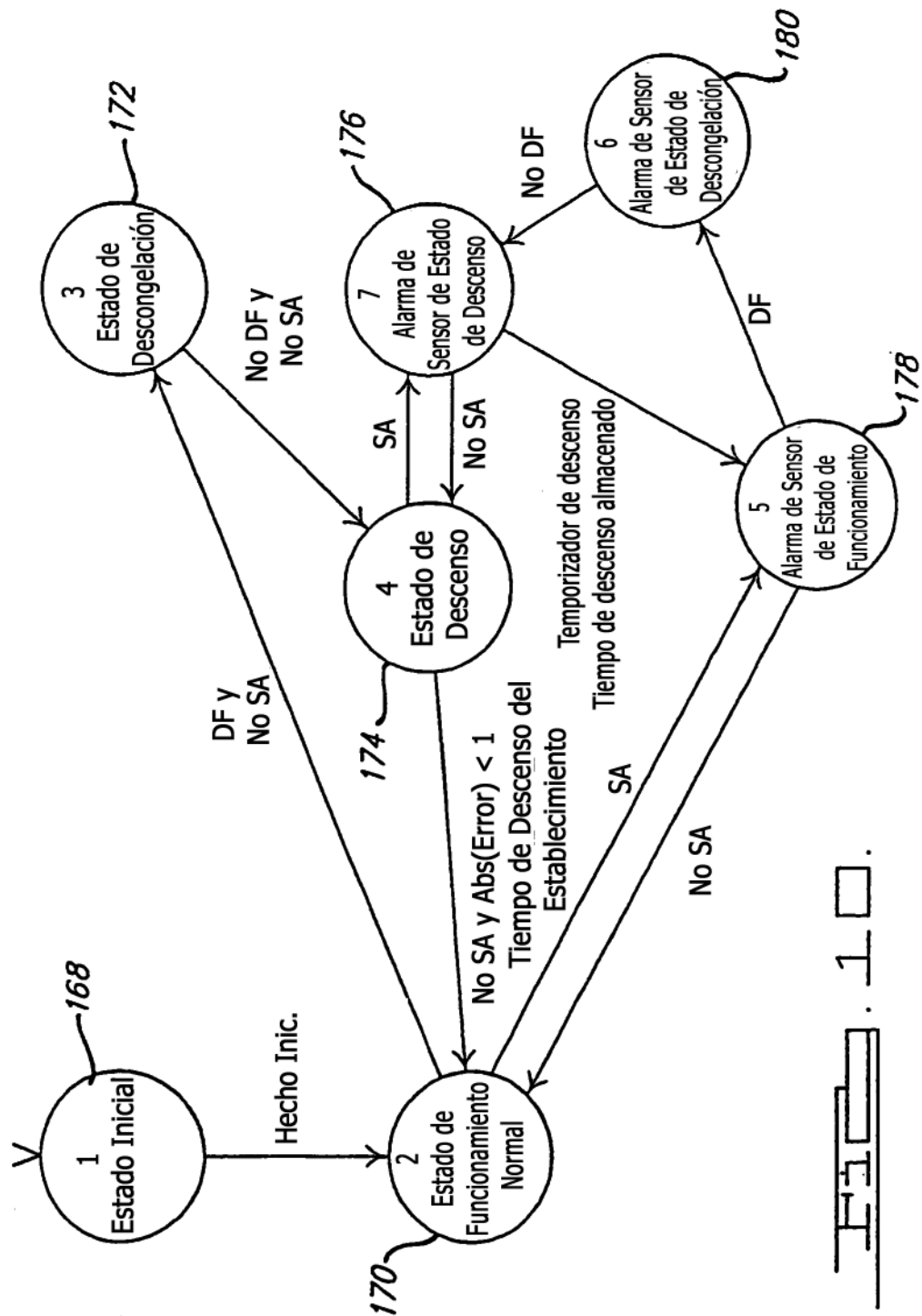


FIG. 3.



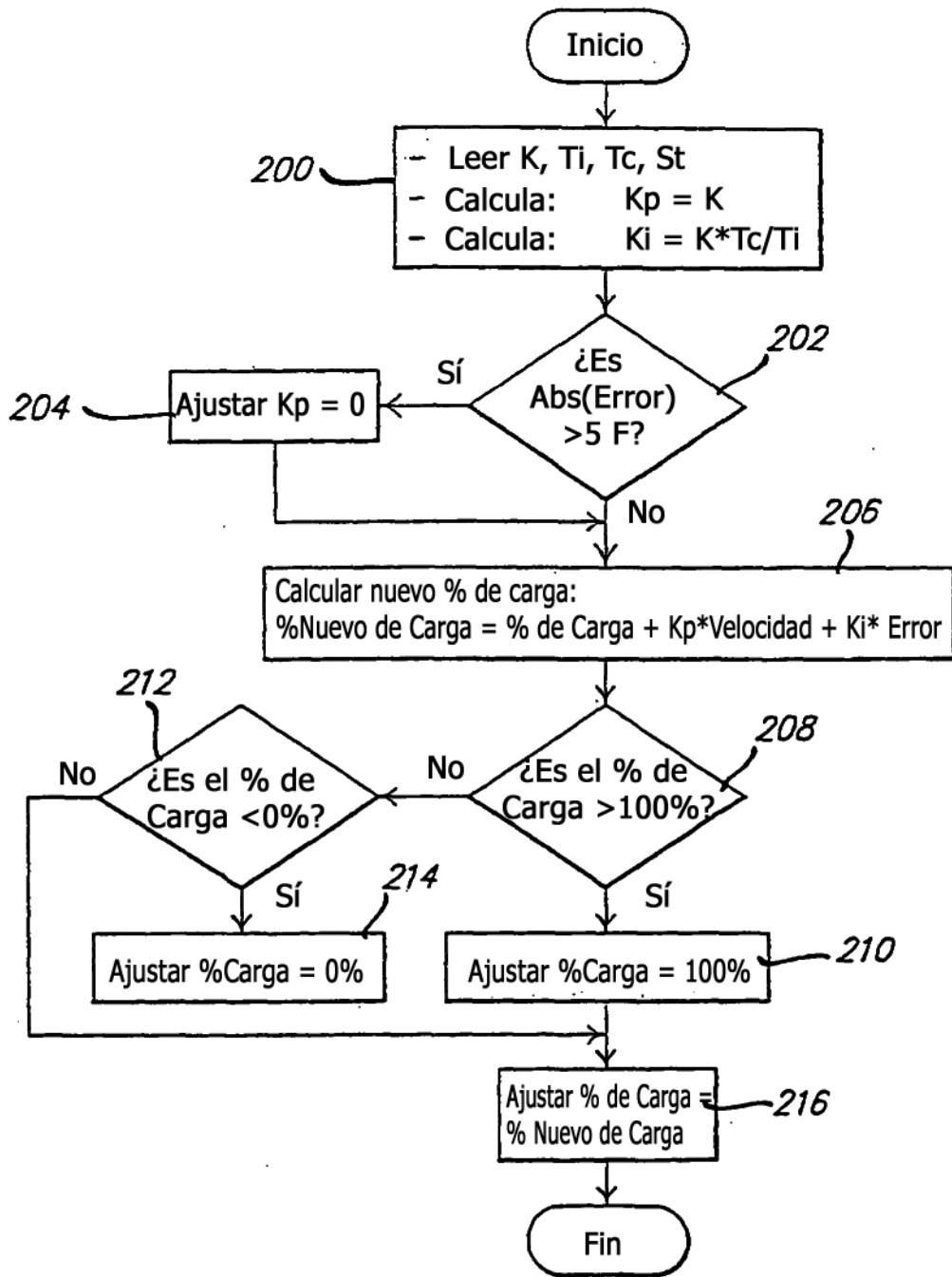


Fig. 11.

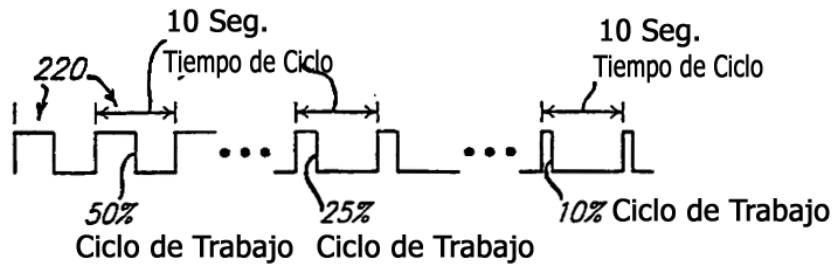


FIG. 12.

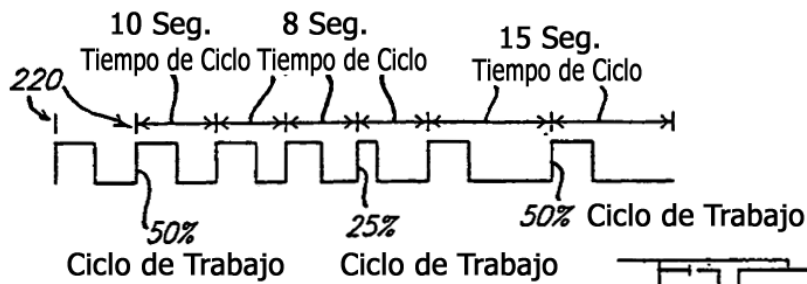


FIG. 13.

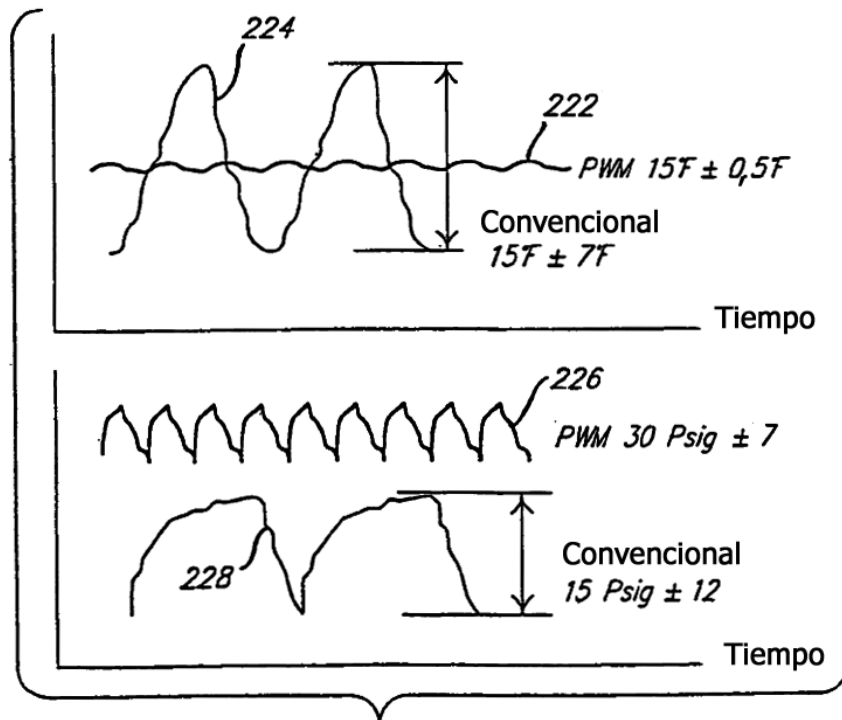


FIG. 14.

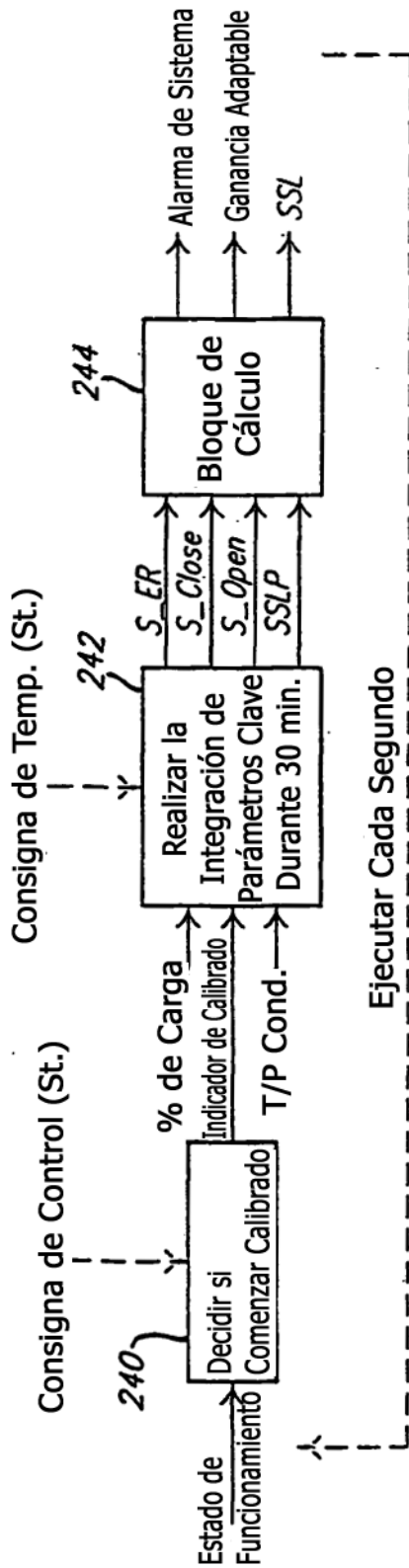


FIG. 15.

FIG. 17.

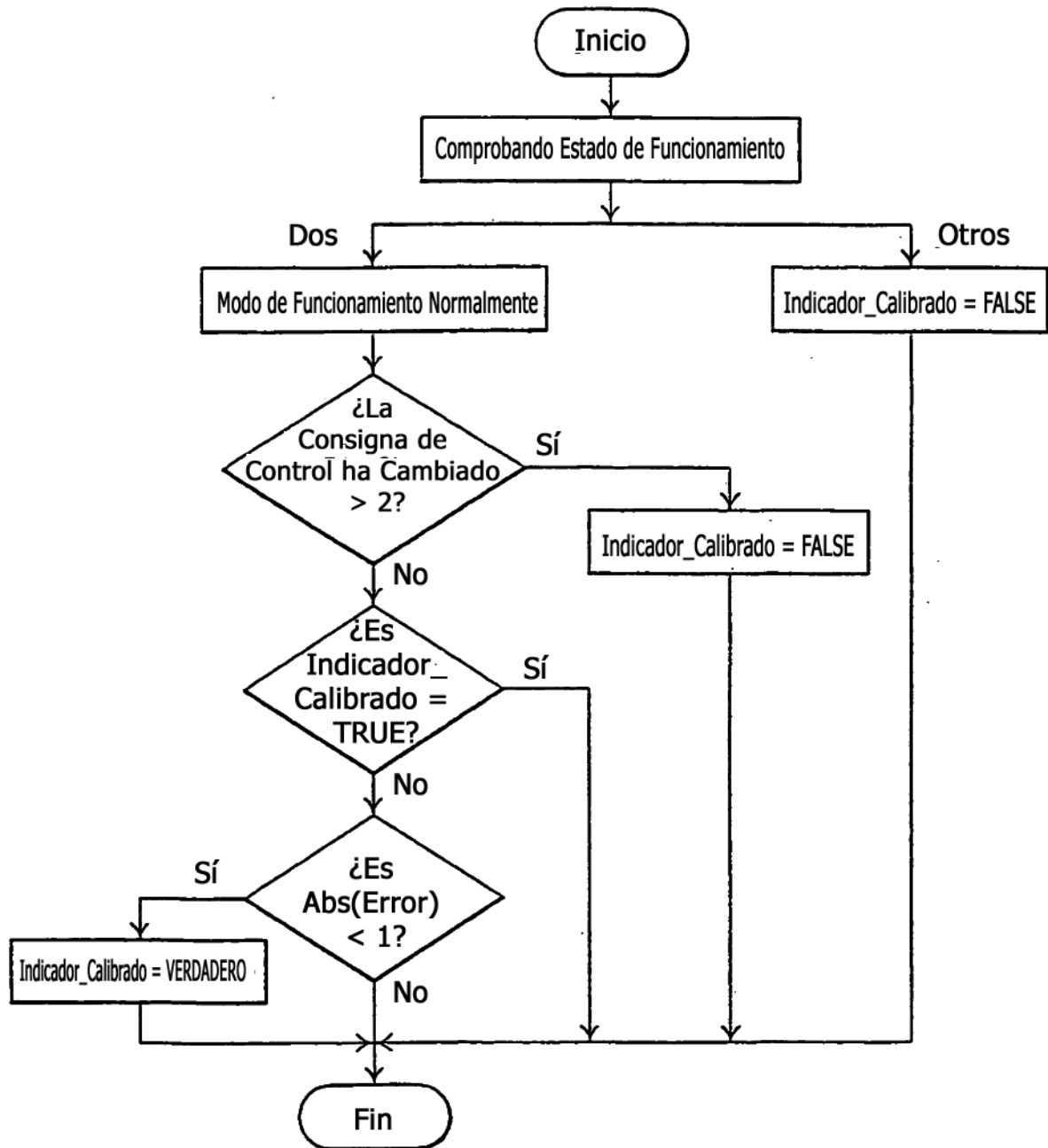


Fig. 16 A.

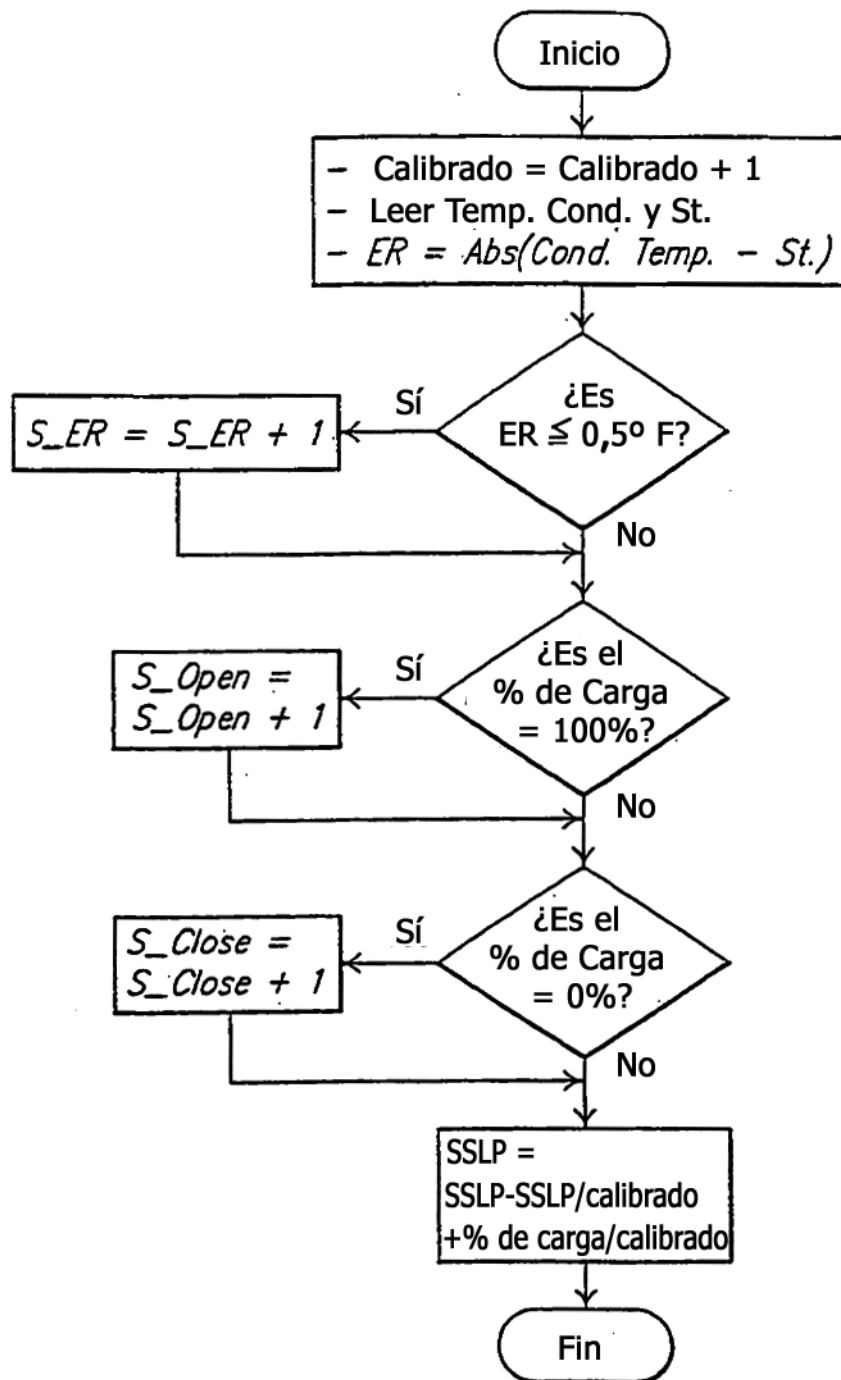


Fig. 1 B B.

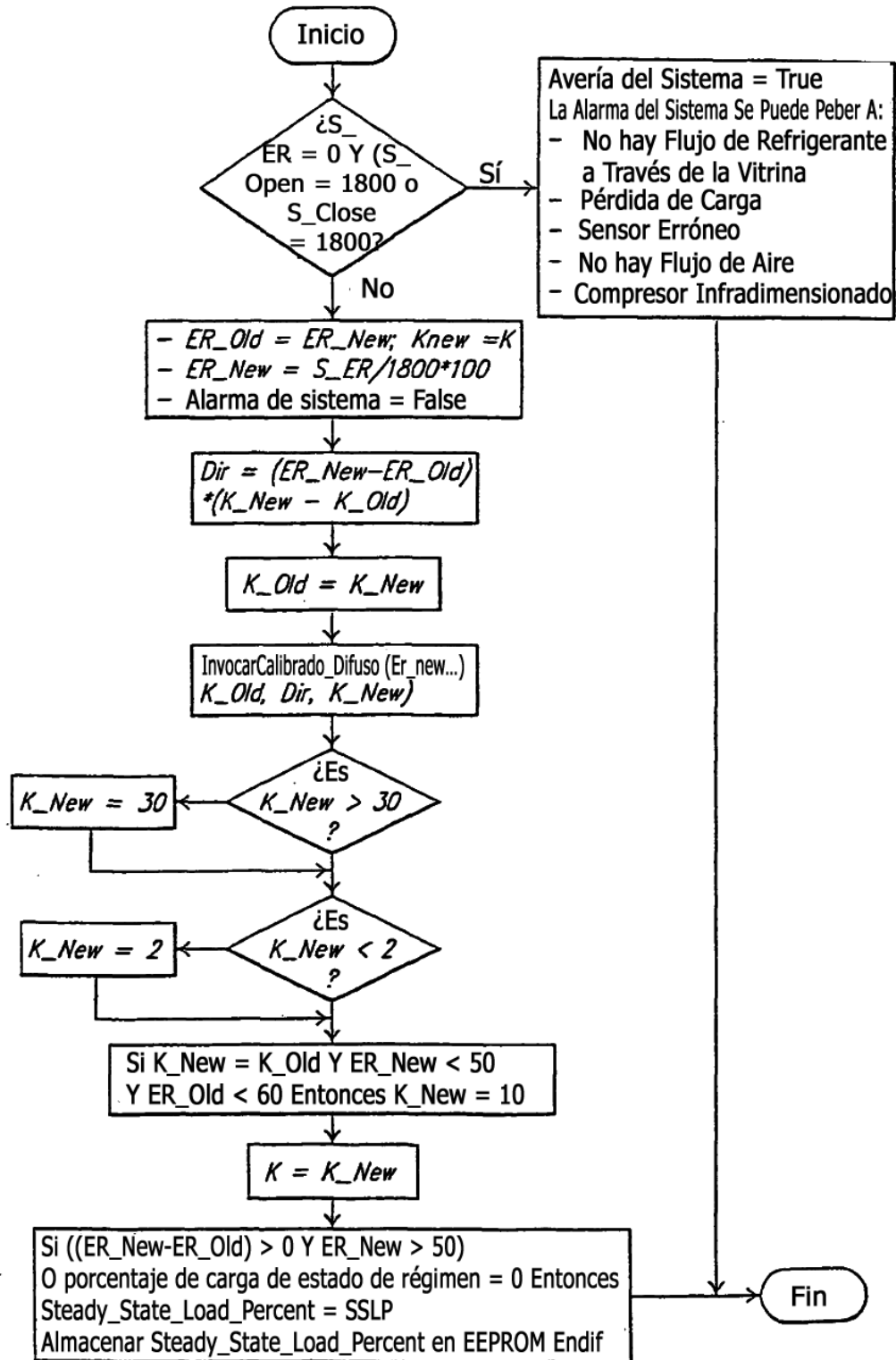
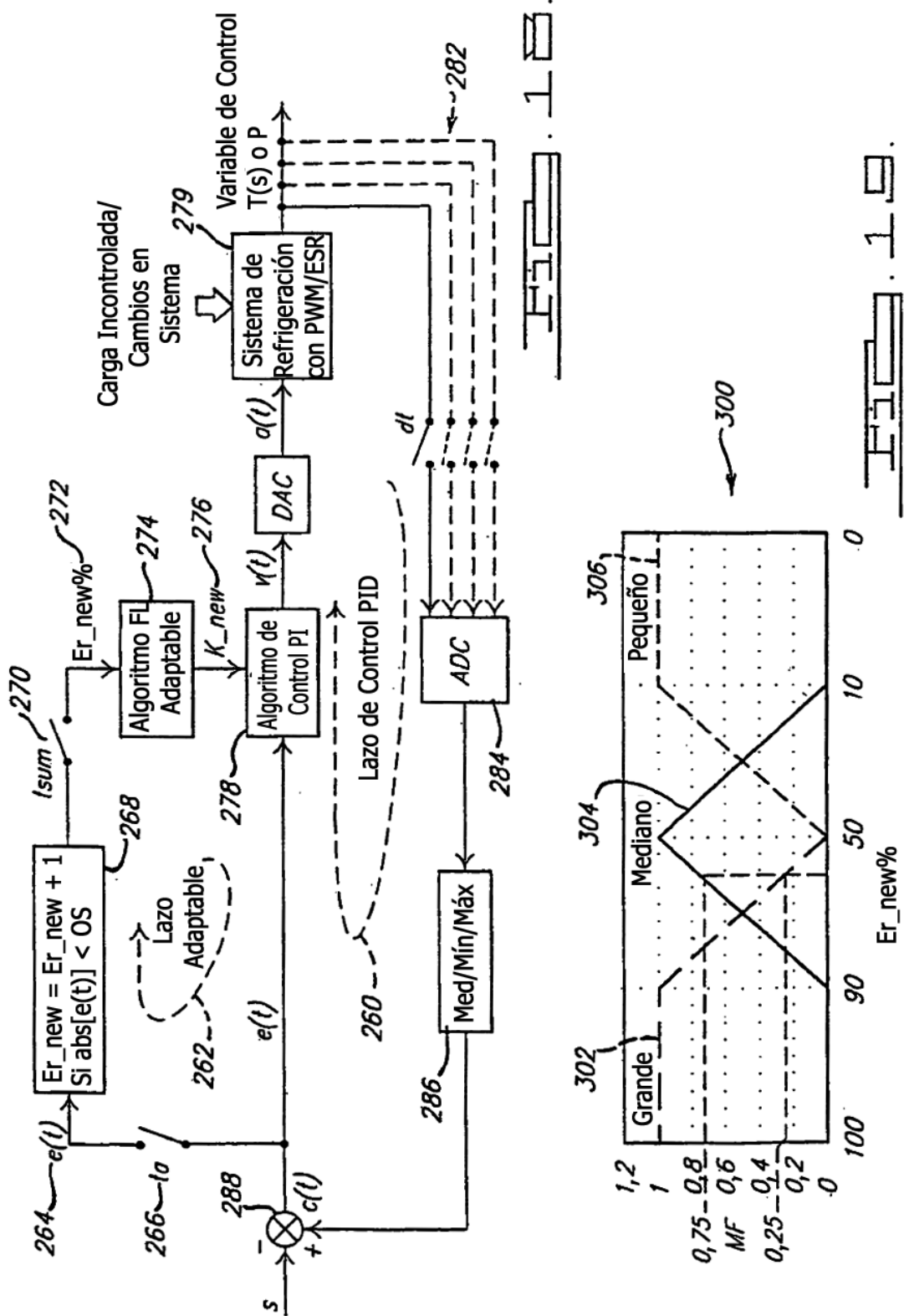


Fig. 1B C.



	$DIR(I)$	1	2
$Er_new\%(J)$		Negativa/cero	Positiva
1	Grande	NC	NC
2	Mediano	NSC	PSC
3	Pequeño	NBC	PBC

