

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 620 541**

51 Int. Cl.:

**G05B 23/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.01.2014 PCT/US2014/014235**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.08.2014 WO2014121113**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.01.2014 E 14704512 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.03.2017 EP 2951655**

54 Título: **Sistema y método para predicción y diagnóstico de la condición de activos de transmisión y distribución de energía**

30 Prioridad:

**04.02.2013 US 201313759026**

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

**28.06.2017**

73 Titular/es:

**ABB SCHWEIZ AG (100.0%)  
Brown Boveri Strasse 6  
5400 Baden, CH**

72 Inventor/es:

**CHEIM, LUIS y  
LIN, LAN**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 620 541 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 método para predicción y diagnóstico de la condición de activos de transmisión y distribución de energía

Campo de la Invención

5 La presente descripción está relacionada con la predicción y el diagnóstico de condiciones de activos de transmisión y distribución de energía tales como transformadores, disyuntores y baterías. En particular, la presente descripción está relacionada con una aproximación estadística al diagnóstico de fallos de activos, detección y salud global de activos.

Antecedentes

10 Los activos eléctricos tales como transformadores, disyuntores y baterías implican un coste tremendo y su mantenimiento correcto es necesario para maximizar el valor obtenido de los activos a lo largo de sus vidas útiles. Una cantidad significativa de información operacional de los activos se puede obtener mediante sensores, sistemas de supervisión y control, y mediante inspección por técnicos cualificados. Puede ser deseable analizar la información operacional para predecir fallos de activos y para diagnosticar las causas de fallos de activos, véase por ejemplo el documento WO 02/097545, el cual describe el estado global de salud de una planta compleja.

15 Resumen

20 Un sistema y método implementado por ordenador para análisis predictivo y de diagnóstico de la salud de un activo de transmisión, generación y distribución de electricidad incluye un ordenador con un soporte magnético no transitorio capaz de recibir datos referentes a un activo, sus componentes, subsistema de componente y parámetros relacionados con él. Instrucciones almacenadas en el soporte magnético no transitorio ejecutan instrucciones que calculan de manera predictiva la salud global del activo y también calculan los estados de subsistemas y parámetros de componente, proporcionando un diagnóstico de las causas de la mala salud del activo.

Breve Descripción de los Dibujos

25 En los dibujos adjuntos, se ilustran estructuras y métodos que, junto con la descripción detallada proporcionada más adelante, describen aspectos de un sistema y método para diagnosticar y predecir fallos y condición global de activo eléctrico. Se observará que un único componente se puede diseñar como múltiples componentes o que múltiples componentes se pueden diseñar como un único componente.

Además, en los dibujos y descripción adjuntos que se incluyen más adelante, partes similares se indican en todos los dibujos y en la descripción escrita con los mismos números de referencia, respectivamente. Las figuras no están dibujadas a escala y las proporciones de ciertas partes se han exagerado por conveniencia de ilustración.

30 La Figura 1 ilustra un diagrama del sistema 100.

Las Figuras 2-4 ilustran un modelo 200 Bayesiano de la salud del activo 102.

La Figura 5 ilustra una tabla 500 de probabilidades relacionada con la distribución de probabilidad de los estados de la variable aleatoria OPS.

La Figura 6 ilustra un método 600.

35 La Figura 7 ilustra un método 700.

Descripción Detallada

40 La Figura 1 ilustra el sistema 100 informático de detección y diagnóstico de la condición para ser utilizado en la gestión de una pluralidad de activos 102a a 102x de sistemas de generación y distribución de energía eléctrica. Los activos 102a-102x ilustrados en la Figura 1 son transformadores. Sin embargo, de acuerdo con otros aspectos de las presentes enseñanzas, el sistema 100 de detección y diagnóstico se puede implementar con otros activos 102a-102x. Los activos 102a-102x pueden incluir, pero no están limitados a, diferentes tipos de transformadores tales como transformadores de distribución, transformadores de generación de energía, transformadores de tipo seco, transformadores montados en postes y transformadores de alta potencia, grandes, medianos y pequeños. Los activos 102a-102x también pueden incluir activos no transformadores, incluidos, pero no limitados a, disyuntores, interruptores, relés de protección contra sobretensiones, baterías, sistemas de refrigeración, líneas y conexiones de línea, relés u otros dispositivos implementados en sistemas de generación y distribución de energía.

50 El sistema 100 de detección y diagnóstico incluye un ordenador 104. El ordenador 104 puede incluir un procesador 106, un soporte 108 magnético transitorio tal como un disco duro o una memoria de acceso aleatorio (RAM) que puede almacenar instrucciones 109 ejecutables, una o más bases de datos 110a-110z y datos 111 de entrada tales como los proporcionados por sensores 118a-118y en línea. El ordenador 104 también incluye un adaptador 113 de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) para comunicación con una red 114 SCADA a través de una

conexión 115 y adaptadores 116a-116y de comunicaciones para comunicación con sensores 118a-118y en línea a través de conexiones 117a-117y de comunicaciones. Las comunicaciones entre los componentes internos del ordenador 104 se pueden realizar a través de un bus 103.

5 El adaptador 120 de interfaz de usuario permite comunicación entre la interfaz 122 de usuario y el sistema 100 a través de la conexión 121. La interfaz 122 de usuario puede adoptar varias formas, incluidas, pero no limitadas a, una pantalla táctil, un teclado, un monitor o un ratón. En otros aspectos, se pueden implementar varias formas de interfaz 122 de usuario por conexión a uno o más adaptadores 120 de interfaz de usuario apropiados. Por ejemplo, una configuración que incluye un teclado, un monitor o un ratón se puede implementar con un ordenador 104 comercial. En otro ejemplo, el sistema 100 se puede implementar en un dispositivo de tableta con una pantalla táctil.  
10 En general y sin limitación los sistemas y métodos descritos en este documento se pueden implementar en una variedad de dispositivos informáticos que tienen una variedad de formas incluyendo, pero no limitadas a, superordenadores, sistemas distribuidos, ordenadores portátiles, ordenadores de sobremesa y dispositivos portátiles tales como tabletas.

15 Los adaptadores 116a-116y de comunicaciones pueden adoptar una variedad de formas apropiadas que permitan que se puedan transmitir datos desde los sensores 118a-118y en línea al ordenador 104. Las conexiones 117a-117y entre los sensores 118a-118y en línea y el ordenador 104 pueden ser conexiones por cable o conexiones inalámbricas, y pueden tener la forma de una variedad de protocolos de comunicaciones tales como, por ejemplo y sin limitación, DNP3.0, MODBUS ó IEC61850. También se pueden implementar protocolos de comunicaciones de internet o de red estándar. Sólo como un ejemplo no limitativo, uno o más de los adaptadores 116a-116y de comunicaciones pueden conectar el ordenador 104 a una intranet de empresa o una red TCP/IP privada. De esta manera, uno o más cualesquiera de los sensores 118a-118y en línea puede establecer una conexión 117a-117y a través de dicha intranet de empresa o red TCP/IP privada. Los sensores 118a-118y en línea detectan información 119a-119y de entrada a los sensores referente a la condición y los parámetros operacionales de los activos 102a-102x, a la condición y los parámetros operacionales de los componentes 130 del activo y a la condición y los parámetros operacionales de los subsistemas 140a-140c de componente. Se debería observar que, aunque el activo 102a se muestra con un componente 130 del activo y tres subsistemas 140a-140c, como se explica con mayor detalle en este documento, en un activo 102a-102x concreto pueden estar incluidos una pluralidad de componentes 130 del activo, cada uno de ellos con uno o más subsistemas 140a-140c. La información 119a-119y de entrada a los sensores recogida por los sensores 118a-118y en línea produce como resultado una salida mediante los sensores 118a-118y en línea, la cual se puede escribir como datos 111 de entrada en el soporte 108 magnético y se puede utilizar para actualizar una o más de las bases de datos 110a-110z de acuerdo con las presentes enseñanzas. Tal como se utilizan en este documento, los términos datos del activo 102, datos de componente 130, datos de parámetro de componente 130 y datos de subsistema se refieren a la información almacenada referente a información operacional referente a la condición de los respectivos activos 102 y partes constituyentes y parámetros representativos, hayan sido recibidos a través de un sensor 118a-118y en línea, de un sensor 124 fuera de línea, de una red 114 SCADA o de lecturas de técnicos o información de expertos introducidas manualmente.  
30  
35

Los sensores 118a-118y en línea pueden proporcionar datos de salida relacionados con los activos 102a-102x al ordenador 104 de forma continua o intermitente. Señales intermitentes se pueden proporcionar al ordenador 104 esporádicamente o pueden llegar después de intervalos de tiempo periódicos que van desde milisegundos hasta días. Los datos de salida pueden ser transmitidos automáticamente por los sensores 118a-118y o pueden ser solicitados por el ordenador 104.  
40

Además de los sensores 118a-118y en línea, el sensor 124 fuera de línea también puede detectar información 125 operacional referente a los activos 102. Se pueden recoger datos procedentes del sensor 124 fuera de línea de varias maneras diferentes. Un técnico puede registrar una lectura del sensor 124 e introducir a continuación los datos manualmente a través de la interfaz 122 de usuario. Los sensores 124 fuera de línea también pueden producir salida 126 del sensor, la cual puede adoptar la forma de una lectura en el sensor 124, tal como por ejemplo la lectura en un dispositivo de medida situado en el sensor 124. En otro ejemplo, datos procedentes del sensor 124 se pueden escribir en un soporte magnético no transitorio local al sensor 124, los cuales se pueden transferir a continuación al ordenador 104 mediante carga, por ejemplo mediante copiado en un soporte no transitorio portátil que se puede copiar además a un soporte 108 magnético no transitorio.  
45  
50

Además de datos recibidos desde sensores 118 en línea y desde sensores 124 fuera de línea, se pueden obtener datos operacionales de los activos 102a-102x a través de la red 114 SCADA utilizando unidades terminales remotas (RTU) situadas localmente a los activos 102a-102x. Aunque en la Figura 1 se muestra una red 114 SCADA, también se pueden implementar otros protocolos de control de activos y de obtención de datos de acuerdo con las presentes enseñanzas, incluido el Sistema de Control Distribuido (DCS) pero no limitado a él. Datos recibidos desde la red 114 SCADA incluyen, pero no están limitados a, magnitud y fase de carga de tensión o corriente, temperatura ambiente, temperatura máxima del aceite, temperatura del devanado, estado de maniobra de los relés y diferentes alarmas relacionadas con los activos 102a-102x. Datos SCADA, por ejemplo como los recibidos desde RTUs locales a los activos 102a-102x, se transmiten a través de conexiones 128a-128x y después de eso se transmiten al ordenador 104 a través de la conexión 115 de comunicación. La información recibida a través de una red SCADA se puede almacenar en un historial que conserva datos operacionales a largo plazo acerca del activo 102a-102x concreto. El historial se puede almacenar como una o más bases de datos 110a-110z en el ordenador 104.  
55  
60

Además de los sensores 118a-118y en línea, del sensor 124 fuera de línea y de información obtenida a partir de la red 114 SCADA, se pueden realizar otras formas de evaluaciones de los activos 102a-102x. Por ejemplo, una evaluación de la condición de la pintura de los activos 102a-102x no requiere instrumentación de detección, y puede ser realizada por un técnico utilizando juicio subjetivo para evaluar condiciones. Como se explica con mayor detalle en este documento, la asignación de una evaluación cualitativa o de un resultado cuantitativo, tal como puede ser el resultado de una lectura de un sensor 118a-118y en línea o de una lectura de un sensor 124 fuera de línea a uno los estados disponibles de una correspondiente variable aleatoria permite la modelización de esa variable.

Los sensores 118a-118y en línea, el sensor 124 fuera de línea, la información procedente de la red 114 SCADA y cualquier otra evaluación realizada en el activo 102a-102x pueden implicar un gran muestreo de condiciones de funcionamiento de activos 102a-102x incluyendo información recibida referente al propio activo 102a, por ejemplo recibida a través del sensor 118c. Por medio de detección de las partes de los activos 102a-102x está disponible más información granular. La condición o los parámetros operacionales del componente 130 del activo son recibidos por el sensor 118a, y la condición o los parámetros operacionales de los subsistemas 140b de componente son recibidos por el sensor 118b. Ejemplos de componentes 130 del activo incluyen el cambiador de tomas bajo carga, el sistema de conservación del aceite, el sistema de refrigeración, los aisladores, el relé de protección contra sobretensiones, el tanque principal y la parte activa de los activos 102a-102x transformadores. Ejemplos de parámetros de los activos 102a-102x son la historia de funcionamiento, el registro de mantenimiento y el número de fallos experimentados por los activos 102a-102x. Parámetros que son atribuibles al activo 102a-102x global se pueden identificar como parámetros de activo. Ejemplos de subsistemas 140a-140c son el desecante, el cual es un subsistema del sistema de conservación del aceite, o ventiladores y bombas, los cuales son un subsistema del sistema de refrigeración. Ejemplos de parámetros de componente incluyen el número de operaciones como un parámetro para el componente 130 del cambiador de tomas bajo carga, o el nivel de aceite como un parámetro del sistema de conservación del aceite. Se debería observar que ciertos parámetros y subsistemas 140a-140c serán compartidos por, o serán igualmente aplicables a, más de un componente 130. Por ejemplo, niveles de ruido que provocan vibración dañina pueden ser compartidos entre el tanque principal, el sistema de refrigeración y la parte activa.

Con referencia a la Figura 2, una red 200 Bayesiana modela la condición de salud de uno de los activos 102a-102x, al cual se puede hacer referencia en este documento de manera individual o colectiva como activo 102. La referencia al activo 102 es ilustrativa y no limitativa. La red 200 tiene la forma de un grafo acíclico, dirigido, con flechas 202 y nodos 204-288 que representan el estado probabilístico del activo, parámetros de activo, componentes 130, subsistemas 140a-140c de componente y parámetros de componente. La distribución de probabilidad para una variable de un nodo concreto se muestra junto al nodo. Cada nodo está asociado con una variable aleatoria correspondiente a la salud del activo, parámetros de activo, componentes 130, subsistemas 140a-140c de componente y parámetros de componente. La variable aleatoria asociada con cualquier nodo concreto puede tener uno o más posibles estados o resultados basados en sus características concretas. Una distribución de probabilidad de esos estados o resultados refleja datos históricos, cualquier información de experto incorporada en las distribuciones y cualquier actualización a las distribuciones como se puede realizar de acuerdo con las enseñanzas contenidas en este documento. La flecha 204 indica que el estado de los parámetros de activo, componentes 130, subsistemas 140a-140c de componente y parámetros de componente asociados con el nodo desde el cual se origina la flecha tiene una relación causal con el activo 102 y con los componentes 130 asociados con los nodos en los cuales termina la flecha en la punta de flecha.

El nodo 204 de activo etiquetado HINDEX representa la salud global del sistema, como se indica mediante el valor en el resultado BUENO. Puntuaciones relativamente altas en el resultado BUENO de la variable HINDEX indican una salud del activo 102 relativamente mejor. Una distribución de más del 50% MALO se considera una lectura de fallo, la cual puede desencadenar la acción de un técnico. Se debería observar que las distribuciones de probabilidad en los nodos de la Figura 2 están normalizadas, de tal manera que la probabilidad de que la variable aleatoria esté en uno de los estados disponibles de cualquier nodo concreto es el 100%. De acuerdo con un aspecto de las presentes enseñanzas, la distribución de resultados para cada nodo puede ser desde 2 hasta cualquier número entero de estados, sean las 2 condiciones, por ejemplo y sin limitación, fallo y no fallo, verdadero y falso, encendido y apagado u otros parejas de estados.

El nodo 206 del componente LTC corresponde al cambiador de tomas bajo carga, un mecanismo que modifica el número de espiras activas en un devanado de transformador mientras el transformador, como activo 102, está en funcionamiento. El cambiador de tomas bajo carga tiene una variedad de propiedades y subsistemas, cuyos correspondientes estados afectan a la distribución de estados del nodo 206 LTC como se muestra mediante las relaciones dictadas por las flechas 202 en la red 200.

Varios subsistemas y parámetros tienen un efecto causal sobre el nodo 206 del componente LTC. El nodo 208 del subsistema para la variable aleatoria ContWear corresponde al desgaste en los contactos del cambiador de tomas que hacen contacto con el interruptor de derivación. La condición de los contactos se puede determinar mediante inspección visual, cuyos resultados se pueden almacenar a continuación en la base de datos 110a-110z. Los sensores 118a-118y en línea y el sensor 124 fuera de línea también pueden detectar comportamiento asociado con desgaste y prestaciones de los contactos y, de ese modo, pueden inferir prestaciones y desgaste de los contactos. El nodo 210 LTC\_DGA corresponde a la variable aleatoria de análisis de gas disuelto para el sistema de aceite del

cambiador de tomas bajo carga. El sistema de aceite del cambiador de tomas bajo carga es independiente del sistema de aceite para el activo 102 transformador y ocupa un volumen más pequeño que éste. De esta manera, el aceite que ocupa el sistema de aceite del cambiador de tomas bajo carga se puede degradar de una manera diferente al aceite existente en el sistema de aceite del activo 102. Diferentes sensores 118a-118y en línea y sensores 124 fuera de línea están disponibles para realizar detección del gas disuelto en el aceite del cambiador de tomas bajo carga y para proporcionar datos empíricos correspondientes a la variable aleatoria LTC\_DGA. El nodo 212 OilFilter corresponde a la condición del filtro de aceite del cambiador de tomas bajo carga, la cual se puede medir mediante el tiempo desde la última sustitución o por ejemplo comprobando la presión de aceite en el filtro. El nodo 214 ControlCabinet se refiere a la condición del armario de control del cambiador de tomas bajo carga. La evaluación del armario de control se puede realizar visualmente determinando si alguna conexión de la circuitería está suelta y si todos los calentadores instalados en el armario están funcionando correctamente. El nodo 216 Mechanism corresponde al estado del mecanismo del cambiador de tomas bajo carga, por ejemplo de cualquier motor, resorte, interruptor, eje, engranaje y equipo de protección del motor. La evaluación del mecanismo se puede realizar visualmente, o puede ser función de la duración del servicio del dispositivo 102. El nodo 218 NumOp corresponde al número de operaciones desde que se realizó el mantenimiento anterior más reciente sobre el cambiador de tomas bajo carga.

El nodo 220 OPS corresponde al sistema de conservación del aceite del activo 102, el cual es responsable de separar el aceite del aire exterior y también de conservar el aceite extrayendo gases y contaminantes de dicho aceite. El subsistema y los parámetros que tienen un efecto causal sobre el sistema de conservación del aceite incluyen el desecante, el nivel de aceite y la bolsa de aceite. El nodo 222 Desecante corresponde al desecante, el cual extrae humedad y puede tener una vida útil predeterminada. De esta manera, la variable aleatoria asociada con el nodo 222 Desecante puede corresponder a la vida útil del desecante. El nodo 224 Nivel de Aceite corresponde al nivel de aceite en el transformador. El nodo 226 Elemento de Bolsa corresponde a la bolsa de aceite, la cual si se pone en peligro, puede producir como resultado no sólo fuga de aceite sino de contaminantes hacia el aceite.

El nodo 228 Cooling corresponde al sistema de refrigeración del activo 102. El nodo 230 correspondiente a la variable aleatoria TopOilTemp está relacionado con la temperatura del aceite dentro del sistema de refrigeración, mientras que el nodo 232 FanPumps corresponde a los ventiladores y bombas utilizados para hacer circular aire alrededor de los intercambiadores de calor del activo 102 y para facilitar la circulación del aceite en el interior del activo 102. La corriente hacia los ventiladores y las bombas puede ser indicativa de fallo del motor y, por tanto, puede servir como un observable de la variable aleatoria para el nodo 232 FanPumps.

El nodo 234 ActivePart corresponde a la parte activa del activo 102 transformador, la cual incluye los devanados y el núcleo del transformador, accesorios de los mismos y soportes mecánicos para el devanado y el núcleo. El nodo 236 asociado con la variable aleatoria FRA corresponde al análisis de la respuesta en frecuencia del activo 102 transformador. El análisis de la respuesta en frecuencia se utiliza para detectar movimiento o daño mecánico en la parte activa del activo transformador, incluidos el devanado y el núcleo. El objetivo de un análisis de la respuesta en frecuencia es determinar si se ha producido o no desplazamiento, con la edad o como resultado de un evento concreto, incluidos, pero no limitado a, eventos tales como reacondicionamiento, reparación, accidente, fallo o transporte. Procedimientos estandarizados para realizar medidas de análisis de la respuesta en frecuencia se pueden encontrar en el documento IEEE Draft Guide for the Application and Interpretation of Frequency Response Analysis for Oil Immersed Transformers; PC57.149/D9.3, Agosto de 2012. El nodo 238 DFR corresponde a análisis de la respuesta en frecuencia dieléctrica. El análisis de la respuesta en frecuencia dieléctrica implica medir la pérdida de capacitancia y dieléctrica de material aislante dentro de un espectro de frecuencias. El nodo 240 WindTTR está asociado con el ensayo de relación de transformación de los devanados. El ensayo de relación de transformación implica ensayar la salida de tensión sin carga cuando se aplica al transformador una tensión de entrada. El nodo 242 InsPF está asociado con el factor de potencia de aislamiento, el cual se mide determinando la corriente de fuga de pérdida dieléctrica del aceite del transformador del activo 102. El nodo 244 AGE corresponde a la edad de la parte activa. El nodo 246 GasInOil depende de las variables aleatorias para el nodo 248 GasRate, para el nodo 250 GasLevels y para el nodo 252 DuvalT. El nodo 248 GasRate corresponde a la tasa de producción de gas para uno o más gases disueltos en el aceite del activo 102, incluidos, pero no limitado a, Hidrógeno, Metano, Etileno, Etano, Acetileno, Propano, Monóxido de Carbono y Dióxido de Carbono. El nodo 250 GasLevels corresponde a los niveles de gases disueltos en el aceite del activo 102. La variable DuvalT se refiere al resultado de un análisis de Triángulo de Duval para el activo 102, correspondiendo los diferentes posibles estados de la variable aleatoria a las diferentes zonas del Triángulo de Duval. La distribución ponderada de los estados de la variable aleatoria para el nodo 246 GasInOil depende de las distribuciones de las variables aleatorias para el nodo 248 GasRate, para el nodo 250 GasLevels y para el nodo 252 DuvalT. Se debería observar que el nodo 248 GasRate, el nodo 250 GasLevels y el nodo 252 DuvalT tienen más de dos posibles resultados.

El nodo 254 Bushings corresponde a los aisladores del activo 102. El nodo 256 BushCPF y el nodo 258 BshOilLev corresponden, respectivamente, a la capacitancia y factor de potencia de los aisladores, y al nivel del aceite aislante en el aislador. El nodo 260 MainTank corresponde a la condición del tanque principal del activo. El nodo 262 PaintFnsh corresponde al estado del acabado exterior del tanque. Por ejemplo, el deterioro de la pintura y la exposición del metal subyacente del tanque pueden incrementar la cantidad de corrosión del tanque y acelerar el inicio de la corrosión.

Algunos otros nodos representan variables aleatorias asociadas con subsistemas y parámetros de componente cuyo estado afecta a múltiples componentes. Para estos nodos, las distribuciones de probabilidad correspondientes se han omitido por claridad. El nodo 264 Load corresponde a la carga en el activo 102. El nodo 266 FugasAceite corresponde al número total de eventos de fuga o, de forma alternativa, a la cantidad de fuga de aceite. El nodo 268 CalidadAceite corresponde a la presencia o falta de contaminantes en el aceite aislante. El nodo 270 PDTest corresponde a ensayos de descarga parcial. Durante los ensayos de descarga parcial se aplica al activo una fuente de alta tensión, y se realizan descargas parciales de los transformadores y se observan las características resultantes. Los ensayos de descarga parcial incluyen respuesta dieléctrica en frecuencia (DFR) y análisis de la respuesta en frecuencia (FRA). El nodo 272 MainCab corresponde al armario de control principal del activo 102 y a su condición, incluyendo si su calentador está o no operativo. El nodo 274 InfraRojo corresponde a problemas térmicos detectados mediante cámara infrarroja, por ejemplo si algún componente ha superado una temperatura de referencia por un cierto número de grados. El nodo 276 HotSpot corresponde a puntos calientes del devanado, los cuales se pueden calcular a partir de la temperatura del aceite, de la corriente de la carga y de datos de diseño del activo 102. El nodo 278 Dispositivos de Medida corresponde a la condición de los dispositivos de medida del activo 102, por ejemplo los dispositivos de medida de temperatura y los dispositivos de medida del nivel de aceite en el tanque principal. El nodo 280 NoiseVib corresponde al nivel de vibración física del activo 102.

Se muestran varios parámetros y componentes de activo para los cuales no existen nodos que tengan una relación causal con aquellos parámetros y componentes de activo tales que las flechas apuntan hacia los parámetros y componentes del activo dentro del modelo 200, es decir, tales que ningún otro nodo tiene una relación causal con los nodos para aquellos parámetros y componentes de activo. El nodo 282 ThruFault refleja cuántos fallos se han experimentado en un año, lo cual viene determinado por con qué frecuencia se realiza una maniobra de un disyuntor para proteger al activo 102. El nodo 284 Arrester corresponde al sistema de protección contra sobretensión que, por ejemplo, minimiza los efectos de la caída de rayos. El nodo 286 History corresponde a uno o más de entre la historia de mantenimiento, de sustitución, de reacondicionamiento y de fallos. El nodo 288 MAINT refleja casos de mantenimiento o ensayos realizados recientemente. El nodo 290 Switching corresponde al accionamiento de los interruptores del activo. El nodo 292 TripProtect corresponde a la historia de alarmas y disyunciones.

En la Figura 2, distribuciones preliminares para las variables aleatorias se pueden determinar utilizando información histórica tal como la que puede estar almacenada en una base de datos 110. Al determinar las distribuciones, también se puede introducir en el sistema 100 conocimiento de expertos, por ejemplo determinando umbrales para los cuales los resultados corresponden a estados concretos de una variable aleatoria, y la probabilidad de condiciones de fallo cuando se cumplen ciertas condiciones probabilísticas. Dicha distribución de probabilidad preliminar puede servir como una distribución anterior en un análisis Bayesiano.

Con referencia a la Figura 3, la red 200 se ha actualizado para reflejar datos recibidos referentes al nivel de desgaste en los contactos del cambiador de tomas bajo carga. Un técnico que evalúe los contactos puede por ejemplo introducir datos de este tipo. En la Figura 3, datos de que el contacto ha fallado completamente ajustan la variable aleatoria ContWear en el nodo 208 al 100% en una condición de fallo, denominada MALO en el nodo 208. La probabilidad de que el nodo 206 LTC esté en un estado de fallo es causalmente dependiente, en parte, del estado de desgaste del contacto.

En general, la notación  $P(A)$  corresponde a la probabilidad de A, donde A es un parámetro que puede tener uno o más estados, y  $P(A|B)$  denota la probabilidad de A dado B. En general, el Teorema de Bayes se enuncia como:  $P(A|B) = P(B|A)P(A)/P(B)$ . De esta manera, la probabilidad de que ocurra A dado que haya ocurrido B es igual a la probabilidad de que ocurra B dado A, multiplicada por la probabilidad de que ocurra A, dividida por la probabilidad de que ocurra B. El Teorema de Bayes se puede utilizar para calcular una probabilidad actualizada de que el nodo 206 LTC esté en un estado MALO o de fallo dada la determinación de que el estado de los contactos del cambiador de línea está en la condición MALO con el Teorema de Bayes:  $P(LTC = MALO|ContWear = MALO) = (P(ContWear = MALO|LTC = MALO)P(LTC = MALO))/(P(ContWear = MALO))$ . Una vez que el estado de probabilidad del nodo 208 ContWear se refleja en el nodo 208 como 100% MALO, se ajusta el nodo 206 LTC para reflejar la nueva distribución de probabilidad de que el cambiador de tomas bajo carga tiene una probabilidad del 82,01% de estar en una condición de fallo, y una probabilidad del 17,99% de no estar en una condición de fallo. Además, se puede utilizar el Teorema de Bayes para calcular una probabilidad de que el activo 102 esté en una condición de fallo:  $P(Asset = MALO|LTC = MALO) = (P(LTC = MALO|Asset = MALO)P(LTC = MALO))/(P(Asset = MALO))$ . El resultado del cálculo es la puntuación de índice mostrada en el nodo 204 del activo Figura 3, la cual muestra que la puntuación de salud actualizada para el activo es 66,90% enfermo y 33,10% sano.

Las distribuciones actualizadas para el nodo 206 LTC y para el nodo 204 HINDEX son determinadas por el sistema 100 basándose en los datos 111 de entrada almacenados en el soporte 108 magnético no transitorio. En el ejemplo mostrado en la Figura 3, el grafo 200 dirigido muestra una relación causal entre el desgaste de los contactos del cambiador de tomas bajo carga representado por el nodo 208 ContWear, y la condición del cambiador de tomas bajo carga representada por el nodo 206 LTC, y además del activo global representado por el nodo 204 HINDEX. Sin embargo, con referencia a la Figura 4, basándose en datos recibidos referentes a un componente, el sistema puede actualizar la información sobre la salud del activo del activo 102a-102x global, así como la distribución de las variables aleatorias correspondientes a subsistemas y parámetros de componente cuyas condiciones afectan causalmente a la condición del componente.

Con referencia continuada a la Figura 4, datos referentes a la condición del cambiador de tomas bajo carga que indican una condición de fallo, por ejemplo que con una certidumbre del 100% el cambiador de tomas bajo carga ha fallado. La probabilidad de que el activo esté en una condición enferma se puede calcular aplicando:  $P(\text{Asset} = \text{MALO} | \text{LTC} = \text{MALO}) = (P(\text{LTC} = \text{MALO} | \text{Asset} = \text{MALO})P(\text{LTC} = \text{MALO})) / (P(\text{Asset} = \text{MALO}))$ . Con respecto a los subsistemas y parámetros de componente, el valor de actualización concreto se determinará aplicando el Teorema de Bayes. Por ejemplo, para cualquier variable aleatoria X que afecta causalmente al cambiador de tomas bajo carga, la probabilidad de que la variable aleatoria esté en el estado MALO se puede determinar aplicando:  $P(X = \text{MALO} | \text{LTC} = \text{MALO}) = (P(\text{LTC} = \text{MALO} | X = \text{MALO})P(\text{LTC} = \text{MALO})) / (P(X = \text{MALO}))$ . Por ejemplo, en casos en que la variable aleatoria a actualizar es ContWear, la probabilidad de que la variable aleatoria ContWear esté en un estado negativo se puede determinar aplicando:  $P(\text{ContWear} = \text{MALO} | \text{LTC} = \text{MALO}) = (P(\text{LTC} = \text{MALO} | \text{ContWear} = \text{MALO})P(\text{LTC} = \text{MALO})) / (P(\text{ContWear} = \text{MALO}))$ . De esta manera, la información de diagnóstico se puede determinar tras el conocimiento de un fallo de uno de los componentes 130 o del propio activo 118a-118x.

Con referencia a la Figura 5 una parte de la tabla 500 de distribución de probabilidades para el nodo 220 OPS muestra varios posibles estados para los subsistemas y parámetros 502 relevantes para el sistema de conservación del aceite del activo 102a-102x. En concreto, la parte de la tabla muestra las variables aleatorias CalidadAceite, InfraRrojo, FugasAceite y Desecante con condiciones MALO, debido a una probabilidad mayor que el 50% de una clasificación MALO. La Tabla muestra resultados cuando los resultados de NivelAceite, ElemBolsa y DispMedida son BUENO o MALO, correspondiendo las entradas 504 de la tabla a la salud del sistema de conservación del aceite. Esta distribución se puede generar para todos los nodos 204-290 utilizando datos históricos. También se puede introducir en la tabla información de expertos, que representa evaluación por parte de expertos de las diferentes distribuciones de probabilidad. Un experto puede suministrar las relaciones iniciales que son la fuente para una tabla inicial de probabilidades, incluyendo la condición de salud u otra distribución inicial basada en datos históricos o determinada de otra manera. Las tablas se pueden almacenar como estructuras de datos en un soporte 108 magnético, por ejemplo en una base de datos 110 relacionada con la distribución de probabilidad de un nodo concreto en función de las variables aleatorias asociadas con los nodos que afectan causalmente al nodo concreto en el modelo 200. La tabla también se actualiza a medida que se calculan probabilidades Bayesianas basándose en datos recibidos procedentes de sensores 118 o procedentes de ensayos realizados por técnicos, por ejemplo.

Con referencia a la Figura 6, el método 600 de predicción de salud incluye el paso 602 de construcción de un modelo 200 Bayesiano de un activo 102. El modelo 200 Bayesiano se reflejará al menos en parte en las instrucciones 109 almacenadas en el soporte 108 magnético. En el paso 604, se crea una distribución de probabilidades anteriores y se almacena en una base de datos de distribuciones de probabilidad anteriores, por ejemplo utilizando distribuciones de probabilidad históricas e información introducida por expertos referente a distribuciones de probabilidad. En el paso 606, se reciben datos de subsistema o de parámetro de componente, por ejemplo como recibidos procedentes de un sensor 118 y escritos como datos 111 en soporte magnético, que reflejan información operacional de un subsistema o parámetro de componente. En el paso 608, la distribución de probabilidad asociada con el nodo del componente se actualiza utilizando el Teorema de Bayes, basándose en los datos de subsistema o de parámetro de componente recibidos. En el paso 610, la distribución de probabilidad asociada con el nodo del activo se actualiza utilizando el Teorema de Bayes, basándose en la distribución de probabilidad actualizada para el nodo del componente. En el paso 612, las probabilidades anteriores creadas en el paso 604 se actualizan con las nuevas distribuciones de probabilidad para el nodo del componente y para el nodo del activo.

Con referencia a la Figura 7, el método 700 de diagnóstico incluye el paso 702 de construcción de un modelo 200 Bayesiano de un activo 102. Como con la Figura 6 y con el método 600, el modelo 200 Bayesiano se reflejará al menos en parte en las instrucciones 109 almacenadas en el soporte 108 magnético. En el paso 704, se crea una distribución de probabilidades anteriores y se almacena ésta en una base de datos de distribuciones de probabilidad anteriores, por ejemplo utilizando distribuciones de probabilidad históricas e información introducida por expertos referente a distribuciones de probabilidad. En el paso 706, se reciben datos del componente 130, por ejemplo como datos 111 en soporte magnético, que reflejan información operacional de un componente 130. En el paso 708, se actualiza la distribución de probabilidad asociada con los nodos de subsistema y con los nodos de parámetro de componente utilizando el Teorema de Bayes, basándose en los datos de componente recibidos. En el paso 710, se actualiza la distribución de probabilidad asociada con el nodo del activo utilizando el Teorema de Bayes, basándose en la distribución de probabilidad actualizada para el nodo del componente. En el paso 712, las probabilidades anteriores creadas en el paso 704 se actualizan con las nuevas distribuciones de probabilidad para el nodo del activo y para los nodos para subsistemas y parámetros de componente.

Para los propósitos de esta descripción y a menos que se especifique otra cosa, “un” o “una” significa “uno o más” o “una o más”. En la medida en que el término “incluye” o “incluyendo” se utiliza en la especificación de las reivindicaciones, este término pretende ser inclusivo de una manera similar al término “que comprende” como se interpreta ese término cuando se emplea como una palabra transicional en una reivindicación. Además, en la medida en que se emplea el término “o” (por ejemplo, A ó B), este término pretende significar “A ó B o ambos”. Cuando los solicitantes tienen la intención de indicar “sólo A o B pero no ambos” entonces se empleará el término “sólo A o B pero no ambos”. De esta manera, el uso del término “o” en este documento es el uso inclusivo, y no el uso exclusivo. Véase, Bryan A. Garner, A Dictionary of Modern Legal Usage 624 (2ª Ed. 1995). Asimismo, en la medida en que se utilizan los términos “en” o “dentro de” o “en el interior de” en la especificación o en las

5 reivindicaciones, se pretende implicar además “sobre” o “encima de”. Tal como se utiliza en este documento, el término “aproximadamente” sería comprendido por personas de experiencia ordinaria en la técnica y variará en cierta medida dependiendo del contexto en el que se utilice. Si existen usos del término que no están claros para personas de experiencia ordinaria en la técnica, dado el contexto en el cual se utiliza, “aproximadamente” significará hasta más o menos un 10% del término concreto. A partir de aproximadamente A a B pretende significar desde aproximadamente A hasta aproximadamente B, donde A y B son los valores especificados.

10 Aunque la presente descripción ilustra diferentes realizaciones, y aunque estas realizaciones se han descrito en cierto detalle, no es la intención del solicitante restringir o limitar de ninguna manera el alcance de la invención reivindicada hasta dicho detalle. Ventajas y modificaciones adicionales resultarán evidentes para las personas con experiencia en la técnica. Por lo tanto, la invención, en sus aspectos más amplios, no está limitada a los detalles específicos y a los ejemplos ilustrativos mostrados y descritos. Por consiguiente, se pueden hacer desviaciones con respecto a dichos detalles sin apartarse del espíritu o alcance de la invención reivindicada por el solicitante. Además, las realizaciones anteriores son ilustrativas, y ningún rasgo o elemento individual es esencial para todas las posibles combinaciones que se pueden reivindicar en esta solicitud o en una posterior.

15

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema (100) para determinar una salud de un activo (102a-102x) de transmisión o distribución de electricidad que tiene uno o más subsistemas (140a-140c), que comprende:
- 5 un ordenador (104) que tiene un soporte (108) magnético no transitorio y configurado para recibir al menos uno de datos de parámetro de componente y de datos de subsistema para al menos un componente (130) del activo y para los uno o más subsistemas (140a-140c) del activo;
- una distribución de probabilidad para cada uno de los activos (102a-102x), del al menos un componente (130), los datos de parámetro de componente y los datos de subsistema escritos (604) en el soporte (108) magnético;
- 10 instrucciones escritas en el soporte (108) magnético no transitorio que, cuando se ejecutan, actualizan (608) la distribución de probabilidad para el al menos un componente basándose en datos de subsistema o datos de parámetro de componente recibidos;
- instrucciones escritas en el soporte (108) magnético no transitorio que, cuando se ejecutan, actualizan (610) la distribución de probabilidad para el activo (140a-140c) basándose en la distribución de probabilidad actualizada de al menos un componente (130); e
- 15 instrucciones escritas en el soporte (108) magnético no transitorio que, cuando se ejecutan, actualizan (612) la distribución de probabilidad para los datos de parámetro de componente y los datos de subsistema basándose en las distribuciones de probabilidad actualizadas para el activo y el al menos un componente.
2. El sistema (100) de la reivindicación 1, en el cual el ordenador (104) incluye una interfaz (122) de entrada para usuarios y está configurado para recibir el al menos uno de los datos de parámetro de componente y de los datos de subsistema procedentes de al menos uno de entre un sensor en línea (118a-118y) y la interfaz (122) de entrada para usuarios.
- 20 3. El sistema (100) de la reivindicación 1, en el cual la distribución de probabilidad del al menos un componente incluye distribuciones de probabilidad de al menos uno de entre un sistema de conservación del aceite, un cambiador de tomas bajo carga, un sistema de refrigeración, una parte activa, aisladores y un tanque principal de un transformador.
- 25 4. El sistema (100) de la reivindicación 3, en el cual la distribución de probabilidad incluye además distribuciones de probabilidad para el al menos uno de los datos de subsistema o de los datos de parámetro de componente que incluyen al menos uno de entre una calidad del aceite, una fuga de aceite, una carga o un parámetro infrarrojo.
- 30 5. El sistema (100) de la reivindicación 1, en el cual la distribución de probabilidad incluye además distribuciones de probabilidad para el al menos uno de los datos de subsistema o de los datos de parámetro de componente que incluyen al menos uno de entre una calidad del aceite, una fuga de aceite, una carga o un parámetro infrarrojo.
- 35 6. El sistema (100) de la reivindicación 1, en el cual la distribución de probabilidad del al menos un componente se determina basándose en la distribución de probabilidad de los datos de subsistema y de los datos de parámetro de componente y en una estructura de datos que asocia la distribución de probabilidades de los datos de subsistema y de los datos de parámetro de componente con la distribución de probabilidad del al menos un componente.
7. El sistema (100) de la reivindicación 1, en el cual:
- las instrucciones escritas en el soporte (108) magnético no transitorio que, cuando se ejecutan, actualizan (608; 610) la distribución de probabilidad del activo y la distribución de probabilidad del al menos un componente, y las instrucciones escritas en el soporte magnético no transitorio que, cuando se ejecutan, actualizan (612) la distribución de probabilidad de los datos de parámetro de componente y de los datos de subsistema, realizan un cálculo Bayesiano cuando se ejecutan.
- 40 8. El sistema (100) de la reivindicación 1, en el cual la distribución de probabilidad del activo, la distribución de probabilidad del al menos un componente y la distribución de probabilidad del al menos un dato de parámetro de componente y de los datos de subsistema escritos en el soporte magnético están normalizados.
- 45 9. El sistema (100) de la reivindicación 1, que comprende además:
- instrucciones escritas en el soporte magnético no transitorio que, cuando se ejecutan, actualizan la distribución de probabilidad del activo basándose en datos del activo recibidos.
10. Un método (600) para determinar la salud de un activo (102a-102x) de transmisión o distribución de electricidad que tiene uno o más subsistemas (140a-140c), que comprende:

proporcionar un ordenador (104) que tiene un soporte (108) magnético no transitorio y configurado para recibir al menos uno de datos de parámetro de componente para al menos un componente (130) del activo (102a-102x) y subsistema y datos para uno o más subsistemas (140a-140c);

5 recibir (606) el al menos uno de los datos de parámetro de componente y de los datos de subsistema con el ordenador (104);

ejecutar instrucciones (608) escritas en el soporte (108) magnético no transitorio que actualizan una distribución de probabilidad del al menos un componente (130) basándose en los datos de parámetro de componente y los datos de subsistema recibidos;

10 ejecutar instrucciones (610) escritas en el soporte (108) magnético no transitorio que actualizan una distribución de probabilidad del activo basándose en la distribución de probabilidad actualizada del al menos un componente; y

ejecutar instrucciones (612) escritas en el soporte (108) magnético no transitorio que actualizan una probabilidad para el al menos uno de los datos de parámetro de componente y de los datos de subsistema basándose en la distribución de probabilidad actualizada para el activo y para el al menos un componente.

11. El método de la reivindicación 10 que comprende además:

15 ejecutar instrucciones escritas en el soporte magnético no transitorio que actualizan la distribución de probabilidad del activo y la distribución de probabilidad del componente basándose en los datos de subsistema y en los datos de parámetro de componente recibidos.

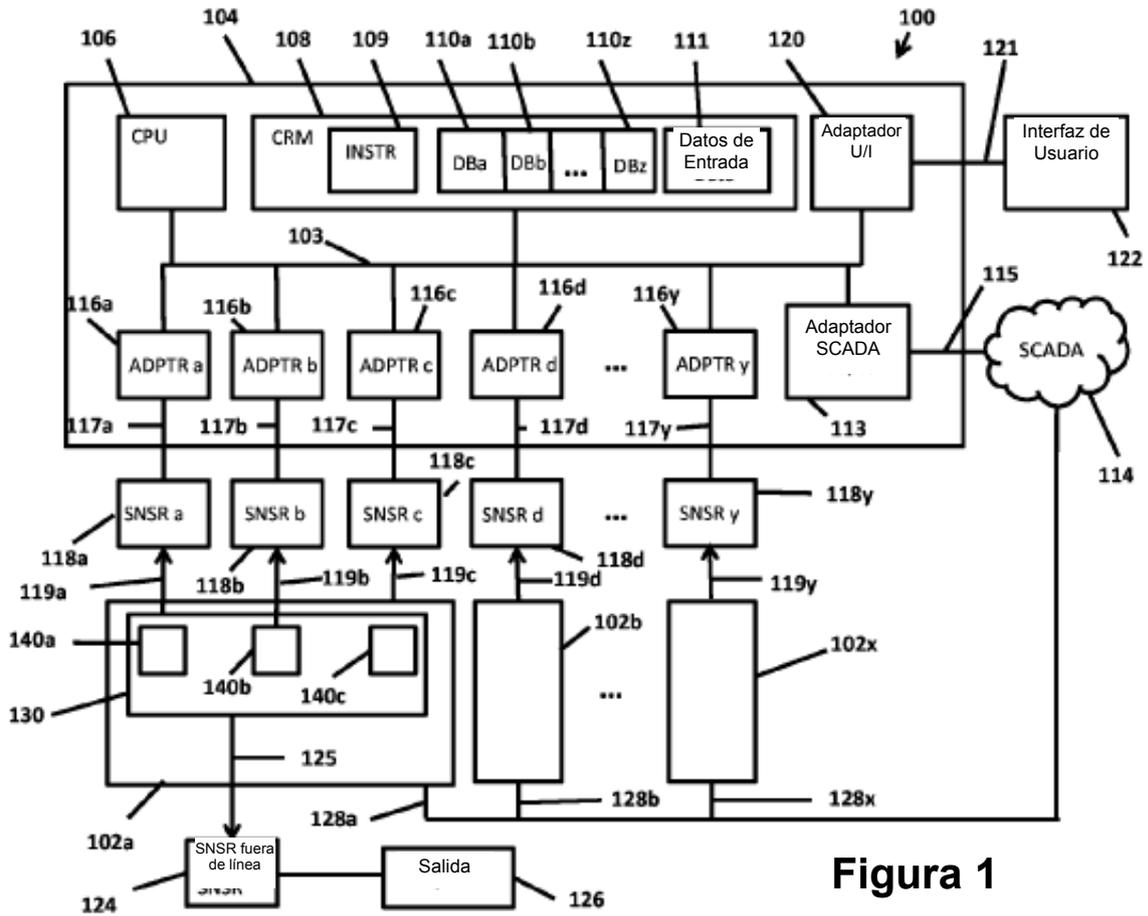


Figura 1

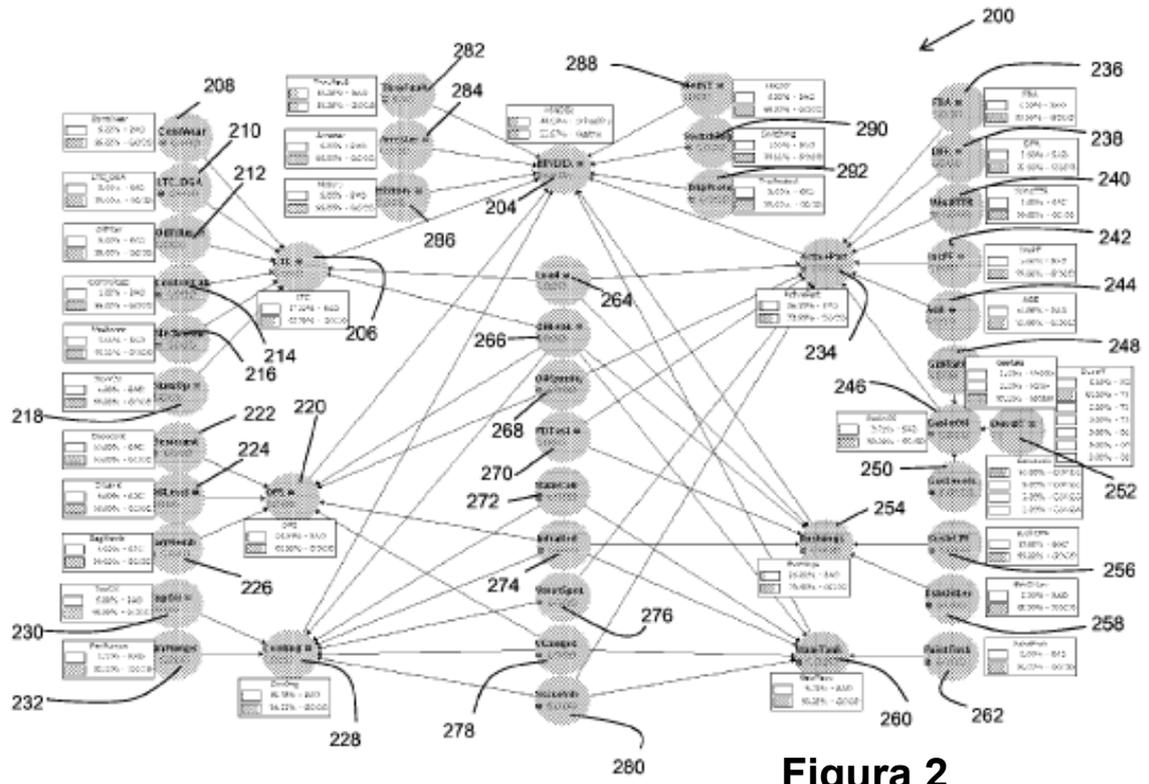


Figura 2



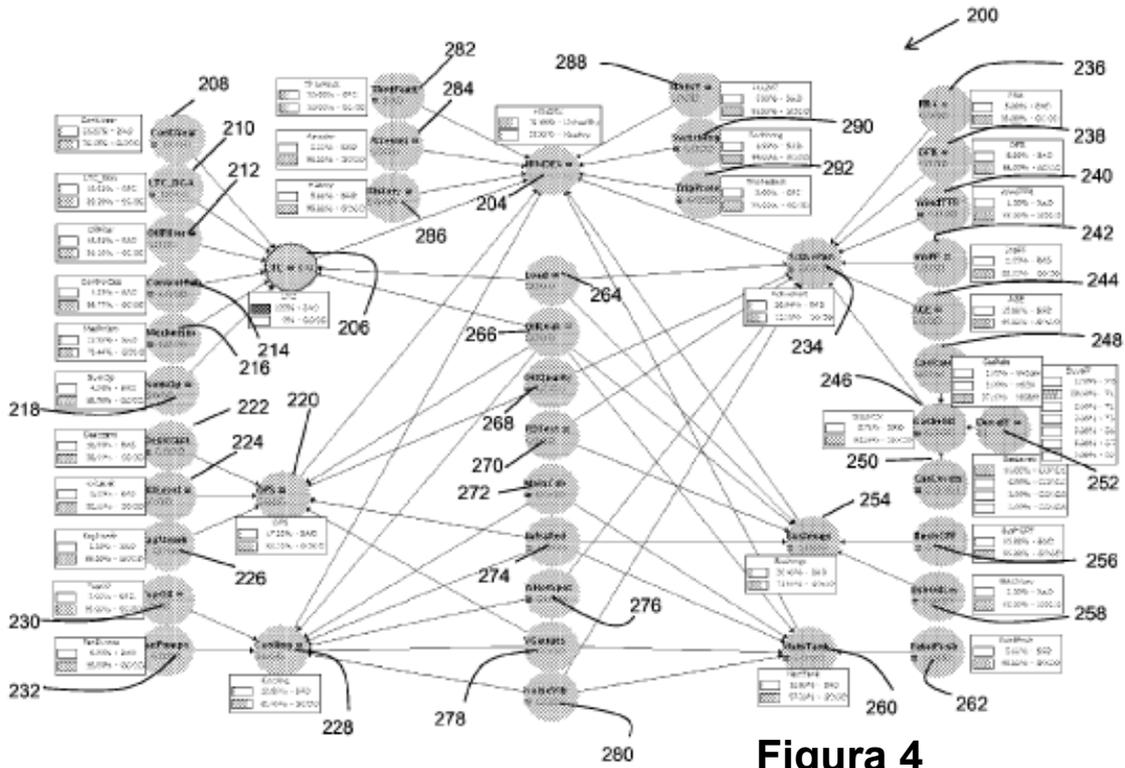


Figura 4

500

502

504

CalidadAceite	MALO							
Infrarrojo	MALO							
FugasAceite	MALO							
Desecante	MALO							
NivelAceite	MALO				BUENO			
ElemBolsa	MALO		BUENO		MALO		BUENO	
DispMedida	MALO	BUENO	MALO	BUENO	MALO	BUENO	MALO	BUENO
MALO	0.9786666	0.968	0.957333	0.936	0.943111	0.914666	0.872	0.84
BUENO	0.0213333	0.032	0.042666	0.064	0.056888	0.085333	0.128	0.16

**Figura 5**

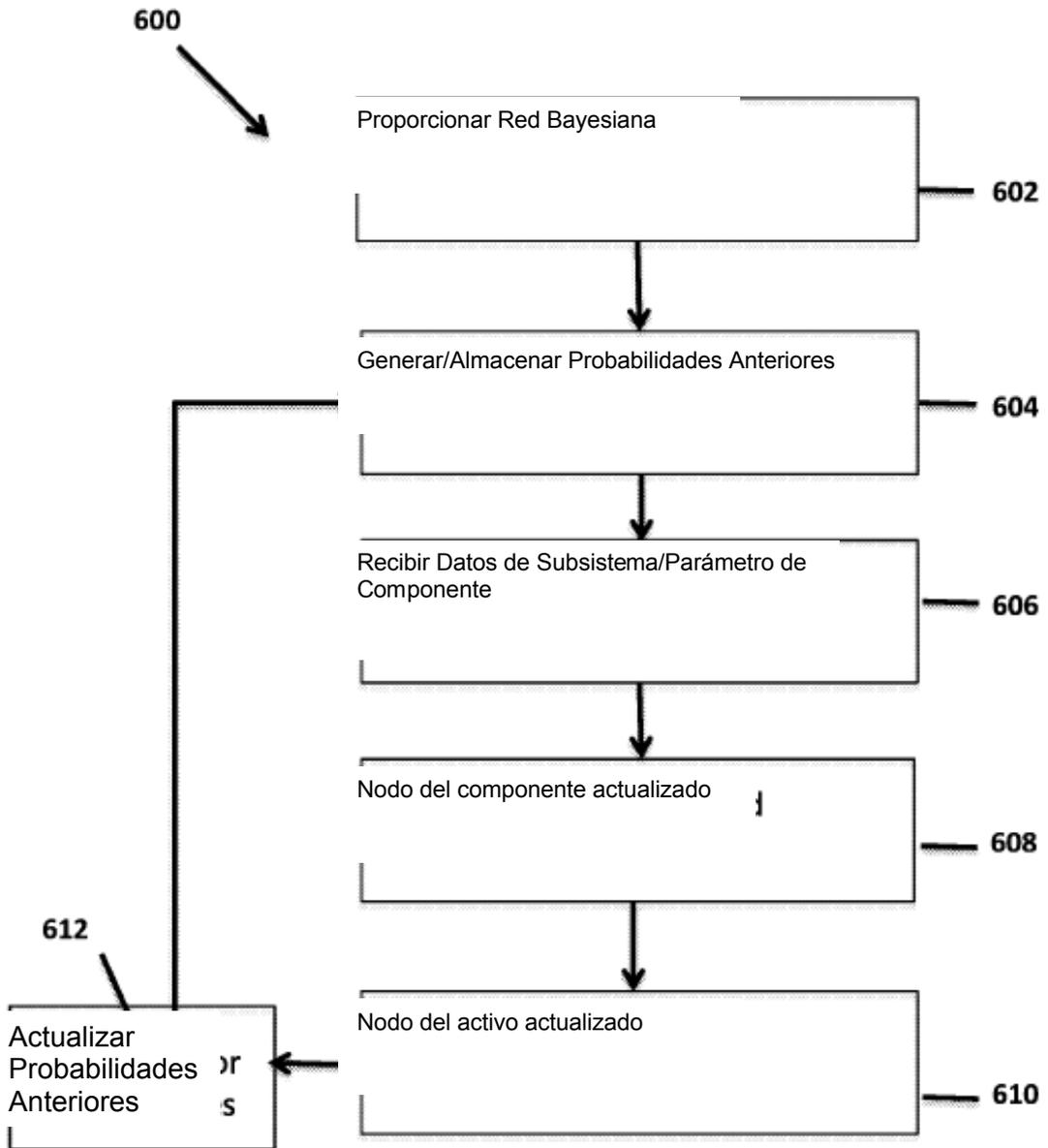
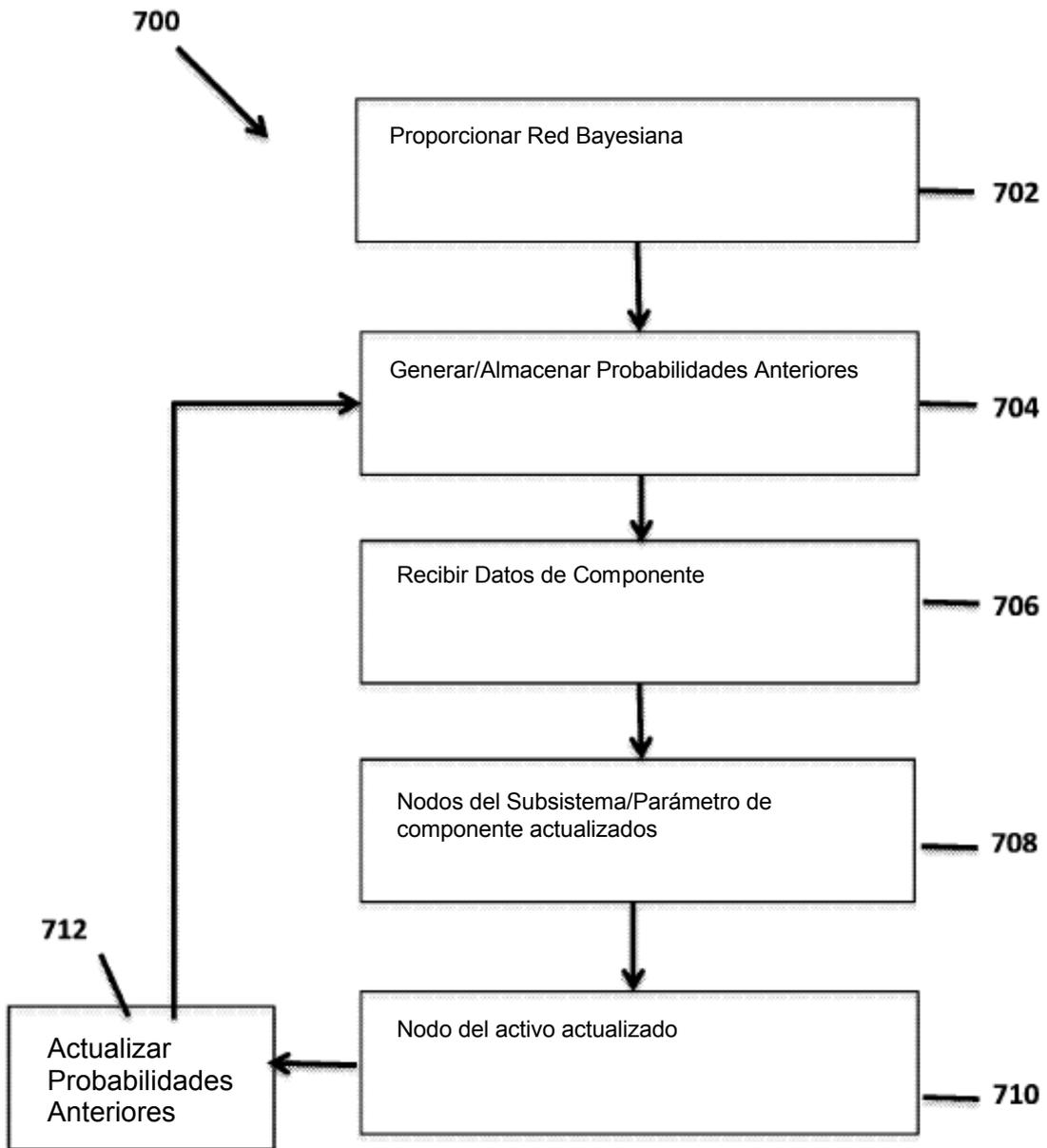


Figura 6



**Figura 7**