

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 820 448**

51 Int. Cl.:

G05B 23/02 (2006.01)

F03D 17/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.05.2012 E 12167055 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.07.2020 EP 2527942**

54 Título: **Sistema y procedimiento para estimar la vida útil restante de un dispositivo**

30 Prioridad:

24.05.2011 US 201113114751

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

21.04.2021

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**RITTER, ALLEN MICHAEL;
WAGONER, ROBERT GREGORY y
SEYMOUR, ROBERT ALLEN**

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 820 448 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

Sistema y procedimiento para estimar la vida útil restante de un dispositivo

5 **[0001]** La presente divulgación se refiere en general al pronóstico para un dispositivo y, en particular, a un sistema y procedimiento para estimar la vida útil restante del dispositivo.

10 **[0002]** La estimación de la vida útil restante del equipo es conocida como pronóstico. Las estimaciones de vida útil restante proporcionan información valiosa para el funcionamiento del equipo. Las estimaciones de vida útil restante proporcionan ayuda para la toma de decisiones que permiten a los operarios cambiar las características operativas (tales como la carga), lo que a su vez puede prolongar la vida útil del equipo. Las estimaciones de vida útil restante también permiten a los planificadores tener en cuenta el próximo mantenimiento y poner en marcha un proceso logístico que respalde una transición sin problemas de equipos con fallas a equipos en pleno funcionamiento. Predecir la vida útil restante no es sencillo porque, por lo general, la vida útil restante depende de los parámetros de uso futuros, tales como la carga y la velocidad. Además, un entendimiento de la física subyacente que gobierna la vida útil restante es difícil de determinar para equipos complejos donde numerosos modos de falla pueden potencialmente ser el motor de la vida útil restante. Véanse los documentos US 2009/0276165 y US 2008/0285192, por ejemplo.

20 **[0003]** Un enfoque común del pronóstico es emplear un modelo de propagación de daños que dependa del uso futuro. Un modelo de este tipo a menudo se basa en un conocimiento detallado de los materiales y hace uso del modelado de elementos finitos. Debido a que dichos modelos son extremadamente costosos de desarrollar, se limitan a unas pocas partes importantes de un subsistema, pero rara vez se aplican a un sistema completo.

25 **[0004]** Otro enfoque conocido para estimar la vida útil restante es un enfoque basado en datos donde el comportamiento del equipo se rastrea por medio de mediciones de sensores durante el funcionamiento normal a lo largo de la vida útil del equipo. El final de la vida útil del equipo puede representar un estado totalmente no funcional del equipo, por ejemplo, falla del equipo. El final de la vida útil del equipo también puede representar un estado del equipo en el que el equipo ya no proporciona los resultados esperados. Se pueden emplear algoritmos de reconocimiento de patrones para reconocer tendencias y predecir la vida útil restante. Este enfoque proporciona una gran cantidad de datos que dan como resultado costosos algoritmos para procesar los datos. Además, estas predicciones se realizan a menudo bajo el supuesto de parámetros de carga futura casi constantes.

35 **[0005]** Los equipos eléctricos conocidos rara vez funcionan con parámetros de carga casi constantes. Las turbinas eólicas, por ejemplo, exigen soluciones rentables que puedan funcionar en condiciones severas y variables. El fin de la vida útil del producto y el tiempo de inactividad no programado pueden variar significativamente de una turbina a otra, lo que complica las predicciones del diseño y el mantenimiento del parque. La exposición a la tensión cíclica varía drásticamente de una turbina a otra, y la provisión de margen para la turbina más exigente da como resultado un coste excesivo para la mayoría. Otras expectativas de fatiga cíclica conocida típicamente se basan en los ciclos predefinidos del fabricante hasta la falla, en los que el funcionamiento conocido de la turbina rara vez repite los ciclos predefinidos de los fabricantes.

[0006] La presente invención está definida por las reivindicaciones adjuntas.

45 **[0007]** Se describirán ahora diversos aspectos y modos de realización de la presente invención en relación con los dibujos adjuntos, en los que:

La fig. 1 es un diagrama esquemático de un modo de realización ejemplar de un sistema para calcular un periodo de vida útil restante de un dispositivo.

50 La fig. 2 es un diagrama de flujo de un procedimiento ejemplar para su uso en el cálculo del periodo de vida útil restante del dispositivo de la fig. 1.

La fig. 3 es un diagrama esquemático de un modo de realización ejemplar de un sistema para calcular un periodo de vida útil restante de un dispositivo de potencia.

55 La fig. 4 es un diagrama de flujo de un procedimiento ejemplar para su uso en el cálculo del periodo de vida útil restante del dispositivo de potencia de la fig. 3.

60 La fig. 5 es un diagrama de bloques que ilustra un parámetro de temperatura y un parámetro de temperatura de referencia limitado por un valor de temperatura superior y un valor de temperatura inferior.

La fig. 6 es otro diagrama de bloques del parámetro de temperatura de la fig. 5 que supera el valor de temperatura superior y una posición de la temperatura de referencia ajustada en respuesta al parámetro de temperatura que supera el valor de temperatura superior.

65

La fig. 7 es un gráfico que ilustra una relación entre el parámetro de temperatura, un valor de temperatura superior, un valor de temperatura inferior y la temperatura de referencia de las figs. 5 y 6.

La fig. 8 es un gráfico que ilustra el cambio de temperatura de referencia a lo largo del tiempo como se representa en la fig. 7.

[0008] La fig. 1 es un diagrama esquemático de un modo de realización ejemplar de un sistema 10 configurado para facilitar un análisis de pronóstico para estimar un periodo de vida útil restante RLP para un dispositivo 12 del sistema 10. Las estimaciones de vida útil restante están en unidades de tiempo o ciclos. Una estimación de vida útil típicamente tiene una incertidumbre asociada que se describe como una curva de densidad de probabilidad alrededor de una estimación real. Los diagnósticos incluyen una detección de un parámetro de falla o un cambio observado en un estado operativo del dispositivo 12 que está relacionado con un evento verificable. En este modo de realización, se determina que una falla es un signo de un posible fin de la vida útil del equipo en algún momento futuro. Un ejemplo de una falla de este tipo es un incremento en el ciclo térmico del dispositivo 12, que puede dar como resultado un mantenimiento no programado y posiblemente una interrupción operativa.

[0009] El sistema 10 incluye el dispositivo 12, al menos un sensor 14, una unidad de transferencia de datos 16, un procesador 18, una unidad de interfaz 20, un ordenador 22 y una base de datos 24. El ordenador 22 incluye además un dispositivo de almacenamiento de programas 26. El sistema 10 incluye cualquier equipo que tenga un parámetro medible que facilite la estimación del periodo de vida útil restante del dispositivo 12.

[0010] El sensor 14 está acoplado al dispositivo 12 y está configurado para ser sensible a al menos un parámetro de funcionamiento 28 del dispositivo 12. El parámetro de funcionamiento 28 incluye parámetros tales como, pero sin limitarse a, velocidad, carga, consumo de energía y temperatura. El parámetro de funcionamiento 28 incluye cualquier característica de funcionamiento del dispositivo 12 que se pueda medir para predecir la vida útil restante del dispositivo 12. En particular, el sensor 14 está configurado para facilitar la detección del parámetro de funcionamiento 28 y para generar una señal de medición 30 representativa del parámetro de funcionamiento 28 del dispositivo 12. El sensor 14 transmite la señal 30 al procesador 18.

[0011] En un modo de realización, el procesador 18 está acoplado con el dispositivo de interfaz 20. El procesador 18 también está acoplado con el ordenador 22, en el que el ordenador 22 está acoplado con la base de datos 24. El ordenador 22 está configurado para poner a disposición de la base de datos 24, por medio del procesador 18, datos históricos y/o datos modelados y/o datos actuales relacionados con el dispositivo 12. En un modo de realización, la base de datos 24 está configurada además para almacenar y poner a disposición del ordenador 22 datos relacionados con los parámetros de funcionamientos 28 del dispositivo 12, incluyendo las señales 30 generadas por el sensor 14.

[0012] La base de datos 24 incluye información que facilita la estimación de la vida útil restante del dispositivo 12. La información de la base de datos 24 incluye un valor límite superior 32, un valor límite inferior 34 y un parámetro de referencia 36. El valor límite superior 32 y el valor límite inferior 34 incluyen valores que definen un intervalo de deformación elástica para el dispositivo 12. Los valores más allá del valor límite superior 32 y el valor límite inferior 34 definen la deformación plástica del dispositivo 12. El parámetro de referencia 36 es un valor entre el valor límite superior 32 y el valor límite inferior 34. Como se expone a continuación, el procesador 18 facilita correlacionar las mediciones del parámetro de funcionamiento 28 con el parámetro de referencia 36 en base a un estado del parámetro de funcionamiento 28 en comparación con el valor límite superior 32 y el valor límite inferior 34. La base de datos 24 incluye además un valor umbral predeterminado 38. Como se expone a continuación, el valor umbral 38 facilita la estimación del periodo de vida útil restante RLP del dispositivo 12. El valor de límite superior 32, el valor de límite inferior 34, el parámetro de referencia 36 y el valor de umbral 38 se establecen inicialmente y se introducen en la base de datos 24 en base a la compilación de datos históricos y/o datos modelados y/o datos actuales del dispositivo relacionados con el dispositivo 12.

[0013] El procesador 18 incluye los circuitos 40 acoplados al sensor 14 y a la base de datos 24 para facilitar los cálculos computacionales para estimar la vida útil restante del dispositivo 12. Los circuitos 40 están configurados para recibir la señal de medición 30 del parámetro de funcionamiento 28 del dispositivo 12. El procesador 18 está configurado para facilitar la correlación de las mediciones del parámetro de funcionamiento 28 con el parámetro de referencia 36 para facilitar la estimación del periodo de vida útil restante RLP del dispositivo 12. Los circuitos 40 incluyen los circuitos sensores 42, los circuitos contadores 44, los circuitos de medición 46, los circuitos integradores 48 y los circuitos determinantes 50.

[0014] Los circuitos sensores 42 están configurados para recibir la señal de medición 30 desde el sensor 14 que es representativa del parámetro de funcionamiento 28. Los circuitos contadores 44 están configurados para contar cuándo el parámetro de funcionamiento 28 supera el valor límite superior 32 y/o el valor límite inferior 34 de la base de datos 24 durante un ciclo operativo del dispositivo 12. Los circuitos de medición 46 están configurados para medir una pluralidad de cambios en el valor del parámetro de referencia 36 generado en respuesta a que el parámetro de funcionamiento 28 supera el valor límite superior 32 y/o un valor límite inferior 34 durante el ciclo operativo del dispositivo 12. Los circuitos integradores 46 están configurados para calcular las integrales de valores absolutos de la pluralidad de cambios en el valor del parámetro de referencia 36 durante el ciclo operativo para producir un valor

integrado de la pluralidad de cambios de valor del parámetro de referencia 36.

[0015] Los circuitos determinantes 50 están configurados para facilitar estimar el periodo de vida útil restante RLP para el dispositivo 12 cuando el valor integrado alcanza el valor umbral predeterminado 38. El valor umbral predeterminado 38 correlaciona la fatiga del dispositivo 12 asociada con el parámetro de funcionamiento 28 que supera los límites elásticos definidos por el valor límite superior 32 y el valor límite inferior 34. El procesador 18 genera una métrica de orden reducido del periodo de vida útil restante RLP esperado del dispositivo 12 y utiliza el número de ciclos y/o la profundidad de penetración más allá de los límites elásticos por el dispositivo 12 para generar señales de orden bajo indicativas de la vida consumida del dispositivo 12.

[0016] Los circuitos determinantes 50 agregan datos desde el sensor 14 mientras tienen en cuenta las incertidumbres inherentes del sensor 14. La incertidumbre puede variar como función del tiempo, la fiabilidad del sensor 14 y el conocimiento del dominio, entre otros. Los circuitos determinantes 50 comprueban la coherencia de las señales 30 del sensor y filtran las señales para eliminar valores atípicos, ruido y fallas o de otro modo información deficiente del sensor.

[0017] Para propósitos de diagnóstico, los circuitos determinantes 50 también están configurados para iniciar una señal 51 que indica el periodo de vida útil restante RLP. En un modo de realización, la señal 51 incluye una señal visual tal como una luz de advertencia o una pantalla de lectura que ilustra el periodo de vida útil restante RLP. En otro modo de realización, la señal 51 incluye una señal audible tal como un sonido de advertencia para indicar el periodo de vida útil restante RLP.

[0018] Aunque se ha descrito un modo de realización que tiene un ordenador 22 en comunicación de señales con el procesador 18, el ordenador 22 también puede estar en comunicación directa con la unidad de transferencia de datos 16. Se apreciará además que un modo de realización de la invención también incluye el ordenador 22 en comunicación con la unidad de transferencia de datos 16 a través de una variedad de protocolos de comunicación, tales como celular, Internet inalámbrico y otros, por ejemplo, para permitir una conexión entre el ordenador 22 y la unidad de transferencia de datos 16.

[0019] El término "ordenador", como se usa en el presente documento, incluye ordenadores de tipo de mesa y portátiles, servidores, sistemas basados en microprocesadores, circuitos integrados específicos de la aplicación y cualquier circuito integrado programable que pueda realizar las funciones descritas en el presente documento en relación con el sistema 10.

[0020] La fig. 2 ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento de predicción del periodo de vida útil restante RLP para el dispositivo 12. Antes del funcionamiento del dispositivo 12, el parámetro de funcionamiento 28 que se va a medir se establece 210 dentro del procesador 18. Una vez que se establece el parámetro de funcionamiento 28, el valor límite superior 32 y el valor límite inferior 34 se introducen 220 en el procesador 18. El valor límite superior 32 y el valor límite inferior 34 se relacionan con el parámetro de funcionamiento 28 a través de datos históricos y/o datos modelados. Por ejemplo, cuando el parámetro de funcionamiento 28 se establece como temperatura, el valor límite superior 32 corresponde a una temperatura máxima y el valor límite inferior 34 corresponde a una temperatura mínima, de modo que el valor límite superior 32 y el valor límite inferior 34 definen un intervalo de deformación elástica 230 para el dispositivo 12. Cuando el dispositivo 12 funciona dentro de un intervalo de deformación elástica definida por el valor límite superior 32 y el valor límite inferior 34, el dispositivo 12 experimenta deformación elástica. Cuando el dispositivo 12 funciona más allá del valor límite superior 32 y/o el valor límite inferior 34, el dispositivo 12 experimenta deformación plástica.

[0021] Después de que se establece el parámetro de funcionamiento 28, el parámetro de referencia 36 también se introduce 240 en el procesador 18. El parámetro de referencia 36 incluye un valor entre el valor límite superior 32 y el valor límite inferior 34 de modo que el valor límite superior 32 y el valor límite inferior 34 definen la configuración para el parámetro de referencia 36. Por ejemplo, cuando el parámetro de funcionamiento 28 se establece como temperatura, el parámetro de referencia 36 corresponde a la temperatura de funcionamiento modelada. Los esquemas de modelado conocidos correlacionan el parámetro de funcionamiento 28 real con el parámetro de referencia 36 modelado.

[0022] Durante un ciclo operativo del dispositivo 12, el sensor 14 mide 250 el parámetro de funcionamiento 28. Durante el funcionamiento, el parámetro de funcionamiento 28 fluctúa dentro de un intervalo definido por el valor límite superior 32 y el valor límite inferior 34. Mientras que el parámetro de funcionamiento 28 fluctúa dentro del intervalo definido por el valor límite superior 32 y el valor límite inferior 34, cualquier deformación experimentada por el dispositivo 12 incluye la deformación elástica permisible para el dispositivo 12.

[0023] Cuando el parámetro de funcionamiento 28 supera el valor límite superior 32 y/o el valor límite inferior 34, el parámetro de referencia 36, en base a técnicas de modelado, ajusta su valor para facilitar el mantenimiento de la configuración del valor límite superior 32 y el valor límite inferior 34 alrededor del parámetro de funcionamiento 28. Los valores del parámetro de referencia 36 cambian en respuesta a que el parámetro de funcionamiento 28 supera el valor límite superior 32 y/o el valor límite inferior 34. Cuando el parámetro de funcionamiento 28 supera el valor límite

superior 32 y/o el valor límite inferior 34, cualquier deformación experimentada por el dispositivo 12 incluye deformación plástica.

[0024] El procesador 18 mide y registra una pluralidad de cambios en los valores del parámetro de referencia 36 generados en respuesta al parámetro de funcionamiento 28 que supera el valor límite superior 32 y/o el valor límite inferior 34. A continuación, el procesador 18 calcula las integrales de valores absolutos del cambio en los valores del parámetro de referencia 36 durante el ciclo operativo. El procesador 18 integra los valores de la pluralidad de cambios en el valor del parámetro de referencia 36 para calcular un valor integrado de la pluralidad de cambios en los valores del parámetro de referencia 36. A continuación, el procesador 18 estima un periodo de vida útil restante RLP 260 para el dispositivo 12 cuando el valor integrado alcanza el valor umbral predeterminado 38.

[0025] El procesador 18 mantiene un registro de cambios en el valor del parámetro de referencia 36 representado por el valor de la integral acumulada del valor absoluto de todos los cambios con respecto al parámetro de referencia 36 durante la vida de funcionamiento del dispositivo 12. En base a los datos históricos y/o datos modelados, alcanzar el valor umbral predeterminado 38 indica un consumo de vida para el dispositivo 12. Los circuitos determinantes 50 generan la señal 51 para alertar al operario o al sistema 10 del periodo de vida útil restante RLP.

[0026] La fig. 3 ilustra el sistema 10 que tiene un dispositivo 12 ejemplar acoplado con un procesador 18 que tiene circuitos de predicción de vida útil restante 40, en el que el dispositivo 12 incluye un módulo de potencia 52. El módulo de potencia 52 genera una forma de onda de potencia deseada para alimentar diversos dispositivos, tales como motores y otros equipos (no mostrados). El módulo de potencia 52 incluye en general conmutadores de semiconductores de potencia tales como transistores bipolares de puerta aislada (IGBT) que se hace que se enciendan y apaguen rápidamente para producir una forma de onda de potencia deseada.

[0027] El sistema 10 incluye una fuente de alimentación 54 que proporciona una forma de onda de voltaje trifásico a una frecuencia constante a un rectificador 56. El rectificador 56 realiza una rectificación de onda completa de la forma de onda de voltaje trifásico, emitiendo una diferencia de voltaje de corriente continua al módulo de potencia 52. El módulo 52 acepta las líneas positiva y negativa de voltaje de CC desde los circuitos del rectificador 56 y emite una forma de onda trifásica a una frecuencia deseada, independiente de la frecuencia de la fuente de alimentación trifásica 54. El procesador 18 proporciona al módulo de potencia 52 las señales apropiadas, lo que posibilita que el módulo de potencia 52 emita la forma de onda. La forma de onda trifásica resultante puede impulsar después de esto una carga, tal como un motor 5 8.

[0028] Una causa predominante de falla para el módulo de potencia 52 surge del ciclo de potencia, lo que hace que las conexiones se fatiguen y fallen. Además, los ciclos térmicos del tipo empleado por los IGBT pueden iniciar el crecimiento de grietas en el alambre en las uniones de la cuña del alambre y puntos de contacto similares, que en general se producen en las conexiones de los IGBT. La deformación y la fatiga introducidas por un desajuste del coeficiente de expansión térmica de los materiales del módulo tienden a provocar el crecimiento de grietas en el alambre. Además, las nuevas grietas se provocan por ciclos térmicos, lo que da lugar a la deformación y fatiga del módulo de potencia 52.

[0029] Los módulos de potencia 52 tienden a fallar de una manera predecible bajo parámetros de funcionamiento constantes, tales como la temperatura de unión máxima constante y la mediana de temperaturas de unión. Como resultado, los fabricantes de módulos de potencia 52 proporcionan datos de clasificación de vida de ciclo en parámetros de funcionamiento particulares. Por ejemplo, un fabricante proporciona diversos datos de clasificación de vida de ciclo a determinadas temperaturas de unión superiores ($T_{j\text{Superior}}$), temperatura de unión inferior ($T_{j\text{Inferior}}$), cambio de temperatura de unión (ΔT_j) y temperaturas de unión medias (T_m). La temperatura de unión media se puede definir como la temperatura de unión promediada a lo largo del tiempo o promediada en base a la temperatura de unión superior e inferior. Si bien los datos del ciclo de vida del módulo de potencia pueden ofrecer previsibilidad bajo parámetros de funcionamiento constantes, muchas aplicaciones de módulos de potencia, tales como un IGBT, tienden a funcionar bajo parámetros variables.

[0030] En el modo de realización ejemplar, con los datos de medición del sensor 14, el procesador 18 rastrea diversos parámetros bajo los que puede estar funcionando el módulo de potencia 52. Los datos del sensor permiten además que el procesador 18 prediga cuándo es probable que el módulo de potencia 52 falle debido a los ciclos térmicos, lo que permite a los operarios prepararse con un mantenimiento preventivo o una planificación apropiada. El procesador 18 determina los parámetros de funcionamiento 28 tales como la temperatura de unión máxima (T_{superior}), la temperatura de unión mínima (T_{inferior}), el cambio de temperatura de unión (ΔT_j) y la temperatura de unión media (T_m). Por ejemplo, el software del regulador térmico que se ejecuta en el procesador 18 calcula la temperatura de unión máxima (T_{superior}) y/o la temperatura de unión mínima (T_{inferior}) usando procedimientos conocidos en base a un modelo de red térmico. El cambio de temperatura de unión (ΔT_j) también se puede determinar usando procedimientos conocidos en base a datos de realimentación de temperatura de los sensores 14 y/o disipación de calor estimada en base a la corriente de salida.

[0031] La fig. 4 ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento de predicción de un periodo de vida útil restante para el dispositivo de modelo de potencia 12, en el que el parámetro de funcionamiento incluye la temperatura de

funcionamiento del dispositivo 12. Antes del funcionamiento del dispositivo de potencia 12, se establecen 410 los parámetros de temperatura 59 dentro del procesador 18. Una vez que se establece el parámetro de temperatura 59, el valor de temperatura superior 60 y el valor de temperatura inferior 62 se introducen 420 en el procesador 18. El valor de temperatura superior 60 y el valor de temperatura inferior 62 definen un intervalo de deformación elástica para el dispositivo de potencia 12. Cuando el dispositivo de potencia 12 funciona dentro de un intervalo definido de valor de temperatura superior 60 y valor de temperatura inferior 62, el dispositivo de potencia 12 experimenta deformación elástica. Cuando el dispositivo de potencia 12 funciona más allá del valor de temperatura superior 60 y/o el valor de temperatura inferior 62, el dispositivo de potencia 12 experimenta deformación plástica.

[0032] Después de que se establecen los parámetros de temperatura, la temperatura de referencia 64 también se introduce 430 en el procesador 18. La temperatura de referencia 64 incluye un valor entre el valor de temperatura superior 60 y el valor de temperatura inferior 62, de modo que el valor de temperatura superior 60 y el valor de temperatura inferior 62 definen los límites para la temperatura de referencia 64. La temperatura de referencia 64 corresponde a la temperatura de funcionamiento modelada para el módulo 52. En el modo de realización ejemplar, la temperatura de referencia 64 se establece inicialmente en un punto medio entre el valor de temperatura superior 60 y el valor de temperatura inferior 62. Los esquemas de modelado conocidos correlacionan la temperatura de referencia modelada 64 con el parámetro de temperatura real 59. La temperatura de referencia 64 se puede establecer inicialmente en cualquier temperatura modelada aceptable.

[0033] La fig. 5 es un diagrama de bloques que ilustra el parámetro de temperatura 28 dentro del intervalo elástico, en general mostrado como "ER", como se define por el valor de temperatura superior 60 y el valor de temperatura inferior 62. Durante un ciclo operativo del dispositivo de potencia 12, el sensor 14 mide 440 el parámetro de temperatura 59. Durante el funcionamiento, el parámetro de temperatura 59 fluctúa dentro del intervalo definido por el valor de temperatura superior 60 y el valor de temperatura inferior 62. Si bien el parámetro de temperatura 28 fluctúa dentro de un intervalo definido por el valor de temperatura superior 60 y el valor de temperatura inferior 62, cualquier deformación experimentada por el dispositivo de potencia 12 incluye la deformación elástica permitida para el dispositivo de potencia 12.

[0034] La fig. 6 es otro diagrama de bloques que ilustra el parámetro de temperatura que supera el valor de temperatura superior 60 y el reajuste de la temperatura de referencia 64 en respuesta al parámetro de temperatura que supera el valor de temperatura superior 60. Cuando el parámetro de temperatura supera el valor de temperatura superior 60 y/o el valor de temperatura inferior 62, la temperatura de referencia 64, en base a las técnicas de modelado, cambia para facilitar el modelado de la configuración del valor de temperatura superior 60 y el valor de temperatura inferior 62 alrededor del parámetro de temperatura 59. Los valores más allá del valor de temperatura superior 60 y el valor de temperatura inferior 62 definen un intervalo de deformación plástica, en general mostrado como "SR", para el módulo 52. Cuando el parámetro de temperatura supera el valor de temperatura superior 60 y/o el valor de temperatura inferior 62, cualquier deformación experimentada por el dispositivo de potencia 12 incluye deformación plástica.

[0035] Los valores de la temperatura de referencia 64 cambian en respuesta al parámetro de temperatura 59 que supera el valor de temperatura superior 60 y/o el valor de temperatura inferior 62. El procesador 18 mide y registra una pluralidad de cambios en los valores 450 de la temperatura de referencia 64 generados en respuesta al parámetro de temperatura 59 que supera el valor de temperatura superior 60 y/o el valor de temperatura inferior 62. A continuación, el procesador 18 calcula las integrales de valores absolutos del cambio en los valores 460 de la temperatura de referencia 64 durante el ciclo operativo. El procesador 18 integra los valores de la pluralidad de cambios en el valor de la temperatura de referencia 64 para calcular un valor integrado de la pluralidad de cambios en los valores de la temperatura de referencia 64. A continuación, el procesador 18 estima 470 el periodo de vida útil restante RLP para el dispositivo de potencia 12 cuando el valor integrado alcanza el valor umbral predeterminado 38.

[0036] La fig. 7 es un gráfico que ilustra el parámetro de temperatura 59 que fluctúa a lo largo del tiempo con respecto al valor de temperatura superior 60 y el valor de temperatura inferior 62. La fig. 7 también ilustra la temperatura de referencia 64 que se ajusta a medida que el parámetro de temperatura 59 fluctúa a lo largo del tiempo en el intervalo de deformación plástica. Como se muestra, cuando el parámetro de temperatura 59 fluctúa dentro del valor de temperatura superior 60 y el valor de temperatura inferior 62, la temperatura de referencia 64 permanece en el mismo valor a lo largo del tiempo. Cuando el parámetro de temperatura 59 supera el valor de temperatura superior 60 y/o el valor de temperatura inferior 62, la temperatura de referencia 64 cambia de valor a lo largo del tiempo. Por ejemplo, cuando el parámetro de temperatura 59 supera el valor de temperatura superior 62, la temperatura de referencia 64 se incrementa; y, cuando el parámetro de temperatura 59 supera el valor de temperatura inferior 62, la temperatura de referencia 64 disminuye.

[0037] La fig. 8 es un gráfico que ilustra los cambios de la temperatura de referencia 64 como se representa gráficamente en la fig. 7. La fig. 8 ilustra que para una pequeña desviación en el parámetro de temperatura 59 a un valor de temperatura previo dentro de los límites del valor de temperatura superior 60 y el valor de temperatura inferior 62, no se acumula fatiga adicional como se representa por la temperatura de referencia constante 59. Cuando el parámetro de temperatura 59 supera el valor de temperatura superior 60 y/o el valor de temperatura inferior 62, la acumulación de fatiga continúa puesto que el dispositivo 12 experimenta una deformación plástica más allá del valor

de temperatura superior 60 y/o el valor de temperatura inferior 62.

[0038] En el modo de realización ejemplar, el procesador 18 registra los cambios en las posiciones de la temperatura de referencia 64, y el consumo de vida del dispositivo 12 se representa por el valor de la integral acumulada del valor absoluto de todos los cambios a la temperatura de referencia 64 dentro del intervalo de temperatura elástica ER durante la vida del dispositivo 12. El fin de la vida útil esperado se representa por el valor del integrador que alcanza el valor umbral predeterminado 38.

[0039] El sistema y procedimiento descritos en el presente documento mejoran el cálculo de los periodos de vida útil restantes de los dispositivos en base al funcionamiento real del dispositivo. El sistema usa no linealidades en el cálculo de la vida útil restante para proporcionar una reducción significativa de datos en línea que produce señales de orden reducido. El sistema reconoce la fatiga asociada con los desvíos más allá de los límites elásticos de los dispositivos para producir una señal de orden reducido de la vida esperada del dispositivo. El sistema predice la vida útil restante del equipo en ausencia de datos de operación hasta fallo; la capacidad de expresar el estado global del dispositivo como función de diversos atributos de funcionamiento; la capacidad de correlacionar los observables del sistema con el estado del dispositivo; la capacidad de estimar el deterioro del equipo; la capacidad de extrapolar las estimaciones de vida útil restante para la operación hasta fallo virtual; y la capacidad de proporcionar estimaciones de la vida útil restante durante la evaluación en línea de la vida útil del equipo.

[0040] La fidelidad del sistema se puede potenciar por la inserción de una función de transferencia adicional, tal como, pero sin limitarse a, funciones de potencia, logaritmos y filtros. El sistema también puede cuantificar diferentes fuentes de incertidumbre tales como, pero sin limitarse a, la incertidumbre del dispositivo, la incertidumbre del modelado de fallas, el ruido del sensor, las variaciones en el tiempo de la identificación de fallas, las variaciones en la duración del parámetro de fallas, las variaciones en los supuestos de propagación de fallas y las variaciones en los parámetros de la función de transferencia.

[0041] Un efecto técnico de los diversos modos de realización descritos en el presente documento puede incluir medir el parámetro de funcionamiento del dispositivo durante un ciclo de funcionamiento del dispositivo y correlacionar las mediciones del parámetro de funcionamiento con el parámetro de referencia para facilitar la estimación de un periodo de vida útil restante del dispositivo.

[0042] Los modos de realización ejemplares del sistema, el dispositivo y los procedimientos de cálculo de los periodos de vida útil restantes se describen en detalle anteriormente. El sistema, el dispositivo y los procedimientos no se limitan a los modos de realización específicos descritos en el presente documento, sino que los componentes del sistema y/o el dispositivo y/o las etapas del procedimiento se pueden utilizar independientemente y por separado de otros componentes y/o etapas descritos en el presente documento. Por ejemplo, el dispositivo y los procedimientos de refrigeración también se pueden usar en combinación con otros dispositivos y procedimientos eléctricos, y no se limitan a la práctica solo con el dispositivo eléctrico como se describe en el presente documento.

[0043] Un modo de realización de la invención se puede realizar en forma de procesos y aparatos implementados por ordenador para poner en práctica esos procesos. Los modos de realización de la invención también se pueden realizar en forma de un producto de programa informático que tenga un código de programa informático que contenga instrucciones incorporadas en medios tangibles, tales como disquetes, CD-ROM, discos duros, unidades USB (bus serie universal) o cualquier otro medio de almacenamiento legible por ordenador, en el que, cuando el código de programa informático se carga y ejecuta en un ordenador, el ordenador se convierte en un aparato para poner en práctica la invención. Los modos de realización de la invención también se pueden realizar en forma de un código de programa informático, por ejemplo, ya sea almacenado en un medio de almacenamiento, cargado y/o ejecutado en un ordenador, o transmitido sobre algún medio de transmisión, tal como sobre cableado eléctrico o cableado, a través de fibra óptica, o por medio de radiación electromagnética, en el que cuando el código de programa informático se carga y ejecuta en un ordenador, el ordenador se convierte en un aparato para poner en práctica la invención. Cuando se implementa en un microprocesador de propósito general, los segmentos de código de programa informático configuran el microprocesador para crear circuitos lógicos específicos. Un efecto técnico de las instrucciones ejecutables es predecir una vida útil restante del equipo.

[0044] Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el modo preferente, y también para posibilitar que cualquier persona experta en la técnica ponga en práctica la invención, incluyendo fabricar y usar cualquier dispositivo o sistema y realizar cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la técnica. Dichos otros ejemplos están destinados a estar dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales de los lenguajes literales de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (10) para estimar la vida útil de un dispositivo de potencia (12), comprendiendo dicho sistema:

- 5 un sensor de temperatura (14) acoplado a dicho dispositivo (12), dicho sensor de temperatura configurado para facilitar la medición de un parámetro de temperatura de funcionamiento (28) de dicho dispositivo y generar una señal de medición de temperatura (30) que es representativa de dicho parámetro de temperatura de funcionamiento;
- 10 una base de datos (24) que comprende un valor límite de temperatura superior (32), un valor límite de temperatura inferior (34) y un parámetro de temperatura de referencia (36), definiendo el valor límite de temperatura superior y el valor límite de temperatura inferior un intervalo de deformación elástica del dispositivo de potencia; y **caracterizado por**:
- 15 un procesador (18) acoplado a dicho sensor de temperatura (14) y acoplado a dicha base de datos, dicho procesador estando configurado para ajustar un valor del parámetro de temperatura de referencia para mantener la configuración del valor límite de temperatura superior y el valor límite de temperatura inferior rodeando dicho parámetro de temperatura de referencia (28), y que comprende circuitos integradores (48) configurados para calcular las integrales de una función de valores absolutos de cambios en el valor de dicho parámetro de temperatura de referencia (36) a lo largo del tiempo, en respuesta a que dicho parámetro de temperatura de funcionamiento supera al menos uno de dicho valor límite de temperatura superior y dicho valor límite de temperatura inferior durante un ciclo operativo para producir un valor integrado de los cambios en el valor de dicho parámetro de temperatura de referencia, estando configurado además dicho procesador (18) para:
25 estimar un periodo de vida útil restante para el dispositivo de potencia cuando el valor integrado alcanza un valor umbral predeterminado (38), en el que el valor umbral predeterminado (38) correlaciona la fatiga del dispositivo de potencia (12) con el parámetro de temperatura de funcionamiento (28) que supera los límites elásticos definidos por el valor límite de temperatura superior (32) y el valor límite de temperatura inferior (34); e iniciar una señal que indique el periodo de vida útil restante;
30 en el que el parámetro de temperatura de referencia (36) está diseñado para cambiar en respuesta al parámetro de temperatura de funcionamiento (28) superando el valor límite de temperatura superior (32) y/o el valor límite de temperatura inferior (34).
- 35 2. El sistema (10) de la reivindicación 1, en el que dicho procesador (18) comprende circuitos sensores (42) configurados para recibir dicha medición de dicho parámetro de temperatura de funcionamiento (28).
- 40 3. El sistema (10) de cualquier reivindicación precedente, en el que dicho procesador (18) comprende circuitos de medición (30) configurados para medir dicha pluralidad de cambios en el valor de dicho parámetro de temperatura de referencia (36) en respuesta a que dicho parámetro de temperatura de funcionamiento (28) supera al menos uno de dicho valor límite de temperatura superior (32) y dicho valor límite de temperatura inferior (34).
- 45 4. El sistema (10) de cualquier reivindicación precedente, en el que dicho procesador (18) comprende circuitos contadores (44) configurados para contar dichos cambios en el valor de dicho parámetro de temperatura de referencia (36).
- 50 5. Un procedimiento para estimar la vida útil restante de un dispositivo de potencia (12), realizado con el sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, comprendiendo el procedimiento:
55 establecer un parámetro de temperatura de funcionamiento (28) que se va a medir para el dispositivo de potencia; **caracterizado por**:
introducir un valor límite de temperatura superior (32) y un valor límite de temperatura inferior (34) para el parámetro de temperatura de funcionamiento, definiendo el valor límite de temperatura superior y el valor límite de temperatura inferior un intervalo de deformación elástica del dispositivo;
60 establecer un parámetro de temperatura de referencia (36) entre el valor límite de temperatura superior y el valor límite de temperatura inferior;
medir el parámetro de temperatura de funcionamiento del dispositivo durante un ciclo de funcionamiento del dispositivo de potencia; y
65 correlacionar las mediciones del parámetro de temperatura de funcionamiento con el parámetro de temperatura de referencia, en el que correlacionar las mediciones comprende medir una pluralidad de cambios en el valor del parámetro de temperatura de referencia generado en respuesta a que el parámetro

- 5 de temperatura de funcionamiento supera al menos uno del valor límite de temperatura superior (32) y el valor límite de temperatura inferior (34) durante el ciclo operativo, y correlacionar las mediciones también comprende registrar la pluralidad de cambios en el valor del parámetro de temperatura de referencia, en el que correlacionar las mediciones comprende además calcular un valor integrado de la pluralidad de cambios en el valor del parámetro de temperatura de referencia;
- 10 ajustar un valor del parámetro de temperatura de referencia para mantener la configuración del valor límite de temperatura superior y el valor límite de temperatura inferior rodeando dicho parámetro de temperatura de funcionamiento (28), en el que el parámetro de temperatura de referencia se ajusta cuando el parámetro de temperatura de funcionamiento supera al menos uno del valor límite de temperatura superior y el valor límite de temperatura inferior;
- 15 estimar el periodo de vida útil restante para el dispositivo de potencia cuando el valor integrado alcanza un valor umbral predeterminado; e
- iniciar una señal que indica el periodo de vida útil restante.

FIG. 1

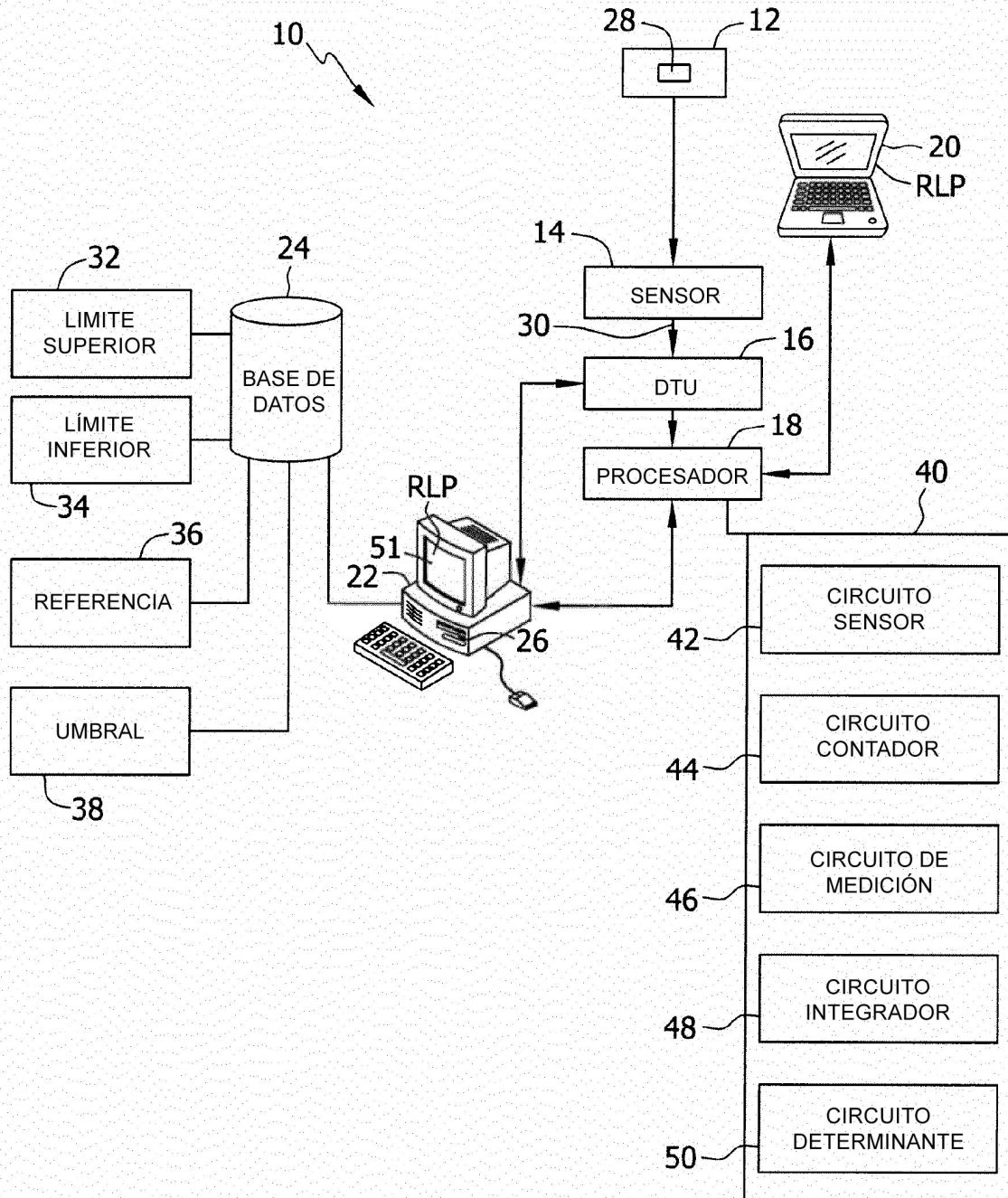


FIG. 2

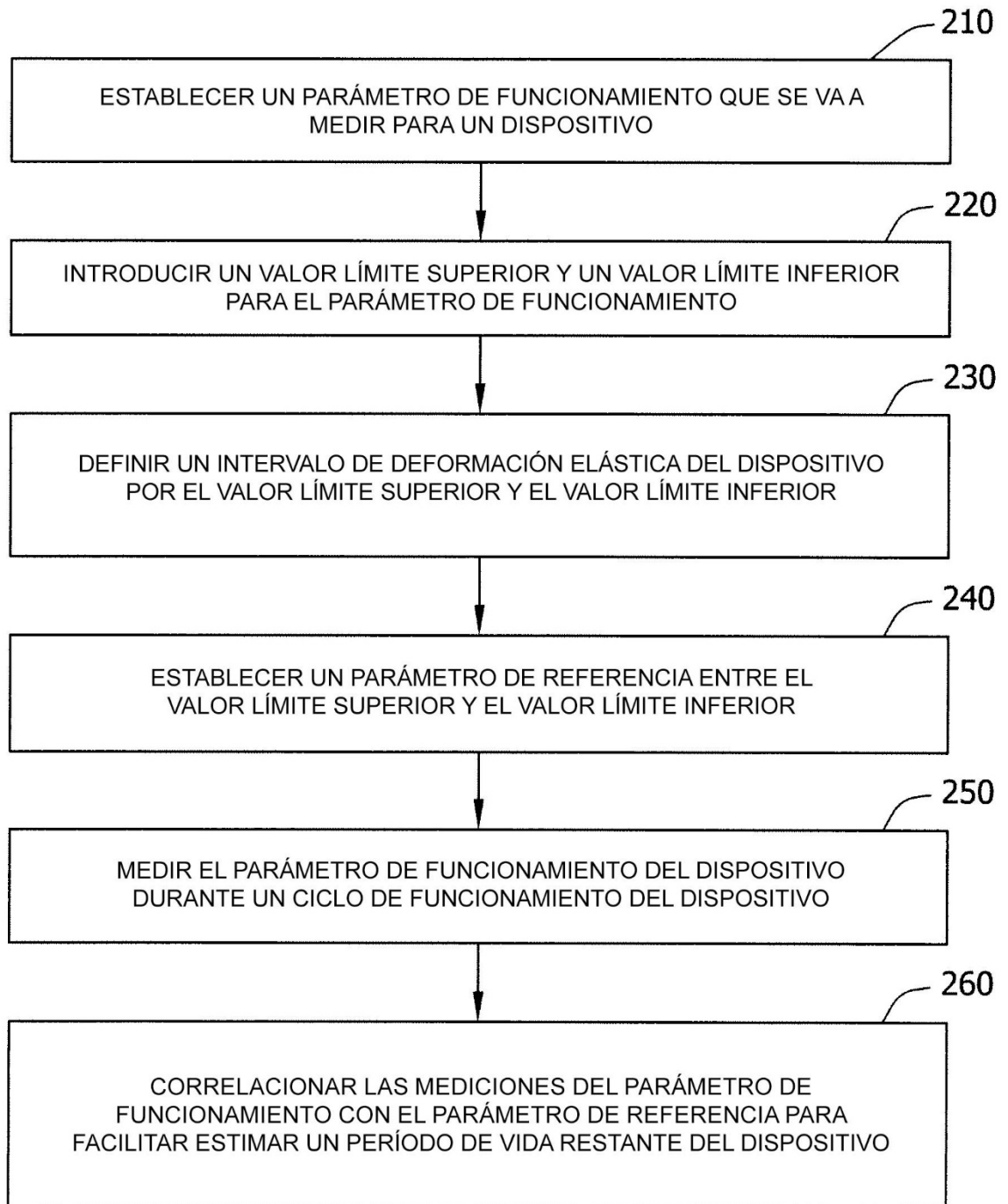


FIG. 3

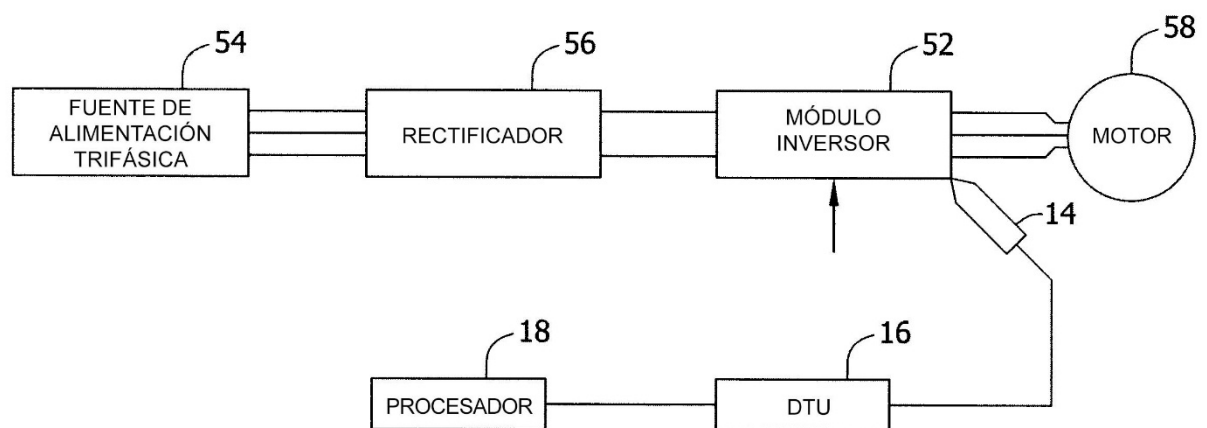


FIG. 4

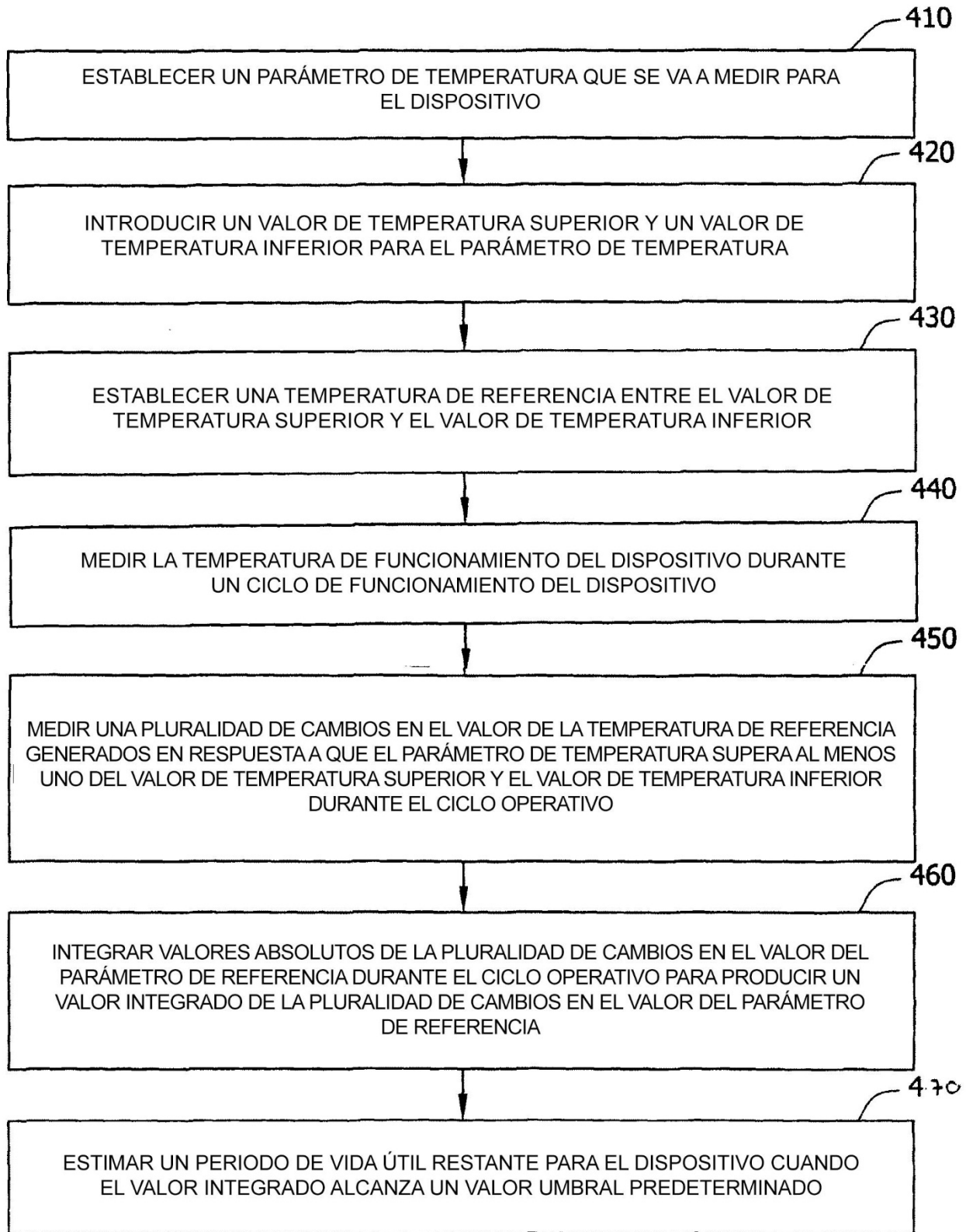


FIG. 5

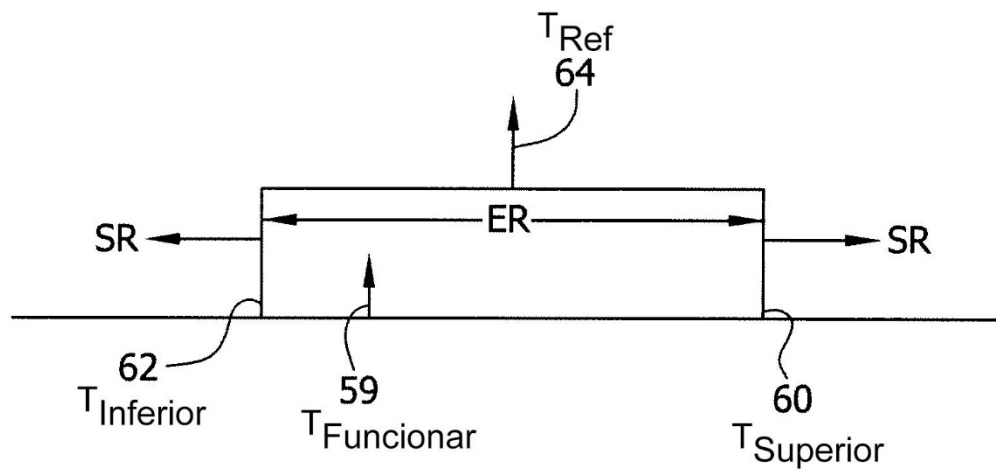


FIG. 6

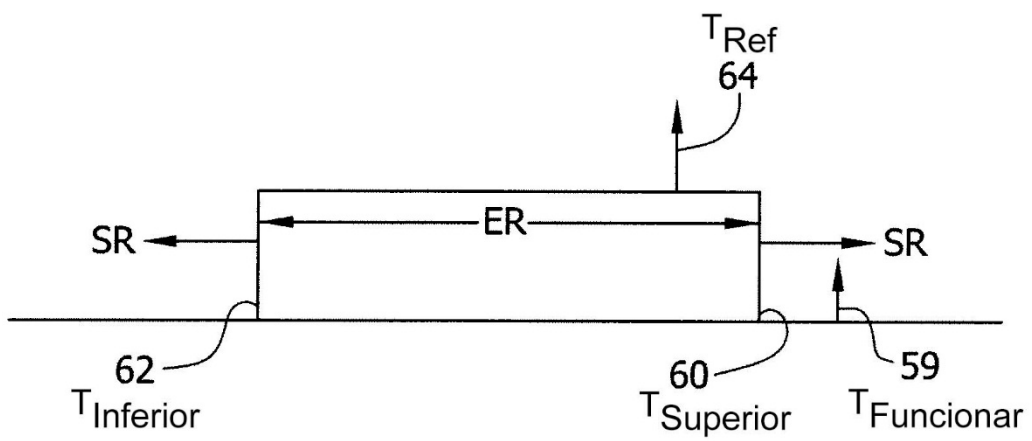


FIG. 7

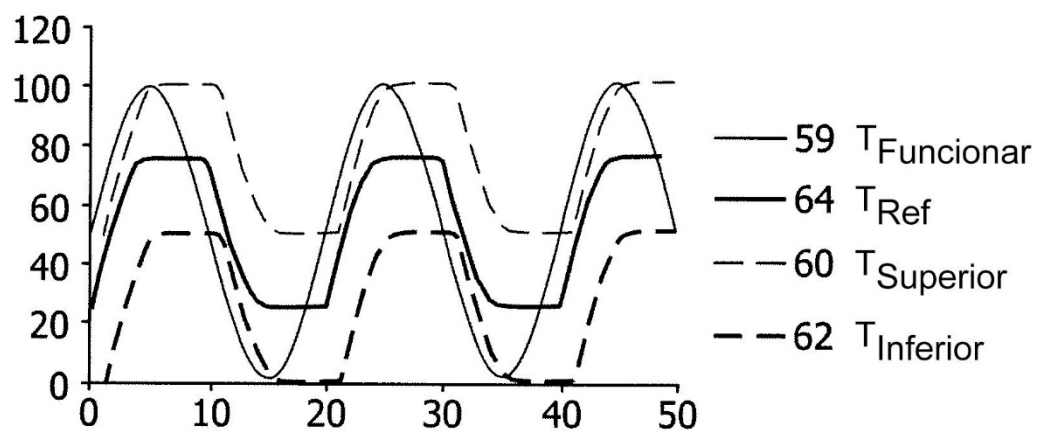


FIG. 8

