

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 992 064**

51 Int. Cl.:

G01H 1/00 (2006.01)

F03D 17/00 (2006.01)

G01M 13/028 (2009.01)

F03D 15/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.08.2018 E 18188411 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.05.2024 EP 3444576**

54 Título: **Sistemas y procedimientos para detectar daños en máquinas rotatorias**

30 Prioridad:

16.08.2017 US 201715678238

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

09.12.2024

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC RENOVABLES ESPAÑA,
S.L. (100.0%)
Calle Roc Boronat 78
08005 Barcelona, ES**

72 Inventor/es:

**POTTER, JOSHUA JEFFREY y
CANARY, JEREMY CHARLES**

74 Agente/Representante:

DE ROOIJ, Mathieu Julien

ES 2 992 064 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

Sistemas y procedimientos para detectar daños en máquinas rotatorias

5 **[0001]** La presente divulgación se refiere en general a máquinas rotatorias y, más en particular, a sistemas y procedimientos para detectar daños en dichas máquinas rotatorias.

10 **[0002]** La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más respetuosas con el medioambiente disponibles actualmente, y las turbinas eólicas han obtenido una creciente atención a este respecto. Una turbina eólica moderna incluye típicamente una torre, un generador, una caja de engranajes, una góndola y una o más palas de rotor. Las palas de rotor captan energía cinética del viento usando principios de perfil alar conocidos. Las palas de rotor transmiten la energía cinética en forma de energía rotatoria para hacer girar un eje lento principal que acopla las palas de rotor a una caja de engranajes o, si no se usa una caja de engranajes, directamente al generador. Por ejemplo, el generador se puede acoplar al eje lento principal de modo que la rotación del eje acciona el generador. Por ejemplo, el generador puede incluir un eje rápido de generador acoplado de forma rotatoria al eje principal a través de la caja de engranajes. A continuación, el generador convierte la energía mecánica del rotor en energía eléctrica que se puede distribuir a una red de suministro.

20 **[0003]** Además, las turbinas eólicas modernas incluyen una pluralidad de rodamientos de alta y baja velocidad para proporcionar la rotación de los diversos componentes de las mismas. Por ejemplo, el eje lento principal incluye típicamente uno o más rodamientos principales montados en un extremo delantero y trasero del mismo para permitir que el eje lento principal rote alrededor de un eje. Además, la caja de engranajes incluye, en general, una carcasa de caja de engranajes que contiene una pluralidad de engranajes (por ejemplo, planetas, coronas dentadas y/o piñones centrales) conectados por medio de uno o más portaplanetas ("*planetary carrier*") y rodamientos, además de engranajes paralelos conectados por medio de ejes y rodamientos, para convertir la entrada de baja velocidad y alto par de torsión del eje de rotor en una salida de alta velocidad y bajo par de torsión para el generador.

30 **[0004]** La detección de componentes dañados en una turbina eólica (o cualquier máquina rotatoria) es esencial para minimizar el tiempo de inactividad no planificado de la turbina e incrementar la disponibilidad de turbina. Los algoritmos de detección actuales de daños de engranajes de caja de engranajes (específicamente, la corona dentada, el engranaje planetario y el engranaje lento de fase intermedia) no muestran sistemáticamente una tendencia en la energía de daños de engranajes con suficiente separación de engranajes en buen estado. La falta de separación en las tendencias de engranajes en buen estado con respecto a los dañados da como resultado un diagnóstico erróneo de los componentes defectuosos y una probabilidad incrementada de eventos positivos falsos para los componentes en buen estado. La detección visual de la banda lateral de engranaje defectuosa y los patrones de energía armónica ha demostrado ser exitosa en la localización de componentes dañados; sin embargo, este enfoque se basa en la inspección manual sistemática de los espectros. Dicha inspección, por naturaleza, requiere mucho tiempo y puede dar como resultado que no se detecten componentes defectuosos. Además, aunque se han utilizado con éxito procedimientos de inspección manual, dichos procedimientos no proporcionan una opción escalable y dan como resultado una eficacia de monitorización reducida. El documento US 2014/257714 A1 se refiere a un sistema para monitorizar la condición de cajas de engranajes que incluye equipo de procesamiento que está configurado para recibir datos que contienen información de un espectro de vibraciones mecánicas medidas desde una que se está monitorizando. El equipo de procesamiento está configurado para llevar a cabo acciones para formar una figura de interés: calcular un nivel de vibración total a partir del espectro de vibraciones mecánicas, donde el nivel de vibración total puede ser el valor cuadrático medio "RMS" de la vibración representada por todo el espectro; establecer la cifra de interés para que sea el nivel de vibración total; extraer, a partir del espectro de vibraciones mecánicas, picos que son desconocidos en el sentido de que no se corresponden con ninguna de las frecuencias específicas de fenómeno relacionadas con el fenómeno en cuestión; para cada pico desconocido, añadir, a la cifra de interés L, un valor que depende de la proporción de ese pico desconocido y el nivel de vibración de fondo que prevalece en el dominio de frecuencia en los alrededores de ese pico desconocido, donde el nivel de vibración de fondo se puede formar filtrando las amplitudes sobre la frecuencia con un filtro promedio de ventana deslizante. El documento WO 2017/168226 A1 se refiere a la monitorización de una máquina por un monitor acústico que adquiere, a través de un sensor acústico, señales acústicas procedentes de las proximidades de la máquina, mientras la máquina está operativa. El documento US 2002/169569 A1 se refiere a un procedimiento para analizar señales de vibración.

55 **[0005]** Al menos por los motivos mencionados anteriormente, la detección de daños de componentes de las máquinas rotatorias ha demostrado ser difícil de automatizar usando análisis de detección tradicionales y/o técnicas de tendencias. En consecuencia, serían deseables en la técnica sistemas y procedimientos mejorados para detectar daños en dichas máquinas rotatorias.

60 **[0006]** 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 se pueden aprender a través de la práctica de la invención.

65 **[0007]** En un aspecto, la presente divulgación está dirigida a un procedimiento para detectar daños en un componente de una máquina rotatoria de acuerdo con la reivindicación 1. Un procedimiento incluye recopilar, por medio de uno o más sensores, datos de vibración relacionados con el componente. El procedimiento también incluye

identificar al menos una región de baja energía dentro de los datos de vibración. El procedimiento incluye además identificar la energía de al menos una serie armónica o de bandas laterales dentro de la al menos una región indicativa de un componente dañado e identificar la energía dentro de la al menos una región excluyendo la al menos una serie armónica o de bandas laterales. Además, el procedimiento incluye determinar al menos una proporción de daños en base a al menos un valor de daños de región.

[0008] Además, el procedimiento incluye calcular un factor de daños del componente en función de, al menos, la al menos una proporción de daños. Además, el procedimiento incluye comparar el factor de daños con un umbral de daños predeterminado, en el que un factor de daños que excede el umbral de daños predeterminado es indicativo de un componente dañado.

[0009] En la invención, la etapa de determinar la(s) proporción/proporciones de daños en base a la energía de al menos una serie armónica o de bandas laterales dentro de la al menos una región indicativa del componente dañado y la energía dentro de la al menos una región excluyendo la al menos una serie armónica o de bandas laterales puede incluir determinar una amplitud promedio de la energía de al menos una serie armónica o de bandas laterales dentro de la al menos una región indicativa del componente dañado, determinar una amplitud promedio de la energía de identificación dentro de la al menos una región excluyendo la al menos una serie armónica o de bandas laterales, determinar al menos una proporción de amplitud dividiendo la amplitud promedio de la energía de al menos una serie armónica o de bandas laterales dentro de la al menos una región indicativa del componente dañado entre la amplitud promedio de la energía de identificación dentro de la al menos una región excluyendo la al menos una serie armónica o de bandas laterales, y restar una de la al menos una proporción de amplitud para obtener al menos un valor de daños de región.

[0010] En un modo de realización, el procedimiento puede incluir además amplificar la(s) proporción/proporciones de amplitud en base a un factor de sensibilidad. Por ejemplo, en un modo de realización, la etapa de amplificar la(s) proporción/proporciones de amplitud en base al factor de sensibilidad puede incluir aumentar el/los valor(es) de daños de región a una $n^{\text{ésima}}$ potencia. En otros modos de realización, el procedimiento puede incluir sumar una pluralidad de valores de daños de región y dividir la suma entre un número total de regiones de baja energía. Además, el procedimiento puede incluir identificar las regiones de baja energía en base a información cinemática.

[0011] En modos de realización adicionales, el procedimiento puede incluir además determinar una suma de la energía de la al menos una serie armónica o de bandas laterales dentro de la al menos una región indicativa del componente dañado para una pluralidad de regiones de la al menos una región. Más específicamente, en un modo de realización, la etapa de determinar la suma de la energía de la al menos una serie armónica o de bandas laterales dentro de la al menos una región indicativa del componente dañado para la pluralidad de regiones de la al menos una región puede incluir sumar una amplitud de cada una de la pluralidad de regiones, sumar las sumas de la amplitud de cada una de la pluralidad de regiones, y amplificar la suma de las sumas en base a un factor de sensibilidad.

[0012] En consecuencia, la etapa de calcular el factor de daños del componente puede incluir multiplicar la al menos una proporción de daños por la suma de la energía de la al menos una serie armónica o de bandas laterales dentro de la al menos una región indicativa del componente dañado. En otros modos de realización, el procedimiento puede incluir calcular el factor de daños para múltiples períodos de tiempo y la tendencia del factor de daños a lo largo del tiempo.

[0013] En varios modos de realización, el componente puede incluir, por ejemplo, un engranaje o un rodamiento. Además, en determinados modos de realización, la máquina rotatoria puede ser una turbina eólica.

[0014] En otro aspecto, la presente divulgación está dirigida a un sistema para detectar daños en un engranaje de una máquina rotatoria de acuerdo con la reivindicación 11.

[0015] Un sistema incluye uno o más sensores para recopilar datos de vibración relacionados con el engranaje y un controlador acoplado de forma comunicativa a los uno o más sensores. El controlador está configurado para realizar una o más operaciones, incluyendo identificar la energía de al menos una serie armónica o de bandas laterales dentro de la al menos una región indicativa de un engranaje dañado e identificar la energía dentro de la al menos una región excluyendo la al menos una serie armónica o de bandas laterales. Además, las operaciones incluyen determinar al menos una proporción de daños en base a al menos un valor de daños de región.

[0016] Además, las operaciones incluyen calcular un factor de daños del engranaje en función de, al menos, la al menos una proporción de daños. Además, el procedimiento incluye comparar el factor de daños con un umbral de daños predeterminado, en el que un factor de daños que excede el umbral de daños predeterminado es indicativo de un engranaje dañado. Se debe entender también que el sistema puede incluir además cualquiera de los rasgos característicos y/o etapas adicionales descritos en el presente documento.

[0017] Diversos rasgos característicos, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y

constituyen una parte de la presente memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la invención y, conjuntamente con la descripción, sirven para exponer los principios de la invención.

[0018] En los dibujos:

5 la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de una turbina eólica de acuerdo con un modo de realización de la presente divulgación;

10 la FIG. 2 ilustra una vista interna en perspectiva de una góndola de una turbina eólica de acuerdo con un modo de realización de la presente divulgación;

la FIG. 3 ilustra una vista en sección transversal de un modo de realización de un sistema de tren de potencia de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

15 la FIG. 4 ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de componentes adecuados que se pueden incluir en un controlador de turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

20 la FIG. 5 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento para detectar daños en un componente de una máquina rotatoria de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 6 ilustra un gráfico de un modo de realización de datos de vibración de acuerdo con la presente divulgación;

25 la FIG. 7 ilustra un gráfico de una región de baja energía de datos de vibración de un componente sin daños de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 8 ilustra un gráfico de una región de baja energía de datos de vibración de un componente con daños de acuerdo con la presente divulgación;

30 la FIG. 9 ilustra un gráfico de una región de baja energía de datos de vibración de un componente, que ilustra en particular la energía extraída de un patrón de indicación de daños de acuerdo con la presente divulgación;

la FIG. 10 ilustra un gráfico de una región de baja energía de datos de vibración de un componente, que ilustra en particular la energía restante de acuerdo con la presente divulgación; y

35 la FIG. 11 ilustra una pluralidad de gráficos que representan datos de vibración para un componente en buen estado de una máquina rotatoria, un componente dañado en fase temprana y un componente dañado en fase tardía de acuerdo con la presente divulgación.

40 **[0019]** Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la invención, de los que uno o más ejemplos se ilustran en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no de limitación de la invención. De hecho, será evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin apartarse del alcance de la invención. Por ejemplo, se pueden usar rasgos característicos ilustrados o descritos como parte de un modo de realización con otro modo de realización para proporcionar todavía otro modo de realización. Por tanto, se pretende que la presente invención cubra dichas modificaciones y variaciones como dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

50 **[0020]** En general, la presente divulgación está dirigida a sistemas y procedimientos para detectar componentes dañados en máquinas rotatorias, tales como una turbina eólica, que utilizan datos de espectro de vibración para mostrar una tendencia de la energía de los patrones asociados con daños de componentes. Más específicamente, los algoritmos de la presente divulgación generan un valor escalar, o factor de daños, que puede mostrar una tendencia a lo largo del tiempo para indicar la propagación de daños en los componentes de las máquinas rotatorias. Por ejemplo, para las cajas de engranajes de turbinas eólicas, la presente divulgación detecta daños de los engranajes de fase planetarios (por ejemplo, la corona dentada, los planetas y el sol), así como las fases de engranaje paralelo de mayor velocidad disminuyendo la salida de componentes en buen estado mientras se amplifica la salida de componentes dañados para permitir la detección de umbral automatizada lo más temprano posible con el mínimo de eventos de falsos positivos. Dicha separación entre los componentes dañados y en buen estado permite establecer umbrales más bajos para alertar a los técnicos sobre componentes dañados. Por tanto, la presente divulgación incrementa la disponibilidad de máquina reduciendo el tiempo de inactividad no planificado, prolongando la vida útil de componentes, reduciendo los potenciales daños secundarios e incrementando la eficacia de monitorización para una detección exacta de daños de componentes.

65 **[0021]** En referencia ahora a los dibujos, la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una turbina eólica 10 de acuerdo con la presente divulgación. Aunque la presente divulgación se describe con referencia a turbinas eólicas, se debe entender que los sistemas y procedimientos de la presente divulgación pueden ser aplicables a cualquier máquina rotatoria (por ejemplo, turbinas de gas, turbinas de vapor o cualquier otro sistema de turbina para la generación de potencia). Como se muestra, la turbina eólica 10 incluye una torre 12 que se extiende

desde una superficie de soporte 14, una góndola 16 montada en la torre 12 y un rotor 18 acoplado a la góndola 16. El rotor 18 incluye un buje rotatorio 20 y al menos una pala de rotor 22 acoplada a y que se extiende hacia afuera desde el buje 20. Por ejemplo, en el modo de realización ilustrado, el rotor 18 incluye tres palas de rotor 22. Sin embargo, en un modo de realización alternativo, el rotor 18 puede incluir más o menos de tres palas de rotor 22. Cada pala de rotor 22 se puede espaciar alrededor del buje 20 para facilitar la rotación del rotor 18 para posibilitar que la energía cinética se transfiera, a partir del viento, en energía mecánica utilizable y, posteriormente, en energía eléctrica. Por ejemplo, el buje 20 se puede acoplar de forma rotatoria a un sistema de tren de potencia 28 (FIG. 2) situado dentro de la góndola 16 para permitir que se produzca energía eléctrica.

[0022] En referencia ahora a la FIG. 2, se ilustra una vista interna simplificada de un modo de realización de la góndola 16 de la turbina eólica 10 que aloja el sistema de tren de potencia 28 en su interior. Como se muestra, el sistema de tren de potencia 28 incluye, al menos, un generador 24 dispuesto dentro de la góndola 16. En general, el generador 24 se puede acoplar al rotor 18 de la turbina eólica 10 para generar potencia eléctrica a partir de la energía de rotación generada por el rotor 18. Por ejemplo, el rotor 18 puede incluir un eje principal 30 acoplado al buje 20 para su rotación con el mismo. El generador 24 se puede acoplar a continuación al eje principal 30 de modo que la rotación del eje principal 30 accione el generador 24. Por ejemplo, en el modo de realización ilustrado, el generador 24 incluye un eje de generador 29 acoplado de forma rotatoria al eje principal 30 a través de una caja de engranajes 34. Sin embargo, en otros modos de realización, se debe apreciar que el eje de generador 29 se puede acoplar de forma rotatoria directamente al eje principal 30. De forma alternativa, el generador 24 se puede acoplar de forma rotatoria directamente al eje principal 30. Se debe apreciar que el eje principal 30 se puede soportar en general dentro de la góndola 16 por una trama de soporte o bancada 36 situada encima de la torre de turbina eólica 12.

[0023] Como se muestra en la FIGS. 1 y 2, la turbina eólica 10 también puede incluir un sistema de control de turbina o un controlador de turbina 26 dentro de la góndola 16. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 2, el controlador de turbina 26 se dispone dentro de un armario de control 38 montado en una parte de la góndola 16. Sin embargo, se debe apreciar que el controlador de turbina 26 se puede disponer en cualquier localización sobre o en la turbina eólica 10, en cualquier localización en la superficie de soporte 14 o en general en cualquier otra localización. El controlador de turbina 26 se puede configurar en general para controlar los diversos modos de funcionamiento (por ejemplo, secuencias de arranque o de parada) y/o componentes de la turbina eólica 10.

[0024] Cada pala de rotor 22 también puede incluir un mecanismo de ajuste de *pitch* 40 configurado para rotar cada pala de rotor 22 alrededor de su eje de *pitch* 42 por medio de un rodamiento de *pitch* 44. De forma similar, la turbina eólica 10 puede incluir uno o más mecanismos de accionamiento de orientación 46 acoplados de forma comunicativa al controlador 26, estando configurado cada mecanismo(s) de accionamiento de orientación 46 para cambiar el ángulo de la góndola 16 en relación con el viento (por ejemplo, encajando en un rodamiento de orientación 48 de la turbina eólica 10 para rotar la góndola 16 alrededor de un eje de orientación 50).

[0025] Además, como se muestra en la FIG. 2, la turbina eólica 10 puede incluir además uno o más sensores 52, 54 para monitorizar diversas vibraciones de la misma. Por ejemplo, como se muestra, los sensores ilustrados 52, 54 pueden ser sensores de caja de engranajes configurados para monitorizar las vibraciones de la caja de engranajes 34 y/o cualquier otro componente del sistema de tren de potencia 28 para detectar daños de uno o más de los componentes descritos en el presente documento. Como tales, los sensores 52, 54 pueden ser cualquier sensor adecuado que puede detectar dichas señales de vibración. Además, se debe entender que la turbina eólica 10 puede incluir cualquier número adecuado de sensores para detectar dichas vibraciones.

[0026] En referencia ahora a la FIG. 3, se ilustra una vista detallada en sección transversal del sistema de tren de potencia 28 de la turbina eólica 10 para representar además los diversos componentes del mismo. Como se menciona, el sistema de tren de potencia 28 incluye, al menos, el generador 24 y la caja de engranajes 34. Además, como se muestra, el generador 24 incluye un rotor de generador 25 y un estátor de generador 27. Como es conocido en general en la técnica, el rotor de generador 25 es un componente en general móvil del generador 24, mientras que el estátor 27 es un componente en general estacionario del generador 24. Además, en determinados modos de realización, el generador 24 puede ser un generador de inducción de doble alimentación (DFIG). Sin embargo, se debe entender que el generador 24 de acuerdo con la presente divulgación no se limita a generadores DFIG, y puede incluir cualquier generador adecuado para alimentar la turbina eólica 10 de la presente divulgación. En general, las palas de rotor 16 hacen rotar el rotor de generador 25 del generador 24. Como tal, el rotor de generador 25 se puede conectar de forma operativa al buje 18. En consecuencia, el funcionamiento de las palas de rotor 16 hace rotar el buje de rotor 18, que hace rotar el rotor de generador 25 y, por tanto, hace funcionar el generador 24.

[0027] Además, como se muestra, el eje lento principal 30 está configurado para proporcionar una velocidad de rotación de entrada a la caja de engranajes 34. Por ejemplo, el buje 18 se puede montar en el eje principal 30. Como se muestra, el eje principal 30 puede incluir una brida principal 41 configurada para encajar en una brida complementaria (no mostrado) en el buje 18 para montar el buje 18 en el eje principal 30. Por tanto, durante el funcionamiento de la turbina eólica 10, la velocidad de rotación de las palas de rotor 16 se puede transmitir directamente a través del buje 18 al eje principal 30 como velocidad de rotación de entrada.

[0028] El eje principal 30 se puede extender a través de y soportar por al menos una carcasa de soporte 35 o una pluralidad de carcasas de soporte 35. Por ejemplo, se puede proporcionar una carcasa delantera 37 y, en algunos modos de realización, una carcasa trasera (no mostrado) para soportar el eje principal 30. Además, las carcasas 35 pueden incluir uno o más rodamientos 39 configurados para interactuar con el eje principal 30. Por ejemplo, como se muestra, la carcasa delantera 37 puede incluir un rodamiento de ajuste 39 (también denominado en el presente documento rodamiento de eje principal 39) configurado en la misma, mientras que la carcasa trasera puede incluir un rodamiento flotante (no mostrado) configurado en la misma. Se debe entender que la presente divulgación no se limita a rodamientos de ajuste y rodamientos flotantes situados en carcasas como se describe anteriormente y las figuras se proporcionan solo con propósitos ilustrativos. Además, como se muestra, el/los rodamiento(s) de eje principal 39 puede(n) incluir una pista interior 31, una pista exterior 32 y una pluralidad de elementos de rodillo 33 configurados entre ellas.

[0029] Todavía en referencia a la FIG. 3, la caja de engranajes 34 como se describe en el presente documento puede ser una caja de engranajes planetaria 34. Como tal, la caja de engranajes 34 se puede configurar para convertir la velocidad de rotación de entrada del eje principal 30 en una velocidad de rotación de salida. En un modo de realización, la velocidad de rotación de salida puede ser más rápida que la velocidad de rotación de entrada. De forma alternativa, sin embargo, la velocidad de rotación de salida puede ser más lenta que la velocidad de rotación de entrada. En un modo de realización, la caja de engranajes 34 puede ser una caja de engranajes de una sola fase. Por tanto, la velocidad de rotación de entrada se puede convertir en la velocidad de rotación de salida a través de una sola fase de diversos engranajes complementarios, como se analiza a continuación. De forma alternativa, sin embargo, la caja de engranajes 34 puede ser una caja de engranajes de múltiples fases, y la velocidad de rotación de entrada se puede convertir en la velocidad de rotación de salida a través de múltiples fases de diversos engranajes complementarios.

[0030] Más específicamente, el modo de realización ilustrado de la caja de engranajes planetaria 34 incluye una corona dentada estacionaria 45 y una pluralidad de engranajes rotatorios. Como tal, la corona dentada estacionaria 45 soporta los diversos engranajes rotatorios configurados en la misma. Además, la corona dentada estacionaria 45 incluye diversos ejes alrededor de los que rotan los engranajes rotatorios. En determinados modos de realización, la caja de engranajes planetaria 34 también puede incluir una corona dentada estacionaria 45, uno o más planetas ("planetary gears") rotatorios 47 y un sol ("sun gear") rotatorio 49. Por ejemplo, en un modo de realización, la caja de engranajes planetaria 34 puede incluir cuatro planetas 47. Sin embargo, se debe entender que más o menos de cuatro planetas 47 están dentro del alcance y espíritu de la presente divulgación. Además, cada uno de los engranajes rotatorios de la caja de engranajes planetaria 34 incluye una pluralidad de dientes de engranaje (no mostrado). Como tal, los dientes pueden engranar entre sí de modo que los diversos engranajes 45, 47, 49 encajen entre sí.

[0031] En varios modos de realización, el portaplanetas 43 puede accionar la caja de engranajes planetaria 34. Por tanto, el portaplanetas ("carrier") 43 y el eje principal 30 se pueden acoplar de modo que la velocidad de rotación de entrada del eje principal 30 se proporcione al portaplanetas 43. Por ejemplo, un disco de caja de engranajes puede conectar el portaplanetas 43 y el eje principal 30, o el portaplanetas 43 y el eje principal 30 se pueden conectar de otro modo de forma adecuada. De forma alternativa, sin embargo, la corona dentada 45 o el sol 49 pueden accionar la caja de engranajes planetaria 34.

[0032] Todavía en referencia a la FIG. 3 y como se menciona, el sistema de tren de potencia 28 de la presente divulgación puede incluir además un eje de salida o generador 29. Más específicamente, como se muestra, el eje de generador 29 se puede acoplar con la caja de engranajes 34 y configurar para rotar a la velocidad de rotación de salida. En modos de realización particulares, por ejemplo, el eje de generador 29 puede ser el sol 49. Por tanto, el sol 49 puede encajar en los planetas 47 y se puede extender además desde la caja de engranajes planetaria 34 hacia el generador 24. En otros modos de realización, el eje de generador 29 se puede acoplar al sol 49 u otro engranaje de salida de la caja de engranajes planetaria 34 u otra caja de engranajes adecuada de modo que el eje de generador 29 pueda rotar a la velocidad de rotación de salida.

[0033] Además, diversos rodamientos 39, 70, 72 pueden rodear los diversos componentes giratorios del sistema de tren de potencia 28 para facilitar la rotación relativamente eficaz de dichos componentes rotatorios. Por ejemplo, como se muestra, una pluralidad de rodamientos de portaplanetas 70 pueden rodear el portaplanetas planetario 43 y una pluralidad de rodamientos planetarios 72 pueden rodear los planetas 47 y/o rodamientos adicionales que soportan el sol o el eje de sol (no mostrado). Dichos rodamientos 70, 72 pueden ser rodamientos de rodillo e incluyen diversos elementos de rodillo dispuestos en conjuntos en general anulares, o pueden ser rodamientos lisos o cualquier otro rodamiento adecuado. Además, los rodamientos 39, 70, 72 como se describe en el presente documento también se pueden denominar rodamientos lentos.

[0034] En referencia ahora a la FIG. 4, se ilustra un diagrama de bloques de un modo de realización de componentes adecuados que se pueden incluir dentro del controlador 26 (o un controlador separado) de acuerdo con la presente divulgación. Como se muestra, el controlador 26 puede incluir uno o más procesadores 56 y dispositivo(s) de memoria asociado(s) 58 configurados para realizar una variedad de funciones implementadas por ordenador (por ejemplo, realizar los procedimientos, etapas, cálculos y similares y almacenar datos pertinentes como se divulga en el presente documento). Adicionalmente, el controlador 26 también puede incluir un módulo de comunicaciones 60 para facilitar las comunicaciones entre el controlador 26 y los diversos componentes de la turbina eólica 10. Además, el módulo de

comunicaciones 60 puede incluir una interfaz de sensor 62 (por ejemplo, uno o más convertidores analógico-digital) para permitir que las señales transmitidas desde los sensores de vibración 52, 54 se conviertan en señales que se puedan entender y procesar por los procesadores 56. Se debe apreciar que los sensores 52, 54 se pueden acoplar de forma comunicativa al módulo de comunicaciones 64 usando cualquier medio adecuado. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 4, los sensores 52, 54 están acoplados a la interfaz de sensor 62 por medio de una conexión por cable. Sin embargo, en otros modos de realización, los sensores 52, 54 se pueden acoplar a la interfaz de sensor 62 por medio de una conexión inalámbrica, tal como usando cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica.

[0035] En modos de realización adicionales, los sensores de vibración 52, 54 también se pueden acoplar a un controlador separado que puede estar localizado o no en el armario de control 38. Como tal, los sensores 52, 54 pueden proporcionar información relacionada al controlador de turbina 26 y/o al controlador separado. También se debe apreciar que, como se usa en el presente documento, el término "monitorizar" y las variaciones del mismo indican que los diversos sensores de la turbina eólica 10 se pueden configurar para proporcionar una medición directa de los parámetros que se monitorizan y/o una medición indirecta de dichos parámetros. Por tanto, se pueden usar los sensores descritos en el presente documento, por ejemplo, para generar señales relacionadas con el parámetro que se monitoriza que, a continuación, se puede utilizar por el controlador 26 para determinar la condición.

[0036] Como se usa en el presente documento, el término "procesador" no solo se refiere 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 de lógica programable (PLC), un circuito integrado específico de la aplicación y otros circuitos programables. Adicionalmente, el/los dispositivo(s) de memoria 58 puede(n) comprender en general (un) elemento(s) de memoria, incluyendo, pero sin limitarse 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 solo lectura en disco compacto (CD-ROM), un disco magnetoóptico (MOD), un disco versátil digital (DVD) y/u otros elementos de memoria adecuados. Dicho(s) dispositivo(s) de memoria 58 se puede(n) configurar, en general, para almacenar instrucciones legibles por ordenador adecuadas que, cuando se implementan por el/los procesador(es) 56, configuran el controlador 26 para que realice diversas funciones incluyendo, pero sin limitarse a, transmitir señales de control adecuadas para implementar (una) acción/acciones correctiva(s) en respuesta a una señal de distancia que excede un umbral predeterminado como se describe en el presente documento, así como diversas otras funciones implementadas por ordenador adecuadas.

[0037] En referencia ahora a la FIG. 5, el controlador de turbina 26 está configurado además para implementar un algoritmo para detectar daños de uno o más de los componentes de la turbina eólica 10. Por ejemplo, en un modo de realización, el controlador 26 está configurado para implementar un procedimiento 100 para detectar daños en uno o más de los engranajes 45, 47, 49 de la turbina eólica 10. Por tanto, como se muestra, el sistema y procedimientos de la presente divulgación están diseñados para disminuir la salida de componentes en buen estado mientras se amplifica la salida de componentes dañados para permitir la detección de umbral automatizada lo más temprana posible con eventos positivos falsos mínimos.

[0038] Como se muestra en 102, el procedimiento 100 incluye recopilar datos de vibración 74 relacionados con el componente por medio de los sensores 52, 54. Más específicamente, como se muestra en la FIG. 6, el controlador de turbina 26 está configurado para recopilar datos de vibración 74 relacionados con los engranajes 45, 47, 49 por medio de los sensores 52, 54. Además, como se muestra, los datos de vibración 74 pueden incluir regiones de alta energía 76 y regiones de baja energía 78. Por tanto, en referencia de nuevo a la FIG. 5, como se muestra en 104, el procedimiento 100 incluye identificar al menos una región de baja energía 78 dentro de los datos de vibración 74. Como se muestra en 106, el procedimiento 100 incluye identificar la energía de al menos una serie armónica o de bandas laterales dentro de al menos una de las regiones de baja energía 76 de los datos de vibración 74 indicativa de un componente dañado, incluyendo, pero sin limitarse a, engranajes (tales como engranajes 45, 47, 49), ejes (tales como eje principal 30) y/o rodamientos 39, 70, 72. Además, como se muestra en 108, el procedimiento 100 incluye identificar la energía dentro de los datos de vibración 74 excluyendo la al menos una serie armónica o de bandas laterales. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 6, se identifican dos regiones de baja energía 78, es decir, las regiones a y b. En modos de realización adicionales, se debe entender que se puede identificar cualquier número de regiones, incluyendo más de dos y menos de dos regiones. Además, como se muestra, el gráfico superior ilustra un componente en buen estado, mientras que el gráfico inferior ilustra un gráfico dañado. Más específicamente, como se muestra en la FIG. 7, se ilustra una región de baja energía 78 que ilustra datos de vibración 74 de un componente en buen estado. Por el contrario, como se muestra en la FIG. 8, se ilustra una región de baja energía 78 que ilustra datos de vibración 74 de un componente dañado (es decir, que contiene una serie armónica o de bandas laterales también denominada en el presente documento patrón de indicación de daños 84). Más específicamente, la FIG. 9 ilustra la energía extraída 86 del patrón de indicación de daños 84 de la región de baja energía 78 y la FIG. 10 ilustra la región de baja energía 78 excluyendo la energía extraída 86 del patrón de indicación de daños 84 como se indica por el carácter de referencia 88.

[0039] Además, las regiones de baja energía 78 se pueden identificar usando información cinemática. Por tanto, para extraer la energía deseada de los componentes dañados, el controlador 26 está configurado para utilizar la información cinemática para evitar el contenido de energía de los componentes que funcionan normalmente (es decir,

que no están dañados). Dichas fuentes de vibración son típicamente inherentes a todas las cajas de engranajes de este diseño y se retiran del cálculo de factor de diseño para permitir la separación de los componentes en buen estado y dañados. La información cinemática como se describe en el presente documento puede incluir cualquiera de los siguientes: el número de dientes de engranaje de uno o más engranajes de la caja de engranajes 34, una velocidad de rotación, el número de planetas de un estado planetario de la caja de engranajes 34, un diámetro de *pitch* del rodamiento 39, 70, 72, un elemento de rodillo o diámetro de bola del rodamiento 39, 70, 72, un ángulo de contacto del rodamiento 39, 70, 72 o combinaciones de los mismos.

[0040] Además, el controlador 26 se puede configurar para almacenar los datos de vibración 74 en el/los dispositivo(s) de memoria 58. Una vez que los datos de vibración 74 se recopilan y opcionalmente se almacenan, como se muestra en 110, el controlador 26 está configurado para determinar un factor de daños en base a la presencia de una serie de bandas laterales ("*sideband series*") o armónica indicativa de un componente defectuoso, por ejemplo, el patrón de indicación de daños 84, dentro de la(s) región/regiones de baja energía 78 en comparación con la energía restante 88 dentro de la(s) región/regiones excluyendo la serie de bandas laterales o armónica. En la invención, como se muestra en la FIG. 6, para determinar el factor de daño, el controlador 26 determina en primer lugar una amplitud promedio de la energía de al menos una serie armónica o de bandas laterales dentro de los datos de vibración 74 indicativa del engranaje dañado y una amplitud promedio de la energía excluyendo el patrón de indicación de daños 84.

[0041] Así, como se muestra en la ecuación (1), el controlador 26, a continuación, puede determinar al menos una proporción de amplitud dividiendo la amplitud promedio de la(s) región/regiones del patrón de indicación de daños 84 entre la amplitud promedio de la energía excluyendo el patrón de indicación de daños 84.

$$\text{Proporción de amplitud}_a = \frac{f_{\text{promedio, caída, a}}}{f_{\text{promedio, sin caída, a}}}$$

Ecuación (1)

dónde $f_{\text{promedio, caída, a}}$ es la amplitud promedio de la región a de la energía en el patrón de indicación de daños 84, y

$f_{\text{promedio, sin caída, a}}$ es la amplitud promedio de la región a de la energía excluyendo el patrón de indicación de daños 84.

[0042] Además, como se muestra en la ecuación (2) a continuación, el controlador 26 puede restar uno de cada una de las proporciones de amplitud para obtener al menos un valor de daños de región. Además, como se muestra en la ecuación (s), el controlador puede amplificar las proporciones de amplitud en base a un factor de sensibilidad S. Por ejemplo, como se muestra, el controlador 26 puede elevar las proporciones de amplitud a una enésima potencia, tal como, por ejemplo, 2, 3, 4 y así sucesivamente.

$$\text{Valor de daños de región}_a = (\text{Proporción de amplitud} - 1)^S$$

Ecuación (2)

[0043] Además, el controlador 26 puede sumar una pluralidad de valores de daños de región y dividir la suma entre un número total de regiones de baja energía 78 para calcular la proporción de daños. En el modo de realización ilustrado de la FIG. 6, por ejemplo, existen dos regiones de baja energía 78 marcadas a y b, respectivamente.

$$\text{Proporción de daños} = \frac{\text{Valor de daños de región}_a + \text{Valor de daños de región}_b}{2}$$

Ecuación (3)

[0044] En referencia de nuevo a la FIG. 5, como se muestra en 112, el procedimiento 100 incluye además calcular un factor de daños del componente en función de, al menos, la al menos una proporción de daños. Por ejemplo, en un modo de realización, el controlador 26 puede determinar una suma de la energía del/de los patrón/patrones de indicación de daños 84 para una pluralidad de regiones a partir de los datos de vibración 74 usando la ecuación (4) a continuación. Más específicamente, como se muestra, el controlador 26 puede determinar la suma de la energía del patrón de indicación de daños 84 sumando una amplitud de cada una de la pluralidad de regiones de la energía del/de los patrón/patrones de indicación de daños 84, sumando las sumas de la amplitud de cada una de la pluralidad de regiones de la energía del/de los patrón/patrones de indicación de daños 84, y amplificar la suma de las sumas en base a un factor de sensibilidad S.

$$\text{Suma de la energía de patrón de indicación de daños} = \left(\sum_{a1}^{a2} f_{i,caida} + \sum_{b1}^{b2} f_{i,caida} \right)^5$$

Ecuación (4)

dónde $f_{i,caida}$ es la amplitud de los datos de vibración en la localización del/de los patrón/patrones de indicación de daños 84 en la región a de la energía del patrón de indicación de daños 84.

[0045] En consecuencia, el procedimiento 100 puede calcular el factor de daños del componente multiplicando la proporción de daños por la suma de la energía del/de los patrón/patrones de indicación de daños 84 usando la ecuación (5) a continuación.

$$\text{Factor de daños} = \text{Proporción de daños} * \text{Suma de energía de patrón de indicación de daños}$$

Ecuación (5)

[0046] Además, el factor de daños se puede escalar por cualquier factor adecuado para producir un valor de salida dentro de un intervalo aceptable, es decir, para amplificar además la diferencia entre componentes en buen estado y dañados.

[0047] Todavía en referencia a la FIG. 5, como se muestra en 112, una vez que se calcula el factor de daños, el procedimiento 100 incluye comparar el factor de daños con un umbral de daños predeterminado. Un factor de daños que excede el umbral de daños predeterminado es indicativo de un componente dañado. Por tanto, como se muestra en 114, si el factor de daños excede el umbral predeterminado, a continuación el controlador 26 puede implementar una acción correctiva o indicar de otro modo que el componente está dañado. Por ejemplo, en determinados modos de realización, el controlador 26 puede generar una alarma y/o enviar una señal de alarma a un operario.

[0048] En otros modos de realización, el controlador 26 también se puede configurar para calcular y almacenar continuamente el factor de daños durante múltiples períodos de tiempo. Como tal, el controlador de turbina 26 está configurado además para mostrar una tendencia del factor de daños a lo largo del tiempo. Dicha tendencia separa además los valores de factor de daños entre componentes en buen estado y dañados para permitir la detección de umbral automatizada.

[0049] Las ventajas de la presente divulgación se pueden entender además con respecto a la FIG. 11. Más específicamente, como se muestra, la primera o fila superior de datos de vibración 74 representa un componente en buen estado, la segunda fila de datos de vibración 74 representa un componente dañado tempranamente y la tercera fila de datos de vibración 74 representa un componente dañado tardíamente. El daño de componentes incrementa la energía de patrón de indicación de daños a través de todo el espectro, por lo tanto, comparar la energía de patrón de indicación de daños con la energía de patrón de indicación de que no hay daños fuera de regiones de alta energía de funcionamiento normal, proporciona una mayor diferencia entre componentes dañados y en buen estado de la máquina rotatoria. Por tanto, como se muestra, la diferencia entre la amplitud promedio de la energía de patrón de indicación de daños 80 y la energía promedio de la energía restante 82 es menor para los componentes en buen estado y se incrementa a medida que el componente se daña. Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el modo preferente, y también para posibilitar que cualquier experto en la técnica practique la invención, incluyendo fabricar y usar cualquier dispositivo o sistema y realizar cualquier procedimiento incorporado. El alcance de la invención se define por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento (100) para detectar daños en un componente de una máquina rotatoria, comprendiendo el procedimiento (100):
 - 5 recopilar (102), por medio de uno o más sensores (52, 54), datos de vibración (74) relacionados con el componente;
 - identificar (104) al menos una región de baja energía (78) dentro de los datos de vibración (74); en el que los datos de vibración comprenden al menos una región de alta energía y la al menos una región de baja energía, en el que la información cinemática se utiliza para evitar que el contenido de energía de los componentes que funcionan normalmente se asigne a la al menos una región de baja energía para extraer de este modo la energía deseada de los componentes dañados para la al menos una región de baja energía;
 - 10 identificar (106) la energía (86) de al menos una serie armónica o serie de bandas laterales dentro de la al menos una región de baja energía (78) indicativa de un componente dañado;
 - 15 identificar (108) la energía (88) dentro de la al menos una región de baja energía (78) excluyendo la energía (86) de la al menos una serie armónica o serie de bandas laterales;
 - determinar (110) al menos una proporción de daños en base a al menos un valor de daños de región;
 - calcular un factor de daños del componente en función de, al menos, la al menos una proporción de daños;
 - 20 y
 - comparar (112) el factor de daños con un umbral de daños predeterminado, en el que un factor de daños que excede el umbral de daños predeterminado es indicativo del componente dañado;
 - en el que determinar al menos una proporción de daños en base al al menos un valor de daños de región comprende además:
 - 25 determinar una amplitud promedio (80) de la energía (86) de al menos una serie armónica o de bandas laterales dentro de la al menos una región de baja energía (78) indicativa del componente dañado;
 - determinar una amplitud promedio (82) de la energía (88) dentro de la al menos una región de baja energía (78) excluyendo la al menos una serie armónica o serie de bandas laterales;
 - 30 determinar al menos una proporción de amplitud dividiendo la amplitud promedio (80) de la energía (86) de al menos una serie armónica o de bandas laterales dentro de la al menos una región de baja energía (78) indicativa del componente dañado entre la amplitud promedio (82) de la energía de identificación (88) dentro de la al menos una región de baja energía (78) excluyendo la al menos una serie armónica o serie de bandas laterales; y
 - 35 restar uno de la al menos una proporción de amplitud para obtener el al menos un valor de daños de región.
2. El procedimiento (100) de la reivindicación 1, que comprende además amplificar la al menos una proporción de amplitud en base a un factor de sensibilidad.
- 40 3. El procedimiento (100) de la reivindicación 2, en el que amplificar la al menos una proporción de amplitud en base al factor de sensibilidad comprende además elevar la al menos una proporción de amplitud a un $n^{\text{ésima}}$ potencia.
- 45 4. El procedimiento (100) de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende además:
 - sumar una pluralidad de valores de daños de región; y
 - dividir la suma entre un número total de regiones de baja energía (78).
- 50 5. El procedimiento (100) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además determinar una suma de la energía (86) de la al menos una serie armónica o serie de bandas laterales dentro de la al menos una región de baja energía (78) indicativa del componente dañado para una pluralidad de regiones (78) de los datos de vibración (74).
- 55 6. El procedimiento (100) de la reivindicación 5, en el que determinar la suma de la energía (86) de la al menos una serie armónica o serie de bandas laterales dentro de la al menos una región de baja energía (78) indicativa del componente dañado para la pluralidad de regiones (78) de la al menos una región de baja energía (78) comprende además:
 - 60 sumar una amplitud de cada una de la pluralidad de regiones (78);
 - sumar las sumas de la amplitud de cada una de la pluralidad de regiones (78); y
 - amplificar la suma de las sumas en base a un factor de sensibilidad.
- 65 7. El procedimiento (100) de la reivindicación 5 o la reivindicación 6, en el que calcular el factor de daños del componente comprende además:

multiplicar la al menos una proporción de daños por la suma de la energía (86) de la al menos una serie armónica o serie de bandas laterales dentro de la al menos una región de baja energía (78) indicativa del componente dañado para la pluralidad de regiones (78) de la al menos una región de baja energía (78).

- 5 8. El procedimiento (100) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende además calcular el factor de daños para múltiples períodos de tiempo y mostrar una tendencia del factor de daños a lo largo del tiempo.
- 10 9. El procedimiento (100) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el componente comprende al menos uno de un engranaje (45, 47, 49) o un rodamiento (39, 70, 72).
10. El procedimiento (100) de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la máquina rotatoria comprende una turbina eólica (10).
- 15 11. Un sistema para detectar daños en un engranaje (45, 47, 49) de una máquina rotatoria, comprendiendo el sistema:
- 20 uno o más sensores (52, 54) para recopilar datos de vibración (74) relacionados con el engranaje; un controlador (26) acoplado de forma comunicativa a los uno o más sensores (52, 54), el controlador (26) configurado para realizar una o más operaciones, comprendiendo las una o más operaciones:
- 25 identificar al menos una región de baja energía (78) dentro de los datos de vibración; en el que los datos de vibración comprenden al menos una región de alta energía y la al menos una región de baja energía, en el que la información cinemática se utiliza para evitar que el contenido de energía de los componentes que funcionan normalmente se asigne a la al menos una región de baja energía para extraer de este modo la energía deseada de los componentes dañados para la al menos una región de baja energía; identificar la energía (86) de al menos una serie armónica o serie de bandas laterales dentro de la al menos una región de baja energía (78) indicativa de un engranaje dañado (45, 47, 49);
- 30 identificar la energía (88) dentro de la al menos una región de baja energía (78) excluyendo la al menos una serie armónica o serie de bandas laterales; determinar al menos una proporción de daños en base a al menos un valor de daños de región; calcular un factor de daños del engranaje (45, 47, 49) en función de, al menos, la al menos una proporción de daños; y
- 35 comparar el factor de daños con un umbral de daños predeterminado, en el que un factor de daños que excede el umbral de daños predeterminado es indicativo del engranaje dañado (45, 47, 49); en el que determinar la al menos una proporción de daños en base al al menos un valor de daños de región comprende además:
- 40 determinar una amplitud promedio (80) de la energía (86) de al menos una serie armónica o de bandas laterales dentro de la al menos una región de baja energía (78) indicativa del engranaje dañado;
- 45 determinar una amplitud promedio (82) de la energía de identificación (88) dentro de la al menos una región de baja energía (78) excluyendo la al menos una serie armónica o de bandas laterales; determinar al menos una proporción de amplitud dividiendo la amplitud promedio (80) de la energía (86) de al menos una serie armónica o de bandas laterales dentro de la al menos una región de baja energía (78) indicativa del engranaje dañado (45, 47, 49) entre la amplitud promedio (82) de la energía (88) dentro de la al menos una región de baja energía (78) excluyendo la al menos una serie armónica o de bandas laterales;
- 50 restar uno de la al menos una proporción de amplitud para obtener al menos un valor de daños de región.
12. El sistema de la reivindicación 11, en el que determinar la al menos una proporción de daños en base al al menos un valor de daños de región comprende además:
- 55 amplificar la al menos una proporción de amplitud en base a un factor de sensibilidad.
13. El sistema de la reivindicación 11, en el que las una o más operaciones comprenden además:
- 60 sumar una pluralidad de valores de daños de región; y dividir la suma entre un número total de regiones de baja energía (78).

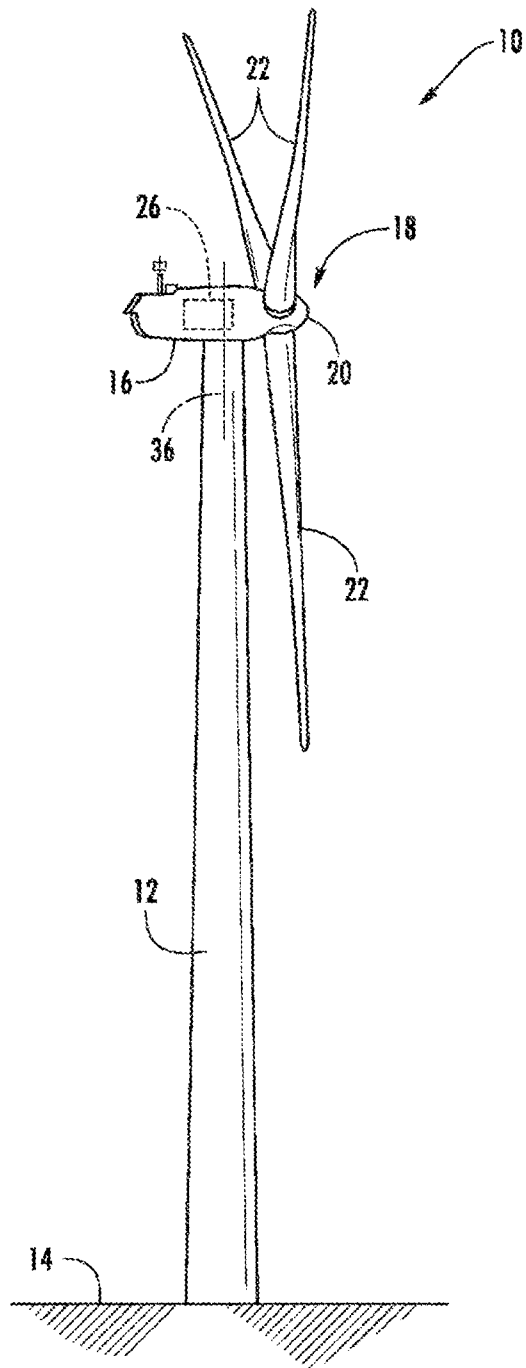


FIG. 1

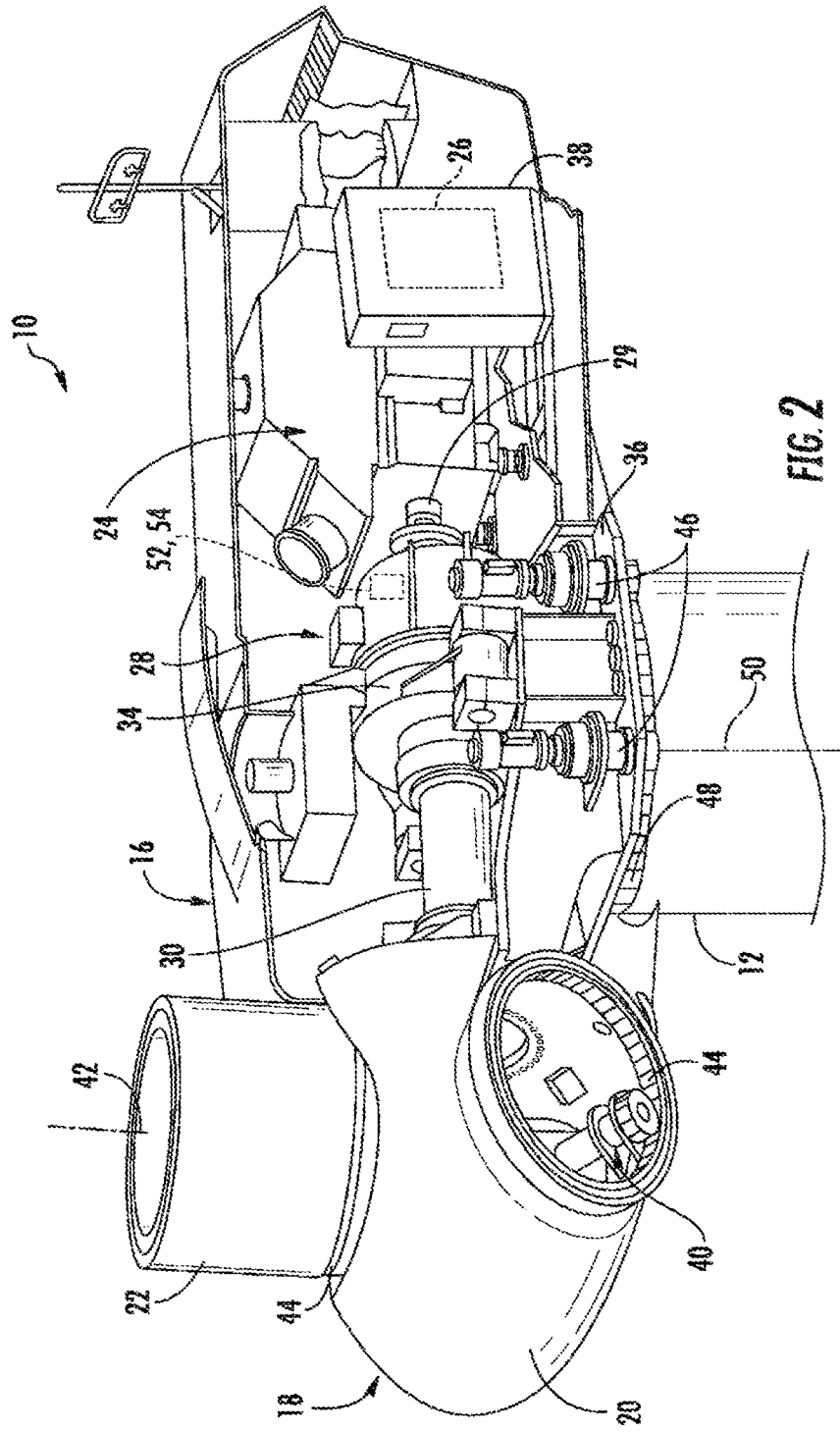


FIG. 2

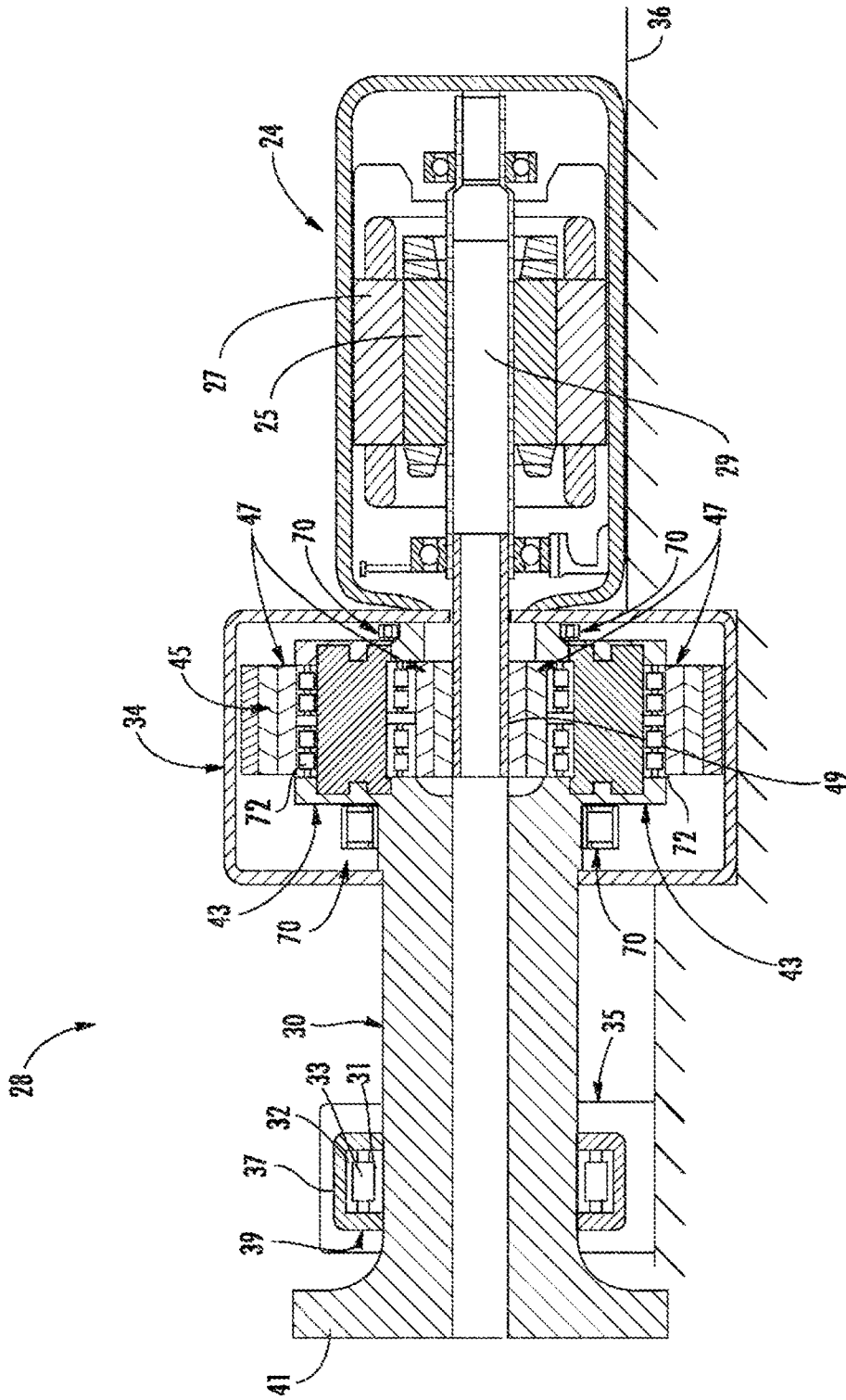


FIG. 3

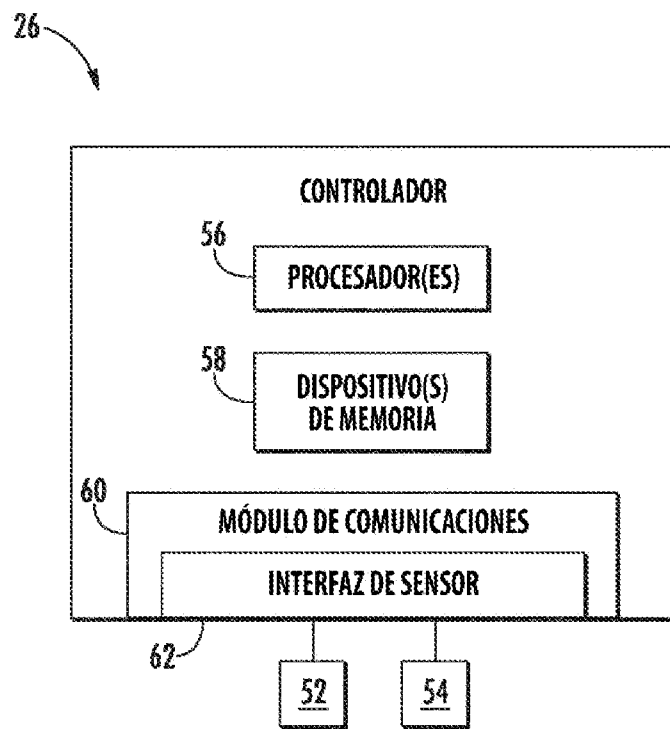


FIG. 4

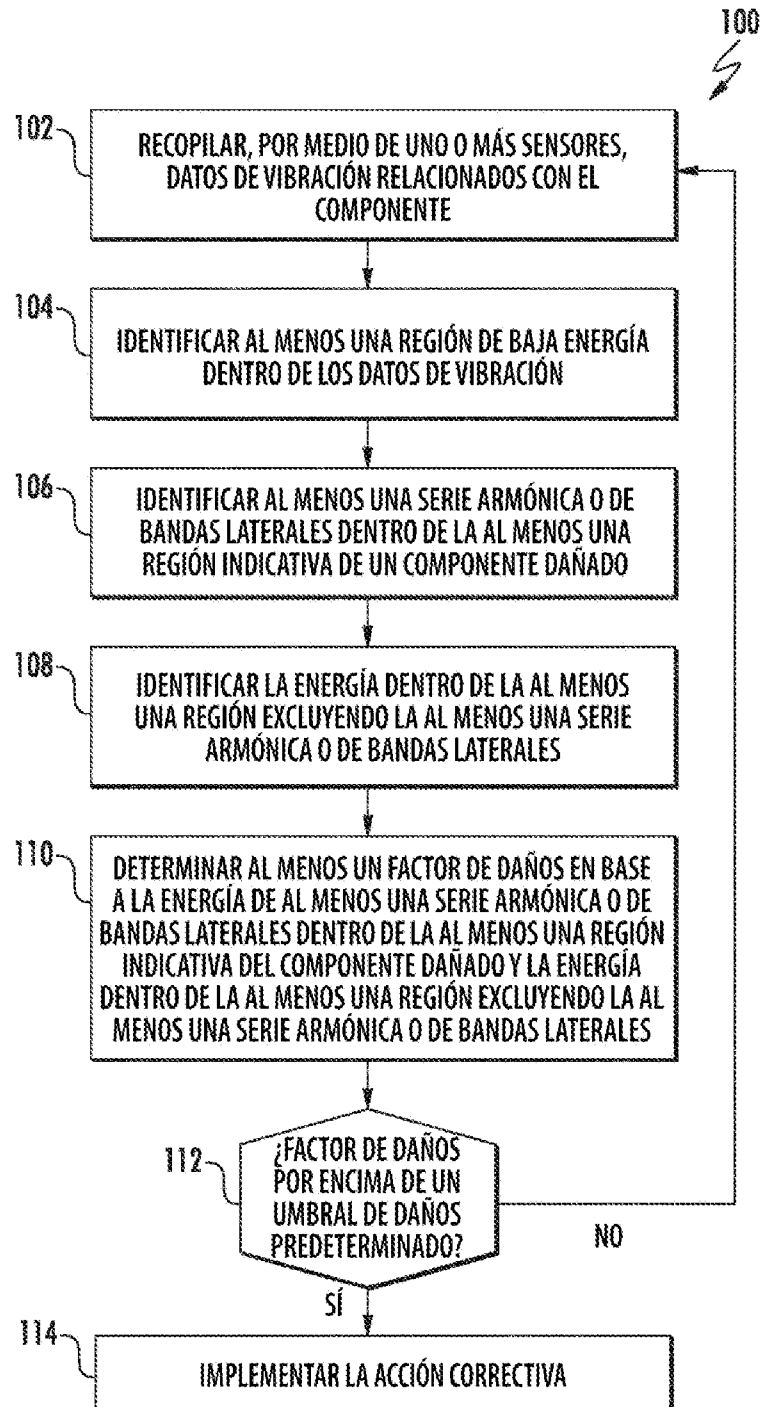


FIG. 5

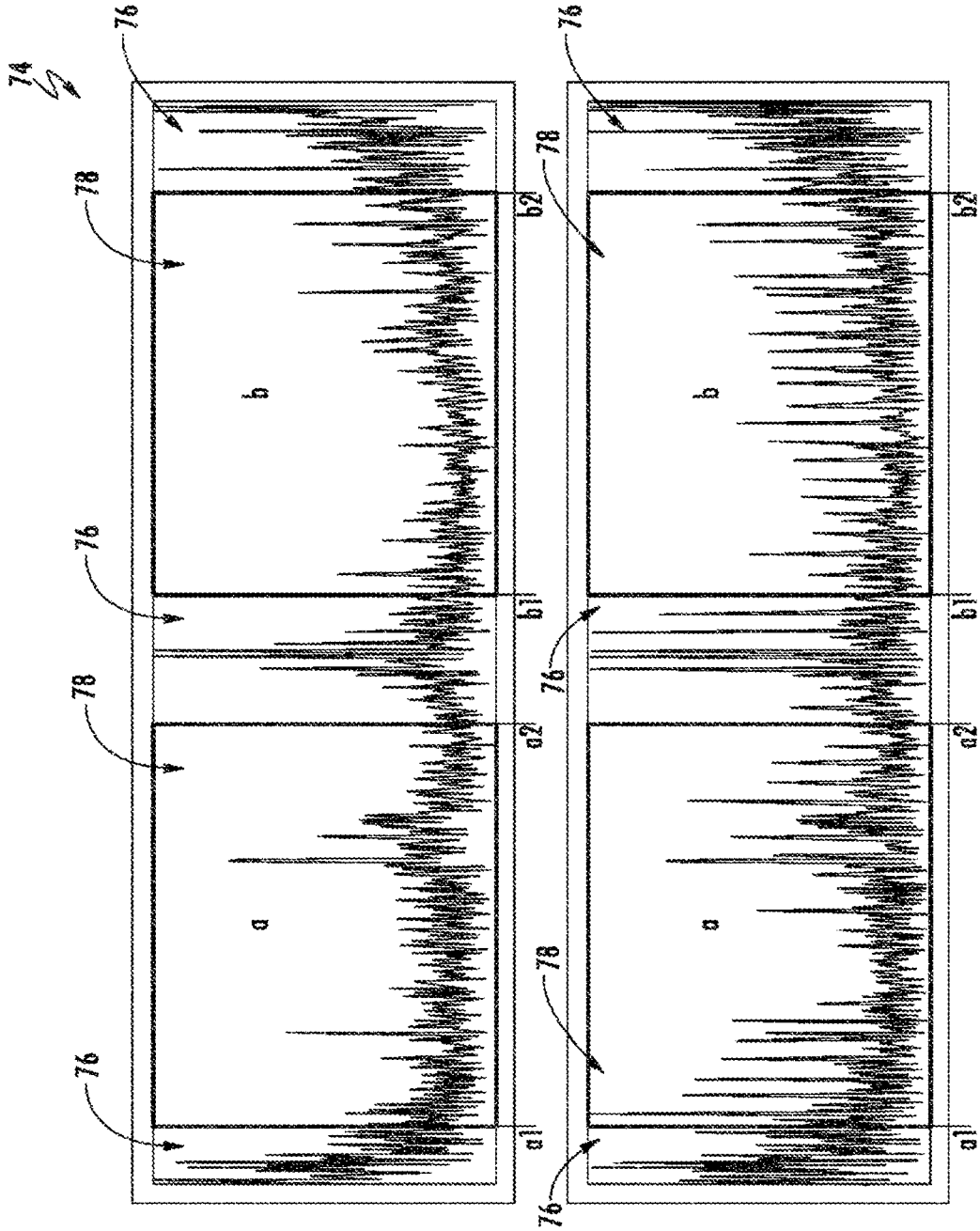


FIG. 6

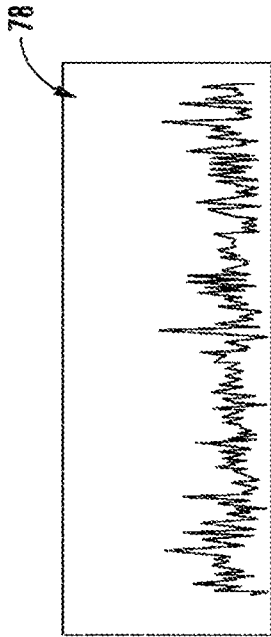


FIG. 7

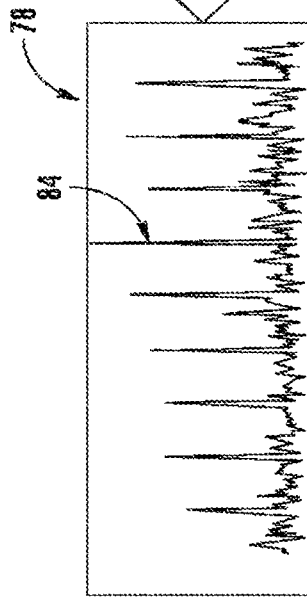


FIG. 8

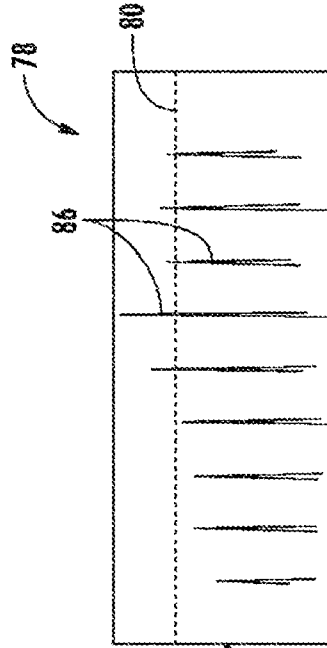


FIG. 9

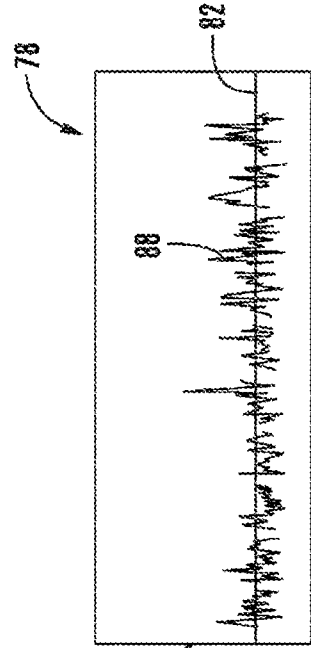


FIG. 10

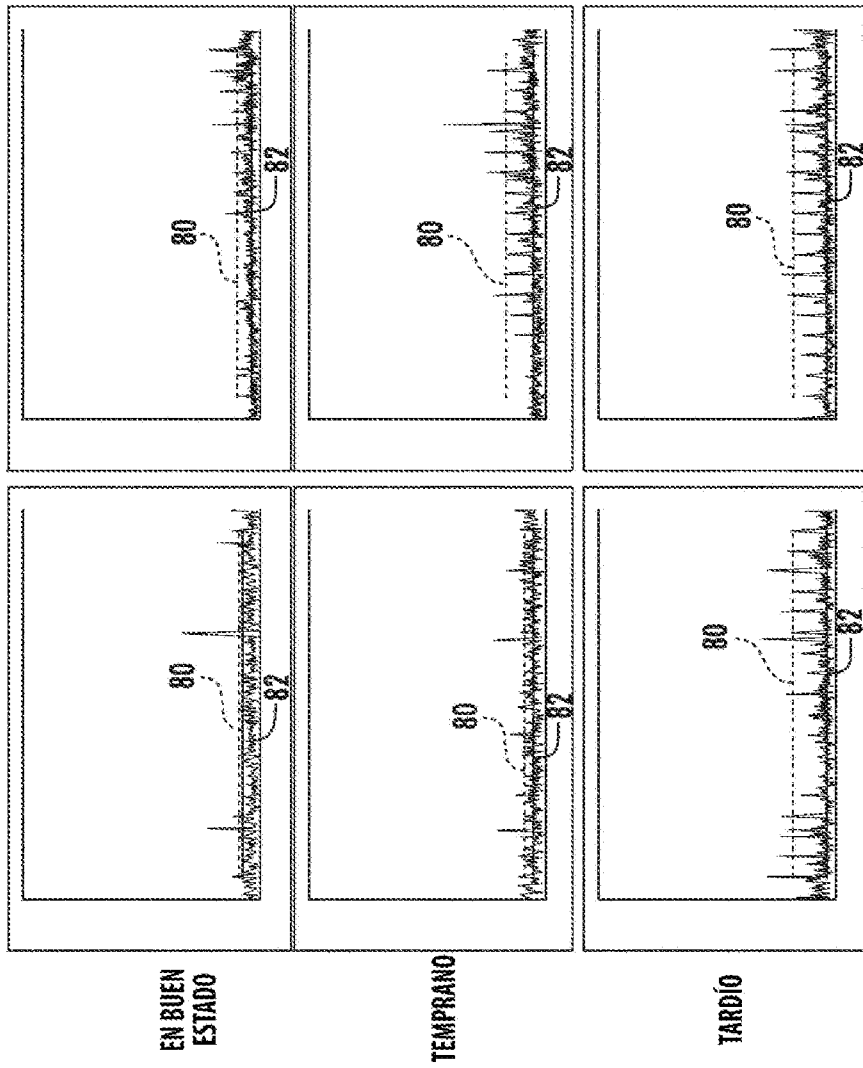


FIG. 11