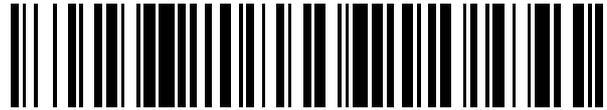


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 537 526**

51 Int. Cl.:

F16N 29/04 (2006.01)

F03D 11/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.05.2012 E 12169733 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.03.2015 EP 2530367**

54 Título: **Sistema y procedimientos para monitorizar las condiciones del aceite en una caja de cambios de un aerogenerador**

30 Prioridad:

31.05.2011 US 201113149396

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

09.06.2015

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**DAVIS, JOHN PAUL;
MAZZARO, MARIA CECILIA y
OATES, JACK DARRIN**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 537 526 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 procedimientos para monitorizar las condiciones del aceite en una caja de cambios de un aerogenerador

5 La presente materia objeto se refiere, en general, a aerogeneradores y, más en particular, a un sistema y/o procedimientos para monitorizar las condiciones del aceite contenido dentro de una caja de cambios de un aerogenerador.

El documento US 4.053.868 se refiere a un monitor del sistema de un vehículo para indicar la existencia de una o más condiciones operativas no deseables.

10 Generalmente, un aerogenerador incluye una torre, una góndola montada en la torre, y un rotor acoplado a la góndola. El rotor incluye generalmente un buje rotativo y una pluralidad de palas del rotor acopladas al buje y que se extienden hacia fuera desde él. Cada pala del rotor puede estar separada alrededor del buje para facilitar la rotación del rotor para permitir que la energía cinética se convierta en energía mecánica útil, que después pueda transmitirse a un generador eléctrico dispuesto dentro de la góndola para la producción de energía eléctrica. Normalmente, una caja de cambios se usa para accionar el generador eléctrico en respuesta a la rotación del rotor. Por ejemplo, la caja de cambios puede configurarse para convertir una entrada de par de torsión alto de baja velocidad proporcionada por el rotor en una salida de par de torsión bajo de alta velocidad que pueda accionar el generador eléctrico.

15 Los sistemas de lubricación se usan a menudo dentro de los aerogeneradores para hacer circular el aceite a través de la caja de cambios, disminuyendo por tanto la fricción entre los componentes móviles de la caja de cambios así como proporcionando refrigeración para tales componentes. Sin embargo, con el paso del tiempo, las condiciones del aceite pueden degradarse de manera significativa. Como tal, las condiciones del aceite deben inspeccionarse periódicamente para evitar daños innecesarios en la caja de cambios debido a, por ejemplo, desgaste de los componentes provocado por excesivas cantidades de partículas metálicas y/u otros residuos contenidos dentro del aceite. Actualmente, los procedimientos de inspección de la caja de cambios requieren que un aerogenerador se apague para permitir que un trabajador de mantenimiento escale hasta la góndola y gane acceso al interior de la caja de cambios. De esta manera, los procedimientos de inspección convencionales pueden ser muy costosos así como ser trabajosos y requerir mucho tiempo. Como resultado, las inspecciones programadas de la caja de cambios son normalmente poco frecuentes, incrementando por tanto la probabilidad de daños en la caja de cambios debido a las condiciones degradadas del aceite.

Por consiguiente, un sistema y/o procedimientos que permitan la monitorización en línea de las condiciones del aceite dentro de la caja de cambios serían bienvenidos en la técnica.

30 Diversos aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden quedar claros a partir de la descripción, o pueden aprenderse mediante la práctica de la invención.

Diversos aspectos y realizaciones de la presente invención se definen mediante las reivindicaciones adjuntas.

35 Diversas características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor en referencia a la siguiente descripción y reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan y constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran realizaciones de la invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención. En los dibujos:

La Figura 1 ilustra una vista en perspectiva de una realización de un aerogenerador de construcción convencional;

La Figura 2 ilustra una vista en perspectiva interior de una realización de una góndola de un aerogenerador;

40 La Figura 3 ilustra un diagrama esquemático de una realización de componentes adecuados que pueden incluirse dentro de uno o más controladores usados para llevar a cabo los procedimientos desvelados en el presente documento;

La Figura 4 ilustra un diagrama de flujo de una realización de un procedimiento para monitorizar las condiciones del aceite contenido dentro de una caja de cambios de un aerogenerador;

45 La Figura 5 ilustra una porción de una realización de lógica de decisión que puede usarse para monitorizar las condiciones del aceite contenido dentro de una caja de cambios de un aerogenerador;

La Figura 6 ilustra otra porción de una realización de lógica de decisión que puede usarse para monitorizar las condiciones del aceite contenido dentro de una caja de cambios de un aerogenerador;

La Figura 7 ilustra una porción adicional de una realización de lógica de decisión que puede usarse para monitorizar las condiciones del aceite contenido dentro de una caja de cambios de un aerogenerador; y,

50 La Figura 8 ilustra otra porción adicional de una realización de lógica de decisión que puede usarse para monitorizar las condiciones del aceite contenido dentro de una caja de cambios de un aerogenerador;

Ahora se hará referencia en detalle a las realizaciones de la invención, de la cual se ilustran uno o más ejemplos en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona mediante la explicación de la invención, sin limitación de la invención. De hecho, será aparente para los expertos en la materia que pueden realizarse diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin apartarse del ámbito o espíritu de la invención. Por ejemplo, las características 5 ilustradas o descritas como parte de una realización pueden usarse con otra realización para producir una realización adicional. De esta manera, se pretende que la presente invención cubra tales modificaciones y variaciones que entran dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas y sus equivalentes.

En general, la presente materia objeto desvela un sistema y/o procedimientos para la monitorización en línea de las condiciones del aceite contenido dentro de una caja de cambios de un aerogenerador. Por ejemplo, en varias 10 realizaciones, uno o más sensores pueden montarse a través y/o estar dispuestos dentro de una caja de cambios para permitir que puedan medirse uno o más parámetros de aceite (por ejemplo, temperatura del aceite, viscosidad del aceite, total de partículas, tamaño de partículas y/o contenido de agua) de la caja de cambios. Los sensores pueden permitir que las condiciones del aceite se monitoricen de manera local o remota en tiempo real transmitiendo señales correspondientes a las medidas de los parámetros del aceite a un controlador (por ejemplo, un controlador 15 de turbina del aerogenerador y/o un controlador separado ubicado lejos del aerogenerador) para un análisis posterior usando un software adecuado, algoritmos y/o lógica de decisión. Como resultado de la adquisición y el análisis de tales medidas, puede determinarse y/o predecirse cuándo ocurrirán daños en cualquiera de los componentes de la caja de cambios y/o la gravedad/extensión de cualquier daño que pueda haber ocurrido debido a las condiciones de degradación del aceite. Por consiguiente, puede determinarse una línea de actuación 20 recomendada (por ejemplo, mantenimiento reactivo y/o proactivo) para evitar daños adicionales y/o futuros en la caja de cambios.

En referencia ahora a los dibujos, la Figura 1 ilustra una vista en perspectiva de una realización de un aerogenerador 10 de construcción convencional. Como se muestra, el aerogenerador 10 incluye una torre 12 que se extiende desde una superficie 14 del soporte, una góndola 16 montada en la torre 12, y un rotor 18 acoplado a la góndola 16. El 25 rotor 18 incluye un buje 20 rotativo y al menos una pala 22 del rotor acoplada al buje 20 y que se extiende hacia fuera desde el mismo. Por ejemplo, en la realización ilustrada, el rotor 18 incluye tres palas 22 del rotor. Sin embargo, en una realización alternativa, el rotor 18 puede incluir más o menos de tres palas 22 del rotor. Cada pala 22 del rotor puede estar separada alrededor del buje 20 para facilitar la rotación del rotor 18 para permitir que la energía cinética se transfiera desde el aire y convertirla en energía mecánica útil, y posteriormente, energía eléctrica. 30 Por ejemplo, el buje 20 puede acoplarse de manera rotativa a un generador 24 eléctrico (Figura 2) ubicado dentro de la góndola 16 para permitir la producción de energía eléctrica.

Como se muestra, el aerogenerador 10 también puede incluir un sistema de control de turbina o un controlador 26 de turbina centralizado dentro de la góndola 16. Sin embargo, debe apreciarse que el controlador 26 de turbina puede estar dispuesto en cualquier ubicación en o en el aerogenerador 10, en cualquier ubicación en la superficie 14 35 de soporte o generalmente en cualquier otra ubicación. En general, el controlador 26 de turbina puede configurarse para transmitir y ejecutar señales de control del aerogenerador y/u órdenes para controlar los diversos modos operativos (por ejemplo, secuencias de inicio o detención) y/o componentes del aerogenerador 10. Por ejemplo, el controlador 26 puede configurarse para controlar el ángulo de ataque de la pala o el ángulo de paso de cada una de las palas 22 del rotor (es decir, un ángulo que determina una perspectiva de las palas 22 del rotor con respecto a la 40 dirección 28 del viento) para controlar la carga y la salida de potencia generada mediante el aerogenerador 10 ajustando una posición angular de al menos una pala 22 del rotor en relación con el viento. Por ejemplo, el controlador 26 de turbina puede controlar el ángulo de paso de las palas 22 del rotor, ya sea individualmente o de manera simultánea, transmitiendo señales/órdenes de control adecuadas a un mecanismo de accionamiento o de ajuste del ángulo de ataque (no se muestra) del aerogenerador 10. Además, a medida que cambia la dirección 28 del viento, el controlador 26 de turbina puede configurarse para controlar una dirección de guiñada de la góndola 16 45 alrededor de un eje 30 de guiñada para colocar las palas 22 del rotor con respecto a la dirección 28 del viento, controlando por tanto la carga y la salida de potencia generada mediante el aerogenerador 10. Por ejemplo, el controlador 26 de turbina puede configurarse para transmitir señales/órdenes de control a un mecanismo de accionamiento de guiñada (no se muestra) del aerogenerador 10 de manera que la góndola 16 puede rotarse 50 alrededor del eje 30 de guiñada.

En referencia ahora a la Figura 2, se ilustra una vista interna y simplificada de una realización de una góndola 16 de un aerogenerador 10. Como se muestra, un generador 24 puede estar dispuesto dentro de la góndola 16. En general, el generador 24 puede acoplarse al rotor 18 del aerogenerador 10 para producir potencia eléctrica desde la energía rotativa generada por el rotor 18. Por ejemplo, como se muestra en la realización ilustrada, el rotor 18 puede 55 incluir un árbol 32 del rotor acoplado al buje 20 para la rotación con el mismo. El árbol 32 del rotor puede a su vez acoplarse de manera rotativa a un árbol 34 del generador del generador 24 a través de una caja de cambios 36. Como se entiende generalmente, el árbol 32 del rotor puede proporcionar una entrada de par de torsión alto de baja velocidad en la caja de cambios 36 en respuesta a la rotación de las palas 22 del rotor y el buje 20. La caja de cambios 36 puede configurarse entonces para convertir la entrada de par de torsión alto de baja velocidad en una salida de par de torsión bajo de alta velocidad para accionar el árbol 34 del generador y de esta manera el generador 24. 60

Debe apreciarse que la caja de cambios 36 puede comprender generalmente cualquier caja de cambios adecuada

conocida en la técnica. Por ejemplo, en una realización, la caja de cambios 36 puede comprender una caja de cambios planetaria que incluye una pluralidad de engranajes (por ejemplo, engranajes planetarios, de anillo y/o engranajes sol) y cojinetes (no se muestran) para convertir la entrada de par de torsión alto de baja velocidad del árbol 32 del rotor en una salida de par de torsión bajo de alta velocidad para el generador 24. Adicionalmente, en una realización, la caja de cambios 36 puede incluir múltiples fases de engranajes, incrementando cada fase de engranaje la velocidad de entrada y disminuyendo el par de torsión de entrada. Además, la caja de cambios 36 puede incluir un sistema de lubricación (no se muestra) u otro medio para hacer circular el aceite a través de la caja de cambios 36. Como se entiende generalmente, el aceite puede usarse para reducir la fricción entre los componentes móviles de la caja de cambios 36 y también puede utilizarse para proporcionar refrigeración para tales componentes, disminuyendo por tanto el desgaste de los componentes y otras pérdidas dentro de la caja de cambios 36 e incrementando la vida útil de la caja de cambios 36.

Adicionalmente, como se ha indicado anteriormente, un controlador 26 de turbina también puede ubicarse dentro de la góndola 16 del aerogenerador 10. Por ejemplo, como se muestra en la realización ilustrada, el controlador 26 de turbina está dispuesto dentro de una cabina 38 de control montada en una porción de la góndola 16. Sin embargo, en otras realizaciones, el controlador 26 de turbina puede estar dispuesto en cualquier otra ubicación adecuada en y/o dentro del aerogenerador 10 o en cualquier ubicación adecuada lejos del aerogenerador 10.

Además, el aerogenerador 10 también puede incluir uno o más sensores para detectar, percibir y/o medir uno o más parámetros operativos y/o condiciones operativas del aerogenerador 10. De esta manera, en varias realizaciones, el aerogenerador 10 puede incluir uno o más sensores 40 (mostrados en líneas discontinuas) para detectar, percibir y/o medir uno o más parámetros de aceite de la caja de cambios 36. Como se usa en el presente documento, el término "parámetro de aceite" puede referirse a cualquier característica y/o propiedad que proporciona una indicación del estado operativo y/o condiciones del aceite contenido dentro de la caja de cambios 36. Por ejemplo, en una realización, los parámetros de aceite pueden incluir, pero no se limitan a, temperatura del aceite, viscosidad del aceite, el número de partículas y/o residuos (por ejemplo, partículas metálicas debido a desgaste del componente) contenidos dentro del aceite (denominados en el presente documento como "total de partículas"), el tamaño de las partículas y/o residuos contenidos dentro del aceite (denominados en el presente documento como "tamaño de las partículas") y/o el contenido de agua del aceite.

En general, el(los) sensor(es) 40 puede(n) comprender cualquier sensor adecuado y/u otros dispositivos detectores conocidos en la técnica para detectar, percibir y/o medir uno o más de los parámetros de aceite de la caja de cambios 36. Por ejemplo, para medir la temperatura del aceite, los sensores 40 pueden comprender uno o más sensores de temperatura montados a través y/o dispuestos dentro de la caja de cambios 36. Los sensores de temperatura adecuados pueden incluir, pero no se limitan a, termopares, termómetros, sensores de temperatura de fibra óptica, termoinmaginadores y/o similares. De manera similar, para medir la viscosidad del aceite, los sensores 40 pueden comprender uno o más sensores de viscosidad montados a través y/o dispuestos dentro de la caja de cambios 36. Por ejemplo, se conocen sensores de viscosidad adecuados que realizan medidas de viscosidad de temperatura compensada usando procedimientos de capacitancia y/o dieléctricos. Además, se conocen otros sensores de viscosidad adecuados que utilizan resonadores micromecánicos y/o dispositivos microacústicos, junto con algoritmos de procesamiento de señales, para medir la viscosidad del aceite.

Adicionalmente, para medir el total de partículas y el tamaño de las partículas, los sensores 40 pueden comprender uno o más sensores de partículas y/o residuos montados a través y/o dispuestos dentro de la caja de cambios 36. Por ejemplo, se conocen sensores adecuados de partículas metálicas y/o residuos que utilizan tecnología de bobina de inducción, tecnología de magnetometría y/o tecnología electromagnética, junto con algoritmos adecuados, para determinar tanto el total como el tamaño de partículas metálicas contenidas dentro del aceite. De manera similar, para medir el contenido de agua del aceite, los sensores 40 pueden comprender uno o más sensores de humedad montados a través y/o dispuestos dentro de la caja de cambios 36. Por ejemplo, se conocen sensores adecuados de humedad que determinan el contenido de agua midiendo el porcentaje de humedad relativa del aceite usando sensores de impedancia electrónica y/o capacitancia junto con algoritmos adecuados.

Debe apreciarse que los sensores 40 desvelados no necesitan limitarse a las tecnologías detectoras descritas anteriormente. En cambio, cualquier tecnología detectora adecuada puede utilizarse para medir los parámetros de aceite de la caja de cambios 36. Adicionalmente, un experto en la materia apreciaría que se conocen sensores de condiciones del aceite en la técnica que son capaces de medir múltiples parámetros de aceite. Por ejemplo, los sensores conocidos de las condiciones del aceite están disponibles para medir tanto la temperatura del aceite como la viscosidad del aceite.

Además, como se muestra en la Figura 2, en varias realizaciones, el controlador 26 de turbina puede acoplarse de manera comunicativa a un controlador 42 separado (mostrado en líneas discontinuas) para permitir la transmisión de señales de control y/u órdenes desde el controlador 42 separado al controlador 26 de turbina y/o permitir la transmisión de señales/datos recibidos mediante el controlador 26 de turbina al controlador 42 separado. Por ejemplo, en una realización, el controlador 26 de turbina puede acoplarse de manera comunicativa al controlador 42 separado a través de una conexión con cables, tal como conectando los controladores 26, 42 a través de un enlace de comunicación adecuado (por ejemplo, un cable adecuado). Como alternativa, el controlador 26 de turbina puede acoplarse de manera comunicativa al controlador 42 separado a través de una conexión inalámbrica, tal como

usando cualquier protocolo de comunicación inalámbrica adecuado conocido en la técnica.

En general, el controlador 42 separado puede comprender cualquier ordenador y/o unidad de procesamiento adecuada ubicada lejos del controlador 26 de turbina. Por ejemplo, en varias realizaciones, el controlador 42 separado puede comprender un controlador de granja configurado para controlar múltiples aerogeneradores 10 dentro de una granja eólica, un sistema de monitorización remoto para monitorizar remotamente los datos operativos del aerogenerador 10, un controlador centralizado para controlar remotamente el aerogenerador 10 y/o cualquier otro controlador adecuado, sistema de monitorización y/o unidad de procesamiento.

Debe apreciarse que, en varias realizaciones de la presente materia objeto, los sensores 40 desvelados pueden acoplarse de manera comunicativa al controlador 26 de turbina para permitir que las señales correspondientes a las medidas de parámetros de aceite capturadas por los sensores 40 se transmitan al controlador 26 de turbina. De esta manera, en realizaciones en las que el controlador 26 de turbina está acoplado de manera comunicativa al controlador 26 separado, las señales recibidas desde los sensores 40 pueden transmitirse después al controlador 42 separado para permitir una monitorización remota de las condiciones del aceite de la caja de cambios 36. Sin embargo, en realizaciones alternativas, los sensores 40 desvelados pueden acoplarse directamente al controlador 42 separado de manera que las señales transmitidas desde los sensores 40 puedan comunicarse directamente al controlador 26 separado.

En referencia ahora a la Figura 3, se ilustra un diagrama de bloques de una realización de componentes adecuados que pueden incluirse dentro del controlador 26 de turbina y/o el controlador 42 separado de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto. Como se muestra, el controlador 26 de turbina y/o el controlador 42 separado pueden incluir uno o más procesadores 46 y dispositivos 48 de memoria asociados configurados para realizar una variedad de funciones implementadas por ordenador (por ejemplo, llevar a cabo los procedimientos, lógicas de decisión, etapas, operaciones, cálculos y similares desvelados en el presente documento). Como se usa en el presente documento, el término "procesador" se refiere no solo a circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como incluidos en un ordenador, sino que también se refiere a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador lógico programable (PLC), un circuito integrado específico de aplicación, y otros circuitos programables. Adicionalmente, los dispositivos 48 de memoria pueden comprender generalmente elementos de memoria que incluyen, pero no se limitan a, un medio legible por ordenador (por ejemplo, memoria de acceso aleatorio (RAM)), un medio no volátil legible por ordenador (por ejemplo, una memoria flash), un disquete, una memoria de disco compacto de solo lectura (CD-ROM), un disco magneto-óptico (MOD), un disco versátil digital (DVD) y/o otros elementos de memoria adecuados. Tales dispositivos 48 de memoria pueden configurarse generalmente para almacenar instrucciones adecuadas legibles por ordenador que, cuando se implementan mediante los procesadores 46, configuran el controlador 26 de turbina y/o el controlador 42 separado para llevar a cabo diversas funciones incluyendo, pero sin limitarse a, ejecutar los elementos del procedimiento y/o la lógica de decisión descrita a continuación. Los dispositivos 48 de memoria también pueden usarse para almacenar variables temporales de entrada y salida y otra información inmediata durante la ejecución mediante los procesadores 46 de las instrucciones legibles por ordenador y/o para registrar/archivar medidas de parámetro de aceite transmitidas mediante los sensores 40.

Adicionalmente, el controlador 26 de turbina y/o el controlador 42 separado también pueden incluir un módulo 50 de comunicaciones para facilitar la comunicación con los diversos componentes del aerogenerador 10. En varias realizaciones, el módulo 50 de comunicaciones puede incluir una interfaz 52 de sensor para permitir que los sensores 40 desvelados transmitan señales de salida (por ejemplo, correspondientes a las medidas de parámetros de aceite) al controlador 26 de turbina y/o el controlador 42 separado. Específicamente, como se muestra, los sensores 40 pueden acoplarse de manera comunicativa al controlador 26 de turbina y/o el controlador 42 separado a través de la interfaz 52 de sensor.

Debe apreciarse que, en una realización, los sensores 40 pueden acoplarse de manera comunicativa a la interfaz 52 de sensor a través de una conexión con cables, como acoplando los sensores 40 a la interfaz 52 de sensor a través de un cable u otro enlace comunicativo adecuado. Como alternativa, los sensores 40 pueden acoplarse de manera comunicativa a la interfaz 52 de sensor a través de una conexión inalámbrica. Por ejemplo, los sensores 40 pueden estar equipados con una antena adecuada para transmitir señales/datos a la interfaz 52 de sensor a través de cualquier protocolo de comunicaciones inalámbrico adecuado. En tal realización, el módulo 50 de comunicaciones también puede incluir una antena adecuada para recibir las transmisiones de señal/datos y/o para comunicarse inalámbricamente de otra manera con los sensores 40.

Debe apreciarse también que una interfaz 52 de sensor adecuada puede incluir, por ejemplo, uno o más convertidores de analógico a digital configurados para convertir las señales analógicas en señales digitales que puedan recibirse y/o usarse mediante los procesadores 46 del controlador 26 de turbina y/o el controlador 42 separado.

En referencia ahora a la Figura 4, se ilustra un diagrama de flujo de una realización de un procedimiento 100 para monitorizar las condiciones del aceite contenido dentro de la caja de cambios 36 (Figura 2) de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto. Como se muestra, el procedimiento 100 incluye generalmente recibir una señal correspondiente a una medida de un parámetro de aceite de la caja de cambios 102, comparar la medida con un

límite predeterminado para el parámetro 104 de aceite, asignar un nivel de gravedad basándose en la comparación de la medida con el límite 106 predeterminado y determinar una línea de actuación recomendada para el aerogenerador basándose en el nivel 108 de gravedad. Debería apreciarse que, aunque los diversos elementos 102, 104, 106, 108 del procedimiento del procedimiento 100 desvelado se ilustran en un orden en particular en la Figura 4, los elementos 102, 104, 106, 108 del procedimiento pueden realizarse generalmente en cualquier secuencia y/u orden consistente con la divulgación proporcionada en el presente documento.

En general, el procedimiento 100 desvelado puede permitir la monitorización de las condiciones del aceite de la caja de cambios 36 (Figura 2) localmente o de manera remota en tiempo real obteniendo medidas de uno o más parámetros del aceite usando los sensores 40 desvelados (Figura 2) y transmitiendo señales correspondientes a tales medidas al controlador 26 de turbina y/o el controlador 42 separado para un posterior análisis usando software, algoritmos y/o lógica de decisión almacenada como instrucciones legibles por ordenador dentro de tales controladores 26, 42. Tal monitorización en línea de las condiciones del aceite proporciona generalmente numerosas ventajas. Por ejemplo, la adquisición y el análisis de datos en tiempo real correspondientes a las condiciones del aceite de la caja de cambios 36 pueden permitir la determinación y/o estimación de la gravedad y/o extensión de cualquier daño que pueda estar ocurriendo en este momento en los componentes de la caja de cambios 36 y/o la determinación y/o estimación de cuándo tales componentes pueden comenzar a estar sometidos a daños debido a las condiciones de degradación del aceite y/o cualquier otro modo de fallo detectable de la caja de cambios 36 (por ejemplo, condiciones de degradación de los engranajes y/o cojinete). Como resultado, una línea de actuación recomendada (por ejemplo, mantenimiento reactivo y/o proactivo) puede establecerse basándose en la determinación de las condiciones del aceite y/o cualquier daño que surja o pueda surgir en la caja de cambios 36. Por ejemplo, basándose en el análisis de las medidas de parámetros de aceite, puede determinarse si debe llevarse a cabo una acción inmediata (por ejemplo, desactivando el aerogenerador 10 para evitar daños significativos en la caja de cambios 36 o el aerogenerador 10) o si debe llevarse a cabo alguna operación de mantenimiento (por ejemplo, cambiar el aceite dentro de la caja de cambios 36 y/o sustituir el filtro del aceite) en un momento en particular en el futuro.

Adicionalmente, debe apreciarse que, en varias realizaciones, los diversos elementos 102, 104, 106, 108 del procedimiento mostrados en la Figura 4, así como la lógica de decisión descrita a continuación, pueden realizarse únicamente mediante el controlador 26 de turbina, únicamente mediante el controlador 42 separado o parcialmente mediante el controlador 26 de turbina y parcialmente mediante el controlador 42 separado. Por ejemplo, como se ha indicado anteriormente, en una realización, el controlador 26 de turbina puede acoplarse de manera comunicativa a los sensores 40 y, de esta manera, puede configurarse para recibir las medidas de parámetros de aceite proporcionadas por los sensores 40. En tal realización, el controlador 26 de turbina también puede incluir instrucciones adecuadas legibles por ordenador que, cuando se implementan, permiten que el controlador 26 de turbina analice las medidas de parámetros de aceite, tal como analizando las medidas de acuerdo con la lógica de decisión mostrada en las Figuras 5-8. Como alternativa, el controlador 26 de turbina puede configurarse para transmitir las medidas de parámetros de aceite al controlador 42 separado para un posterior análisis de las medidas mediante tal controlador 42.

En referencia ahora a las Figuras 5-8, se ilustra una realización de un diagrama de flujo detallado que puede utilizarse al realizar los procedimientos desvelados en el presente documento de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto. En particular, el diagrama de flujo ilustrado proporciona lógica de decisión que puede realizarse mediante el controlador 26 de turbina y/o el controlador 42 separado para monitorizar de manera local y/o remota las condiciones del aceite contenido dentro de la caja de cambios 36 (Figura 2). Por ejemplo, la Figura 5 ilustra una porción del diagrama de flujo correspondiente a la lógica de decisión para monitorizar los parámetros de aceite y/o el intervalo de servicio de la caja de cambios 36 y para comparar tales parámetros y/o intervalo con parámetros predeterminados y/o límites de tiempo. De manera similar, las Figuras 6 y 7 ilustran una porción de un diagrama de flujo correspondiente a la lógica de decisión para determinar tanto el Nivel de Gravedad de una medida de parámetro de aceite que sobrepasa uno o más de los límites de parámetros predeterminados y las etapas realizadas en cada Nivel de Gravedad. Adicionalmente, la Figura 8 ilustra una porción del diagrama de flujo correspondiente a lógica de decisión para determinar cuándo programar el mantenimiento cuando una medida de tiempo de la caja de cambios 32 sobrepasa uno o más de los límites de tiempo predeterminados.

Como se muestra en la Figura 5, en 202, pueden monitorizarse los parámetros de aceite y/o las medidas de tiempo de la caja de cambios 36. Como se ha indicado anteriormente, los parámetros de aceite pueden monitorizarse continuamente usando los sensores 40 desvelados (Figura 2). De esta manera, en una frecuencia o índice de muestreo predeterminado (por ejemplo, cada 10 minutos), los sensores 40 pueden configurarse para medir los parámetros de aceite y transmitir tales medidas al controlador 26 de turbina y/o el controlador 42 separado para un posterior análisis.

Además, el controlador 26 de turbina y/o el controlador 42 separado pueden incluir instrucciones adecuadas de software para monitorizar las medidas de tiempo dentro del intervalo de servicio actual de la caja de cambios 36. Como se usa en el presente documento, el término "intervalo de servicio" se refiere a una cantidad de tiempo mencionada desde la última operación de mantenimiento realizada en la caja de cambios 36 (por ejemplo, cambiar el aceite y/o sustituir el filtro del aceite). Por ejemplo, en varias realizaciones, el intervalo de servicio puede comprender una medida de tiempo correspondiente con la cantidad de horas operativas del aerogenerador desde

que se realizó la última operación de mantenimiento en la caja de cambios 36 y/o una medida de tiempo correspondiente con la cantidad de tiempo transcurrido desde que se realizó la última operación de mantenimiento en la caja de cambios 36. En tales realizaciones, el controlador 26 de turbina y/o el controlador 42 separado pueden incluir instrucciones adecuadas de software para monitorizar la cantidad de horas operativas y/o el tiempo transcurrido desde que se realizó la última operación de mantenimiento.

En 204, cada medida de parámetro de aceite puede compararse con un límite operativo. En general, cada límite operativo puede corresponderse con un valor de medida predeterminado para cada parámetro de aceite en el que se cree que la caja de cambios 36 puede comenzar a sufrir daños (es decir, daños por encima del desgaste normal). Por ejemplo, en una realización, el límite operativo para la temperatura del aceite dentro de la caja de cambios 36 puede corresponderse con un valor de temperatura predeterminado en el que se cree que la caja de cambios 36 puede comenzar a sufrir daños debido a temperaturas excesivas. Como se muestra en la Figura 2, si al menos una de las medidas de parámetro de aceite sobrepasa su límite operativo correspondiente, la lógica de decisión perteneciente al Nivel de Gravedad de la medida de parámetro de aceite puede llevarse a cabo (descrita a continuación en referencia a las Figuras 6 y 7). Sin embargo, si ninguna de las medidas de parámetro de aceite sobrepasa sus límites operativos correspondientes, puede llevarse a cabo la lógica de decisión perteneciente a los límites de índice de cambio mostrados en 206.

Debe apreciarse inmediatamente que el límite operativo para cada parámetro de aceite puede variar generalmente dependiendo de numerosos factores incluyendo, pero sin limitarse a, las condiciones operativas de la caja de cambios 36, el tamaño y la capacidad del aceite de la caja de cambios 36, las propiedades materiales de los componentes contenidos dentro de la caja de cambios 36 y/o cualquier dato histórico disponible con respecto a la operación de la caja de cambios 36. Sin embargo, está bien visto dentro del alcance de un experto en la materia determinar tales límites operativos basándose en las características de la caja de cambios 36 y/o cualquier otro factor adecuado.

En 206, cada medida de parámetro de aceite puede compararse con un límite de índice de cambio. En general, el límite de índice de cambio puede corresponderse con un valor diferencial predeterminado para cada parámetro de aceite en el que se cree que la caja de cambios 36 puede comenzar a sufrir daños (es decir, daños por encima del desgaste normal) debido al diferencial entre medidas consecutivas para un parámetro de aceite particular. Por ejemplo, en una realización, el límite de índice de cambio para la temperatura del aceite puede corresponderse con un diferencial de temperatura predeterminado (por ejemplo, un incremento predeterminado en temperatura entre las medidas de temperatura de aceite consecutivas) en el que se cree que la caja de cambios 36 puede comenzar a sufrir daños debido a variaciones significativas de temperatura dentro de la caja de cambios 36. Como se muestra en la Figura 5, si al menos una de las medidas de parámetro de aceite sobrepasa su límite de índice de cambio correspondiente, puede realizarse la lógica de decisión perteneciente al Nivel de Gravedad de la medida de parámetro de aceite (descrita a continuación en referencia las Figuras 6 y 7). Sin embargo, si ninguna de las medidas de parámetro de aceite sobrepasa su límite de índice de cambio correspondiente, puede realizarse la lógica de decisión perteneciente al límite de horas operativas mostrado en 208.

Debe apreciarse inmediatamente que el límite de índice de cambio para cada parámetro de aceite puede variar generalmente dependiendo de numerosos factores que incluyen, pero sin limitarse a, las condiciones operativas de la caja de cambios 36, el tamaño y la capacidad de aceite de la caja de cambios 36, las propiedades materiales de los componentes contenidos dentro de la caja de cambios 36 y/o cualquier dato histórico disponible con respecto a la operación de la caja de cambios 36. Sin embargo, está bien visto dentro del alcance de un experto en la materia determinar tales límites de índice de cambio basándose en las características de la caja de cambios 36 y cualquier otro factor adecuado.

En referencia todavía a la Figura 5, en 208, la cantidad de horas operativas dentro del intervalo de servicio actual puede compararse con un límite de horas operativas para la caja de cambios 36. En general, el límite de horas operativas puede corresponderse con una medida de tiempo predeterminada en la que, debido a la cantidad de horas que el aerogenerador 10 y, de esta manera, la caja de cambios 36 ha estado operativa desde que se realizó la última operación de mantenimiento, se cree que la caja de cambios 36 puede comenzar a sufrir daños (es decir, daños por encima del desgaste normal). Como se muestra en la Figura 5, si la cantidad de horas operativas sobrepasa el límite de horas operativas, puede realizarse la lógica de decisión perteneciente a la programación de operaciones de mantenimiento en la caja de cambios 36 (descrito a continuación en referencia la Figura 8). Sin embargo, si la cantidad de horas operativas no sobrepasa el límite de horas operativas, puede realizarse la lógica de decisión perteneciente al límite de tiempo transcurrido mostrado en 210.

Debe apreciarse de inmediato que el límite de horas operativas para la caja de cambios 36 puede variar generalmente dependiendo de numerosos factores que incluyen, pero sin limitarse a, las condiciones operativas de la caja de cambios 36, la vida útil predeterminada de la caja de cambios 36 y/o cualquier dato histórico disponible con respecto a la operación de la caja de cambios 36. Sin embargo, está bien visto dentro del alcance de un experto en la materia determinar el límite de horas operativas para la caja de cambios 36 basándose en las características de la caja de cambios 36, las prácticas de programación de mantenimiento rutinario y/o cualquier otro factor adecuado.

En 210, la cantidad de tiempo transcurrido dentro del intervalo de servicio actual puede compararse con un límite de tiempo transcurrido para la caja de cambios 36. En general, el límite de tiempo transcurrido puede corresponderse con una medida de tiempo predeterminada en la que, debido a la cantidad total de tiempo transcurrido desde que se realizó la última operación de mantenimiento en la caja de cambios 36, se cree que la caja de cambios 36 puede comenzar a sufrir daños (es decir, daños por encima del desgaste normal). Como se muestra en la Figura 5, si la cantidad de tiempo transcurrido sobrepasa el límite de tiempo transcurrido, puede realizarse la lógica de decisión perteneciente a la programación de operaciones de mantenimiento para la caja de cambios 36 (descrita a continuación en referencia la Figura 8). Sin embargo, si la cantidad de tiempo transcurrido no sobrepasa el límite de tiempo transcurrido, la lógica de decisión puede volver a INICIO. En otras palabras, cuando la cantidad de tiempo transcurrido no sobrepasa el límite de tiempo transcurrido, el diagrama de flujo asigna generalmente un estado saludable o Nivel de Gravedad #0 a la medida de parámetro de aceite, indicando que no es necesario realizar acciones adicionales dentro de la lógica de decisión para la secuencia particular y devolver la lógica de decisión a INICIO, con lo que se obtendrán nuevos parámetros de aceite y/o medidas de tiempo de acuerdo con 202.

Debe apreciarse de inmediato que el límite de tiempo transcurrido para la caja de cambios 36 puede variar generalmente dependiendo de numerosos factores que incluyen, pero sin limitarse a, las condiciones operativas para la caja de cambios 36, la vida útil predeterminada de la caja de cambios 36 y/o cualquier dato histórico disponible con respecto a la operación de la caja de cambios 36. Sin embargo, está bien visto dentro del alcance de un experto en la materia determinar el límite de tiempo transcurrido para la caja de cambios 36 basándose en las características de la caja de cambios 36, las prácticas de programación de mantenimiento rutinario y/o cualquier otro factor adecuado.

En referencia particular ahora a las Figuras 6 y 7, se ilustra una realización de una secuencia lógica de Nivel de Gravedad que puede realizarse cuando se determina que una de las medidas de parámetro de aceite sobrepasa el límite operativo y/o de índice de cambio para un parámetro de aceite particular. Como se muestra, en 212, se asigna un Nivel de Gravedad a la medida de parámetro de aceite. El Nivel de Gravedad particular asignado puede variar generalmente dependiendo de hasta qué punto sobrepasa la medida de parámetro de aceite su límite de parámetro. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 6, en varias realizaciones, la lógica de decisión incluye tres Niveles de Gravedad diferentes (es decir, Nivel de Gravedad #1, Nivel de Gravedad #2 y Nivel de Gravedad #3). Cada uno de los Niveles de Gravedad para una medida de parámetro de aceite particular puede corresponderse generalmente con un intervalo de valores predeterminado por encima del límite de parámetro sobrepasado en el que se cree que existe una probabilidad incrementada de que la caja de cambios 36 pueda sufrir daños (es decir, daños por encima del desgaste normal), incrementándose la probabilidad de daños con cada Nivel de Gravedad secuencial. Por ejemplo, el Nivel de Gravedad #1 puede corresponderse con un intervalo de valores más cercano al límite de parámetro superado y el Nivel de Gravedad #3 puede corresponderse con un intervalo de valores más alejado del límite de parámetro predeterminado superado. De esta manera, en una realización, asumiendo que la temperatura del aceite en la caja de cambios 36 ha superado su límite operativo, el Nivel de Gravedad #1 puede corresponderse con un intervalo de valores de temperatura entre el valor de temperatura predeterminado en el límite operativo y un segundo valor de temperatura que sobrepasa el valor de temperatura predeterminado. De manera similar, el Nivel de Gravedad #2 puede corresponderse con un intervalo de valores de temperatura entre el segundo valor de temperatura y un tercer valor de temperatura que sobrepasa el segundo valor de temperatura, con el Nivel de Gravedad #3 correspondiéndose con un intervalo de valores de temperatura entre el tercer valor de temperatura y un cuarto valor de temperatura que sobrepasa el tercer valor de temperatura.

En realizaciones alternativas, debe apreciarse que la lógica de decisión puede incluir cualquier otro número adecuado de Niveles de Gravedad, tal como incluir menos de tres Niveles de Gravedad o más de tres Niveles de Gravedad.

También deben apreciarse los intervalos de valor particulares correspondientes con los Niveles de Gravedad para cada parámetro de aceite, y cada límite de parámetro predeterminado puede variar generalmente dependiendo de numerosos factores incluyendo, pero sin limitarse a, cualquier dato histórico disponible con respecto a la operación de la caja de cambios 36 y/o cualquier límite operativo de la caja de cambios 36. Sin embargo, está bien visto dentro del alcance de un experto en la materia determinar qué intervalos de valor deberían utilizarse con cada Nivel de Gravedad para un parámetro de aceite determinado y límite de parámetro basándose en las características de la caja de cambios 36 y/o cualquier otro factor adecuado.

Adicionalmente, como se muestra en las Figuras 6 y 7, la lógica de decisión puede variar generalmente dependiendo de cuál de los Niveles de Gravedad se asigna a la medida de parámetro de aceite que sobrepasa uno o más de los límites de parámetro predeterminados. Por ejemplo, en varias realizaciones, a medida que se incrementa el número para los Niveles de Gravedad, el grado, complejidad y/o urgencia de la línea de actuación recomendada también puede incrementarse. De esta manera, tal como se describirá a continuación, la lógica de decisión del Nivel de Gravedad #1 puede requerir simplemente el análisis de una segunda medida de parámetro de aceite, mientras que la lógica de decisión del Nivel de Gravedad #3 puede requerir una detención inmediata del aerogenerador 10.

De esta manera, como se muestra en 214, cuando el Nivel de Gravedad #1 se asigna a una medida de parámetro de aceite que sobrepasa uno o más de sus límites de parámetro predeterminados, la primera medida para ese parámetro de aceite particular puede almacenarse/archivarse (por ejemplo, almacenarse en un dispositivo 48 de

memoria (Figura 3) del controlador 26 de turbina y/o el controlador 42 separado) y puede tomarse una segunda medida. Adicionalmente, en 216, la segunda medida puede compararse con el límite operativo predeterminado para ese parámetro de aceite particular (es decir, el mismo límite operativo comparado con la primera medida en 204 (Figura 5)). Si la segunda medida sobrepasa el límite operativo, el estado puede elevarse al Nivel de Gravedad #2 y la lógica de decisión perteneciente al Nivel de Gravedad #2 puede realizarse en ese momento (descrita a continuación en referencia a la Figura 7). Sin embargo, si la segunda medida no sobrepasa el límite operativo, puede realizarse la lógica de decisión perteneciente al límite de índice de cambio mostrado en 218.

En 218, la segunda medida puede compararse con el límite de índice de cambio predeterminado para el parámetro de aceite particular que se está analizando (es decir, el mismo límite de índice de cambio usado para evaluar las dos medidas precedentes en 206 (Figura 5)). Como se ha indicado anteriormente, el límite de índice de cambio puede analizarse inicialmente en 206 comparando el límite con la diferencia entre medidas consecutivas para un parámetro de aceite particular. Por ejemplo, en una realización, la diferencia entre una medida de base inicial y una primera medida posterior puede compararse con el límite de índice de cambio. En tal realización, la diferencia entre la medida de base inicial y la segunda medida (es decir, la medida tomada directamente después de la primera medida) puede utilizarse para la comparación requerida en 218. Si la segunda medida todavía produce un índice de cambio que supera el límite de índice de cambio, el estado puede elevarse al Nivel de Gravedad #2 y la lógica de decisión perteneciente al Nivel de Gravedad #2 puede realizarse en ese momento (descrita a continuación en referencia a la Figura 7). Sin embargo, si la segunda medida no produce un índice de cambio que sobrepasa el límite operativo, la lógica de decisión puede volver al INICIO (Figura 5). En otras palabras, el estado puede regresar a saludable o al Nivel de Gravedad #0, indicando que no son necesarias acciones adicionales dentro de la lógica de decisión para esa secuencia particular y devolver la lógica de decisión al INICIO, con lo que se obtendrán nuevos parámetros de aceite y/o medidas de tiempo de acuerdo con 202.

Ahora, en referencia particular a la Figura 7, en 220, cuando el Nivel de Gravedad #2 se asigna a una medida de parámetro de aceite que sobrepasa uno o más de sus límites de parámetro predeterminados, un análisis estadístico puede realizarse en uno o más de los parámetros de aceite. Por ejemplo, en una realización, todas las medidas previas realizadas para el parámetro de aceite que sobrepasa sus límites de parámetro predeterminados pueden analizarse usando uno o más modelos estadísticos adecuados (por ejemplo, una o más funciones de distribución de probabilidad y/o una o más funciones de densidad de probabilidad) para proporcionar un medio para predecir la probabilidad de que ocurran daños en la caja de cambios 36 basándose en los datos históricos disponibles para ese parámetro de aceite en particular. Adicionalmente, en 222, los resultados del análisis estadístico (por ejemplo, las tendencias estadísticas determinadas) pueden compararse con un límite de tendencia admisible. En tal realización, el límite de tendencia admisible puede corresponderse generalmente con una correlación predeterminada entre el parámetro de aceite particular que se está analizando y la probabilidad de que ocurran daños en la caja de cambios 36. Por ejemplo, puede esperarse que el uso normal de la caja de cambios genere un índice lineal de cambio con el paso del tiempo con respecto al número de partículas contenidas dentro del aceite (es decir, total de partículas). De esta manera, el límite de tendencia admisible para el total de partículas puede corresponderse con una cantidad predeterminada de variación desde esta tendencia lineal esperada (por ejemplo, una cantidad predeterminada de cambio de inclinación desde la tendencia lineal). Si los resultados del análisis estadístico sobrepasan el límite de tendencia admisible, el estado puede elevarse al Nivel de Gravedad #3 y la lógica de decisión perteneciente al Nivel de Gravedad #3 puede realizarse en ese momento. Sin embargo, si los resultados del análisis estadístico no sobrepasan el límite de tendencia admisible, la lógica de decisión perteneciente a secuencias anteriores del Nivel de Gravedad #2 mostrado en 224 puede realizarse en ese momento.

En otras realizaciones de la presente materia objeto, el análisis estadístico realizado en 220 puede corresponderse con un análisis estadístico de una o más parejas de parámetros de aceite. Por ejemplo, en una realización en particular, puede realizarse un análisis estadístico de una o más de las siguientes parejas de parámetros de aceite: temperatura del aceite y viscosidad de aceite, total de partículas y tamaño de partículas, temperatura del aceite y total de partículas y/o viscosidad del aceite y contenido de agua. Por supuesto, debe apreciarse que también pueden analizarse otras diversas parejas adecuadas de parámetros de aceite. Independientemente de las parejas de parámetros que se utilicen, puede analizarse cualquier medida anterior tomada para los parámetros de aceite incluidos en las parejas usando uno o más modelos estadísticos adecuados (por ejemplo, una o más funciones de distribución de probabilidad y/o una o más funciones de densidad de probabilidad) para proporcionar un medio para predecir la probabilidad de que ocurran daños en la caja de cambios 36 basándose en los datos históricos disponibles para tales parejas de parámetros. Adicionalmente, en 222, los resultados del análisis estadístico (por ejemplo, las tendencias estadísticas determinadas) pueden compararse entonces con un límite de tendencia admisible. En tal realización, el límite de tendencia admisible puede corresponderse generalmente con una correlación predeterminada entre las parejas de parámetros que se están analizando y la probabilidad de que ocurran daños en la caja de cambios 36. Por ejemplo, puede esperarse que los cambios en la viscosidad del aceite sean al menos parcialmente dependientes de los cambios en la temperatura del aceite (por ejemplo, a medida que se incrementa la temperatura del aceite, puede esperarse que la viscosidad del aceite también se incremente mediante una cantidad predeterminada). De esta manera, el límite de tendencia admisible para la pareja de parámetros de temperatura del aceite y viscosidad del aceite puede corresponderse con una cantidad predeterminada de variación desde la relación esperada entre tales parámetros. De manera similar a la realización antes descrita, si los resultados del análisis estadístico sobrepasan el límite de tendencia admisible, el estado puede

elevarse al Nivel de Gravedad #3 y la lógica de decisión perteneciente al Nivel de Gravedad #3 puede realizarse en ese momento. Sin embargo, si los resultados del análisis estadístico no sobrepasan el límite de tendencia admisible, la lógica de decisión perteneciente a secuencias anteriores del Nivel de Gravedad #2 mostrado en 224 puede realizarse en ese momento.

5 Debe apreciarse de inmediato que los límites de tendencia admisibles utilizados en 222 pueden variar generalmente dependiendo de numerosos factores incluyendo, pero sin limitarse a, cualquier dato histórico disponible con respecto a la operación de la caja de cambios 36 y/o cualquier límite operativo de la caja de cambios 36. Sin embargo, está bien visto dentro del alcance de un experto en la materia determinar tales límites de tendencia admisibles basándose en las características de la caja de cambios 36 y/o cualquier otro factor adecuado.

10 Todavía en referencia a la Figura 7, en 224, se determina si se ha realizado alguna secuencia lógica anterior en el Nivel de Gravedad #2 durante el intervalo de servicio actual. Si ya se ha realizado una secuencia lógica en el Nivel de Gravedad #2, se reinicia la lógica de decisión para el Nivel de Gravedad #2 tomando otra medida y realizando otro análisis estadístico de acuerdo con 220. Sin embargo, si no se ha realizado anteriormente ninguna secuencia lógica en el Nivel de Gravedad #2, el estado puede regresar al Nivel de Gravedad #1 y la lógica de decisión
15 perteneciente al Nivel de Gravedad #1 (Figura 6) puede realizarse en ese momento.

Adicionalmente, como se muestra en 226, cuando el Nivel de Gravedad #3 se asigna a la medida de parámetro de aceite que supera uno o más de sus límites de parámetro predeterminados, se inicia una detención inmediata del aerogenerador y se programan operaciones adecuadas de mantenimiento para la caja de cambios 36. Tal acción inmediata puede requerirse generalmente cuando la medida del parámetro de aceite sobrepasa sustancialmente uno
20 o más de sus límites de parámetro predeterminados, indicando por tanto una probabilidad sustancial de daños presentes y/o futuros en la caja de cambios 36. Además de la detención y la programación del mantenimiento, algunas o todas las medidas del parámetro de aceite que se registraron antes de la detención del aerogenerador también pueden descargarse para hacer que tal información esté disponible para un análisis inmediato.

Adicionalmente, debido a la naturaleza extrema de una detención inmediata del aerogenerador 10, puede ser aconsejable comprobar el estado de los sensores 40 desvelados (Figura 3) para determinar si las medidas de parámetro de aceite que se transmiten mediante los sensores 40 son precisas. Por ejemplo, tal como se conoce generalmente, las medidas transmitidas mediante los sensores pueden contener anomalías debido a fallos del sensor y/o fallos de interpretación. De esta manera, como se muestra en la Figura 7, en una realización, puede realizarse un análisis de un fallo del sensor en 228 (indicado mediante las líneas discontinuas) para buscar anomalías antes de realizar la detención. En general, puede realizarse cualquier procedimiento adecuado conocido
30 en la técnica para detectar fallos del sensor en 228. Por ejemplo, los procedimientos conocidos para detectar fallos del sensor incluyen, pero no se limitan a, procedimientos estadísticos (por ejemplo, ensayos de hipótesis, análisis clúster, Modelos ocultos de Markov y similares), procedimientos de inteligencia artificial (por ejemplo, redes neuronales) y/o procedimientos basados en modelos capaces de generar residuos para la detección de fallos (por ejemplo, filtros Kalman y extensión, estimación del parámetro, identificación del sistema adaptable empírico y similar).

Debe apreciarse que, en realizaciones alternativas, el análisis de fallos del sensor proporcionado en 228 puede realizarse en cualquier otro punto adecuado en la lógica de decisión mostrada en las Figuras 5-8. Por ejemplo, en una realización, el análisis de fallo del sensor puede realizarse durante el procedimiento de adquisición de datos (por ejemplo, contemporáneamente con y/o inmediatamente después de monitorizar los parámetros de aceite de acuerdo con 202 (Figura 5)). En otra realización, el análisis de fallo del sensor puede realizarse en un punto diferente dentro de la secuencia lógica de Nivel de Gravedad, tal como realizarse antes o después de asignar un Nivel de Gravedad de acuerdo con 212 (Figura 6), de manera que los fallos de sensor también puedan detectarse antes de realizar cualquier lógica de decisión bajo el Nivel de Gravedad #1 y/o el Nivel de Gravedad #2.

45 En referencia particularmente ahora a la Figura 8, se ilustra una realización de una secuencia lógica de mantenimiento que puede realizarse cuando se determina que una o más de las medidas de tiempo para el intervalo de servicio actual sobrepasan uno o más de los límites de tiempo predeterminados (por ejemplo, los límites de hora operativos y/o límites de tiempo transcurrido). Como se muestra, en 230, se determina si se ha realizado más de una secuencia lógica en el Nivel de Gravedad #1 dentro del intervalo de servicio actual. Si no han ocurrido múltiples eventos en el Nivel de Gravedad #1, puede realizarse la lógica de decisión perteneciente a los eventos del Nivel de Gravedad #2 mostrado en 234. Sin embargo, si han ocurrido múltiples eventos en el Nivel de Gravedad #1, en 232, puede determinarse si la cantidad de eventos en el Nivel de Gravedad #1 sobrepasa un límite de recurrencia en el Nivel #1 correspondiente a un número predeterminado de eventos admisibles en el Nivel de Gravedad #1. Si la cantidad de eventos en el Nivel de Gravedad #1 sobrepasa el límite de recurrencia en el Nivel #1, debe programarse una operación de mantenimiento para la caja de cambios 36 para comprobar el estado de los componentes de la
50 caja de cambios 36 y/o para realizar otras operaciones de mantenimiento adecuadas (por ejemplo, cambiar el aceite contenido dentro de la caja de cambios 36 y/o sustituir el filtro del aceite dentro de la caja de cambios 36). Sin embargo, si la cantidad de eventos en el Nivel de Gravedad #1 no sobrepasa el límite de recurrencia del Nivel #1, puede realizarse la lógica de decisión perteneciente a los eventos del Nivel de Gravedad #2 mostrado en 234.

60 En 234, se determina si se ha realizado una secuencia lógica en el Nivel de Gravedad #2 dentro de un intervalo de

servicio actual. Si no ha ocurrido un evento en el Nivel de Gravedad #2, puede realizarse la lógica de decisión perteneciente a las actualizaciones del intervalo de servicio mostradas en 238. Sin embargo, si ha ocurrido un evento en el Nivel de Gravedad #2, en 236, se determina si la cantidad de eventos que han ocurrido en el Nivel de Gravedad #2 sobrepasa un límite de recurrencia en el Nivel #2 correspondiente con un número predeterminado de eventos admisibles en el Nivel de Gravedad #2. Si la cantidad de eventos en el Nivel de Gravedad #2 sobrepasa el límite de recurrencia del Nivel #1, debe programarse una operación de mantenimiento para la caja de cambios 36 para comprobar el estado de los componentes de la caja de cambios 36 y/o realizar otras operaciones de mantenimiento adecuadas (por ejemplo, cambiar el aceite contenido dentro de la caja de cambios 36 y/o sustituir el filtro de aceite dentro de la caja de cambios 36). Sin embargo, si la cantidad de eventos en el Nivel de Gravedad #2 no sobrepasa el límite de recurrencia del Nivel #2, puede realizarse la lógica de decisión perteneciente a las actualizaciones del intervalo de servicio mostradas en 240.

Todavía en referencia a la Figura 8, tanto en 238 como en 240, se determina si se ha realizado una actualización única en el intervalo de servicio actual. Si ya se ha realizado una actualización única, debe programarse una operación de mantenimiento para la caja de cambios 36 para comprobar el estado de los componentes de la caja de cambios 36 y/o para realizar otras operaciones de mantenimiento adecuadas (por ejemplo, cambiar el aceite contenido dentro de la caja de cambios 36 y/o sustituir el filtro del aceite dentro de la caja de cambios 36). Sin embargo, si todavía no se ha realizado ninguna actualización única, el intervalo de servicio puede actualizarse y la lógica de decisión puede regresar a INICIO.

Debe apreciarse que la actualización única puede corresponderse generalmente con un cambio realizado en las medidas de tiempo que se monitorizan dentro del intervalo de servicio actual. Por ejemplo, en 242, la cantidad de horas operativas y/o tiempo transcurrido dentro del intervalo de servicio actual puede reducirse para permitir que el aerogenerador 10 funcione durante un periodo mayor de tiempo antes de programar el mantenimiento dado el hecho de que no han ocurrido múltiples eventos en el Nivel de Gravedad #1 dentro del intervalo (230) de servicio y que no ha ocurrido un evento en el Nivel de Gravedad #2 dentro del intervalo (234) de servicio. De manera similar, en 244, la cantidad de horas operativas y/o el tiempo transcurrido dentro del intervalo de servicio actual puede reducirse para permitir que el aerogenerador funcione durante un periodo mayor de tiempo antes de programar el mantenimiento dado el hecho de que no han ocurrido múltiples eventos en el Nivel de Gravedad #2 dentro del intervalo (236) de servicio. Sin embargo, debe apreciarse que la actualización única proporcionada en 244 puede diferenciarse generalmente en magnitud de la actualización única proporcionada en 242 dado que ya ha ocurrido un Nivel de Gravedad #2 dentro de la secuencia antes de realizar la actualización en 244.

También debe apreciarse que, en varias realizaciones, la programación de operaciones de mantenimiento de acuerdo con la lógica de decisión antes descrita puede tener en cuenta si ya se han programado otras operaciones de mantenimiento para el aerogenerador. Por ejemplo, en una realización, el mantenimiento en la caja de cambios 36 puede programarse al mismo tiempo que otro mantenimiento programado para limitar la cantidad de tiempo de inactividad de la turbina y/o para ahorrar en costes laborales. Como alternativa, el mantenimiento en la caja de cambios 36 puede programarse independientemente de cualquier otro mantenimiento programado.

Adicionalmente, un experto en la materia debe apreciar que el procedimiento 100 mostrado en la Figura 4 y la lógica de decisión mostrada en las Figuras 5-8 se proporcionan únicamente como ejemplos de procedimientos y/o etapas que pueden realizarse para monitorizar las condiciones del aceite contenido dentro de la caja de cambios 36 de un aerogenerador. De esta manera, debe apreciarse que pueden realizarse numerosas variaciones del procedimiento 100 mostrado en la Figura 4 y la lógica de decisión mostrada en las Figuras 5-8 dentro del ámbito de la presente divulgación. Por ejemplo, uno o más de los elementos del procedimiento mostrado en la Figura 4 pueden combinarse con una o más de las etapas proporcionadas en la lógica de decisión mostrada en las Figuras 5-8 para crear un procedimiento diferente de monitorización de las condiciones del aceite. De manera similar, únicamente una porción de los elementos del procedimiento mostrado en la Figura 4 y/o únicamente una porción de las etapas proporcionadas en la lógica de decisión mostrada en las Figuras 5-8 puede utilizarse para realizar un procedimiento adecuado de monitorización de condición del aceite.

Por ejemplo, en una realización de la presente materia objeto, un procedimiento adecuado para monitorizar las condiciones del aceite puede incluir recibir señales correspondientes a una pluralidad de medidas de un parámetro de aceite de la caja de cambios 36 (por ejemplo, la pluralidad de medidas del parámetro de aceite registradas dentro del dispositivo 48 de memoria del controlador 26 de turbina y/o el controlador 42 separado para cada parámetro de aceite), determinar una medida de tiempo de un intervalo de servicio de la caja de cambios 36 (por ejemplo, la cantidad de horas operativas y/o el tiempo transcurrido dentro del intervalo de servicio actual), comparar la medida de tiempo con un límite de tiempo predeterminado (por ejemplo, el límite de horas operativas y/o el límite de tiempo transcurrido) y, en caso de que la medida de tiempo sobrepase el límite de tiempo predeterminado, determinar una línea de actuación recomendada basándose en el análisis de la pluralidad de medidas (por ejemplo, realizar la lógica de mantenimiento mostrada en la Figura 8).

Adicionalmente, debe apreciarse que la presente materia objeto también va dirigida a un sistema para monitorizar las condiciones del aceite contenido dentro de una caja de cambios 36 (Figura 2) de un aerogenerador. En general, el sistema puede comprender cualquier componente adecuado que permita una monitorización en tiempo real de las condiciones del aceite dentro de una caja de cambios 36. Por ejemplo, en varias realizaciones, el sistema puede

5 incluir uno o más sensores 40 (Figura 2) configurados para medir un parámetro de aceite de la caja de cambios 36. Adicionalmente, el sistema puede incluir un controlador (por ejemplo, el controlador 26 de turbina y/o el controlador 42 separado) acoplado de manera comunicativa a los sensores 40, tal como a través de una conexión con cables o inalámbrica, para que las medidas de parámetro de aceite realizadas por los sensores 40 puedan transmitirse al controlador. Adicionalmente, el controlador puede incluir instrucciones adecuadas legibles por ordenador que, al implementarse, configuran el controlador para analizar medidas de parámetro de aceite (por ejemplo, implementando la lógica de decisión mostrada en las Figuras 5-8). De esta manera, en una realización, el controlador puede configurarse para comparar las medidas de parámetro de aceite con un límite predeterminado para el parámetro de aceite (por ejemplo, el límite operativo y/o el límite de índice de cambio) y asignar un nivel de gravedad a la medida de parámetro de aceite.

10 Esta descripción escrita usa ejemplos para desvelar la invención, incluyendo el modo preferente, y también para permitir que cualquier experto en la materia practique la invención, incluyendo realizar y usar cualquier dispositivo o sistema y llevar a cabo cualquier procedimiento incorporado. El ámbito patentable de la invención se define mediante las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la materia. Se pretende que tales otros ejemplos entren dentro del alcance de las reivindicaciones si incluyen elementos estructurales que no se diferencian del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales del lenguaje literal de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para monitorizar las condiciones del aceite contenido dentro de una caja de cambios (36) de un aerogenerador (10), comprendiendo el procedimiento:
- 5 recibir una señal correspondiente a una medida de un parámetro de aceite de la caja de cambios (36);
- comparar la medida con un límite predeterminado para el parámetro de aceite;
- asignar un nivel de gravedad basándose en la comparación de la medida con el límite predeterminado; y caracterizado por:
- determinar una línea de actuación recomendada para el aerogenerador (10) basándose en el nivel de gravedad, por
- 10 recibir una señal correspondiente a una segunda medida del parámetro de aceite; y
- comparar la segunda medida con el límite predeterminado;
- comprendiendo el procedimiento además continuar con la operación del aerogenerador (10) en caso de que la segunda medida no sobrepase el límite predeterminado;
- 15 realizar un análisis estadístico de al menos el parámetro de aceite en caso de que la segunda medida sobrepase el límite predeterminado;
- comparar los resultados del análisis estadístico con un límite de tendencia admisible; y
- detener el aerogenerador (10) en caso de que los resultados del análisis estadístico sobrepasen el límite de tendencia admisible o continuar con la operación del aerogenerador (10) en caso de que los resultados del análisis estadístico no sobrepasen el límite de tendencia admisible.
- 20 2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el parámetro de aceite comprende al menos uno de entre temperatura del aceite, viscosidad del aceite, recuento de partículas del aceite, tamaño de partículas del aceite y contenido de agua del aceite.
3. El procedimiento de cualquier reivindicación anterior, en el que determinar la línea de actuación recomendada para el aerogenerador (10) basándose en el nivel de gravedad comprende:
- 25 realizar un análisis estadístico en caso de que la medida supere el límite predeterminado; y
- comparar los resultados del análisis estadístico con un límite de tendencia admisible.
4. El procedimiento de cualquier reivindicación anterior, que además comprende recibir señales correspondientes a medidas de una pluralidad de parámetros de aceite de la caja de cambios (36), en el que realizar el análisis estadístico en caso de que la medida sobrepase el límite predeterminado comprende realizar un análisis estadístico
- 30 de al menos dos de la pluralidad de parámetros de aceite en caso de que la medida sobrepase el límite predeterminado.
5. El procedimiento de cualquier reivindicación anterior, que además comprende detener el aerogenerador (10) en caso de que los resultados del análisis estadístico sobrepasen el límite de tendencia admisible o continuar con la operación del aerogenerador (10) en caso de que los resultados del análisis estadístico no sobrepasen el límite de
- 35 tendencia admisible.
6. El procedimiento de cualquier reivindicación anterior en el que el nivel de gravedad es uno de tres niveles de gravedad diferentes (#1, #2, #3).

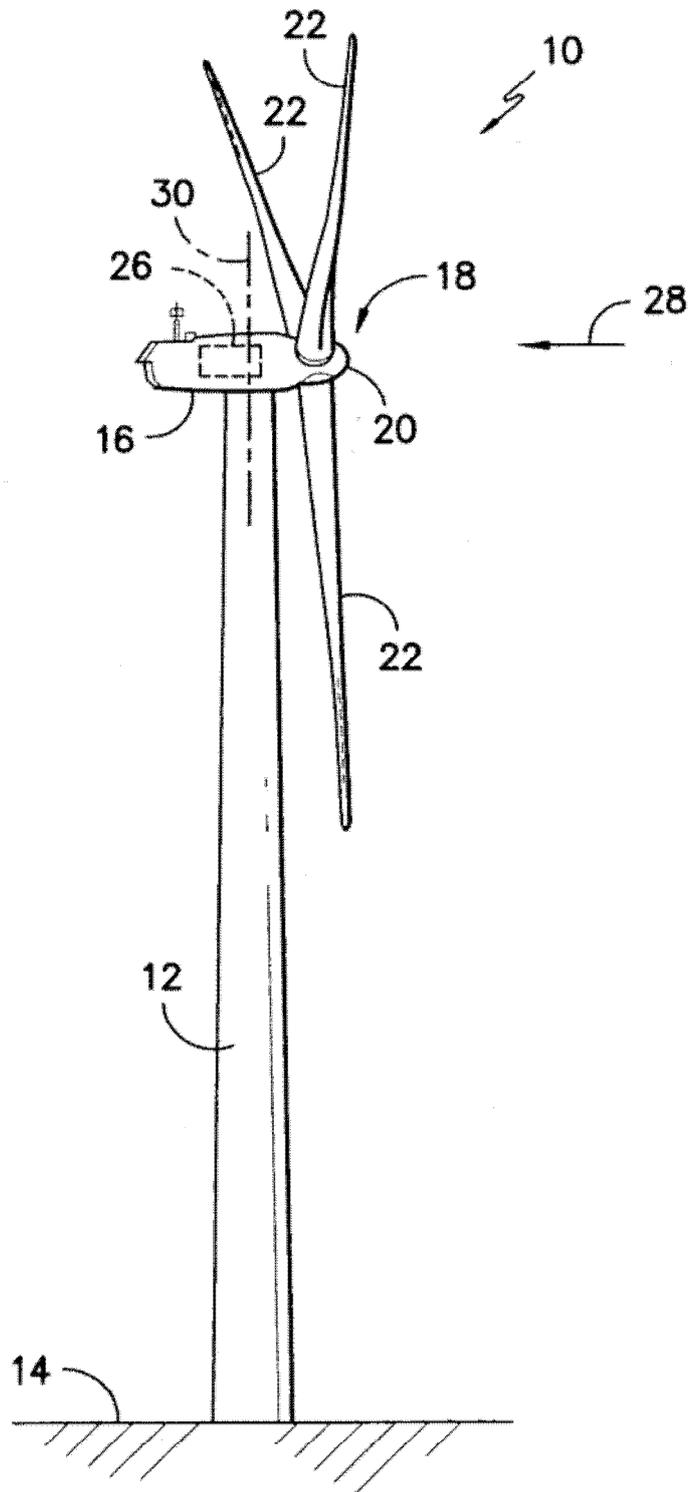


FIG. -1-
(TÉCNICA ANTERIOR)

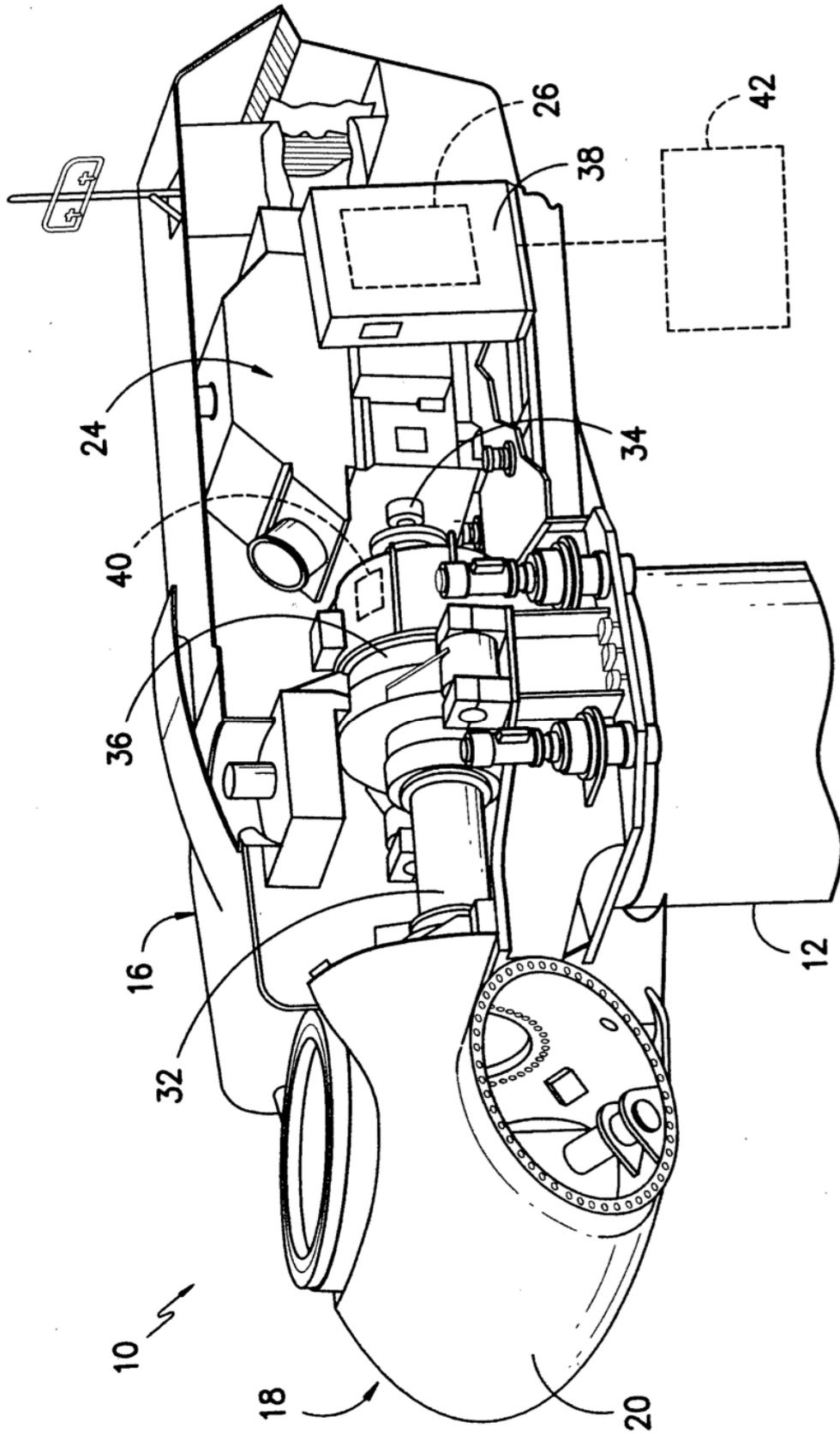


FIG. -2-

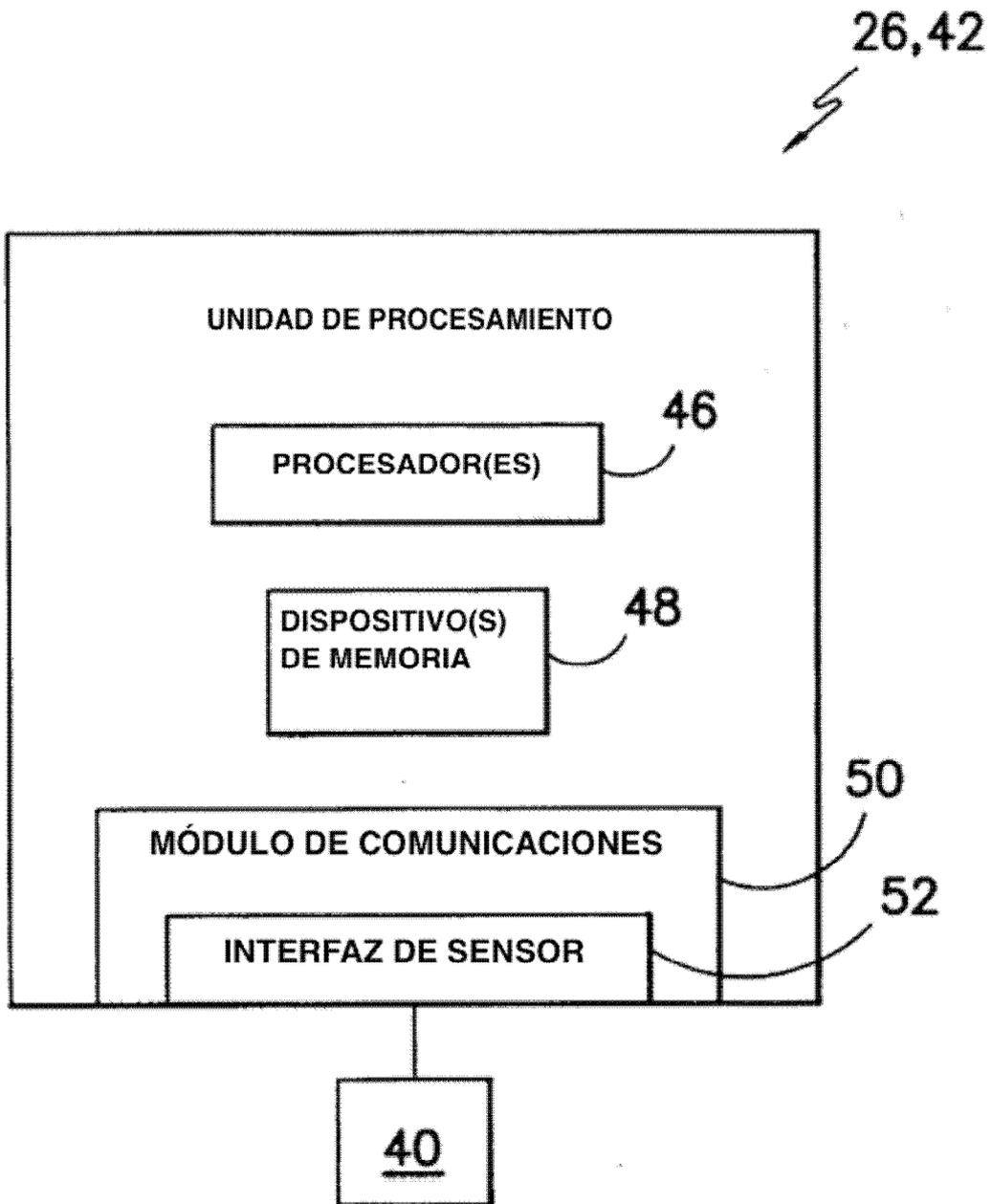


FIG. -3-

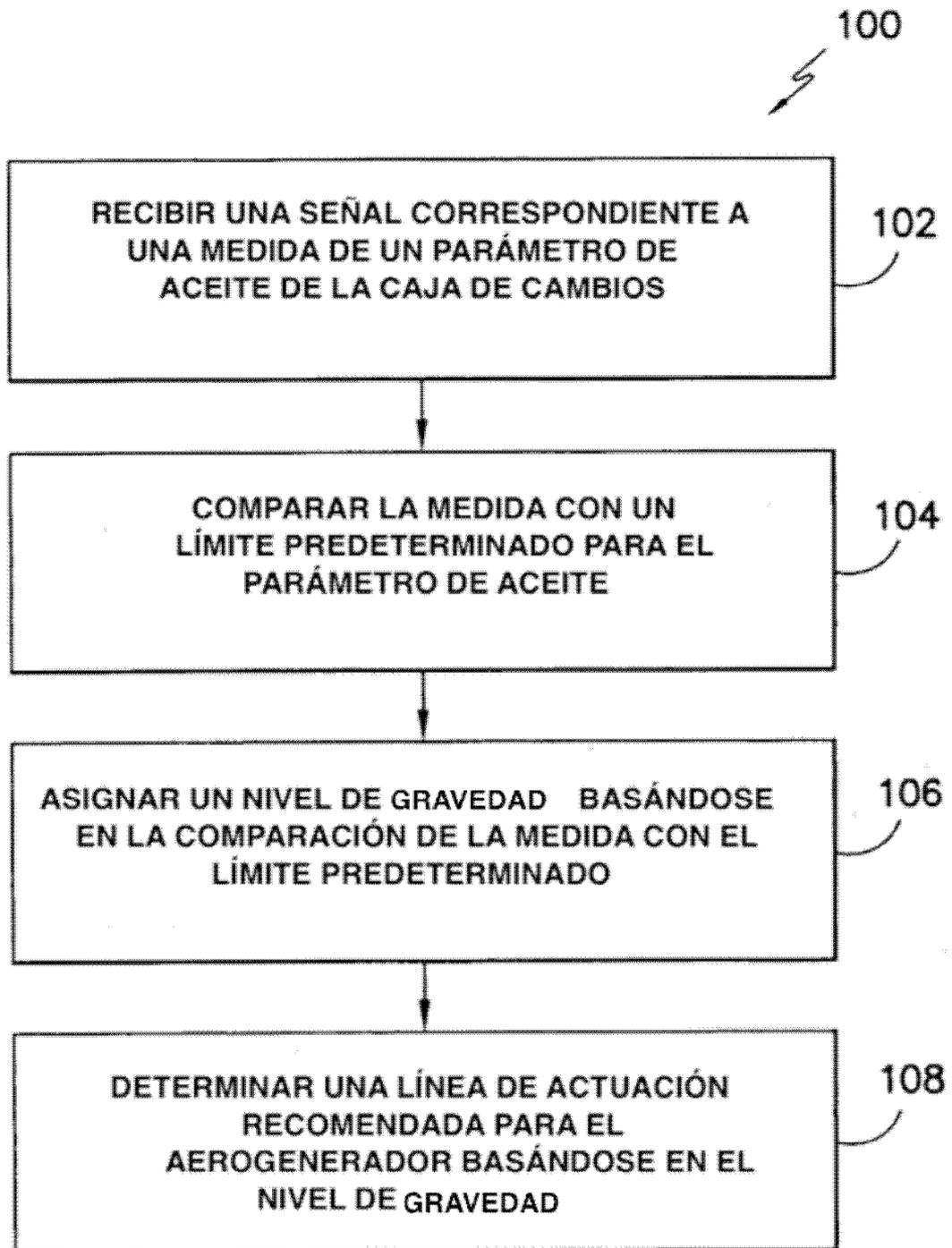


FIG. -4-

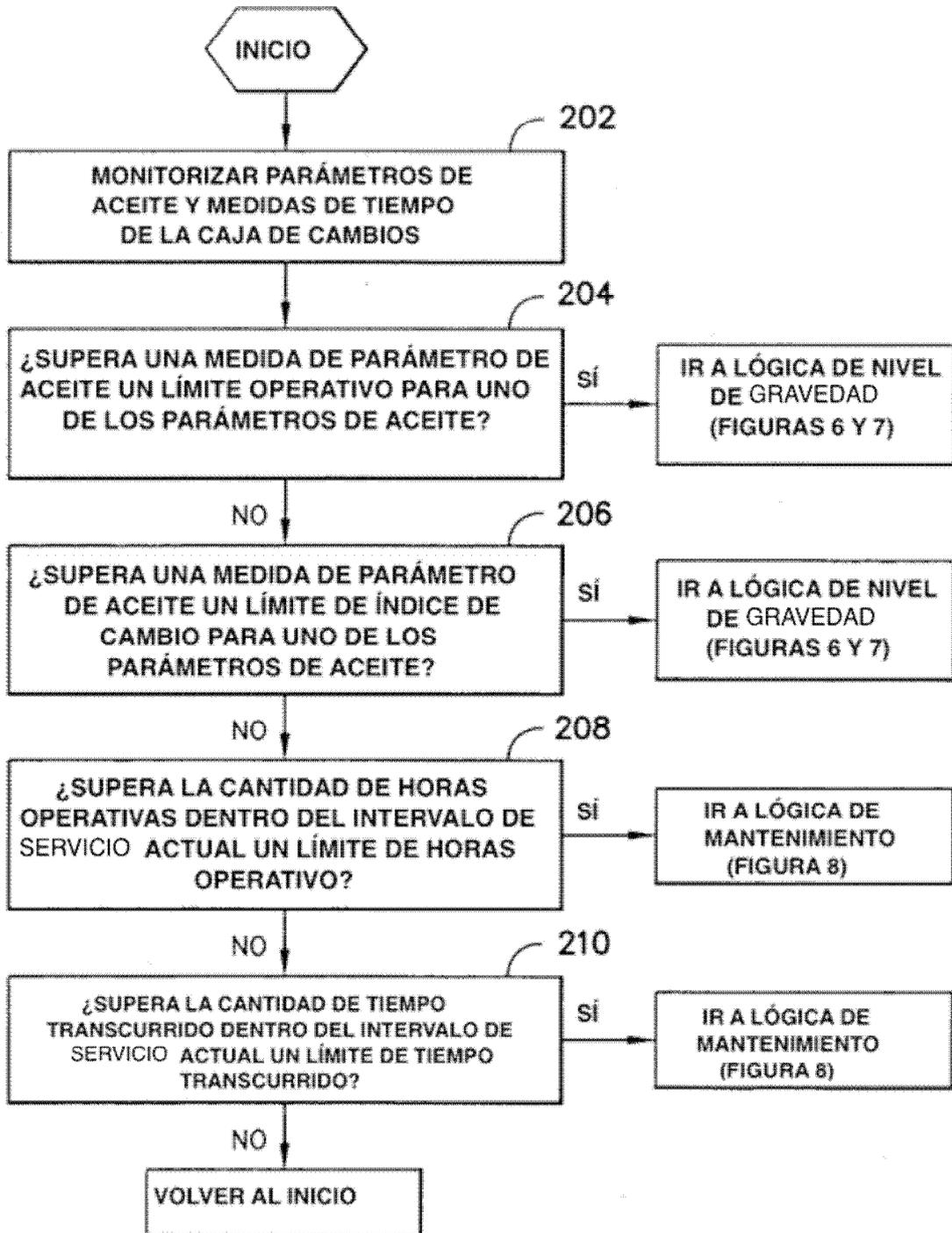


FIG. -5-

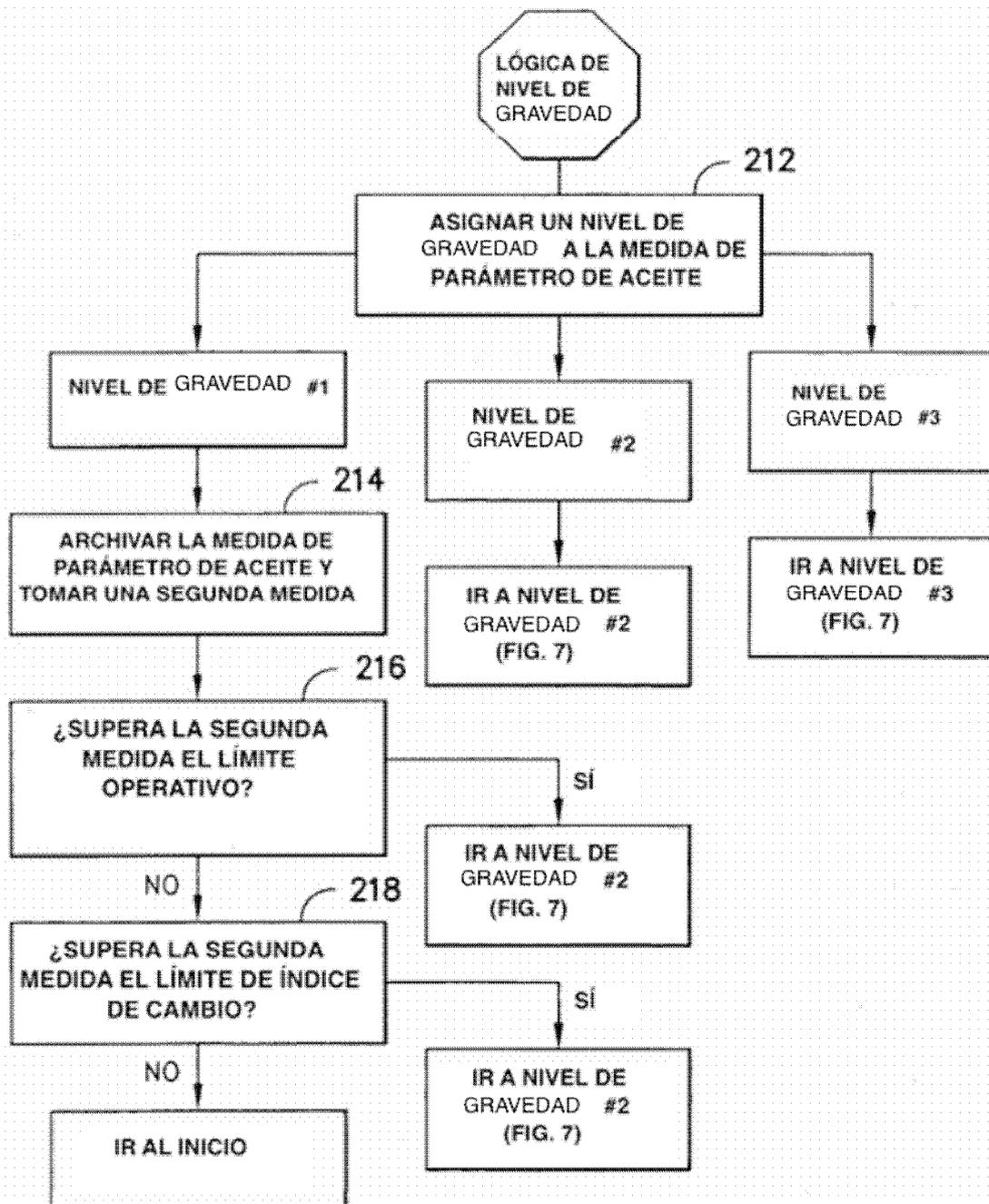


FIG. -6-

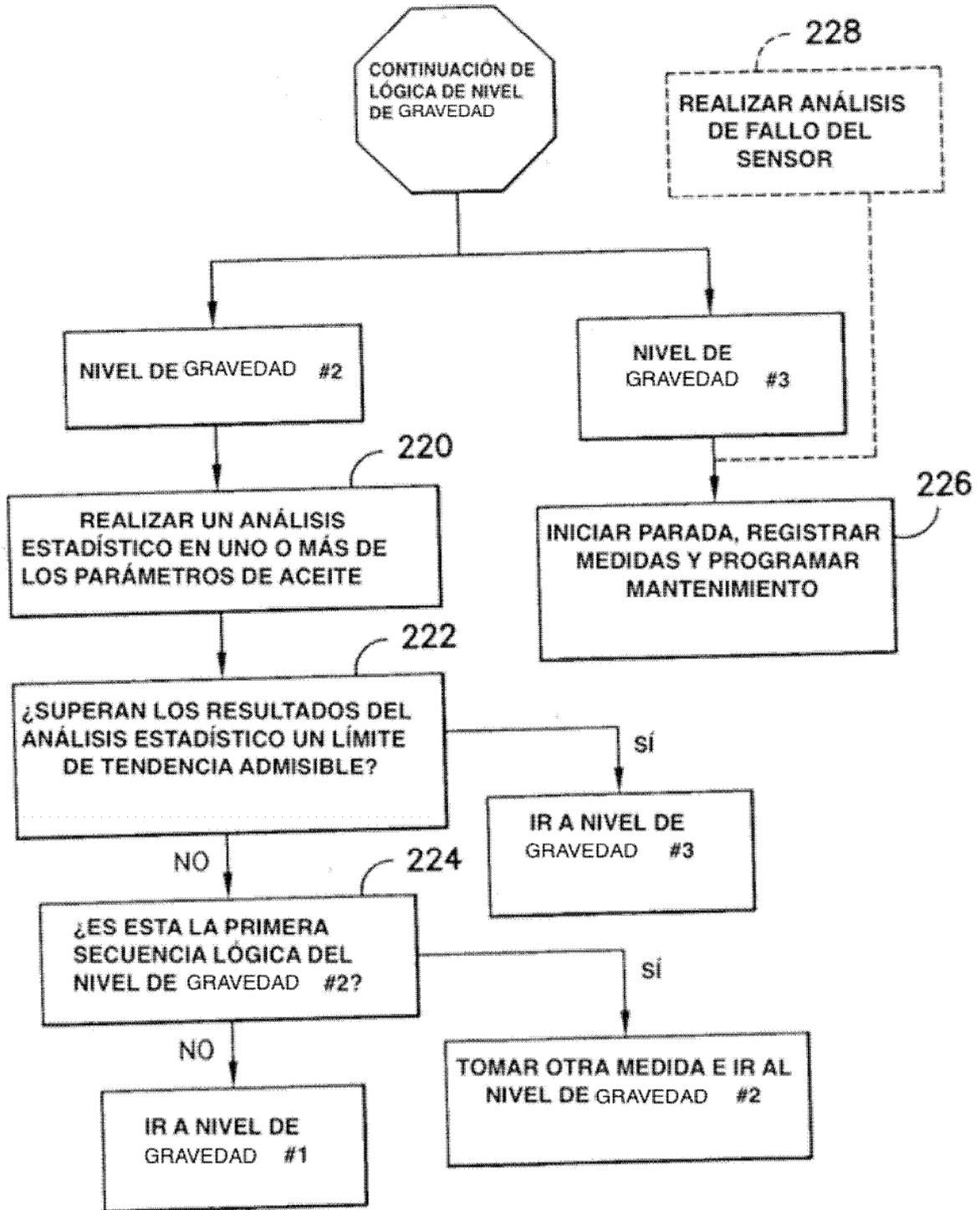


FIG. -7-

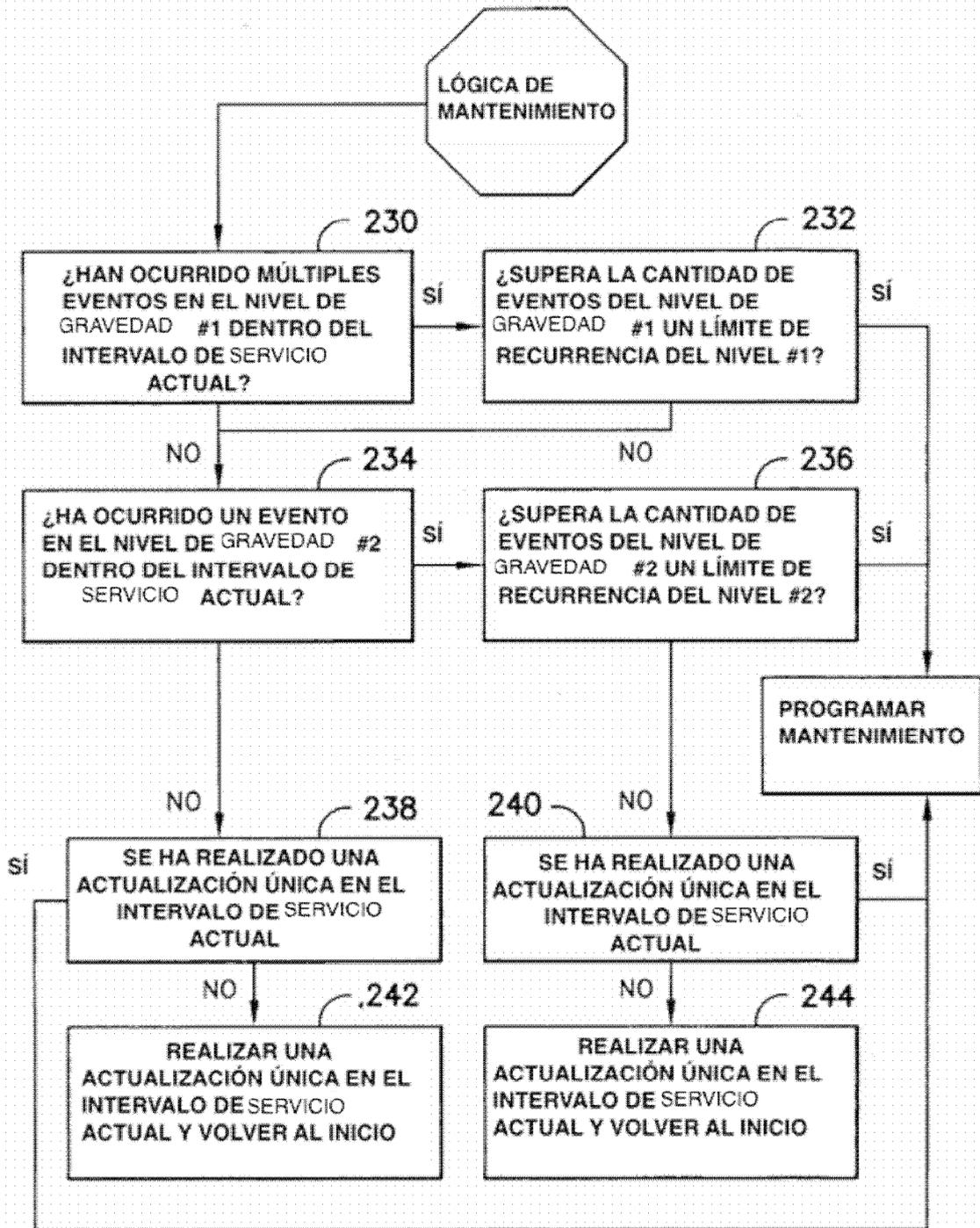


FIG. -8-