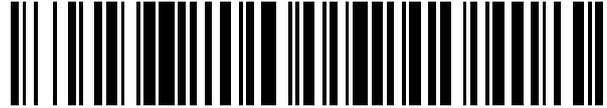


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 562 253**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.06.2010 E 10166804 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.01.2016 EP 2267305**

54 Título: **Un procedimiento y un sistema para controlar el funcionamiento de una turbina eólica**

30 Prioridad:

**24.06.2009 DK 200900784**

**25.06.2009 US 220224 P**

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

**03.03.2016**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)**

**Hedeager 42**

**8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**ONG, JIUN KEAT;**

**ZHANG, TIE LING;**

**ZHOU, YU;**

**LIM, KHOON PENG;**

**CHEN, WAN YING;**

**SIEW, PEY YEN;**

**NANDEDKAR, KIRAN KISHAN RAO;**

**HO, JIANN YI y**

**CHIN, BUNG CHAI**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 562 253 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**

Un procedimiento y un sistema para controlar el funcionamiento de una turbina eólica

**CAMPO DE LA INVENCIÓN**

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para controlar el funcionamiento de una turbina eólica, y a un sistema para realizar el procedimiento. Más particularmente, la presente invención se refiere a un procedimiento para determinar un esquema de control para extender la vida útil remanente de la turbina eólica.

**ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN**

10 Al controlar el funcionamiento de una turbina eólica, normalmente se miden varios parámetros relacionados con la turbina eólica. Algunos de estos parámetros pueden referirse al estado de funcionamiento de uno o más componentes de la turbina eólica, tal como un sistema de engranajes, parte de un sistema de engranajes, un cojinete, un generador, un eje motor, etc. Estos parámetros pueden incluir una temperatura del componente o medida en la proximidad del componente, la carga, esfuerzo o deformación de un componente, etc. La medición y el análisis de dichos parámetros permiten a un operador detectar cuando un componente alcanza un estado en el que se espera que se averíe. Cuando esto sucede, ha de programarse una inspección de servicio para reparar o reemplazar el componente. Esto da como resultado eventos de servicio no deseados que son adicionales a la programación normal de servicio. Además, en el caso de que el componente se averíe antes de que la inspección de servicio pueda tener lugar, la turbina eólica debe detenerse durante un período de tiempo. Esto tiene la consecuencia de que desciende la producción de potencia de la turbina eólica.

20 "Towards Quantification of Condition Monitoring Benefit for Wind Turbine Generators", David McMillan y col., European Wind Energy Conference 2007, divulga una estrategia de mantenimiento para granjas eólicas que usa diferentes modelos probabilísticos para mejorar la eficiencia operativa de las granjas eólicas. Se controla la condición de uno o más componentes de las turbinas, incluyendo el multiplicador y el generador.

25 "Requirements for Condition Based Operation and Maintenance in Offshore Wind Farms", Jochen Giebhardt y col., European Wind Energy Conference 2007, describe la detección de fallos para turbinas eólicas marinos usando Sistemas de Supervisión de Condiciones en línea.

30 El documento EP 1.911.968 A1 describe que un sistema de control para una turbina eólica comprende: una disposición de sensores (B, E, H) para capturar medidas relacionadas con el funcionamiento de las turbinas y la acumulación de fatiga; un controlador de nivel superior (U), que, sobre la base de un tratamiento estadístico de dichas medidas, calcula ajustes de control optimizados en puntos de tiempo discretos; un módulo de medición (F) que procesa dichas medidas en valores instantáneos, y un controlador de nivel inferior (L) que recibe dichos ajustes de control y dichos valores instantáneos y calcula los comandos óptimos instantáneos para controlar los actuadores de las turbinas (G). El controlador de nivel inferior comprende un modelo de daño de tiempo continuo (V) que calcula la tasa a la que se acumula un daño en cualquier momento, y un controlador óptimo (X) que controla los estados operativos de la turbina, retroalimentando directamente los valores instantáneos a los actuadores, o generando una función objetivo de rendimiento de la turbina que se optimiza continuamente resolviendo repetidamente un problema de optimización de horizonte recesivo.

40 El documento EP 1.674.724 A2 describe técnicas y aparatos para la medición y evaluación de la carga de fatiga de los componentes de las turbinas eólicas. En una realización, el componente es una torre en la que se usan señales longitudinales y de un lado a otro de un acelerómetro de dos ejes fijado a una bancada de una turbina eólica para medir las cargas de fatiga de la torre. También puede usarse una señal de posición en azimut del eje de guiñada para la medición y la evaluación de la carga de fatiga de la torre.

45 El documento US 2004/0230377 A1 describe un sistema de gestión de la potencia eólica para controlar el rendimiento de los generadores de turbina eólica situados en granjas eólicas, teniendo cada uno varios generadores de turbina eólica. Un gestor de cartera de potencia eólica en tiempo real recibe y almacena los datos en tiempo real que se producen por los parques de generadores de turbina eólica. El gestor tiene un módulo de informe para generar informes de perfil para el rendimiento de los generadores de turbina eólica. El administrador tiene un servidor para proporcionar los informes en línea sobre los generadores de turbina eólica. El servidor almacena los datos en tiempo real para permitir que los informes se basen en el historial del proyecto para cada uno de los parques.

50 **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN**

Es un objeto de la invención proporcionar un procedimiento y un sistema para controlar el funcionamiento de una turbina eólica, en el que el número de inspecciones de servicio no programadas se reduce en comparación con los procedimientos de la técnica anterior.

Es un objeto adicional de la invención proporcionar un procedimiento y un sistema para controlar el funcionamiento de una turbina eólica, en el que el tiempo de parada total de la turbina eólica se reduce en comparación con los procedimientos de la técnica anterior.

5 De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un procedimiento para controlar el funcionamiento de una turbina eólica. El procedimiento comprende:

- determinar al menos un modo de fallo relacionado con al menos un componente de la turbina eólica;
- estimar una vida útil remanente del componente en las condiciones operativas actuales;
- determinar uno o más esquemas de control para controlar el funcionamiento de la turbina eólica con el fin de ajustar la vida útil remanente del componente hasta una vida útil remanente deseada;
- 10 - determinar un rendimiento de producción de potencia para el uno o más esquemas de control determinados; y
- seleccionar un esquema de control determinado para controlar el funcionamiento de la turbina eólica que optimice el rendimiento de producción de potencia.

15 En el presente contexto, el término "turbina eólica" pretende referirse a una estructura que está adaptada para extraer energía del viento y convertirla en energía eléctrica. Las turbinas eólicas modernas normalmente comprenden una construcción de torre que soporta de forma giratoria una góndola. La góndola lleva un buje que tiene un conjunto de palas de rotor fijadas al mismo. Las palas de rotor pueden dirigirse hacia el viento girando la góndola con respecto a la construcción de torre. La parte interior de la góndola contiene un equipo de conversión de energía, por ejemplo, un tren de transmisión que incluye una disposición de engranajes y un generador, estando el generador eléctricamente conectado a una red eléctrica. Como alternativa, la turbina eólica puede ser de un tipo sin engranajes.

20 El procedimiento comprende la etapa de determinar al menos un modo de fallo relacionado con al menos un componente de la turbina eólica. El componente incluye, pero sin limitación, una disposición de engranajes, elementos de engranajes, incluyendo ejes motor o ruedas de engranaje, cojinetes o un generador. Modo de fallo se refiere a los tipos de fallos que pueden suceder en el componente de la turbina eólica. Por ejemplo, los modos de fallo del multiplicador pueden incluir, pero sin limitación, manchado, desprendimiento y indentaciones sobre los cojinetes y sus elementos rodantes. Otros ejemplos de fallo de engranaje también incluyen el desgaste de la superficie del dentado, dientes rotos, etc. Puede haber otros tipos de fallos, tales como fisuras en el bastidor y la montura (tal como la placa de torsión), desalineación del eje, sistema de ventilación y lubricación, etc.

25 Después de determinar el modo de fallo del componente, se estima la vida útil remanente del componente en las condiciones operativas actuales. En el presente contexto, la expresión "vida útil remanente" se interpreta que refiere al tiempo que quedará de media antes la rotura del componente, si la turbina eólica funciona continuamente en las condiciones operativas actuales, por ejemplo, en cuanto al nivel de potencia de salida.

30 Posteriormente, se determinan varios esquemas de control para controlar el funcionamiento de la turbina eólica con el fin de ajustar la vida útil remanente del componente a una vida útil remanente deseada. Uno de los esquemas de control puede incluir, por ejemplo, extender la vida útil remanente lo suficiente para permitir que la turbina eólica continúe funcionando hasta el siguiente evento de servicio programado. Por lo tanto, se evita el tiempo de parada, así como los eventos de servicio no programados. Como alternativa, o adicionalmente, la vida útil remanente puede extenderse para alcanzar un periodo de tiempo en el que es más conveniente realizar el servicio o mantenimiento en la turbina eólica. Dichos periodos de tiempo pueden incluir, por ejemplo, periodos de viento bajo o periodos con mejores condiciones meteorológicas. Esto es particularmente relevante para turbinas eólicas marinas, en los que las condiciones meteorológicas favorables son cruciales para obtener acceso a la turbina. Como otra alternativa, en el caso de que no sea posible extender la vida útil remanente hasta el siguiente evento de servicio programado, o hasta un periodo de tiempo más conveniente, el esquema de control puede incluir programar un evento de servicio adicional dentro del lapso de tiempo hasta el que puede extenderse la vida útil remanente. Por lo tanto, los esquemas de control son recomendaciones diferentes que maximizan la potencia de salida total de la turbina eólica en el periodo hasta que se realiza el servicio requerido. Además, los esquemas de control pueden incluir recomendaciones para extender el tiempo operativo de las turbinas eólicas antes de realizar un servicio requerido.

35 Para cada uno de los diferentes esquemas de control, se determina un rendimiento de producción de potencia. Cuando la turbina eólica funciona a un nivel de potencia de salida reducido, cualquier beneficio derivado de la potencia producida también se reduce. Esta pérdida de beneficio puede compensarse con los gastos implicados en la realización de un evento de servicio no programado o adicional y/o en el tiempo de parada de la turbina eólica debido a la rotura del componente. Por lo tanto, el rendimiento de producción de potencia proporciona información con respecto al beneficio y coste implicados en los diferentes esquemas de control. Esto permite que se haga una decisión informada sobre cómo controlar el funcionamiento de la turbina eólica. Finalmente, se selecciona un esquema de control para controlar el funcionamiento de la turbina eólica. Esta selección se hace basándose en la información del rendimiento de producción de potencia obtenida anteriormente.

De acuerdo con una realización, la determinación de al menos un modo de fallo comprende obtener datos relacionados con el estado de funcionamiento de uno o más componentes de la turbina eólica, analizar los datos obtenidos para determinar si hay alguna anomalía, activar una señal de alerta cuando se determina que hay una anomalía en los datos obtenidos, y determinar al menos un modo de fallo basándose en los datos analizados.

5 En el presente contexto el término "estado de funcionamiento" se refiere a un estado que es indicativo de si el componente está o no operativo y en qué medida. Por lo tanto, el estado de funcionamiento de un componente puede indicar si es probable que el componente se averíe en un futuro cercano, y/o si es probable que se produzca un fallo de funcionamiento y/o un error. El estado de funcionamiento también puede indicar si los presentes ajustes operativos son adecuados para el componente. Los datos relacionados con el estado de funcionamiento del  
10 componente pueden incluirse, pero sin limitación, la temperatura del componente, o en la proximidad del componente, las vibraciones del componente, el esfuerzo del componente, la deformación del componente y/o las cargas del componente.

Los datos obtenidos se analizan para comprobar cualquier anomalía. Los ejemplos de anomalías incluyen la temperatura de un componente que excede un cierto umbral, si el nivel de deformación, esfuerzo o vibración de un  
15 componente es demasiado alto, hay un cambio significativo en las amplitudes de señal, etc. Los niveles de alarma pueden ajustarse para los diversos parámetros que se van a medir. Cuando cualquiera de estos niveles de alarma se excede, significa que se ha detectado una anomalía particular, y se activa una señal de alerta. Cuando la señal de alerta se activa, se determina el modo de fallo relacionado con el componente.

Es posible que se usen dos o más conjuntos de datos para determinar un fallo particular, activando los dos o más  
20 conjuntos de datos dos o más señales de alerta. Esto sucede únicamente cuando se activan las señales de alerta correspondientes a estos dos conjuntos de datos, y entonces se ha determinado que ha ocurrido un modo de fallo particular. Por lo tanto, la detección de un modo de fallo de esta manera produce un alto nivel de confianza y minimiza la probabilidad de una falsa alarma.

De acuerdo con una realización, el análisis de los datos obtenidos para determinar si hay alguna anomalía  
25 comprende determinar si hay alguna desviación sustancial de los datos obtenidos de un conjunto de datos predeterminado. Por ejemplo, en una granja eólica, se obtienen los datos de componentes idénticos o similares de algunas o todas las turbinas eólicas de la granja eólica. Se determina que existe una anomalía en un componente de una turbina eólica si los datos obtenidos del componente de la turbina eólica son significativamente diferentes de un valor medio de los datos obtenidos de los componentes idénticos o similares de las demás turbinas eólicas en la  
30 misma granja eólica.

De acuerdo con una realización, la obtención de los datos relacionados con el estado de funcionamiento de uno o  
más componentes comprende medir uno o más parámetros de cada componente por medio de uno o más sensores. De acuerdo con esta realización, los datos relacionados con el estado de funcionamiento del componente se obtienen directamente mediante mediciones. Los ejemplos de sensores adecuados incluyen, pero sin limitación,  
35 sensores de temperatura, sensores de vibración, sensores de deformación y sensores de esfuerzo. Como una alternativa a los parámetros de medición, los datos relativos al estado de funcionamiento de uno o más componentes pueden obtenerse de manera indirecta.

La etapa de estimar una vida útil remanente del componente puede realizarse basándose en datos obtenidos  
40 empíricamente. Los datos obtenidos empíricamente pueden comprender datos relativos a la velocidad del viento y/o la dirección del viento en la ubicación de la turbina eólica. Dichos datos pueden haberse obtenido durante un periodo anterior a la instalación de la turbina eólica, y/o durante el funcionamiento de la turbina eólica. Los datos del viento obtenidos empíricamente pueden procesarse estadísticamente. En particular, la información con respecto a, por ejemplo, la distribución de la velocidad del viento en la ubicación de la turbina eólica puede obtenerse en forma de  
45 velocidad del viento media para cada mes, posiblemente complementada con información con respecto a la desviación estándar de los datos de velocidad del viento. La velocidad del viento puede variar durante el año, es decir, probablemente pueden producirse mayores velocidades del viento durante la temporada invernal que durante la temporada de verano. Pueden usarse datos empíricos estadísticamente procesados como se ha descrito anteriormente para estimar la velocidad del viento esperada en la ubicación de la turbina eólica en el siguiente o más  
50 meses. Esto puede ser un factor al determinar cómo controlar el funcionamiento de la turbina eólica para ajustar la vida útil remanente a una vida útil remanente deseada. Por ejemplo, durante periodos de bajo viento es más probable que sea posible hacer funcionar la turbina eólica a la potencia de salida máxima sin riesgo de rotura de componentes, que durante periodos de viento elevado.

Como alternativa, o adicionalmente, los datos obtenidos empíricamente pueden comprender datos relativos a la vida  
55 útil de los componentes idénticos o similares al componente. Dichos datos pueden obtenerse, por ejemplo, de la siguiente manera. Cuando se detecta un nivel de alarma determinado para cierto componente, ese componente se supervisa y la potencia de salida en función del tiempo, así como el tiempo que pasa entre el nivel de alarma, se detecta hasta que el componente roto se registra. Esto se hace para un gran número de componentes idénticos o similares y, así, se obtiene información estadística sobre la vida útil remanente del componente en diversas condiciones operativas. Esta información puede usarse ventajosamente para estimar o calcular la vida útil  
60 remanente del componente cuando se detecta un nivel de alarma determinado, y en ciertas condiciones operativas.

De acuerdo con una realización, un esquema de control comprende reducir la producción de potencia de la turbina eólica con el fin de extender la vida útil remanente del componente hasta un próximo mantenimiento programado de la turbina eólica. Esto impide la rotura del componente antes del próximo mantenimiento programado, lo que puede dar como resultado la pérdida de producción de potencia y, por lo tanto, de beneficios/ganancias, durante el periodo de tiempo en el que el componente está roto y el mantenimiento programado. La rotura del componente antes del mantenimiento programado también puede requerir que se haga un mantenimiento programado, dando como resultado un coste adicional.

De acuerdo con una realización, el rendimiento de producción de potencia para cada uno de los esquemas de control se determina basándose en al menos un factor seleccionado entre un grupo que consiste en pronóstico del viento, la tarifa energética y el coste del equipo.

El pronóstico del viento permite estimar la velocidad del viento en el mes siguiente o más meses. Después, esta información sobre la previsión de los datos del viento puede usarse para decidir cuándo es adecuado realizar un servicio de mantenimiento de la turbina eólica. Esta información puede usarse para decidir cómo reducir la potencia de la turbina eólica de manera que la vida útil remanente del componente pueda extenderse hasta el mantenimiento programado. En particular, puede usarse para determinar cómo hacer funcionar la turbina eólica a un nivel de potencia de salida máxima hasta el siguiente mantenimiento programado.

La tarifa energética se usa principalmente para estimar el ingreso de la electricidad producida dentro del periodo de reducción de potencia. Por lo tanto, el rendimiento de producción de potencia se refleja con más precisión y proyecta información sobre los ingresos en relación al funcionamiento de la turbina, con reducción de potencia y sin reducción de potencia. Mientras tanto, la tarifa energética también puede usarse como un factor para considerar la duración de la reducción de potencia. Por ejemplo, cuando la tarifa es alta, la reducción de potencia de la turbina puede dar como resultado mayor pérdida de ingresos. Por lo tanto, es mejor localizar un periodo de tiempo en el que la tarifa energética sea baja para la reducción de potencia de la turbina eólica. Cabe señalar que la tarifa energética es una variable más constante en comparación con la velocidad del viento durante un breve periodo de tiempo.

El coste del equipo también puede tenerse en cuenta. El mantenimiento de un elevado nivel de potencia de salida puede causar la rotura completa de un componente, mientras que un nivel de potencia de salida reducido puede permitir que el componente aguante hasta que pueda repararse. Para un componente que tiene un elevado coste de equipo, el coste de la rotura del componente es superior a un componente con un bajo coste de equipo. Por lo tanto, para un componente con alto coste de equipo, es deseable extender la vida útil del componente hasta que pueda repararse, en lugar de reemplazar el componente después de una rotura completa.

Por lo tanto, teniendo en cuenta uno o más de dichos factores, el rendimiento de producción de potencia refleja más precisamente la información de ingresos para el esquema de control. Esto permite una decisión más informada sobre la selección de los esquemas de control.

De acuerdo con una realización, el procedimiento puede comprender adicionalmente generar un informe de recomendación que comprende los esquemas de control y el respectivo rendimiento de producción de potencia. El informe de recomendación presenta la información determinada anteriormente de manera útil para permitir que una persona entienda fácilmente y compare los diferentes esquemas de control y su rendimiento de producción de potencia correspondiente. El formato del informe de recomendación puede personalizarse. Por consiguiente, la persona puede seleccionar fácilmente el esquema de control que mejor se adapte a sus necesidades.

De acuerdo con una realización, el funcionamiento de la turbina eólica se controla usando el esquema de control seleccionado.

De acuerdo con un segundo aspecto, la invención proporciona un sistema para controlar el funcionamiento de una turbina eólica, comprendiendo el sistema:

- Un analizador de modo de fallo adaptado para determinar un modo de fallo de al menos un componente de la turbina eólica;

- Un calculador de vida útil adaptado para determinar una vida útil remanente del componente en las condiciones operativas actuales;

- Una unidad de control adaptada para determinar uno o más esquemas de control para controlar el funcionamiento de la turbina eólica con el fin de ajustar la vida útil remanente del componente a una vida útil remanente deseada; y

- Un evaluador de coste adaptado para determinar un rendimiento de producción de potencia para el uno o más esquemas de control.

Se debe advertir que un experto en la técnica reconocerá fácilmente que cualquier característica descrita junto con el primer aspecto de la invención también podría combinarse con el segundo aspecto de la invención, y viceversa. El sistema de acuerdo con el segundo aspecto de la invención puede adaptarse ventajosamente para realizar el procedimiento del primer aspecto de la invención.

De acuerdo con una realización, el analizador de modo de fallo determina el modo de fallo basándose en los datos relacionados con el estado de funcionamiento del componente de la turbina eólica, como se menciona en relación al primer aspecto de la invención. El calculador de vida útil puede adaptarse para calcular la vida útil remanente del componente de una manera que se ha descrito anteriormente con referencia al primer aspecto de la invención.

- 5 El uno o más esquemas de control pueden incluir una recomendación para reducir la producción de potencia de la turbina eólica con el fin de extender la vida útil remanente del componente hasta un próximo mantenimiento programado de la turbina eólica. Los esquemas de control pueden ser similares a los ya descritos en relación con el primer aspecto de la invención.

- 10 El evaluador de coste puede determinar el rendimiento de producción de potencia para el uno o más esquemas de control basándose en al menos un factor seleccionado entre un grupo que consiste en la tarifa energética, el coste del equipo y la previsión de los datos del viento. La ventaja de usar cualquiera de los factores para determinar el rendimiento de producción de potencia se ha descrito anteriormente en relación con el primer aspecto de la invención.

- 15 De acuerdo con una realización, el sistema comprende adicionalmente un generador de informes adaptado para generar un informe de recomendación. El informe de recomendación incluye los esquemas de control y su respectivo rendimiento de producción de potencia. Como se ha mencionado anteriormente, esto permite que una persona seleccione fácilmente el esquema de control que mejor se adapte a sus necesidades.

La invención se refiere adicionalmente a una central energética eólica que comprende al menos una turbina eólica y una unidad de supervisión. La unidad de supervisión comprende:

- 20 - Un analizador de modo de fallo adaptado para determinar un modo de fallo para al menos un componente de la turbina eólica;
- Un calculador de vida útil adaptado para determinar una vida útil remanente del componente en las condiciones operativas actuales;
- 25 - Una unidad de control adaptada para determinar uno o más esquemas de control para controlar el funcionamiento de la turbina eólica con el fin de ajustar la vida útil remanente del componente a una vida útil remanente deseada; y
- Un evaluador de coste adaptado para determinar un rendimiento de producción de potencia para el uno o más esquemas de control.

- 30 De acuerdo con una realización, la turbina eólica comprende uno o más sensores para obtener datos relacionados con el estado de funcionamiento del componente de la turbina eólica. Los sensores se disponen en o en la proximidad del componente. Como se ha mencionado anteriormente con respecto al primer aspecto de la invención, los datos relacionados con el estado de funcionamiento del componente se obtienen directamente por mediciones de los sensores. Los ejemplos de sensores adecuados incluyen, pero sin limitación, sensores de temperatura, sensores de vibración, sensores de deformación y sensores de esfuerzo. De acuerdo con una realización, la unidad de supervisión comprende adicionalmente un generador de informes adaptado para generar un informe de recomendación. El informe de recomendación incluye los esquemas de control y su respectivo rendimiento de producción de potencia. Como se ha mencionado anteriormente con respecto al primer y segundo aspecto de la invención, esto permite que una persona seleccione fácilmente el esquema de control que mejor se adapte a sus necesidades.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

- 40 La invención se describirá ahora en más detalle con referencia a los dibujos adjuntos, en los que

La figura 1 ilustra una estructura de una turbina eólica.

Las figuras 2a-2c ilustran sensores dispuestos en un multiplicador y un generador.

La figura 3 ilustra una disposición general de un sistema CBO para controlar el funcionamiento de una turbina eólica de acuerdo con una realización.

- 45 La figura 4 ilustra una disposición de una unidad CBO de acuerdo con una realización.

La figura 5 ilustra la vida útil remanente de un componente en diversos niveles de alarga y para diversas estrategias de control de acuerdo con una realización.

La figura 6 ilustra la vida útil remanente de un componente en una estrategia de control alternativa de acuerdo con una realización.

- 50 La figura 7 ilustra un informe de recomendación generado por un generador de informes de acuerdo con una realización.

La figura 8 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento para controlar el funcionamiento de la turbina eólica de acuerdo con una realización.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS DIBUJOS

5 La figura 1 muestra una configuración general de una turbina eólica 1. La turbina eólica 1 incluye una torre 2 que tiene varias secciones de torre, una góndola 3 situada en la parte superior de la torre 2, y un rotor 4 que se extiende desde la góndola 3. La torre 2 se instala sobre una cimentación 7 construida en el suelo.

El rotor 4 puede girar con respecto a la góndola 3, e incluye un buje 5 y una o más palas 6.

10 El viento que incide sobre las palas 6 hace que el rotor 4 gire con respecto a la góndola 3. La energía mecánica de la rotación del rotor 4 se convierte en energía eléctrica por un generador (no mostrado) en la góndola 3. La energía eléctrica generada puede suministrarse a una red eléctrica o a una comunidad local. Se espera que las turbinas eólicas estén en funcionamiento durante muchos años. Por lo tanto, se usan diversos sistemas de control para supervisar el estado operativo de los componentes de las turbinas eólicas. Los ejemplos de dichos componentes incluyen, pero sin limitación, un multiplicador, un generador, cojinetes de guiñada, etc. Esto se hace teniendo muchos sensores en las turbinas eólicas para obtener datos relativos a las características físicas de los componentes en las turbinas eólicas, y procesando estos datos para determinar si alguno de los componentes tiene una elevada probabilidad de averiarse. Cuando se determina que un componente tiene una elevada probabilidad de averiarse, el componente se reemplaza o se toman otras medidas correctoras.

20 La figura 2a muestra una vista lateral de un multiplicador 10 de una turbina eólica. La figura 2b muestra una vista superior del multiplicador 10 de la figura 2a. La figura 2c muestra una vista lateral de un generador 12 de la turbina eólica 1. El multiplicador 10 y el generador 12 se proporcionan con un total de ocho acelerómetros 13-20, dispuestos en diversas posiciones del multiplicador 10 y el generador 12. Los acelerómetros 13-20 se usan para detectar vibraciones en el multiplicador 10 o en el generador 12, respectivamente, en sus posiciones respectivas. El resultado de las mediciones realizadas por los sensores 13-20 se analiza en un sistema de supervisión de condición (CMS), y basándose en el análisis se obtiene el estado de funcionamiento del multiplicador 10 y el estado de funcionamiento del generador 12. Por lo tanto, si uno o más de los sensores 13-18 dispuestos en el multiplicador 10 presenta un elevado nivel de vibración, esto es una indicación de que el multiplicador 10 se encuentra en un estado de funcionamiento no óptimo. Después, el CMS activa una alarma o una señal de alerta correspondiente para el multiplicador 10. De forma análoga, si uno o ambos de los sensores 19, 20 dispuestos en el generador 12 mide un nivel de vibración elevado, se concluye que el generador 12 se encuentra en un estado de funcionamiento no óptimo, y se activa una alarma o señal de alerta correspondiente para el generador 12.

30 Pueden ajustarse diferentes niveles de alarma para diferentes niveles de vibración en el multiplicador 10 y/o el generador 12. Por ejemplo, pueden ajustarse 5 niveles de alarma para el multiplicador, siendo el nivel de alarma 1 el menos grave y la alarma 5 la más grave. Si se activa el nivel de alarma 1, esto significa que el multiplicador 10 empieza a demostrar algunos signos de fallo, y puede averiarse en un futuro cercano. Si se activa el nivel de alarma 5, significa que el multiplicador 10 se va a averiar muy pronto y el mantenimiento debe programarse inmediatamente para reparar o reemplazar el componente. El nivel de vibración correspondiente a los diferentes niveles de alarma puede definirse basándose en datos estadísticos de componentes similares o idénticos de otras turbinas, los datos del viento y el emplazamiento, etc.

40 Como alternativa, o adicionalmente, el multiplicador 10 y/o el generador 12 pueden proporcionarse con otros tipos de sensores, tales como sensores de temperatura, que pueden usarse para medir un parámetro que es indicativo del estado de funcionamiento del componente. Además, el multiplicador 10 y/o el generador 12 pueden proporcionarse con cualquier número de sensores en realizaciones alternativas.

45 La figura 3 ilustra una disposición general de un sistema de funcionamiento basado en la condición (CBO) 30 de acuerdo con una realización. El sistema 30 incluye una turbina eólica 31, un centro de datos 32 y una unidad CBO 33. La turbina eólica 31 incluye un sistema de sensores 35 y un servidor web 36. El sistema de sensores 35 incluye sensores que se usan para controlar las características físicas de los componentes en la turbina eólica 31. Por ejemplo, el sistema de sensores 35 puede incluir los acelerómetros 13-20 de la figura 2a para controlar el nivel de vibración del multiplicador 10. Dichos datos de vibración (u otras características físicas) obtenidos por los sensores se refieren al estado de funcionamiento de los componentes de la turbina eólica 31. Los datos obtenidos del sistema de sensores 35 se envían al servidor web 36 que, a su vez, se envían al centro de datos 32. El envío de los datos del sistema de sensores 35 al servidor web 36 y/o del servidor web 36 al centro de datos 32 puede hacerse a través de Ethernet. También son posibles otros medios para enviar los datos, tales como medios inalámbricos (WLAN), cable de fibra óptica, GPRS. Cabe señalar que el servidor web 36 es opcional, y puede no estar presente en la turbina eólica 31. En este caso, los datos recogidos por el sistema de sensores 35 pueden enviarse directamente al centro de datos 32.

55 El centro de datos 32 es un centro de procesamiento de datos central que recibe información de diversas fuentes y los procesa. En una realización, el centro de datos 32 recibe los datos de la turbina eólica 31. Adicionalmente, el centro de datos 32 también recibe otra información que incluye, pero sin limitación, datos del viento y el

emplazamiento 37, la tarifa energética 38 y el coste del equipo 39. Un usuario también puede proporcionar entradas adicionales tal como información relacionada con el estado de funcionamiento de los componentes, la edad de los componentes, información meteorológica o cualquier ajuste de control deseado especial para hacerse a la turbina. Dichas entradas de usuario 40 pueden proporcionarse por el usuario usando un terminal informático situado en el centro de datos 32 o en una ubicación remota conectada por una red de datos tal como Internet o Ethernet.

La información recibida por el centro de datos 32 se envía a la unidad CBO 33 que analiza la información y proporciona recomendaciones de control de reducción de potencia de acuerdo con una realización de la invención. La salida de la unidad CBO 33 incluye una recomendación o recomendaciones de control de reducción de potencia. Una de las recomendaciones puede seleccionarse para controlar el funcionamiento de la turbina eólica 31. La recomendación puede seleccionarse manualmente por un usuario, o automáticamente por la unidad CBO. En una realización, la salida de la unidad CBO 33 es una señal de control (basada en una recomendación de reducción de potencia seleccionada) para controlar el funcionamiento de la turbina eólica 31.

Como se muestra en la figura 3, la turbina eólica 31, el centro de datos 32 y la unidad CBO 33 son unidades separadas entre sí. Esto sirve únicamente para ilustrar las diferentes funciones realizadas por estas unidades 31, 32, 33. En una realización, el centro de datos 32 y la unidad CBO 33 se sitúan fuera de la turbina eólica 31. También es posible que el centro de datos 32 o la unidad CBO 33, o tanto el centro de datos 32 como la unidad CBO 33 se sitúen en el interior de la turbina eólica 31.

La figura 4 ilustra una disposición de la unidad CBO 33 de acuerdo con una realización. La unidad CBO 33 incluye un analizador de modo de fallo 41, un calculador de vida útil 42, una unidad de control 43, un evaluador de coste 44 y un generador de informes 45.

El analizador de modo de fallo mantiene una base de datos con entradas relacionadas con diversos modos de fallo. Cuando el analizador de modo de fallo recibe la información como entrada desde el centro de datos 32, compara la información con las entradas de la base de datos para determinar el tipo de modo de fallo que se ha producido. La base de datos incluye, pero sin limitación, lo siguiente:

- Información general del componente de turbina en supervisión,
- Alertas activadas actuales e historial de alertas de los componentes de turbina,
- Alertas relevantes de los componentes de turbina,
- Datos de sensores usados para detectar fallos o activar señales de alerta,
- Firmas o patrones de datos obtenidos de los sensores relacionados con los fallos,
- Medios para determinar probabilidades de falsas alarmas y niveles de confianza, y
- Acciones tomadas para rectificar los fallos.

La información relacionada con las alertas relevantes de los componentes de turbina puede obtenerse de turbinas que han experimentado fallos similares en la misma granja eólica, o de otras turbinas en otras granjas eólicas. Adicionalmente, o como alternativa, los medios para determinar probabilidades de falsas alarmas y niveles de confianza pueden incluir procedimientos tales como relación de correlación, referencia cruzada o cualquier otro procedimiento estadístico que use los datos obtenidos de los sensores o de otras turbinas.

Después de la determinación del modo de fallo del componente por el analizador de modo de fallo 41, el calculador de vida útil 42 determina una vida útil remanente del componente. La determinación de la vida útil remanente del componente se ilustrará con referencia a la figura 5.

La figura 5 muestra un gráfico que ilustra la vida útil remanente de un componente después de detectar un nivel de alarma determinado. El componente puede ser, por ejemplo, el multiplicador 10 de las figuras 2a y 2b o el generador 2 de la figura 2c. En el gráfico, el nivel de vibración del componente se traza frente al tiempo. Se marcan cuatro niveles de vibración correspondientes a cuatro niveles de alarma, nivel de alarma 2-5. Por lo tanto, cuando el nivel de vibración para el componente alcanza el nivel marcado "nivel de alarma 2", se activa el nivel de alarma 2 para el componente. El nivel de alarma 5 es el nivel más grave, y cuando se alcanza este nivel, es muy probable que el componente se averíe, y el funcionamiento de la turbina eólica ha de detenerse.

La curva marcada "Clase de potencia de salida 5" ilustra el nivel de vibración en función del tiempo en el caso de que la turbina eólica funcione en una clase de potencia de salida 5. Se traza el nivel de vibración medio, así como la banda del intervalo de confianza al 95 %. Cuando se alcanza el nivel de vibración correspondiente al nivel de alarma 2, la vida útil remanente es el tiempo que transcurre desde que se detecta el nivel de alarma 2 hasta que se alcanza el nivel de alarma 5, y es muy probable que el componente se averíe. Este intervalo de tiempo se marca como  $\Delta t$ .

En el gráfico, las curvas correspondientes se trazan ilustrando las situaciones en las que la turbina eólica funciona en las clases de potencia de salida 4, 3 y 1, respectivamente. Puede observarse a partir del gráfico, que la vida útil remanente aumenta cuando la turbina eólica funciona en una clase de potencia inferior.

5 Se debe advertir que en el presente contexto, la expresión "clase de potencia de salida" se interpreta que es un intervalo de potencia de salida para la turbina eólica. Para una turbina eólica específico con una potencia de salida nominal determinada, los niveles de potencia se dividen en intervalos adecuados, y la clase de potencia más alta corresponde a la potencia nominal o casi la potencia nominal. Como ejemplo, para una plataforma de 2,0 MW, la clasificación de potencia puede ser como se indica a continuación:

Clase de potencia de salida	1	2	3	4	5
Valor de potencia $P_w$ (MW)	$P_w \leq 0,7$	$0,7 < P_w \leq 1,2$	$1,2 < P_w \leq 1,5$	$1,5 < P_w \leq 1,8$	$1,8 < P_w$

10 Como otro ejemplo, la clasificación de potencia para una plataforma de 3,0 MW puede ser como se indica a continuación:

Clase de potencia de salida	1	2	3	4	5
Valor de potencia $P_w$ (MW)	$P_w \leq 0,9$	$0,9 < P_w \leq 1,5$	$1,5 < P_w \leq 2,1$	$2,1 < P_w \leq 2,65$	$2,65 < P_w$

15 Las curvas mostradas en la figura 5 pueden obtenerse a partir de las mediciones obtenidas de un gran número de componentes idénticos o similares. Pueden trazarse las curvas que representan el nivel de vibración frente al tiempo de funcionamiento después de que se active un nivel de alarma determinado. Una curva, por ejemplo, se refiere a la turbina que puede funcionar más del 80 % de la vida útil remanente en la clase de potencia de salida 5. O, otra curva, por ejemplo, se refiere a la turbina que puede funcionar por encima del 80 % de la vida útil remanente con la clase de potencia de salida 4, etc. A partir de estas curvas de referencia, se desprende que la turbina puede funcionar con diferentes esquemas de control ajustando el tiempo en el que el componente funciona en la clase de potencia de salida después de que se ha detectado el nivel de alarma determinado.

20 En otra realización, la vida útil remanente del componente puede determinarse a partir de los datos obtenidos empíricamente relacionados con la vida útil de componentes idénticos o similares. La vida útil remanente medida de un componente similar o idéntico puede expresarse usando la expresión:

$$\Gamma_{nivelelalarma} = a_5\Gamma_5 + a_4\Gamma_4 + a_3\Gamma_3 + a_2\Gamma_2 + a_1\Gamma_1,$$

25 en la que  $\Gamma_{nivelelalarma}$  es la vida útil remanente medida del componente similar o idéntico después de detectar un nivel de alarma determinado,  $\Gamma_i$  es el tiempo que funciona el componente similar o idéntico en la clase de potencia de salida  $i$ , y  $a_i$  es un coeficiente relacionado con la clase de potencia de salida  $i$ . Para cada nivel de alarma pueden determinarse los valores de  $a_i$  a partir de mediciones derivadas de un gran número de componentes, por ejemplo, por medio de ajuste de curva y/o procedimientos de regresión.

30 Una vez que  $a_i$  se han determinado, la vida útil remanente de un componente después de detectar un nivel de alarma determinado, puede calcularse usando la siguiente fórmula:

$$T_{nivelelalarma} = a_5T_5 + a_4T_4 + a_3T_3 + a_2T_2 + a_1T_1,$$

35 donde  $a_i$  son los coeficientes que se han determinado previamente como se ha descrito anteriormente,  $T_i$  es el tiempo que el componente funciona en la clase de potencia de salida  $i$ , y  $T_{nivelelalarma}$  es la vida útil remanente calculada del componente después de detectar un nivel de alarma determinado. Se advierte que la vida útil remanente del componente puede ajustarse ajustando las  $T_i$  para obtener una vida útil remanente deseada del componente.

40 Después de determinar la vida útil remanente del componente mediante el calculador de vida útil 42, la unidad de control 43 determina una o más recomendaciones de control de reducción de potencia para el componente basándose en la vida útil remanente. Un ejemplo de determinación de una recomendación de control de reducción de potencia se ilustra con referencia a la figura 6.

45 La figura 6 muestra un gráfico que ilustra la vida útil remanente del componente en una estrategia de control de acuerdo con una realización. De acuerdo con esta estrategia de control, cuando se alcanza el nivel de vibración correspondiente al nivel de alarma 2, la vida útil remanente es  $\Delta t$  si la turbina eólica funciona en la clase de potencia de salida 5 durante más del 80 % de la vida útil remanente. Esto se ilustra por la curva "Clase de potencia de salida 5".

Si resulta que  $\Delta t$  es más corto que el tiempo hasta el próximo evento de servicio programado, entonces se puede reducir la potencia de la turbina eólica para que funcione en la clase de potencia de salida 4 durante más del 80 % de la vida útil remanente cuando se alcanza el nivel de vibración correspondiente al nivel de alarma 3. Esto se ilustra por la curva "Clase de potencia de salida 4". Así, la vida útil remanente se extiende por  $\Delta t+$  en comparación con la situación en la que la turbina eólica funciona en la clase de potencia de salida 5.

Si resulta que la vida útil remanente extendida,  $(\Delta t)+(\Delta t+)$ , es también más corta que el tiempo hasta el siguiente evento de servicio programado, entonces se puede reducir la potencia de la turbina eólica para que funcione en la clase de potencia 3 durante más del 80 % de la vida útil remanente cuando se alcanza el nivel de vibración correspondiente al nivel de alarma 4. Esto se ilustra por la curva "Clase de potencia de salida 3". Por lo tanto, la vida útil remanente se extiende aún más por  $\Delta t++$  en comparación con la situación en la que la turbina eólica funciona en la clase de potencia 5. Si esto es aún insuficiente para obtener una vida útil remanente deseada, entonces puede recomendarse una reducción de potencia adicional, o se recomendará programar un evento de servicio adicional para reparar o reemplazar el componente.

La vida útil remanente deseada puede calcularse de otra manera en otro ejemplo. Como se ha mencionado anteriormente, la vida útil remanente deseada puede ser desde el momento en el que se activa un nivel de alarma determinado hasta el momento de la estación de bajo viento o un siguiente servicio de mantenimiento programado de la turbina. Después de que se activa el nivel de alarma, es necesario determinar la vida útil remanente y el pronóstico del viento en este periodo de tiempo, es decir, la vida útil remanente. El pronóstico del viento proporciona los datos de distribución de la velocidad del viento. Por lo tanto, es posible determinar la clase de potencia de salida en la que funcionará la turbina eólica, y también el periodo de tiempo correspondiente que funcionará la turbina eólica en esa clase de potencia de salida. Después, la vida útil remanente puede calcularse usando la siguiente fórmula:

$$T_{\text{nivelalarma}} = a_5 T_5 + a_4 T_4 + a_3 T_3 + a_2 T_2 + a_1 T_1 .$$

Si  $T_{\text{nivelalarma}}$  es inferior a la vida útil remanente deseada, el periodo de tiempo que funcionará la turbina en la clase de potencia de salida 5, 4 u otras puede requerir ajustarse para que la vida útil remanente deseada pueda alcanzarse.

La tarifa energética en cada periodo de tiempo correspondiente también puede tenerse en cuenta para maximizar el beneficio de un cliente. Por ejemplo, si la vida útil remanente deseada es dos meses y la tarifa energética del primer mes es superior que la del segundo mes, una operación de control sugerida será:

- Permitir que la turbina funcione en una clase de potencia de salida superior sin aplicar ningún control de reducción de potencia, siempre que el periodo de tiempo que funcione la turbina en la clase de potencia de salida superior sea menor que el periodo de tiempo predeterminado durante la vida útil remanente deseada. La clase de potencia de salida superior depende de la velocidad del viento disponible durante este periodo de tiempo.

- Cuando se alcanza el periodo de tiempo que funciona la turbina en la clase de potencia de salida superior, la clase de potencia de salida 5 por ejemplo, no se dejará que la turbina funcione en esta clase de potencia de salida ni siquiera si la velocidad del tiempo soporta ese nivel.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 4, después de determinar una o más recomendaciones de reducción de potencia por la unidad de control 43, el evaluador de coste 44 determina un rendimiento de producción de potencia para cada una de las recomendaciones de reducción de potencia de la unidad de control 43. El rendimiento de producción de potencia se determina basándose en uno o más de los siguientes factores: pronóstico del viento, tarifa energética y coste del equipo. El rendimiento de producción de potencia proporciona información sobre el beneficio (o pérdida de beneficio) de la producción de potencia basándose en las diferentes recomendaciones de control de reducción de potencia. Por ejemplo, si la tarifa energética durante el siguiente mes, por ejemplo julio, es superior a la tarifa energética de agosto, es deseable que la turbina eólica funcione a una mayor potencia de salida en julio que en agosto. En otras palabras, hay una mayor pérdida de beneficio cuando se reduce la potencia de la turbina eólica en julio que en agosto.

El coste del equipo del componente roto también puede tenerse en consideración. Si el coste del equipo del componente es elevado, el coste de reemplazo de ese componente será alto. El coste del equipo también incluye el coste de funcionamiento y mantenimiento del equipo, así como el coste del componente que ha de reemplazarse. En una realización, el evaluador de coste 44 también puede tener en cuenta cualquiera compensación pagada al cliente debido a la detención o reducción de potencia de la turbina. Por lo tanto, es deseable que la turbina eólica funcione de manera que la vida útil de ese componente se extienda hasta un periodo en el que pueda repararse a una baja velocidad del viento. Esto ha de compensarse con lo anterior en relación a una alta velocidad del viento donde es deseable que no se reduzca la potencia de la turbina para impedir una elevada pérdida de beneficio.

Las recomendaciones de control de reducción de potencia y su rendimiento de producción de potencia correspondiente pueden presentarse en un informe por el generador de informes 45. El informe permite que un usuario tenga un resumen de las recomendaciones de reducción de potencia y la posible pérdida de beneficio debido al control de reducción de potencia. Después, el usuario puede seleccionar una recomendación de control de

reducción de potencia adecuada, basándose en diversas consideraciones, para controlar el funcionamiento de la turbina eólica. La figura 7 muestra un ejemplo de un informe de recomendación generado por el generador de informes 45. El informe de recomendación de la figura 7 incluye lo siguiente:

- 5 - Previsión de producción: una comparación entre la potencia de salida de la turbina con reducción de potencia y sin reducción de potencia durante un periodo de tiempo específico.
- Fallo detectado: detalles de los componentes específicos que es probable que se averíen. Los ejemplos de dichos detalles incluyen fases del multiplicador (tal como la fase planetaria, la fase intermedia, la fase de alta velocidad, etc.), componentes (cojinete frontal, cojinete posterior, engranaje tipo piñón, etc.), la gravedad del fallo y la vida útil remanente estimada antes de la reducción de potencia.
- 10 - Operaciones de reducción de potencia: Una o más recomendaciones de reducción de potencia, el porcentaje de reducción de potencia con respecto a la turbina, y la vida útil remanente extendida como resultado de la reducción de potencia. También puede presentarse una previsión de la producción para las respectivas recomendaciones de reducción de potencia. También se incluye un nivel de confianza en el logro de la vida útil remanente extendida para el componente.
- 15 - Otras recomendaciones: estas pueden incluir acciones especiales que han de realizarse, tal como la reducción de potencia, reemplazar componentes, programar un servicio de mantenimiento o algunas otras acciones de seguimiento para rectificar los fallos.

20 El informe de recomendación mostrado en la figura 7 es únicamente un ejemplo de cómo podría ser el diseño de un informe de recomendación generado por el generador de informes 45. Es posible que el informe de recomendación incluya más o menos secciones mencionadas anteriormente. El diseño del informe de recomendación también puede ser diferente en otros ejemplos.

25 Cabe señalar que una recomendación de control de reducción de potencia puede seleccionarse automáticamente por la unidad CBO 33, por ejemplo, basándose en criterios predefinidos tales como el menor coste. En una realización alternativa, la unidad CBO 33 no incluye un generador de informes. Basándose en el resultado del evaluador de coste 44, se selecciona una recomendación de control de reducción de potencia correspondiente al mayor rendimiento de producción de potencia (o menor pérdida de beneficio). Como se ha mencionado anteriormente, el funcionamiento de la turbina eólica 31 se controla basándose en la recomendación de control de reducción de potencia seleccionada.

30 La figura 8 es un diagrama de flujo que ilustra un procedimiento para controlar el funcionamiento de la turbina eólica de acuerdo con una realización. La etapa 81 incluye determinar un modo de fallo de un componente. Como se ha descrito anteriormente en una realización, los datos de los sensores dispuestos en o cerca del componente se obtienen y se analizan para determinar si hay alguna anomalía. Si la hay, los datos se analizan para determinar el tipo de modo de fallo que puede producirse en el componente, tal como fisuras en el multiplicador. Esta etapa 81 puede determinarse por el analizador de modo de fallo 41 en la unidad CBO 33.

35 La etapa 82 incluye estimar una vida útil remanente del componente en las condiciones operativas actuales. La vida útil remanente del componente puede determinarse basándose en datos obtenidos empíricamente como se ha descrito anteriormente, especialmente con referencia a la figura 5. Esta etapa 82 puede determinarse por el calculador de vida útil 42 en la unidad CBO 33. La etapa 83 incluye determinar uno o más esquemas de control para controlar el funcionamiento de la turbina eólica. Por ejemplo, los esquemas de control pueden ser reducir la producción de potencia de la turbina eólica para extender la vida útil remanente del componente has un próximo evento de servicio programado. Esta etapa 83 puede determinarse por la unidad de control 43 en la unidad CBO 33.

40 La etapa 84 incluye determinar un rendimiento de producción de potencia para los esquemas de control determinados en la etapa 83. Como se ha descrito anteriormente en una realización, el rendimiento de producción de potencia puede determinarse basándose en al menos la tarifa energética, el coste del equipo y/o la previsión de los datos del viento. Esta etapa 84 puede determinarse por el evaluador de coste 44 en la unidad CBO 33. La etapa 85 incluye seleccionar un esquema de control para controlar el funcionamiento de la turbina eólica. El esquema de control se selecciona basándose en el rendimiento de producción de potencia determinado en la etapa 84. Como se ha descrito anteriormente, el esquema de control puede seleccionarse automáticamente por la unidad CBO 33, o manualmente por un usuario basándose en consideraciones adicionales. Si el esquema de control se selecciona por un usuario, puede generarse un informe, por ejemplo, por el generador de informes 45 en la unidad CBO 33, para proporcionar al usuario un resumen de los esquemas de control y su rendimiento de producción de potencia correspondiente.

45 Cuando se selecciona un esquema de control, el funcionamiento de la turbina eólica se controla basándose en el esquema de control seleccionado. Por ejemplo, la producción de potencia de la turbina eólica puede reducirse (reducción de potencia) al 80 % de su potencia de salida actual hasta el siguiente evento de servicio programado.

50 Cabe señalar que las realizaciones que se han descrito anteriormente son posibles ejemplos de implementaciones que se exponen simplemente para un claro entendimiento de los principios de la invención. El experto en la técnica

puede hacer muchas variaciones y modificaciones en la realización o realizaciones de la invención que se han descrito anteriormente, y dichas variaciones y modificantes pretenden incluirse en el presente documento dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento para controlar el funcionamiento de una turbina eólica (31), comprendiendo el procedimiento:
- determinar al menos un modo de fallo relacionado con al menos un componente (10, 12) de la turbina eólica (31);
  - estimar una vida útil remanente del componente (10, 12) en relación al modo de fallo determinado en las condiciones operativas actuales;
  - determinar uno o más esquemas de control para controlar el funcionamiento de la turbina eólica (31) para extender la vida útil remanente del componente (10, 12) hasta una vida útil remanente deseada que comprende una cualquiera de la hora de un próximo evento de servicio programado y la hora a la que puede programarse un evento de servicio adicional;
- 5
- 10 - determinar un rendimiento de producción de potencia para cada uno de los uno o más esquemas de control determinados; y
- seleccionar uno de los esquemas de control seleccionados para controlar el funcionamiento de la turbina eólica (31) que maximice el rendimiento de producción de potencia,
- en el que determinar al menos un modo de fallo comprende:
- obtener datos relacionados con el estado de funcionamiento del componente (10, 12) de la turbina eólica (31);
  - analizar los datos obtenidos para determinar si hay alguna anomalía;
  - activar una señal de alerta cuando se determina que hay una anomalía en los datos obtenidos; y
  - determinar el al menos un modo de fallo basándose en los datos analizados.
- 15
- 20 2. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el análisis de los datos obtenidos para determinar si hay alguna anomalía comprende determinar si hay alguna desviación sustancial de los datos obtenidos de un conjunto de datos predeterminado.
3. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que estimar una vida útil remanente del componente (10, 12) se realiza basándose en los datos obtenidos empíricamente.
- 25 4. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, en el que los datos obtenidos empíricamente comprenden datos relacionados con la velocidad del viento y/o la dirección del viento en la ubicación de la turbina eólica (31).
5. El procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 3 o 4, en el que los datos obtenidos empíricamente comprenden datos relacionados con la vida útil de los componentes (10, 12) idénticos o similares al componente (10, 12).
- 30 6. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el uno o más esquemas de control para controlar la turbina eólica (31) comprende reducir la producción de potencia de la turbina eólica (31) para extender la vida útil remanente del componente (10, 12) hasta un próximo mantenimiento programado de la turbina eólica (31).
- 35 7. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el rendimiento de producción de potencia para cada uno del uno o más esquemas de control se determina basándose en al menos un factor seleccionado entre un grupo que consiste en la tarifa energética, el coste del equipo y la previsión de los datos del viento.
- 40 8. El procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende adicionalmente generar un informe de recomendación que comprende el uno o más esquemas de control y el rendimiento de producción de potencia respectivo, en el que un esquema de control determinado se selecciona basándose en el informe de recomendación.
9. Un sistema (30) para controlar el funcionamiento de una turbina eólica (31), comprendiendo el sistema (30):
- un analizador de modo de fallo (41) adaptado para determinar un modo de fallo para al menos un componente de la turbina eólica (31);
  - un calculador de vida útil (42) adaptado para determinar una vida útil remanente del componente (10, 12) en relación al modo de fallo determinado en las condiciones operativas actuales;
  - una unidad de control (43) adaptada para determinar uno o más esquemas de control para controlar el funcionamiento de la turbina eólica (31) para extender la vida útil remanente del componente (10, 12) hasta una vida
- 45

útil remanente deseada que comprende una cualquiera de la hora de un próximo evento de servicio programado y la hora a la que puede programarse un evento de servicio adicional; y

- un evaluador de coste (44) adaptado para determinar un rendimiento de producción de potencia para cada uno del uno o más esquemas de control,

5 en el que el analizador de modo de fallo (41) determina el modo de fallo basándose en los datos relacionados con el estado de funcionamiento del componente (10, 12) de la turbina eólica (31)

- obteniendo datos relacionados con el estado de funcionamiento del componente (10, 12) de la turbina eólica (31);

- analizando los datos obtenidos para determinar si hay alguna anomalía;

- activando una señal de alerta cuando se determina que hay una anomalía en los datos obtenidos; y

10 - determinando el al menos un modo de fallo basándose en los datos analizados.

10. El sistema (30) de acuerdo con la reivindicación 9, en el que el calculador de vida útil (42) determina la vida útil remanente del componente (10, 12) basándose en datos obtenidos empíricamente.

15 11. El sistema (30) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9-10, en el que el uno o más esquemas de control comprende una recomendación para reducir la producción de potencia de la turbina eólica (31) para extender la vida útil remanente del componente (10, 12) hasta un próximo mantenimiento programado de la turbina eólica (31).

20 12. El sistema (30) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 9-11, en el que el evaluador de coste (44) determina el rendimiento de producción de potencia para el uno o más esquemas de control basándose en al menos un factor seleccionado entre un grupo que consiste en la tarifa energética, el coste del equipo y la previsión de los datos del viento, en el que el sistema (30) opcionalmente comprende adicionalmente un generador de informes (45) adaptado para generar un informe de recomendación que comprende el uno o más esquemas de control y el rendimiento de producción de potencia respectivo, para permitir que un esquema de control controle el funcionamiento de la turbina eólica (31) a seleccionar.

13. Una central energética eólica que comprende:

25 - al menos una turbina eólica (31); y

- una unidad de supervisión (33), la unidad de supervisión (33) comprende:

- un analizador de modo de fallo (41) adaptado para determinar un modo de fallo para al menos un componente (10, 12) de la turbina eólica (31);

30 - un calculador de vida útil (42) adaptado para determinar una vida útil remanente del componente (10, 12) en relación al modo de fallo determinado en las condiciones operativas actuales;

- una unidad de control (43) adaptada para determinar uno o más esquemas de control para controlar el funcionamiento de la turbina eólica (31) para extender la vida útil remanente del componente (10, 12) hasta una vida útil remanente deseada que comprende una cualquiera de la hora de un próximo evento de servicio programado y la hora a la que puede programarse un evento de servicio adicional; y

35 - un evaluador de coste (44) adaptado para determinar un rendimiento de producción de potencia para cada uno del uno o más esquemas de control,

en el que el analizador de modo de fallo (41) determina el modo de fallo basándose en los datos relacionados con el estado de funcionamiento del componente (10, 12) de la turbina eólica (31)

- obteniendo datos relacionados con el estado de funcionamiento del componente (10, 12) de la turbina eólica (31);

40 - analizando los datos obtenidos para determinar si hay alguna anomalía;

- activando una señal de alerta cuando se determina que hay una anomalía en los datos obtenidos; y

- determinando el al menos un modo de fallo basándose en los datos analizados.

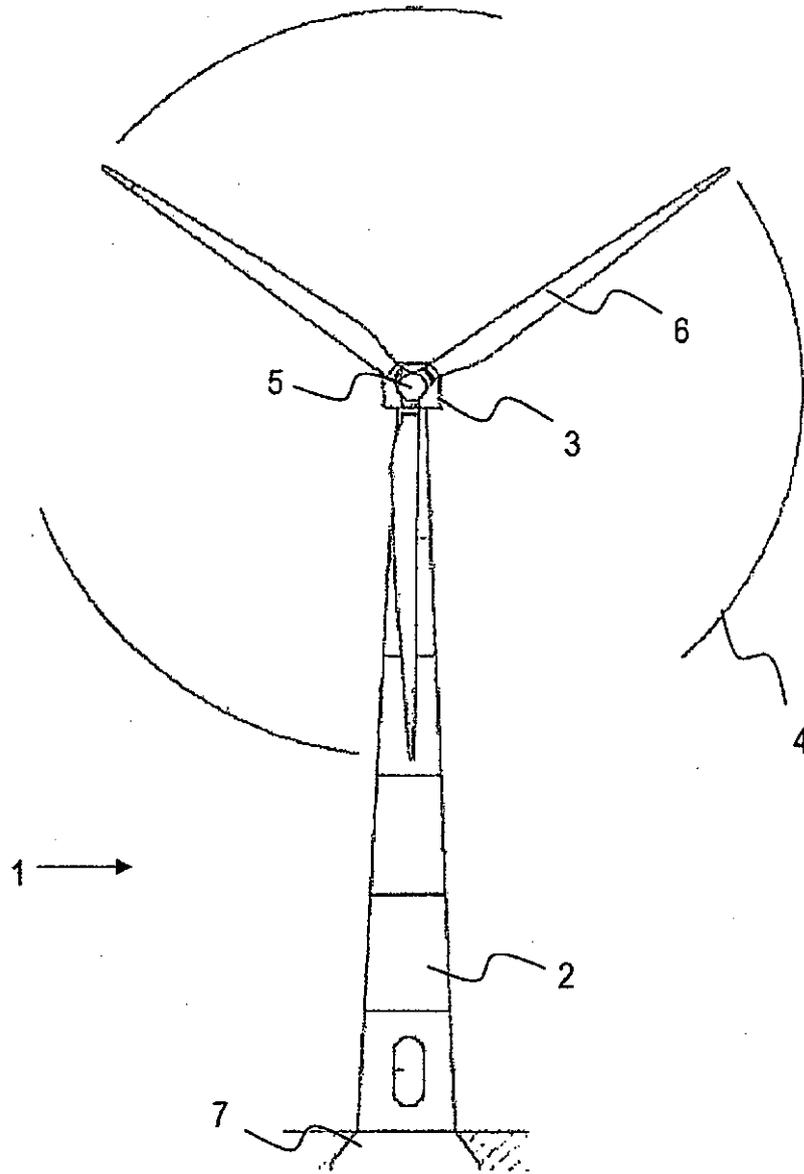


Fig. 1

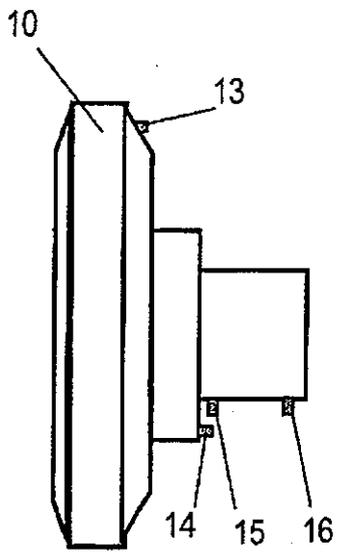


Fig. 2a

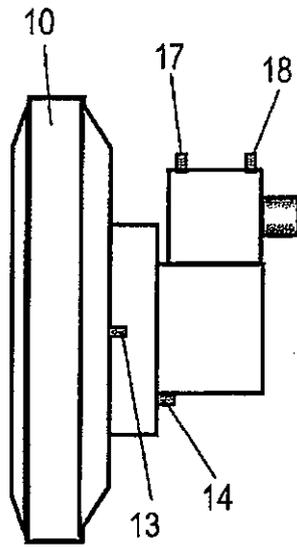


Fig. 2b

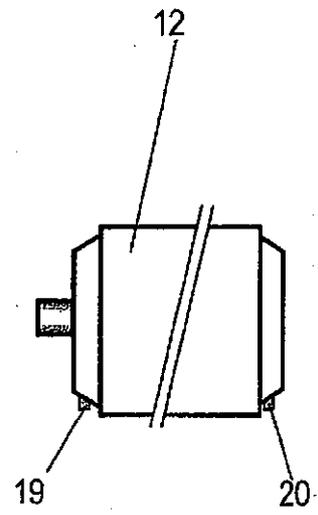


Fig. 2c

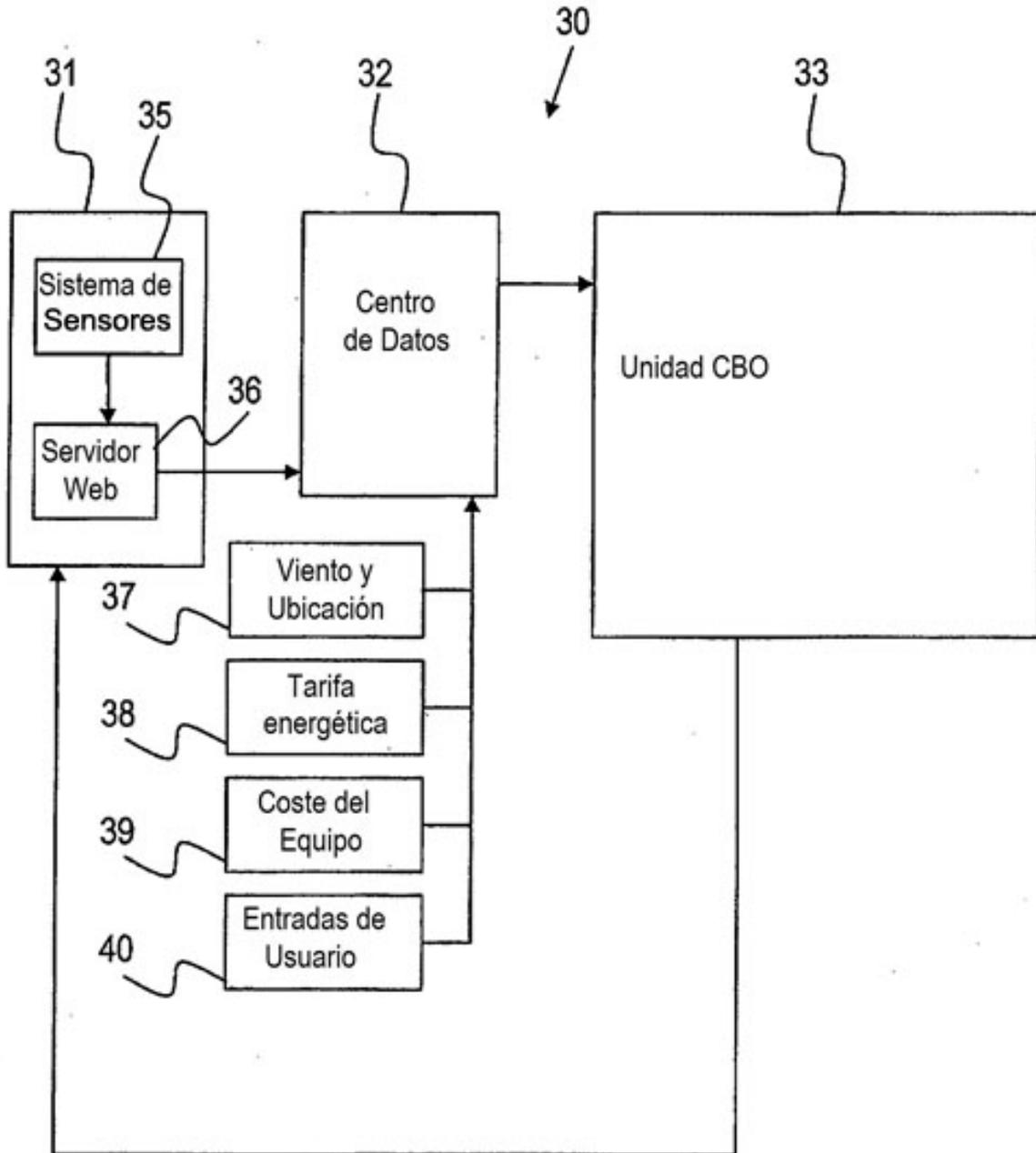


Fig. 3

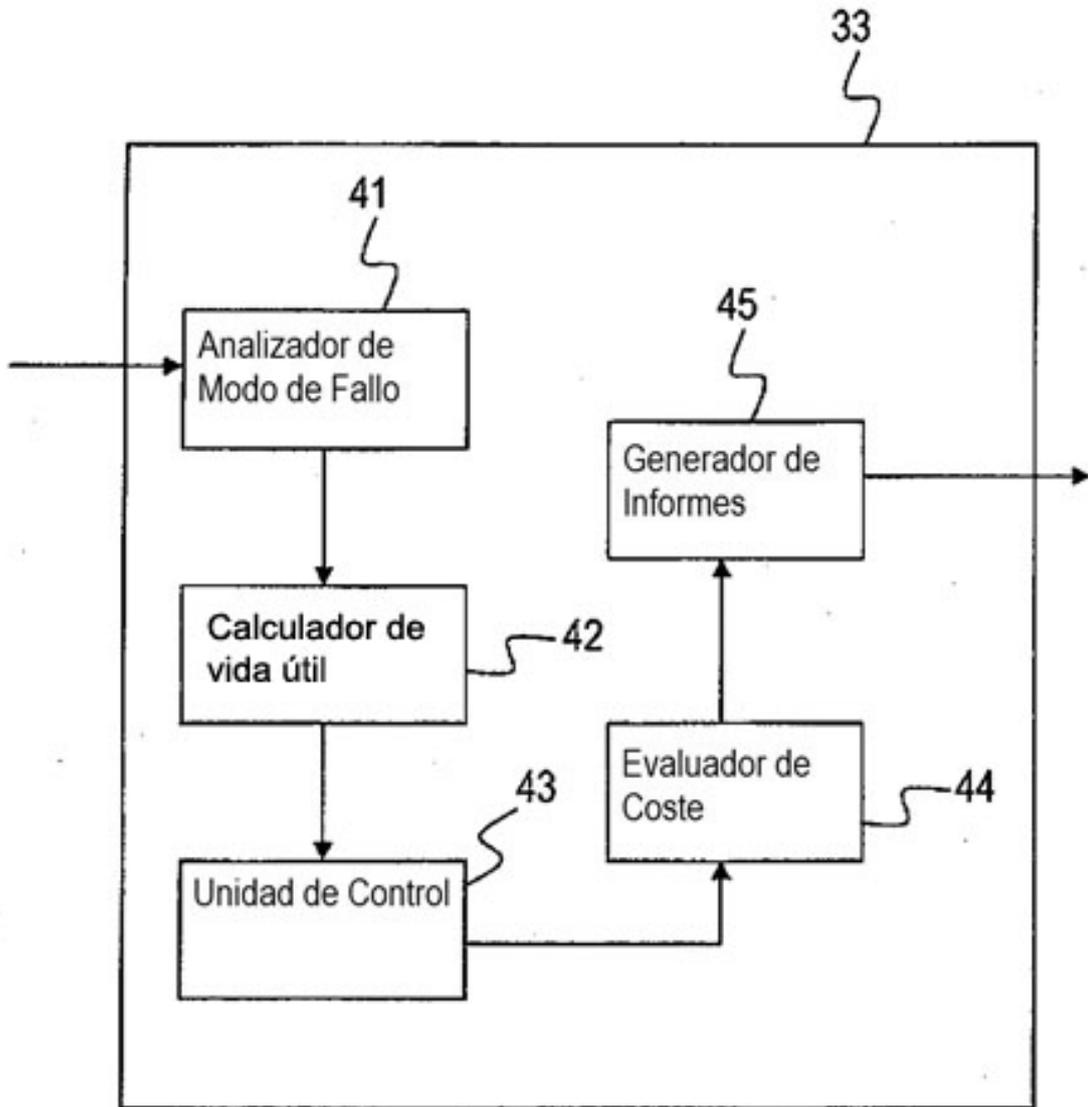


Fig. 4

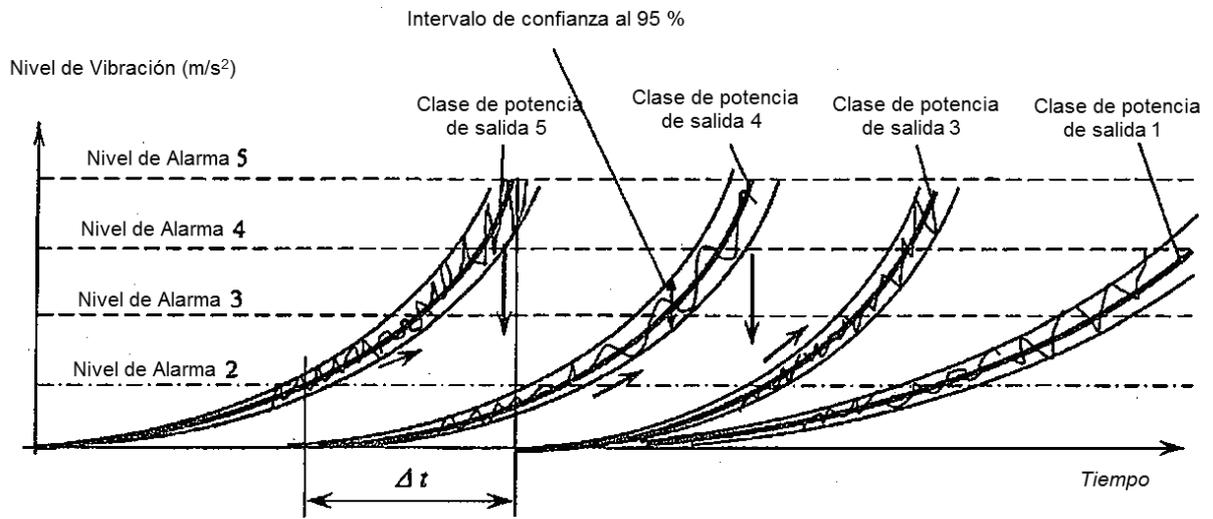


Fig. 5

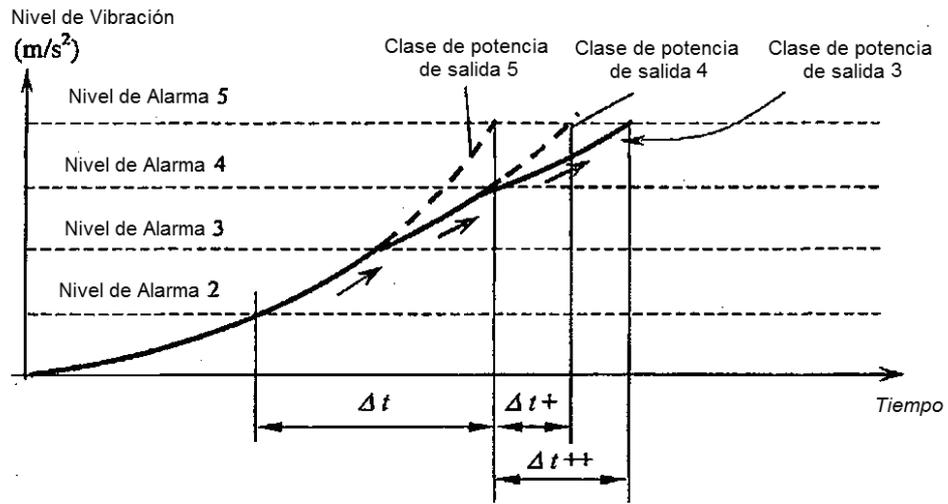


Fig. 6

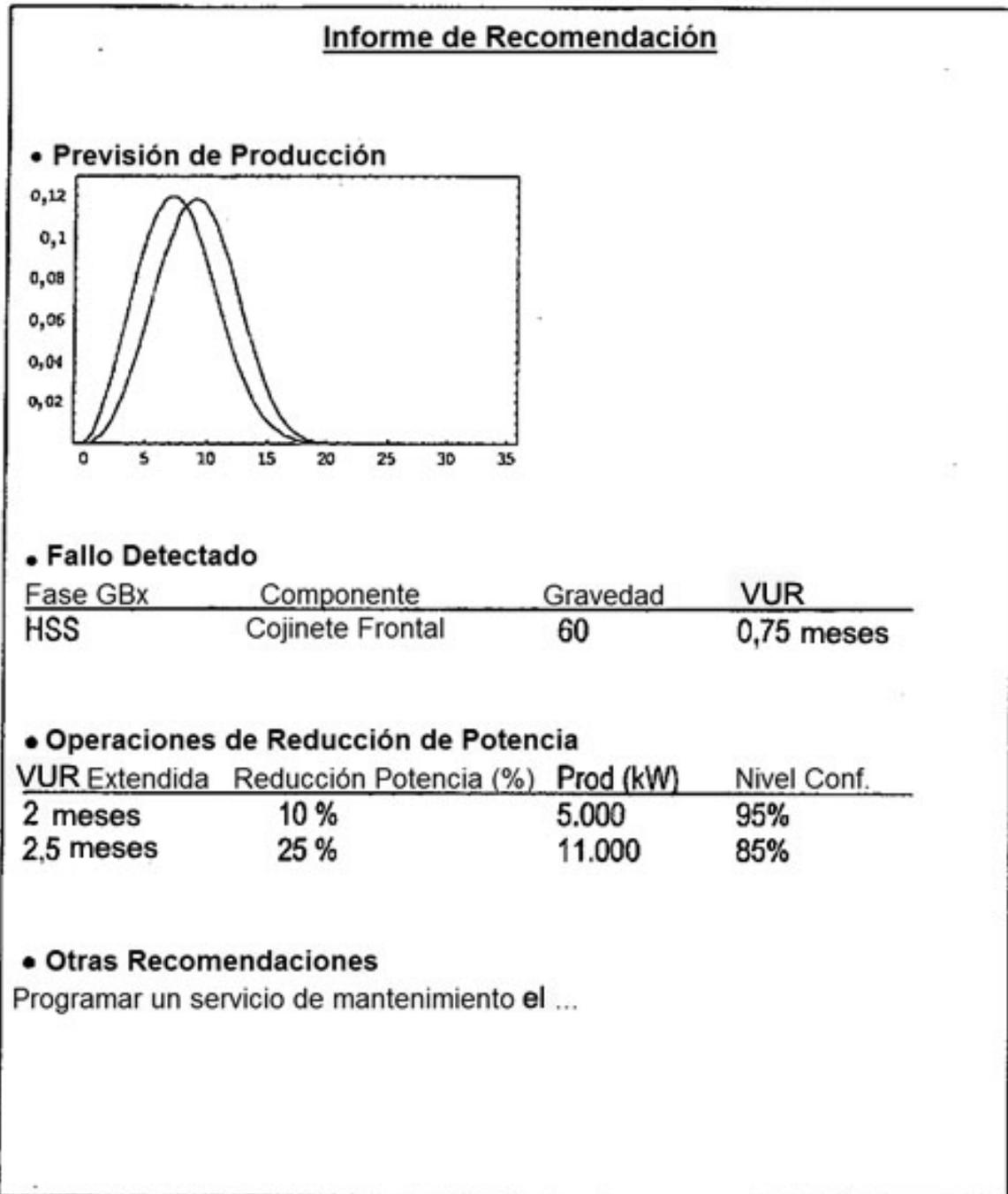


Fig. 7

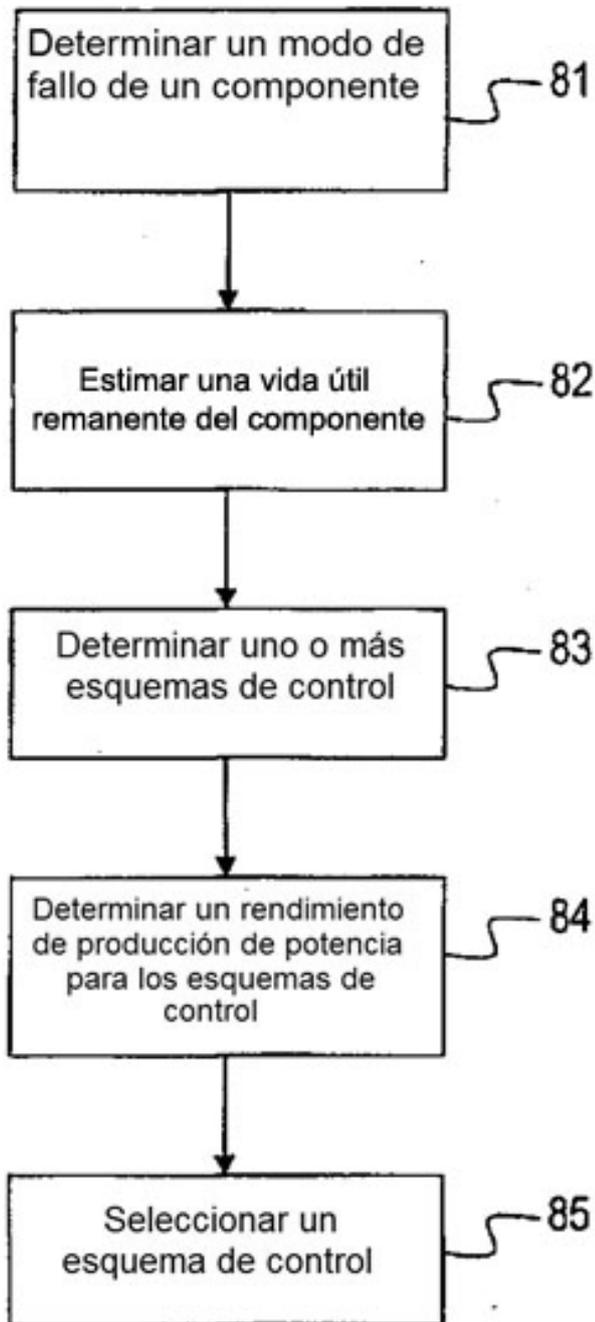


Fig. 8