

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 999 687**

51 Int. Cl.:

F04D 25/08 (2006.01)

F04D 27/00 (2006.01)

G05B 13/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.02.2019** **PCT/DE2019/200008**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.08.2019** **WO19149325**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.02.2019** **E 19710599 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2024** **EP 3749863**

54 Título: **Procedimiento para optimizar la eficiencia y/o la vida útil de un ventilador o disposición de ventiladores**

30 Prioridad:

05.02.2018 DE 102018201708

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

26.02.2025

73 Titular/es:

ZIEHL-ABEGG SE (100.00%)
Heinz-Ziehl-Strasse
74653 Künzelsau, DE

72 Inventor/es:

WENGER, BJOERN

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 999 687 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

Procedimiento para optimizar la eficiencia y/o la vida útil de un ventilador o disposición de ventiladores

La invención se refiere a un procedimiento para optimizar la eficiencia y/o la vida útil de un ventilador o una disposición de ventiladores. Las interacciones con otros ventiladores, las condiciones ambientales y/o las personas que se encuentran cerca del ventilador o trabajando en él también desempeñan un papel. La optimización multiobjetivo también forma parte de ello.

Cabe señalar en este punto que cuantos más ventiladores y/o aparatos externos se incluyan en la optimización, mayor será el potencial para aumentar la eficiencia. Un ejemplo de ello es la distribución de la carga en el caso de una disposición de varios ventiladores.

La invención se basa en la idea fundamental de garantizar la mejor eficiencia posible en cada punto de funcionamiento del ventilador. Esto es difícil debido a los parámetros de funcionamiento opuestos.

Se sabe por la práctica de un ventilador que el rodamiento de bolas y la grasa del rodamiento de bolas son parámetros críticos para la vida útil del ventilador. La vida útil del rodamiento de bolas y de la grasa del rodamiento de bolas depende en gran medida de la temperatura de funcionamiento en o sobre el motor y de las fuerzas mecánicas que actúan sobre el rodamiento de bolas. Dado que ni los sensores de temperatura ni los sensores de fuerza pueden colocarse en las inmediaciones del rodamiento, no es posible medir ni la temperatura del rodamiento ni las fuerzas que actúan sobre él. Por consiguiente, es necesario medir estos parámetros indirectamente o determinarlos mediante cálculo.

Por el documento DE 10 2010 002 294 A1 se conoce un sistema o procedimiento para determinar el estado del rodamiento de una máquina eléctrica. Unidades de sensores reales determinan un valor medido que se transmite a una unidad de simulación. La unidad de simulación se utiliza para determinar un valor resultante, que es un valor de la corriente del rodamiento o un valor dependiente de la corriente del rodamiento. El valor resultante se transmite a otra unidad para su cálculo posterior. El sistema/procedimiento conocido es complejo debido a la tecnología de sensores requerida y es difícil de utilizar con ventiladores debido a la falta de espacio de instalación suficiente.

El documento EP 1 669 226 A1 divulga un procedimiento basado en un modelo para controlar un sistema de aire acondicionado de un vehículo de motor. La base es un modelo matemático del sistema de distribución de aire con conducto de admisión, ventilador, intercambiador de calor, cámara de mezcla, aletas, etc. Para controlar un caudal másico en un conducto de salida, se estima un caudal másico real utilizando el modelo de canal a partir de variables medidas existentes y se compara con un caudal másico objetivo. Un voltaje del ventilador y un ángulo de las aletas se ajustan para influir en el flujo másico.

El documento US 2016/333854 A1 se refiere a una interfaz de usuario para el funcionamiento de un parque eólico. La interfaz se basa en un gemelo digital del parque eólico, que simula el comportamiento del parque eólico en función de diversas variables de entrada. De este modo, un usuario de la interfaz puede optimizar el funcionamiento del parque eólico.

La invención se basa en la creación de una imagen digital del ventilador real, concretamente mediante la reproducción de sus propiedades utilizando modelos de cálculo matemático y, si es necesario, consultando datos conocidos, posiblemente datos de medición reales. Los datos de medición reales pueden ser datos de medición actuales del funcionamiento en curso de cada motor individual (y posiblemente su historial). Además, se crea al menos un algoritmo específico de parámetros de funcionamiento, teniendo en cuenta correlaciones conocidas, curvas características, etc., y se utiliza para el cálculo posterior.

Los estados de los componentes del ventilador se determinan o calculan a través de la imagen digital mediante sensores virtuales. Estos estados de los componentes se introducen en el algoritmo de funcionamiento o de parámetros de funcionamiento específicos o específicos del producto, que determina o calcula parámetros de funcionamiento específicos del ventilador a partir de los estados de los componentes y, si es necesario, proporciona pronósticos relativos al funcionamiento del ventilador, por ejemplo pronósticos de la vida útil del ventilador. Es esencial que sea posible el uso combinado de estados de componentes determinados y datos de medición reales.

Se utilizan dos componentes de software diferentes, a saber, un primer componente de software relativo al gemelo digital y un segundo componente de software relativo al algoritmo específico de los parámetros de funcionamiento, que puede describirse como un algoritmo «inteligente».

El gemelo digital es una imagen digital de un objeto real, individual, en el caso de la enseñanza según la invención de un ventilador o de un sistema de ventilador. El gemelo digital reproduce las propiedades del ventilador mediante un modelo de cálculo y, si es necesario, utilizando datos conocidos del ventilador. La tarea del gemelo digital consiste en calcular los estados de los componentes del ventilador en función del estado de funcionamiento respectivo mediante sensores virtuales. Los estados de los componentes determinados sobre

la base de dicho cálculo se transmiten al algoritmo específico de los parámetros de funcionamiento, que determina/calcula los parámetros de funcionamiento o los estados de funcionamiento del ventilador a partir de los datos de funcionamiento del gemelo digital, por ejemplo, la vida útil del rodamiento y/o la vida útil de la grasa del rodamiento. En función del resultado, es posible adaptar el control a la situación. Los parámetros de funcionamiento y los estados de funcionamiento son igualmente relevantes en la medida en que son variables calculables.

La combinación de algoritmo gemelo digital y algoritmo específico de los parámetros de funcionamiento anteriormente descrita puede realizarse como algoritmo gemelo digital en un microprocesador asignado al motor del ventilador y, por tanto, asignado al ventilador como componente fijo.

El algoritmo gemelo digital es la combinación de un gemelo digital que describe el ventilador con un tipo de algoritmo inteligente diseñado específicamente para los parámetros de funcionamiento.

Con un ventilador diseñado adecuadamente se puede llevar a cabo un mantenimiento predictivo con el objetivo de evitar un fallo del ventilador debido a un rodamiento defectuoso o a la grasa del rodamiento, por ejemplo. El objetivo es adaptar los parámetros del sistema a la situación para conseguir casi la máxima vida útil posible del ventilador.

Utilizando una imagen digital del ventilador y algoritmos específicos de los parámetros de funcionamiento, el objetivo del mantenimiento predictivo es aprovechar al máximo la vida útil de los componentes del ventilador y, al mismo tiempo, evitar cualquier fallo del ventilador. La vida útil del ventilador se calcula a partir de los estados calculados de los componentes y de los parámetros de funcionamiento resultantes.

El gemelo digital utiliza modelos físicos y/o matemáticos y/o estadísticos y/o empíricos y/o combinados para calcular los estados térmicos y mecánicos de los componentes. En cualquier caso, se incluyen tanto modelos matemáticos como físicos y no físicos. El algoritmo específico de parámetros de funcionamiento (algoritmo inteligente) requiere los estados de los componentes determinados por el gemelo digital para determinar cualquier parámetro de funcionamiento, por ejemplo también para predecir el fallo del ventilador. Dado que la vida útil de un ventilador depende principalmente de los rodamientos de bolas y de la grasa de los rodamientos de bolas, el cálculo de los parámetros de funcionamiento centrado en la grasa de los rodamientos de bolas y en los rodamientos de bolas desempeña un papel muy especial.

Por experiencia práctica se sabe que la vida útil de la grasa para rodamientos depende en gran medida de la temperatura de funcionamiento. Cuanto mayor sea la temperatura de funcionamiento a lo largo de toda la vida útil, más rápidamente se consumirá la grasa para rodamientos. Por consiguiente, es necesario determinar la temperatura del rodamiento para determinar la vida útil de la grasa para rodamientos.

Para determinar la temperatura del rodamiento, debería colocarse un sensor de temperatura en las inmediaciones del rodamiento. Esto no es posible debido a las circunstancias geométricas y funcionales del ventilador/motor. Por consiguiente, de acuerdo con la invención, los estados de componentes tales como la temperatura del rodamiento se calculan utilizando el gemelo digital junto con el algoritmo específico de parámetros de funcionamiento.

El cálculo se basa en un modelo matemático, que a su vez se basa en un modelo de cálculo termomagnético acoplado reducido. La combinación del gemelo digital y el algoritmo específico de parámetros de funcionamiento calcula las fuentes de calor, los disipadores de calor y el estado térmico del sistema global que afecta al motor del ventilador. Los sensores virtuales del gemelo digital pueden utilizarse para determinar la temperatura de la grasa de los rodamientos en función del estado de funcionamiento del ventilador/motor e introducirla en el algoritmo específico de los parámetros de funcionamiento como estado de funcionamiento.

Tanto el gemelo digital, incluidos sus sensores virtuales, como el algoritmo específico de parámetros de funcionamiento pueden implementarse en el código de máquina (código C) del microprocesador existente, con lo que se incorpora cierta inteligencia de máquina al ventilador.

Las explicaciones precedentes describen un procedimiento para determinar los estados de funcionamiento de un ventilador utilizando una imagen digital (gemelo digital) del ventilador con la adición de al menos un algoritmo específico de parámetros de funcionamiento. Esta es la base de la invención descrita a continuación, que se basa en la tarea de calcular estados de funcionamiento, que se determinan utilizando sensores virtuales, sobre la base de un algoritmo de gemelo digital, en cuyo caso se define un flujo de trabajo para la realización del algoritmo de gemelo digital en relación con el ventilador. En particular, el objetivo es ahorrar en sensores reales para determinar los estados de funcionamiento.

Según la invención, la tarea anterior se resuelve mediante un procedimiento que tiene las características de la reivindicación 1, a saber, mediante un procedimiento para optimizar la eficiencia y/o la vida útil de un ventilador, en cuyo caso, partiendo de modelos numéricos detallados específicos de un componente o de una función, sobre la base de al menos un algoritmo se lleva a cabo una reducción del modelo y, por tanto, de los datos (refinamiento de los datos) a modelos de comportamiento específicos de un componente o de una función,

- proporcionándose los datos de los modelos reducidos en forma de tablas o matrices de datos, acoplándose o combinándose los datos reducidos de los modelos de comportamiento en una simulación del sistema para formar un modelo de comportamiento del sistema con variables de entrada y de salida en el que los datos del modelo de comportamiento del sistema, a saber, las variables de entrada y las variables de salida asociadas del ventilador, se proporcionan en forma de tabla o matriz de datos, y las variables de entrada y las variables de salida asociadas del ventilador del modelo de comportamiento del sistema se ponen a disposición de un optimizador para su selección con el fin de lograr un control optimizado del sistema en función de las condiciones marco.
- Según la invención, se trata del algoritmo gemelo digital en el contexto del ventilador «inteligente», en el sentido de un desarrollo ulterior del algoritmo gemelo discutido al principio.
- El desarrollo ulterior del algoritmo de gemelo digital debe entenderse como una adaptación independiente y específica de la situación de los parámetros del sistema del ventilador o del sistema de ventiladores para garantizar la mejor eficiencia posible y el mejor rendimiento de funcionamiento posible en cada punto de funcionamiento.
- Según la invención, primero se crean modelos numéricos detallados, por ejemplo relativos a un modelo térmico, un modelo de circuito magnético o un modelo relativo a la posición de las palas y el flujo o las condiciones de flujo. El modelo detallado también puede ser un gemelo digital de acuerdo con la discusión introductoria en relación con un entorno de ventilador, por ejemplo un centro de datos en el sentido de un sistema global. El modelo detallado también puede referirse al gemelo digital de una disposición de ventiladores.
- Por ejemplo, también pueden generarse modelos detallados para una disposición de ventiladores en un condensador. Los ventiladores son controlados individualmente por un optimizador que accede al modelo de comportamiento del sistema con el fin de lograr la mejor eficiencia posible y una presión/flujo que sean homogéneos a través del condensador complementario. Se pueden concebir otros modelos detallados.
- En el siguiente paso, los modelos detallados se reducen como parte de una reducción de modelos, concretamente a los denominados modelos de comportamiento. Esto va acompañado de una reducción nada desdeñable de los datos generados.
- A continuación, en la simulación del sistema tiene lugar un acoplamiento de los modelos de comportamiento con los datos reducidos, lo que da lugar a un estudio de comportamiento con un modelo de comportamiento combinado.
- La simulación del sistema global tiene lugar en el espacio del sistema con una combinación homogéneamente distribuida de variables de entrada. El resultado es una tabla con las combinaciones de entrada y las correspondientes variables de salida del sistema. La tabla refleja un modelo de comportamiento del sistema, es decir, con las variables de entrada y las variables de salida asociadas del ventilador. Estas variables pueden utilizarse para la optimización.
- Durante el funcionamiento, un optimizador selecciona las mejores variables de salida del sistema posibles, como la eficiencia del sistema, en la tabla del modelo de comportamiento en tiempo real en función de las condiciones ambientales. En cuanto se encuentra la mejor variable de salida del sistema posible, se pueden leer las variables de entrada correspondientes en la tabla. Estas variables de entrada se utilizan para controlar el sistema de la mejor manera posible, preferiblemente en tiempo real.
- A la luz de lo expuesto anteriormente, es esencial que el optimizador seleccione la eficiencia óptima del sistema a partir de la tabla de comportamiento del sistema y suministre las variables de entrada necesarias al sistema de control. Esto permite una optimización continua.
- Existen varias posibilidades para diseñar ventajosamente y seguir desarrollando la enseñanza de la presente invención. Con este fin, se debe hacer referencia, por un lado, a las reivindicaciones dependientes de la reivindicación 1 y, por otro lado, a la siguiente explicación de los ejemplos de realización preferidos de la invención con referencia al dibujo. En relación con la explicación de los ejemplos de realización preferidos de la invención con referencia al dibujo, también se explican configuraciones generalmente preferidas y desarrollos avanzados de la enseñanza. El dibujo muestra
- Figs. 1 a 13 pasos de procedimiento para realizar la enseñanza según la invención con rasgos particulares, la enseñanza según la invención se discute a modo de ejemplo con referencia a las Figuras 4 y 5.
- Las figuras 1 a 3 sirven para proporcionar una comprensión de la enseñanza según la invención y se refieren al gemelo digital y al algoritmo de gemelo digital como base para el ventilador inteligente.
- En concreto, la figura 1 muestra la combinación del gemelo digital con al menos un algoritmo específico de parámetros de funcionamiento, que en lo sucesivo se denominará algoritmo de gemelo digital. Esto puede explicarse utilizando el ejemplo de la vida útil de la grasa del rodamiento y/o del rodamiento.

Como ya se ha explicado anteriormente, la vida útil de la grasa del rodamiento y del rodamiento depende de la temperatura de funcionamiento y de la velocidad del motor. Dado que no puede colocarse ningún sensor de temperatura en la proximidad inmediata del rodamiento, la temperatura del rodamiento debe calcularse mediante un modelo, según la invención utilizando el algoritmo gemelo digital, que resulta de la combinación de un gemelo digital y un algoritmo específico de los parámetros de funcionamiento (algoritmo inteligente).

El gemelo digital no es otra cosa que un modelo matemático basado en un modelo de cálculo termomagnético y mecánico acoplado reducido. El gemelo digital calcula el estado térmico y mecánico del sistema global relativo al motor. Los sensores virtuales pertenecientes al gemelo digital permiten a éste determinar la temperatura de la grasa de los rodamientos en función del estado de funcionamiento del motor.

El algoritmo inteligente necesita los estados de los componentes para el procesamiento posterior de los datos con el fin de pronosticar, por ejemplo, el fallo del ventilador. El fallo del motor puede calcularse, o al menos estimarse, en función de las características del fallo. Todo el software relativo al algoritmo de gemelo digital se realiza en código de máquina (código C) en el microprocesador del motor, de modo que no se requiere ninguna electrónica adicional.

La figura 2 muestra el procedimiento de cálculo de la vida útil de la grasa de rodamiento en el rodamiento de un motor de ventilador. Se requieren modelos numéricos detallados, concretamente modelos térmicos, modelos de circuitos magnéticos, etc., para crear la imagen digital del ventilador real. También se crean algoritmos para calcular la vida útil de la grasa.

A continuación, los modelos detallados se reducen a modelos de comportamiento para que el volumen de datos sea manejable.

Los modelos de comportamiento y el algoritmo que calcula la vida útil de la grasa del rodamiento se acoplan a continuación en una simulación del sistema, concretamente como parte de una combinación del gemelo digital con el algoritmo específico de los parámetros de funcionamiento, que en este caso calcula la vida útil de la grasa del rodamiento. El código C se genera a partir de la simulación del sistema y el código C se implementa directamente en el microprocesador del motor.

Como ya se ha explicado anteriormente, la reducción del modelo detallado a un modelo de comportamiento es necesaria para reducir el tiempo de cálculo. Debido a esta medida, el algoritmo de gemelo digital puede realizarse en el microprocesador del motor. Para la reducción del modelo térmico pueden utilizarse diversos procedimientos, como el procedimiento de Krylov. Aquí, los datos del modelo detallado se reducen disminuyendo el orden del modelo.

El modelo magnético detallado puede reducirse utilizando un algoritmo o una tabla. En la tabla se definen resultados previamente calculados para determinadas constelaciones, de modo que los cálculos complejos pueden sustituirse por una búsqueda rápida de valores. La temperatura de la grasa del rodamiento y la temperatura del rodamiento pueden calcularse utilizando los modelos reducidos correspondientes. Los valores calculados utilizan el algoritmo específico del parámetro de funcionamiento, en este caso el algoritmo que calcula la vida útil de la grasa del rodamiento, para calcular la vida útil de la grasa del rodamiento, por un lado, y del rodamiento, por otro.

También es posible ponderar la vida útil consumida del rodamiento/de la grasa del rodamiento, preferiblemente de forma exponencial, en función de la temperatura de funcionamiento.

La figura 3 muestra la progresión de un factor de ponderación de este tipo sobre la curva de temperatura, en la que se utilizan parámetros ejemplares como el funcionamiento continuo, el tipo de rodamiento, la viscosidad, la velocidad, la temperatura de la grasa y el tiempo de funcionamiento/vida útil como base para el cálculo de la vida útil de la grasa para rodamientos. El ejemplo de cálculo da como resultado una vida útil consumida de 15 minutos para un tiempo de funcionamiento de cuatro minutos.

Los modelos reducidos según el gemelo digital y el algoritmo específico de los parámetros de funcionamiento relativos a la vida útil de la grasa del rodamiento se integran en una simulación del sistema y se vinculan entre sí. La simulación del sistema puede crearse, por ejemplo, en el programa MATLAB. Utilizando el generador de código MATLAB, es posible traducir la simulación del sistema en código C e implementarlo en el microprocesador del motor.

Las figuras 4 y 5 muestran los pasos individuales del procedimiento según la invención, refiriéndose la figura 4 a la posición del ángulo de las palas y la figura 5 a la distribución de carga de los ventiladores de un centro de datos. Los respectivos pasos del procedimiento, desde la creación o puesta a disposición de un modelo detallado mediante un modelo reducido, una simulación del sistema hasta un modelo de comportamiento, son idénticos en ambos casos. Basándose en el modelo de comportamiento, el optimizador selecciona la eficiencia óptima del sistema a partir de la tabla de comportamiento del sistema y transfiere las variables de entrada correspondientes al controlador, con lo que el control tiene lugar en tiempo real. El procedimiento y los datos se generan en código C para que la optimización pueda ejecutarse en un procesador estándar.

Según la ilustración de la Figura 4, el ángulo de la posición de las palas del ventilador debe controlarse de tal manera que se alcance una eficiencia óptima del sistema en función del punto de funcionamiento. A partir del modelo detallado se deriva un modelo reducido mediante un algoritmo adecuado, a partir del cual se crea un estudio de comportamiento o un modelo de comportamiento resultante como parte de una simulación del sistema basada en varios modelos detallados. El optimizador selecciona la eficiencia óptima del sistema a partir de la tabla de comportamiento del sistema y transfiere las variables de entrada correspondientes, con las que puede lograrse la optimización, al mecanismo de control. Todo el sistema se controla en tiempo real en un microprocesador tomando como base el modelo de comportamiento y el algoritmo utilizado para la optimización. Los datos y el algoritmo de programación están disponibles en código C.

De acuerdo con la ilustración de la Figura 5, la atención se centra en la distribución de la carga de una disposición de varios ventiladores, en el ejemplo de realización seleccionado en la distribución de la carga de los ventiladores de un centro de datos. La velocidad de flujo y la distribución de carga resultante de los ventiladores individuales deben controlarse de forma que se alcance una eficiencia óptima del sistema en función de la temperatura predominante en el centro de datos. También en este caso, el optimizador busca la eficiencia óptima del sistema a partir de la tabla de comportamiento del sistema y transfiere las variables de entrada correspondientes al mecanismo de control, de modo que todo el sistema pueda controlarse en tiempo real en un microprocesador. También en este caso, los datos del modelo de comportamiento se introducen en el algoritmo utilizado para la optimización, ejecutándose el programa en código C en procesadores convencionales.

Basándose en la reducción de datos anteriormente comentada, el procedimiento según la invención permite crear un código C compacto que puede funcionar en microprocesadores estándar. En el microprocesador tiene lugar un tipo de refinamiento de datos (Big Data → Smart Data), en cuyo caso éste es el resultado del cálculo. Solo los datos comprimidos y refinados se procesan posteriormente o se envían a una nube, por ejemplo. Huelga decir que esto reduce significativamente el volumen de streaming (transmisión continua) de la conexión a la nube.

Además, los parámetros de funcionamiento determinados mediante el gemelo digital y el algoritmo específico de parámetros de funcionamiento pueden utilizarse para el mantenimiento predictivo y para el mantenimiento de un ventilador, por un lado, y para optimizar el diseño y el funcionamiento de un ventilador, por otro, por lo que, según la enseñanza aquí reivindicada, el algoritmo de gemelo digital evoluciona para ajustar de forma independiente los parámetros del sistema en función de la situación, a saber, para garantizar la mejor eficiencia posible y el mejor rendimiento de funcionamiento posible en cada punto de funcionamiento.

La ilustración de las Figuras 6 y 7 sirve para explicar con más detalle la enseñanza reivindicada, como ya se ha comentado a modo de ejemplo con referencia a las Figuras 4 y 5.

El uso de una imagen digital, a saber, un gemelo digital del ventilador es esencial. El gemelo digital se crea mediante procesamiento de datos. Concretamente, se crea a partir de una combinación de variables de entrada conocidas o valores de sensores medidos con valores calculados y cálculos/modelos. El gemelo digital se utiliza para determinar las temperaturas de los componentes, las corrientes, las pérdidas, etc. en determinados puntos predefinidos del ventilador. El gemelo digital se utiliza para determinar virtualmente valores reales tales como temperaturas de componentes específicos, por ejemplo, si no existe una posibilidad económica/constructivamente factible de medición por medio de sensores en el respectivo punto específico del ventilador.

El algoritmo específico de parámetros de funcionamiento es de mayor importancia para la enseñanza reivindicada. Los resultados o datos proporcionados por el gemelo digital, por ejemplo la temperatura del rodamiento, se utilizan para determinar parámetros tales como una probabilidad de fallo o la vida útil consumida del ventilador o del rodamiento del ventilador. Estos parámetros dependen de los parámetros de funcionamiento actuales del ventilador y de su historial, es decir, en qué puntos de funcionamiento y entornos funciona/ha funcionado el ventilador.

Las figuras 6 y 7 ilustran con un ejemplo concreto el procedimiento según la invención para determinar los estados de funcionamiento de un ventilador utilizando una imagen digital del ventilador, teniendo en cuenta las explicaciones anteriores.

La columna izquierda de la figura 6 muestra las variables de entrada medidas o calculadas, incluidas las unidades asignadas a las flechas. Estas variables de entrada se miden utilizando sensores estándar existentes o son conocidas.

Las fuentes y disipadores de calor se calculan a partir de estas variables de entrada. Se utilizan como base modelos basados en la simulación, que tienen en cuenta fuentes de calor como, por ejemplo, el cobre, el hierro y las pérdidas electrónicas y disipadores de calor como la refrigeración del motor (rueda de refrigeración, aire circulante y temperatura ambiente). El resultado son variables de entrada para un modelo térmico reducido con sensores virtuales. Todo ello corresponde al gemelo digital en el sentido de un modelo térmico.

Las temperaturas de los componentes se calculan a partir del modelo térmico reducido con sensores virtuales. El modelo térmico reproduce la física del ventilador y utiliza sensores virtuales para calcular la temperatura en el rodamiento, en el bobinado, en el imán y en los diversos componentes electrónicos, según sea necesario.

5 Como continuación de la Figura 6, la Figura 7 muestra claramente que las variables de salida del modelo térmico reducido, con parámetros adicionales si es necesario, se utilizan como variables de entrada para calcular el procedimiento de envejecimiento. Los modelos de envejecimiento subyacentes se basan en datos históricos y pueden almacenarse como curvas características. Esto significa que la vida útil restante limitada por el envejecimiento puede calcularse o corregirse individualmente *in situ* utilizando el historial real del ventilador y el estado de funcionamiento actual.

10 Los respectivos modelos para calcular el envejecimiento dan como resultado una vida útil calculada en días u horas, que en sí misma puede servir como mera información. A continuación, la información relevante se puede utilizar para un pronóstico adicional, es decir, para pronosticar la vida útil restante de los componentes individuales o de todo el ventilador. Este pronóstico puede utilizarse para optimizar de forma inteligente la vida útil restante. Pueden aplicarse medidas para prolongar la vida útil restante, por ejemplo una reducción de la
15 velocidad o una distribución inteligente de la carga entre varios ventiladores. Estas medidas pueden comunicarse mediante una variable de ajuste.

La figura 8 muestra de nuevo el gemelo digital hasta el modelo térmico reducido con sensores virtuales, en el que se representan el ventilador y el motor. Como se ha explicado anteriormente, el modelo térmico reproduce la física del ventilador y utiliza sensores virtuales para calcular varias temperaturas que se utilizan para
20 diferentes propósitos/objetivos/usos, por ejemplo en palabras clave:

- Para la monitorización: determinar parámetros de funcionamiento con la ayuda de sensores virtuales y utilizarlos para la monitorización. Estos pueden ser: Mensajes de advertencia, LED de estado, comentarios en un código de error legible, imágenes en la nube o aplicación app, representación en interfaces de usuario.
- 25 - Para el mantenimiento predictivo: Procedimiento para determinar el envejecimiento de un ventilador, compuesto por numerosos subsistemas como rodamientos de bolas, bobinados, componentes electrónicos, imanes y pronóstico de la vida útil restante. Se utiliza, por ejemplo, para planificar los intervalos de mantenimiento, lograr la mayor vida útil posible antes de los intervalos de mantenimiento (es decir, no realizar un mantenimiento prematuro), programar automáticamente las citas de mantenimiento, notificar las necesidades de mantenimiento y realizar pedidos automáticos de piezas de repuesto.
- 30 - Para la optimización: procedimiento para determinar las condiciones de funcionamiento relacionadas con el rendimiento del producto, es decir, la eficiencia, las temperaturas de los componentes, la velocidad, la potencia de salida, el caudal volumétrico, el ruido, las vibraciones, etc.
- Para crear un ventilador inteligente: reacción ante determinadas condiciones de funcionamiento para mejorar el comportamiento o alcanzar determinados objetivos.
- 35 - Modificación del punto de funcionamiento o de los parámetros de regulación para optimizar la eficiencia.
- Modificación del punto de funcionamiento para conseguir la mayor vida útil posible.
- Reducción de la velocidad si la probabilidad de avería es muy alta:
- Modificación del punto de funcionamiento al ritmo día-noche para una aplicación nocturna lo más silenciosa posible.
- 40 - Emisión de una variable de ajuste para aparatos adicionales o dispositivos del cliente, por ejemplo, salida de temperatura para su uso en el control de una bomba de calor o para refrigeración adicional.
- Evitación selectiva de estados críticos del sistema (por ejemplo, resonancias, temperaturas excesivas, etc.).

Para una mejor comprensión de la enseñanza según la invención, son importantes, por una parte, la secuencia de los pasos del procedimiento y, por otra, su contenido. La secuencia de los respectivos pasos del
45 procedimiento puede derivarse del flujo de trabajo de desarrollo del algoritmo subyacente. Esto se muestra en la Figura 9, en la que el procedimiento puede seguir desarrollándose en un último paso.

Lo siguiente es fundamentalmente relevante para crear un modelo detallado:

Un modelo es una imagen o una aproximación de la realidad, es decir, por definición una aproximación. Un modelo siempre se limita a una sección que es de interés para la representación deseada. Además, un modelo
50 es fundamentalmente incompleto, ya que o bien se reduce en cuanto a las variables de entrada necesarias para facilitar su uso, o bien no se conocen los elementos físicos individuales de comportamiento cuando se crea el modelo. En función del uso y el objetivo posteriores, es necesario un tipo de modelización diferente, por ejemplo, un área de consideración distinta, una precisión diferente en los resultados o la velocidad de cálculo. Existen muchos tipos de modelos, por lo que en el ámbito técnico un modelo suele combinarse con una
55 representación matemática, por ejemplo con ecuaciones algebraicas o desigualdades, sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias o parciales, representaciones del espacio de estados, tablas, gráficos.

El desarrollo virtual de productos mediante simulación FE (simulación de elementos finitos) es una parte integral del desarrollo moderno de productos. Tradicionalmente, un dominio físico (por ejemplo, resistencia o circuito

térmico o magnético) se reproduce en un modelo muy grande (del orden de 100 gigabytes) e intensivo desde el punto de vista computacional y los resultados se determinan en millones de puntos (nodos) del modelo. Se trata de una variante de los modelos detallados. A grandes rasgos, el procedimiento para crear estos modelos detallados puede resumirse como sigue

- 5 1. Importación de una geometría 3D, por ejemplo desde el área de CAD,
2. Asignación de condiciones de contorno, es decir, sujeciones fijas, definiciones de materiales, condiciones de contacto (puntos de encolado, conexiones deslizantes, aislamiento térmico),
3. Interconexión (separación de la geometría en millones de pequeños elementos vinculados entre sí,
4. Aplicación de la carga, es decir, fuerzas, fuentes/disipadores de calor, campos magnéticos,
- 10 5. Resolución automática de las ecuaciones diferenciales resultantes para cada elemento individual y su combinación en un gran resultado para el modelo global,
6. Evaluación de los resultados.

La creación de modelos detallados con sensores virtuales en relación con ventiladores/sistemas globales con ventiladores resulta tal como sigue:

- 15 Se crean modelos detallados con el objetivo de poder reproducir la física del ventilador y/o del sistema global. Los llamados sensores virtuales son puntos de cálculo definidos en los modelos detallados. Estos sensores virtuales calculan los estados de los componentes, por ejemplo, la temperatura del bobinado en el modelo térmico detallado del ventilador. Los modelos detallados son modelos de simulación complejos en términos de tiempo de cálculo, potencia de cálculo y requisitos de memoria. Estos modelos detallados, como los modelos
- 20 térmicos, los modelos de circuitos magnéticos, los modelos electrónicos, los modelos de control, los modelos de fuerza o los modelos de vibración, por ejemplo, se utilizan para calcular estados de funcionamiento no lineales. Los efectos físicos del sistema incluyen interacciones entre los dominios, por lo que los modelos individuales deben considerarse de forma acoplada en el sistema global. Los cálculos con modelos detallados en el sistema global no son viables en términos de tiempo de cálculo, ya que las interacciones no pueden
- 25 analizarse en tiempo real. Por lo tanto, es necesaria una reducción de modelos.

Los modelos reducidos pueden generarse de la siguiente manera:

Una reducción de modelo describe de forma muy general un modelo existente con el fin de reducir más información, por ejemplo para optimizarlo en cuanto a requisitos de memoria o velocidad de computación. Dependiendo de la aplicación específica, existen muchas variantes, como por ejemplo

- 30 ▪ Aproximación de funciones matemáticas sencillas, como funciones polinómicas, por ejemplo, y simple almacenamiento de los coeficientes.
- Almacenamiento de tablas para distintas variables de entrada y, a continuación, utilización de estos valores discretos o interpolación entre los valores.
- Aproximación de modelos estadísticos que proporcionan pronósticos a partir de valores anteriores.
- 35 ▪ Gráficos/puertas lógicas, ejemplo: Si $T > 200^{\circ}\text{C}$, entonces el ventilador es defectuoso.

Generación de los modelos reducidos - ejemplo a)

- 40 El punto de partida para el modelo reducido es un modelo FE del sistema térmico, que reproduce las temperaturas en cada punto del modelo en función de la entrada y salida de calor. En el siguiente ejemplo, la reducción del modelo se simplifica a una sola entrada y una sola salida de calor, una sola temperatura a determinar en el punto A y sólo los valores «alto» y «bajo» en cada caso. Para determinar esta «tabla de consulta» se realiza un estudio de parámetros:

Temperatura en el punto A	Entrada de calor = Baja = 1W	Entrada de calor = Alta = 11W
Salida de calor = Baja = 1W	40°C	80°C
Salida de calor = Alta = 5W	20°C	60°C

Existen entonces varias posibilidades de utilizar los resultados.

- Utilizando la tabla directa y discretamente. Ejemplo: Si se quiere pronosticar una temperatura en el punto A para una entrada de calor de 4W y una salida de calor de 1W, se adopta directamente el valor de 40°C.

- Utilización de la tabla e interpolación lineal entre los valores. Ejemplo: Si se desea pronosticar una temperatura en el punto A para una entrada de calor de 5W y una salida de calor de 1W, se determina el valor de 60°C mediante interpolación lineal.

- 5 ▪ Uso de la tabla para determinar una función de pronóstico de la temperatura mediante regresión. Ejemplos de funciones objetivo son funciones polinómicas, funciones lineales, funciones exponenciales, funciones estadísticas, ecuaciones diferenciales, etc. A continuación, determinación de la temperatura utilizando esta función.

Generación de modelos reducidos - ejemplo b)

- 10 El punto de partida para el modelo reducido es un modelo FE del sistema térmico, que reproduce las temperaturas en cada punto del modelo en función de la entrada y salida de calor. Posteriormente, los modelos compactos espaciales de estado pueden aproximarse utilizando suposiciones matemáticas, cálculos y transformaciones (por ejemplo, el sistema LTI o el procedimiento de subespacios de Krylov). Éstos constan de dos ecuaciones diferenciales o integrales esenciales y cuatro matrices que describen todo el sistema (por ejemplo, matrices de 200x200 llenas de valores numéricos escalares). Sin embargo, éstas ya no representan la temperatura en millones de nodos, sino sólo en unos pocos puntos seleccionados. Además, la aproximación provoca una desviación de los resultados en función del tamaño del modelo espacial de estados. En principio, cuanto mayor sea el modelo y sus matrices, menor será la desviación.

- 15 Los modelos espaciales de estado están disponibles como procedimientos, módulos u objetos en muchos programas de álgebra computacional como Matlab o incluso en lenguajes de programación estándar, lo que significa que dichos modelos pueden calcularse simplemente importando las matrices. Las variables de entrada son, por ejemplo, la potencia térmica que entra en el sistema y los disipadores de calor debidos a la convección; las variables de salida son, por ejemplo, determinadas temperaturas de los componentes (por ejemplo, tres temperaturas diferentes de los componentes).

Generación de modelos reducidos - ejemplo c)

- 25 El punto de partida para la reducción de modelos en este ejemplo son los resultados experimentales. Aquí, como en el ejemplo a), se crearía una tabla a partir de los resultados de medición y se procedería de forma equivalente (uso discreto, interpolación lineal o regresión mediante funciones matemáticas).

Un acoplamiento de dominios físicos o de modelos diferentes puede ser de mayor importancia.

- 30 Tradicionalmente, los dominios se consideran individualmente en el desarrollo de productos virtuales, ya que una consideración conjunta es muy compleja en cálculos y memoria y difícilmente practicable. La reducción de modelos permite acoplar los modelos de diferentes dominios. Por ejemplo, el acoplamiento de un modelo detallado de circuito magnético, cuyo tiempo de cálculo en un clúster informático potente es de varios días a semanas, con un modelo térmico no es ventajoso. Reduciendo los modelos detallados, la potencia de cálculo necesaria y los requisitos de memoria son menores, lo que permite acoplar los modelos en lo que respecta al aspecto económico. En muchos casos, esto es necesario para reproducir el comportamiento real con la mayor precisión posible.

Acoplamiento de dominios físicos o modelos diferentes - ejemplos

- 40 ▪ La resistencia del bobinado depende aproximadamente de forma lineal de la temperatura del cobre. En función de la resistencia del bobinado, la pérdida de potencia en el bobinado varía de forma aproximadamente lineal. En función de la pérdida de potencia, el comportamiento térmico, por ejemplo la temperatura del bobinado y del rodamiento, cambia de forma muy poco lineal, lo que a su vez repercute en la resistencia del bobinado. Por lo tanto, aquí es necesario un acoplamiento en función de los requisitos de los resultados del modelo.

- 45 ▪ El par y la velocidad necesarios de un ventilador dependen en gran medida de la resistencia del sistema y, por ejemplo, de la diferencia de presión y la temperatura del medio bombeado. En función del par de carga, cambia el comportamiento del circuito magnético, es decir, las corrientes por el bobinado, el campo magnético, la velocidad, etc. En función de ello, también cambian el consumo de energía, las pérdidas y la velocidad alcanzable. En el caso de una aplicación por parte del cliente, también es concebible el acoplamiento del comportamiento del ventilador con la situación de la instalación en función de la aplicación.

Concreción de una implementación técnica - ejemplo a)

- 50 ▪ Creación de un modelo FE térmico de un ventilador → Modelo FE intensivo en cálculo y memoria con 1.000.000 de elementos además de la función polinómica. Las fuentes y los disipadores de calor se reproducen como funciones polinómicas en función de la corriente de entrada y la velocidad.

▪ Creación de un modelo térmico reducido utilizando procedimientos estadísticos, el cual reproduce la temperatura del componente electrónico en función de la corriente de entrada y la velocidad. → Función

polinómica que describe la temperatura en función de la corriente de entrada y la velocidad = sensor de temperatura virtual.

- 5 ▪ Curva característica de la hoja de datos para la vida útil del componente electrónico en función de su temperatura → Algoritmo específico de los parámetros de funcionamiento que calcula la probabilidad de fallo a partir del sensor de temperatura virtual.

▪ Utilización para el mantenimiento predictivo, para la supervisión o para la optimización del punto de funcionamiento → Algoritmo inteligente.

Concreción de una implementación técnica - ejemplo b)

- 10 ▪ Detección del indicador de corriente y de la velocidad del motor mediante electrónica/control integrado. De ello se deriva el punto de funcionamiento electromagnético.

▪ Las pérdidas del motor y de la electrónica de potencia se derivan de este punto de funcionamiento mediante tablas de consulta o funciones polinómicas.

▪ Un modelo térmico procesa los valores de pérdidas y determina las temperaturas de los componentes críticos del sistema, como los rodamientos de bolas o los componentes semiconductores.

- 15 ▪ Al mismo tiempo, se registran las vibraciones de los componentes mediante un sensor real. Las vibraciones locales se proyectan virtualmente sobre el sistema global mediante modelos de comportamiento, lo que permite estimar, por ejemplo, la carga de los rodamientos debida a las vibraciones.

▪ Se utilizan algoritmos específicos de los parámetros de funcionamiento para convertir las temperaturas y los valores de vibración determinados en una estimación de la vida útil del componente y del ventilador.

- 20 ▪ Esto permite adoptar medidas de mayor alcance, como el mantenimiento predictivo.

▪ Al mismo tiempo, el conocimiento de las pérdidas permite optimizar el punto de funcionamiento y la eficiencia del sistema mediante ajustes de control, como la variación del ángulo de control piloto.

- 25 En el contexto de una aplicación para ventiladores y/o sistemas de ventiladores, se aplican las observaciones anteriores sobre la reducción del modelo de los modelos detallados, en cuyo caso se puede llevar a cabo una reducción de orden utilizando el procedimiento del subespacio de Krylov. El objetivo es minimizar el tiempo de cálculo, la potencia de cálculo necesaria y los requisitos de memoria para que sea posible realizar un cálculo en tiempo real. Los sensores virtuales se mantienen y proporcionan variables de salida.

- 30 De acuerdo con la Figura 9, el siguiente paso es vincular los modelos reducidos al modelo del sistema del ventilador. Específicamente, los modelos reducidos tales como el modelo térmico, el modelo de circuito magnético, el modelo de software, el modelo electrónico, etc. se enlazan para formar un modelo de sistema de ventilador. El modelo de sistema de ventilador reproduce la física del ventilador individual o un grupo de ventiladores o un sistema de ventiladores y calcula la eficiencia, el rendimiento de funcionamiento y cualquier interacción entre los modelos individuales dependiendo de las condiciones ambientales y los estados de funcionamiento.

- 35 En el siguiente paso, los modelos del sistema de ventiladores se vinculan al modelo de planta, dando como resultado un modelo del sistema global. El modelo de sistema global consta de varios ventiladores y una planta que comprende, por ejemplo, un compresor y/o un condensador. El modelo de planta puede implementarse con el mismo flujo de trabajo que el modelo de sistema de ventiladores. Los modelos de sistema de ventiladores y el modelo de planta pueden entonces enlazarse para formar un modelo de sistema global.

- 40 El siguiente paso consiste en un estudio del comportamiento, es decir, el cálculo de las variables de respuesta con combinaciones de parámetros de entrada.

El objetivo del estudio es determinar el comportamiento del modelo de sistema global y utilizar este conocimiento para controlar el sistema en tiempo real.

- 45 De acuerdo con el comportamiento del sistema global, los efectos e influencias de las variables de entrada del modelo se transfieren a o reproducen en las variables de respuesta del modelo en el espacio de diseño.

El espacio de diseño es un espacio multidimensional que se extiende por las posibles variables de entrada. El número de variables de entrada corresponde a la dimensión del espacio de diseño. Con diez variables de entrada, esto significa diez dimensiones.

- 50 Las variables de entrada del modelo se varían dentro de unos límites definidos. Esto da como resultado combinaciones de parámetros que cubren uniformemente el espacio multidimensional y, de esta manera, lo describen. Las variables de respuesta del modelo, como la eficiencia y el rendimiento de funcionamiento, se

calculan utilizando las combinaciones de parámetros. El estudio del comportamiento proporciona un espacio de diseño lleno de variables de respuesta en función de las variables de entrada. Este espacio reproduce el comportamiento global del sistema.

- 5 La figura 10 muestra cómo se incorporan diversas variables de entrada a los modelos de sistemas de ventiladores y a los modelos de circuitos de refrigeración, dando como resultado el modelo del sistema de refrigeración global. Una variable de salida correspondiente debe entenderse como el resultado del modelo del sistema de refrigeración global. El conocimiento resultante puede transferirse a una tabla de comportamiento, como se muestra en la Figura 11. Si se conoce el comportamiento del sistema global, las variables de entrada pueden ajustarse para obtener la mejor variable de respuesta posible.
- 10 La adaptación o selección de la variable de respuesta y la combinación de variables de entrada asociada a partir de la tabla de comportamiento se implementa mediante un optimizador, concretamente según el paso de procedimiento adicional mostrado en la figura 9, según el cual el optimizador selecciona la mejor variable de respuesta y, por lo tanto, selecciona la mejor combinación de parámetros de entrada posible para el estado de funcionamiento actual.
- 15 Como se muestra en la Figura 12, el optimizador selecciona la mejor variable de respuesta y determina la mejor combinación posible de parámetros de entrada para el estado operativo actual. En otras palabras, el optimizador selecciona la mejor respuesta posible del modelo dependiendo de las condiciones ambientales/estado operativo. Se establecen las correspondientes combinaciones de parámetros de las variables de entrada. Esto permite controlar el sistema de la mejor manera posible. La tabla de comportamiento
- 20 del sistema de refrigeración global puede ejecutarse en cualquier procesador, preferiblemente en un microprocesador del ventilador, que ya está presente. De este modo es posible el control.
- 25 La figura 13 se refiere a un posible desarrollo posterior, según el cual la tabla de comportamiento del sistema de refrigeración global mostrada en la figura 12 se amplía mediante una simulación del sistema del circuito de refrigeración en una nube. El sistema comprende gemelos digitales del ventilador, gemelos digitales del circuito de refrigeración, una unidad de validación y un controlador/optimizador virtual.
- 30 Los gemelos digitales del ventilador y del circuito de refrigeración reproducen físicamente el sistema. El controlador virtual dispone del conocimiento de la tabla de comportamiento del sistema de refrigeración global, como se muestra en la figura 12. Además, el controlador virtual puede aprender mediante aprendizaje automático, por ejemplo, en relación con aplicaciones específicas del cliente. La unidad de validación mejora los gemelos digitales comparando el valor nominal y el valor real. Esto proporciona al sistema la capacidad de simular patrones específicos de clientes y mejorarse a sí mismo basándose en el conocimiento resultante.
- Por último, debe señalarse expresamente que las realizaciones descritas anteriormente son meramente a efectos de discutir la enseñanza reivindicada, pero no la limitan a los ejemplos de realización. El ámbito de protección de la invención se define en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para optimizar la eficiencia y/o la vida útil de un ventilador, en el que, partiendo de modelos numéricos detallados específicos de un componente o de una función, se lleva a cabo una reducción del modelo y, por tanto, de los datos a modelos de comportamiento específicos de un componente o de una función sobre la base de al menos un algoritmo, en cuyo caso los datos de los modelos reducidos se proporcionan en forma de tablas o matrices de datos, los datos reducidos de los modelos de comportamiento se acoplan o combinan en una simulación del sistema para formar un modelo de comportamiento del sistema con variables de entrada y de salida, los datos del modelo de comportamiento del sistema, a saber, las variables de entrada y las variables de salida correspondientes del ventilador se proporcionan en forma de tabla o matriz de datos, y las variables de entrada y las variables de salida correspondientes del ventilador a partir del modelo de comportamiento del sistema se ponen a disposición de un optimizador para su selección con el fin de lograr un control optimizado del sistema en función de las condiciones marco.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque los modelos detallados comprenden un modelo térmico y/o un modelo de circuito magnético y/o un modelo de posición de palas y de flujo y/o un modelo de entorno y/o un modelo gemelo digital de uno o más ventiladores y/o del sistema global teniendo en cuenta el entorno.
3. Procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado porque las condiciones marco del optimizador son condiciones ambientales del ventilador, en función de las cuales se selecciona en la tabla o matriz, preferentemente en tiempo real, la respectiva mejor variable de salida posible del sistema, por ejemplo, la eficiencia del sistema, según su requisito en la respectiva línea de la tabla se lee la variable de entrada correspondiente, con la que tiene lugar a continuación el control.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque el ángulo de la posición de la pala se controla de tal manera que se produce una eficiencia óptima del sistema en función del punto de funcionamiento, en cuyo caso el optimizador selecciona la eficiencia óptima del sistema a partir de la tabla de comportamiento del sistema y alimenta las variables de entrada correspondientes al control.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque la velocidad de flujo y la consiguiente distribución de carga de los ventiladores individuales de un conjunto de ventiladores, por ejemplo la distribución de carga de ventiladores de un centro de datos se controla de tal manera que se produce una eficiencia óptima del sistema en función de la temperatura en el centro de datos, en cuyo caso el optimizador selecciona la eficiencia óptima del sistema a partir de la tabla de comportamiento del sistema y alimenta las variables de entrada correspondientes al control.
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque el control optimizado se convierte en un código C, por lo que es posible el control en tiempo real en un microprocesador estándar.
7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la obtención de los modelos detallados se basa en la determinación de los estados de funcionamiento de un ventilador utilizando una imagen digital del ventilador y al menos un algoritmo específico de los parámetros de funcionamiento, en el que la determinación comprende las siguientes etapas del procedimiento:

Creación de la imagen digital del ventilador real reproduciendo sus propiedades mediante modelos de cálculo matemático y, si es necesario, datos conocidos,

Creación de al menos un algoritmo específico de parámetros de funcionamiento, teniendo en cuenta relaciones conocidas, curvas características, etc.

Cálculo de los estados de los componentes del ventilador a través de la imagen digital mediante sensores virtuales,

Transmisión de los estados de los componentes al algoritmo, que calcula los parámetros de funcionamiento del ventilador a partir de los estados de los componentes.
8. Procedimiento según la reivindicación 7, caracterizado porque la imagen digital se basa en un modelo de cálculo de circuito térmico y/o mecánico y/o de circuito magnético como modelo matemático y/o físico y/o empírico y/o estadístico o combinado, en cuyo caso el modelo de cálculo respectivo se transfiere del modelo detallado respectivo al modelo reducido.

DIBUJOS

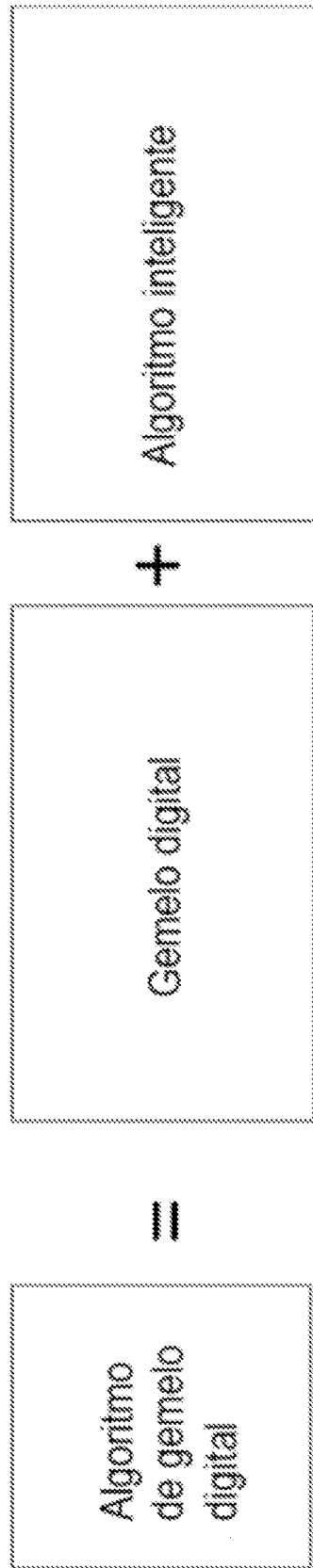


FIG. 1

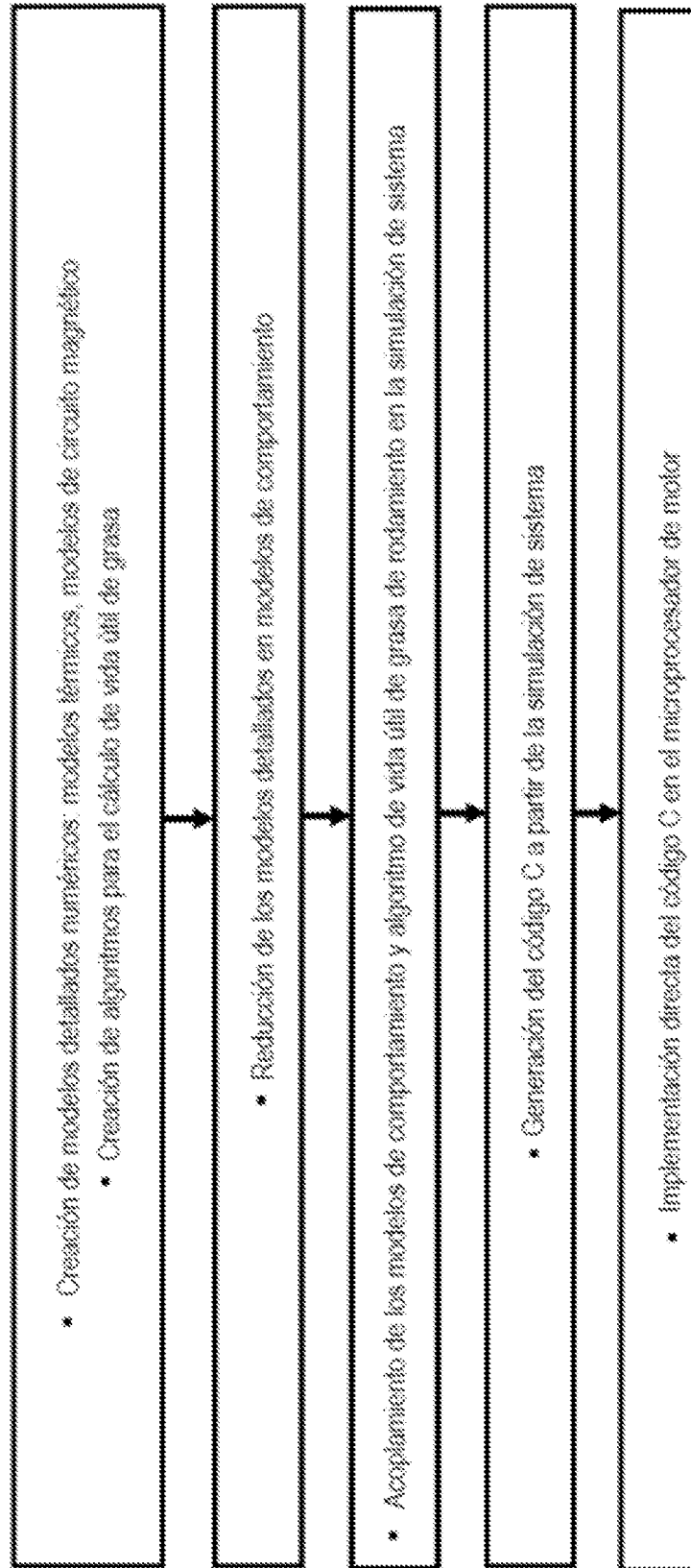


FIG. 2

Parámetros para el diseño de vida útil de grasa de rodamiento

- Funcionamiento continuo
- Tipo de rodamiento: 608-2Z
- Viscosidad: 70
- Velocidad: 1290 rpm
- Temperatura de grasa: 110 °C
- Tiempo de funcionamiento/vida útil: 40 000 h

Ejemplo de cálculo

Hora	Temperatura	Factor	Tiempo de vida consumido
0:00 - 0:01	110 °C	1	1 min
0:01 - 0:02	120 °C	2	2 min
0:02 - 0:03	130 °C	4	4 min
0:03 - 0:04	140 °C	8	8 min

Resultado

- Horas de funcionamiento: 4 min
- Tiempo de vida consumido: 15 min

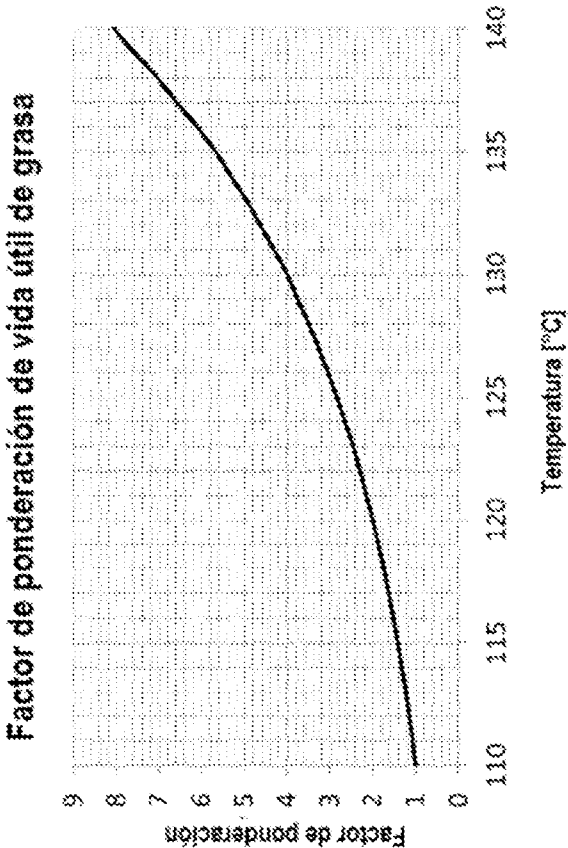


FIG. 3

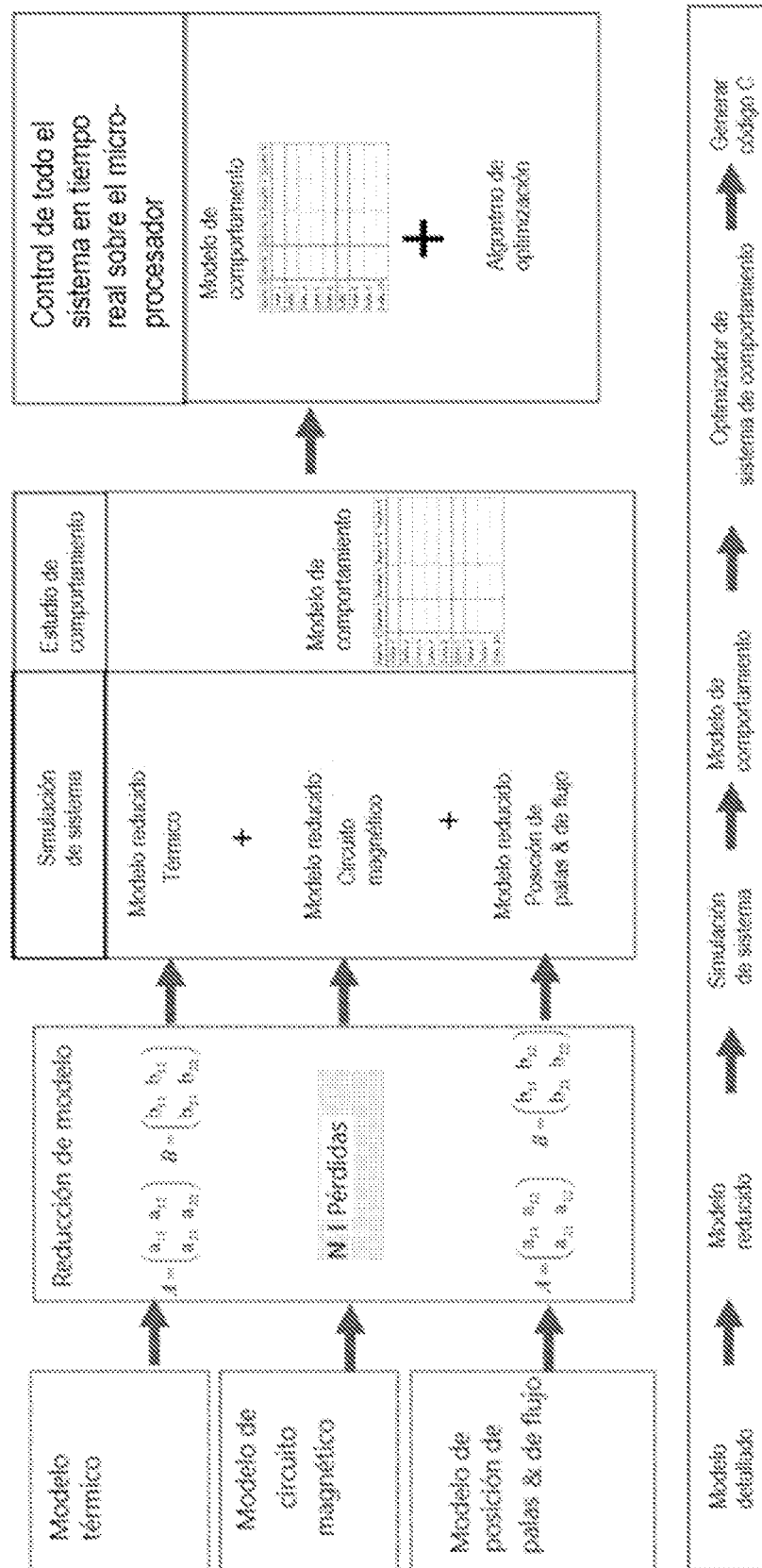


FIG. 4

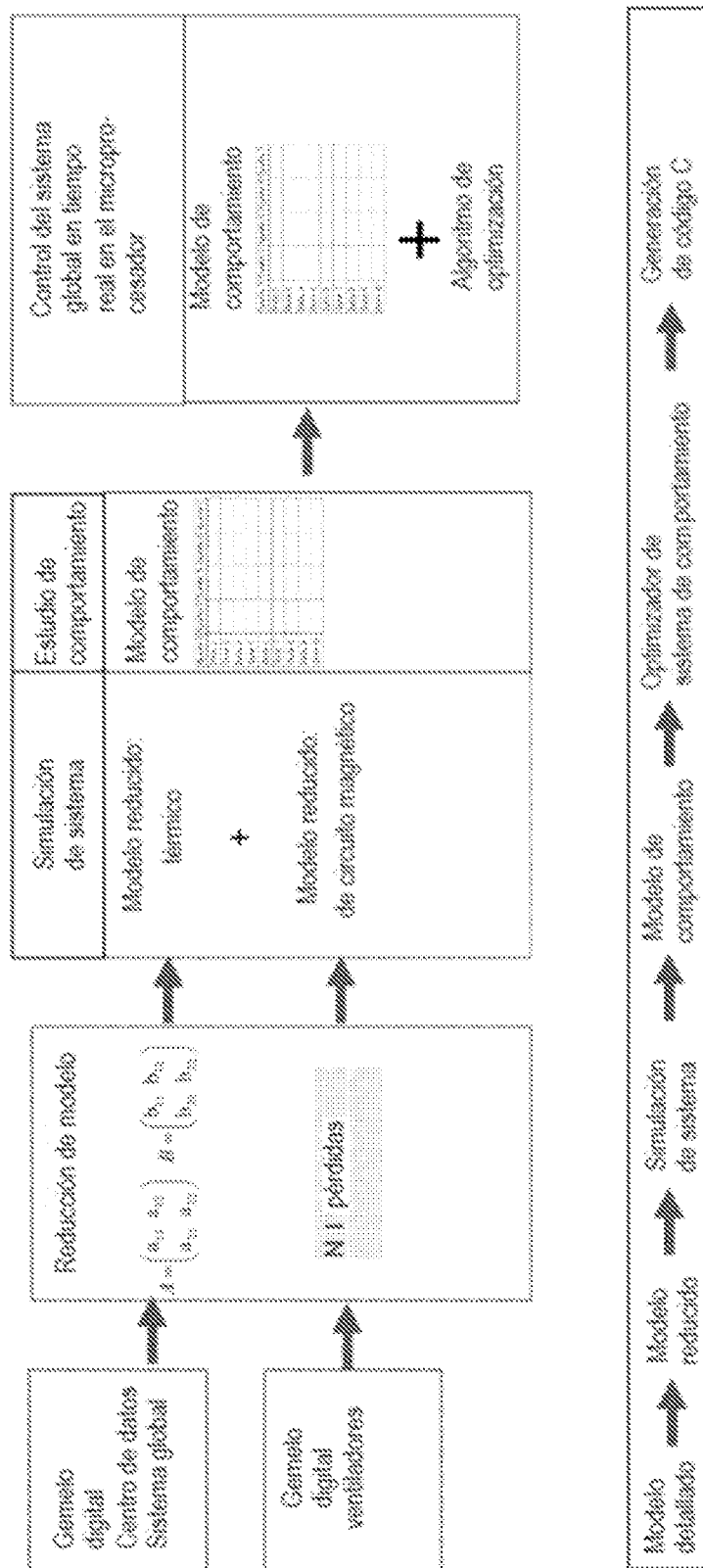


FIG. 5

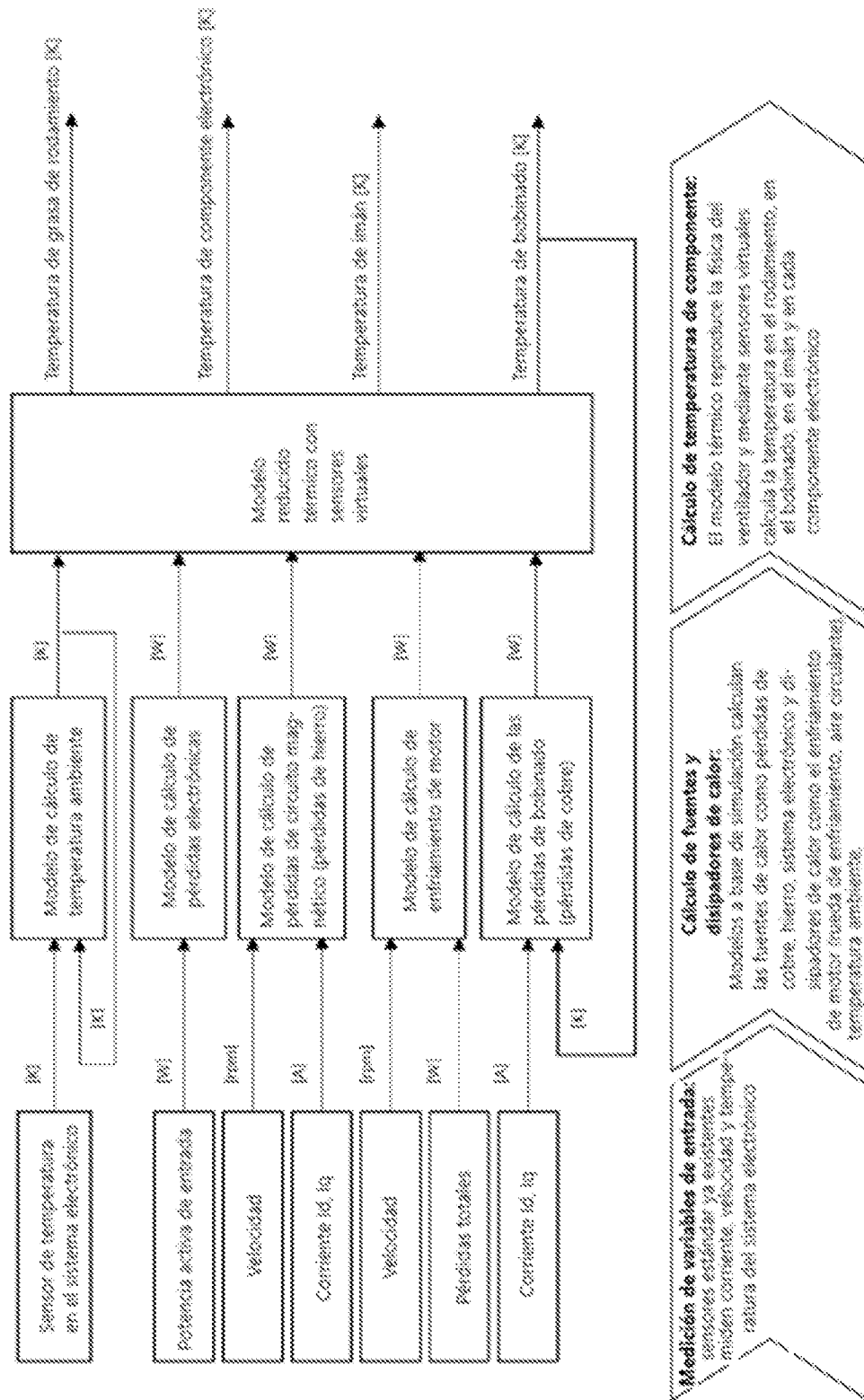


FIG. 6

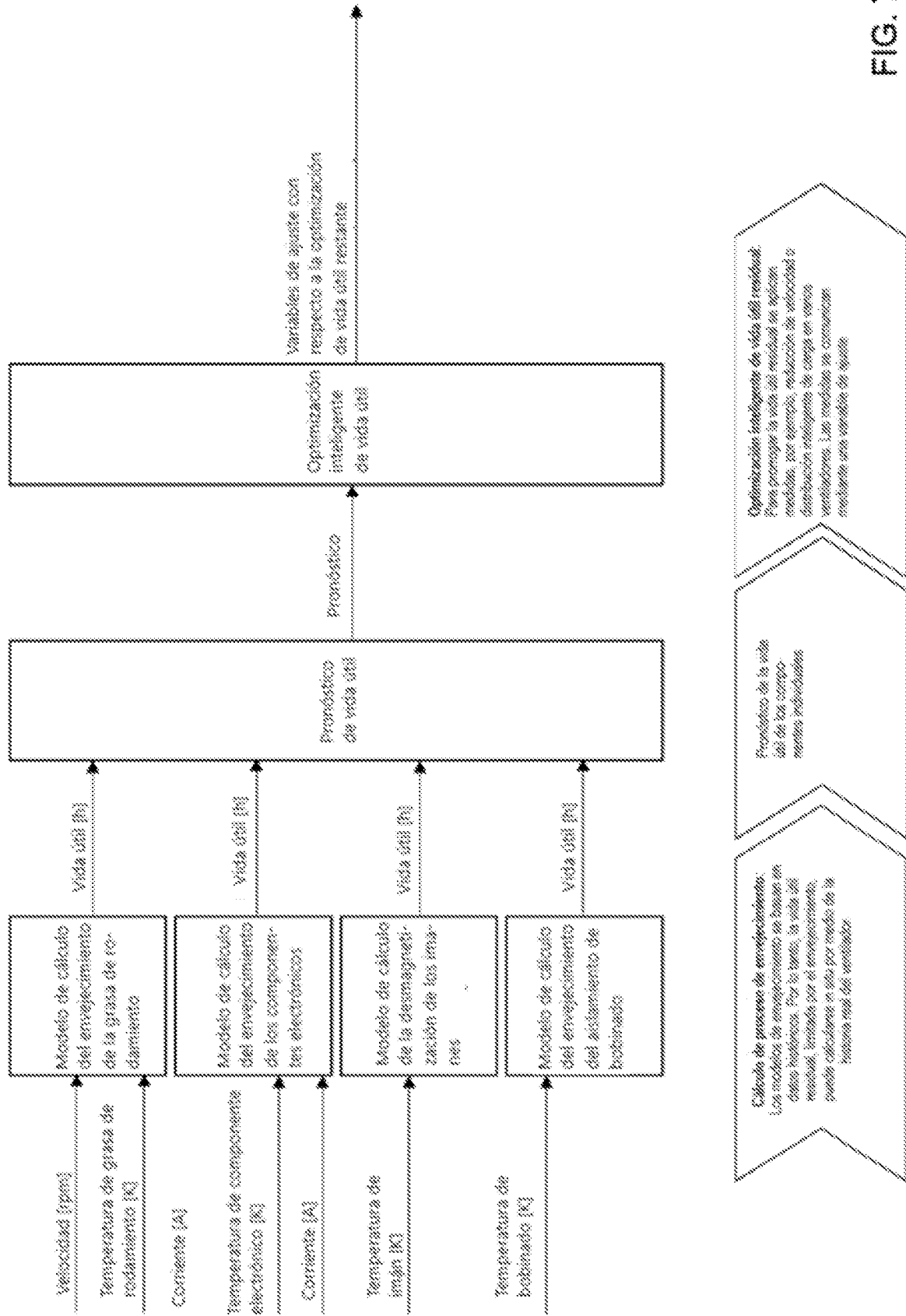


FIG. 7

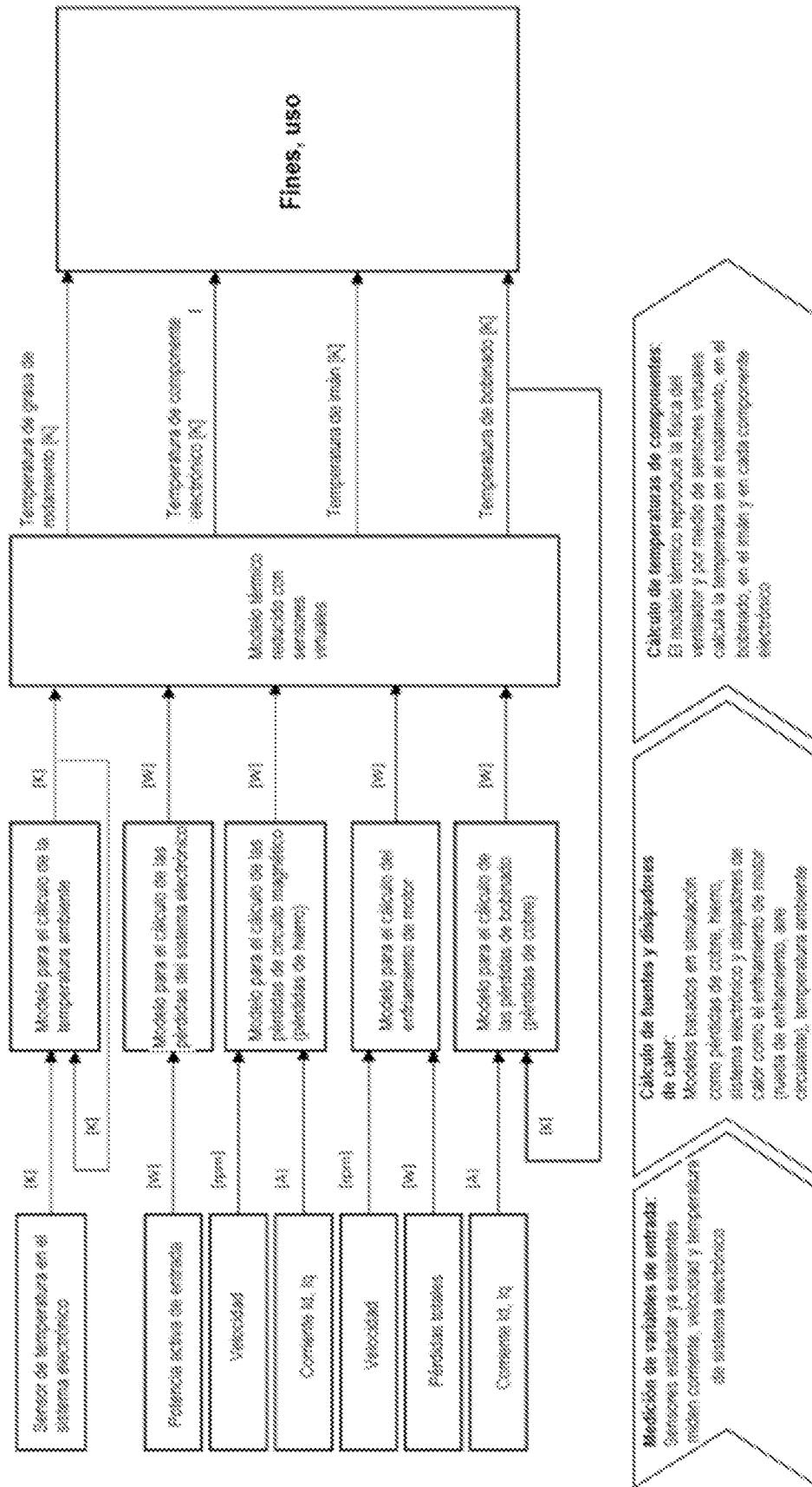


FIG. 8

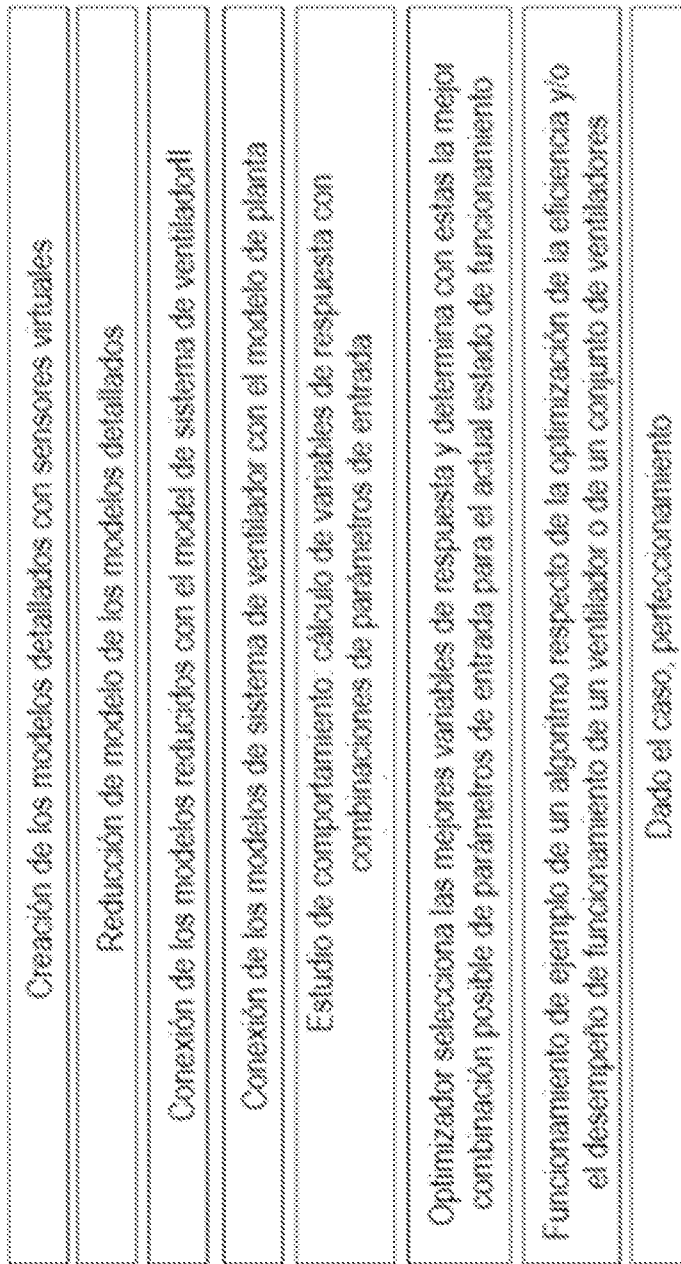


FIG. 9

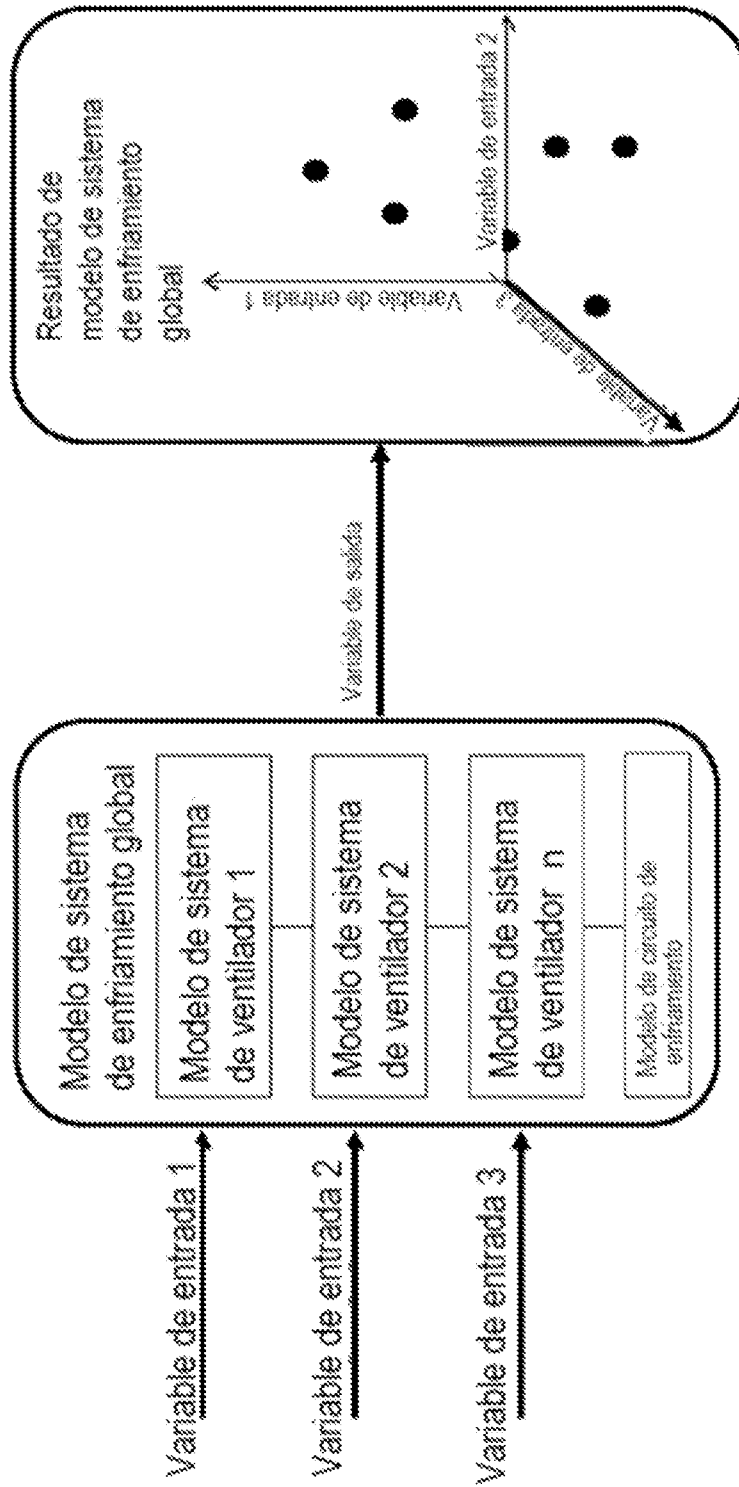


FIG. 10

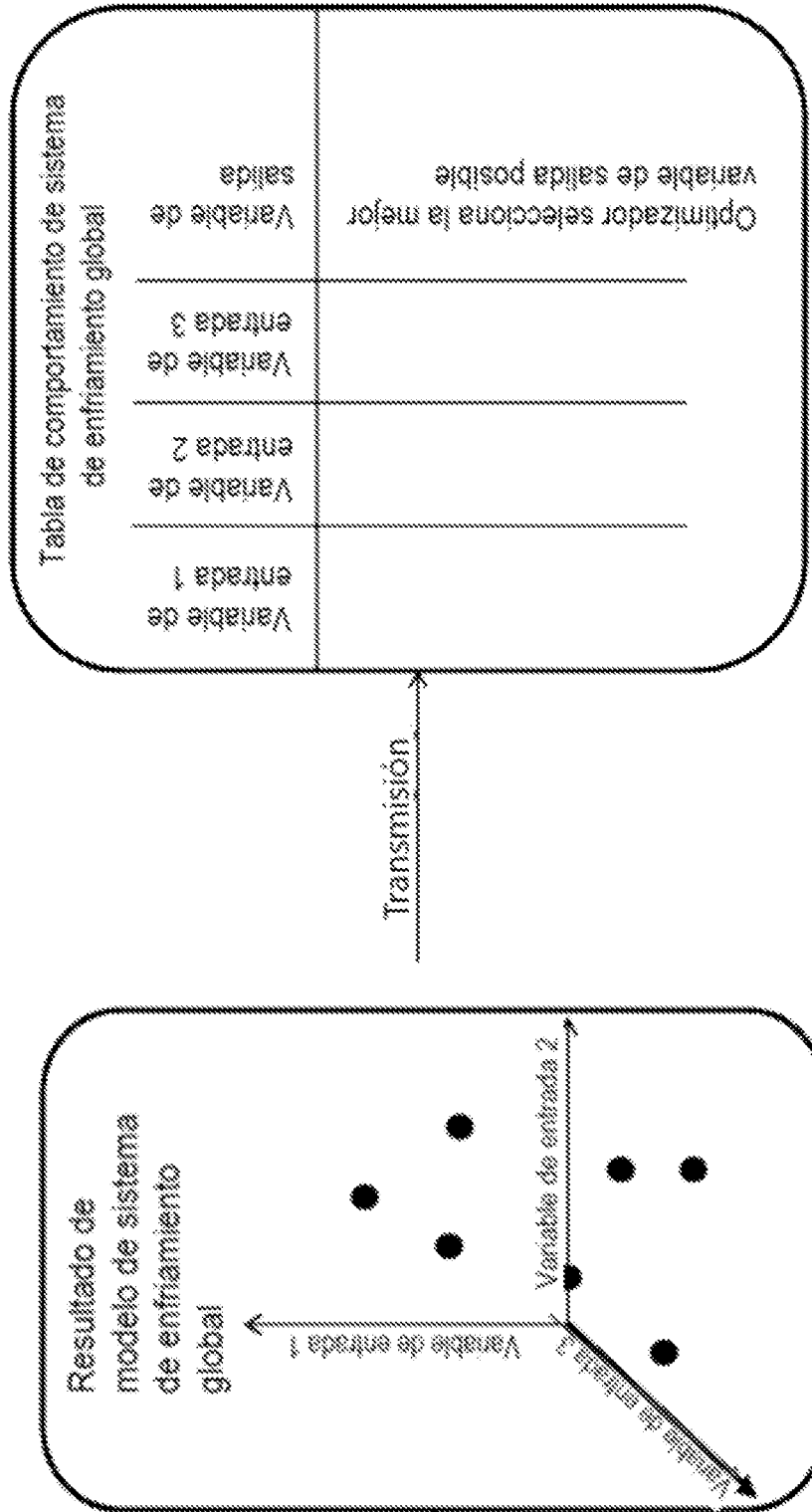


FIG. 11

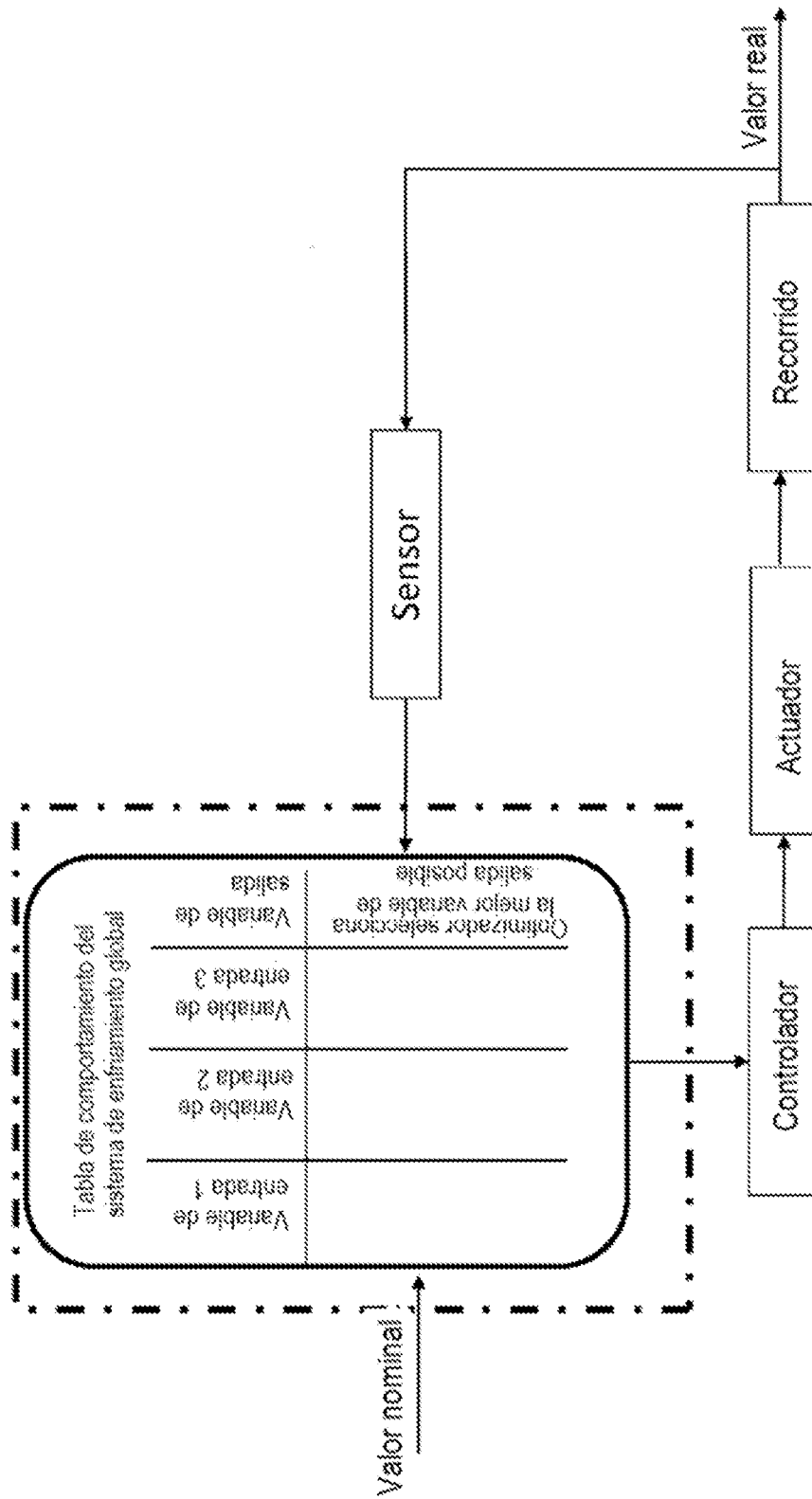


FIG. 12

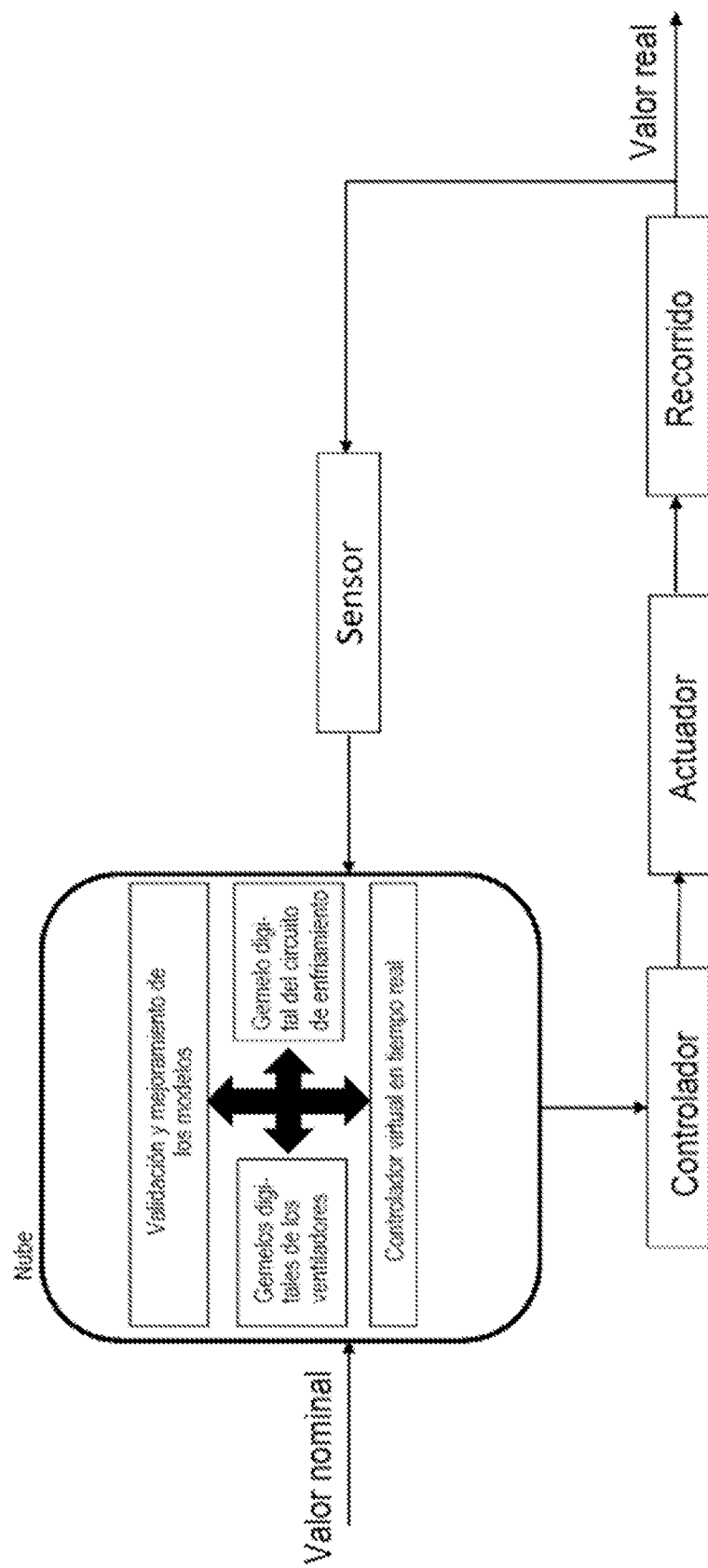


FIG. 13