

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 809 172**

51 Int. Cl.:

**G05B 23/02** (2006.01)

**F03D 80/40** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.08.2008 E 08161872 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.05.2020 EP 2026160**

54 Título: **Monitorización de eventos a través de combinación de señales**

30 Prioridad:

**10.08.2007 US 836976**

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

**03.03.2021**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**NIES, JACOB**

74 Agente/Representante:

**CONTRERAS PÉREZ, Yahel**

**ES 2 809 172 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**

Monitorización de eventos a través de combinación de señales

5 La presente invención se refiere a formación de hielo en turbinas eólicas. Más en concreto, la invención se refiere a monitorización de eventos o monitorización de condiciones para turbinas eólicas y a una unidad de monitorización de eventos. En concreto, la invención se refiere a procedimientos para monitorización de eventos para una turbina eólica, una unidad de monitorización de eventos y un producto de programa informático para monitorización de eventos.

10 En el pasado, las turbinas eólicas han experimentado una demanda creciente. Por lo tanto, cada vez más turbinas eólicas son también planificadas e instaladas en ubicaciones con condiciones más duras. Por ejemplo, nuevas ubicaciones para instalar turbinas eólicas podrían tener una mayor probabilidad de formación de hielo durante el año. Además, la producción de energía aumenta continuamente y por lo tanto, por ejemplo, los diámetros de las palas de rotor también aumentan de tamaño. En consecuencia, se pueden producir eventos tales como formación de hielo en las palas de rotor, acumulación de suciedad en las palas de rotor, erosión de las palas de rotor o de otras partes de la turbina eólica, aflojamiento de conexiones y/o grietas dentro de una pala de rotor. Normalmente, dichos eventos se han detectado a menudo a través de mediciones directas. Se ha hecho un gran esfuerzo con el fin de permitir unos resultados de mediciones directas más fiables para detectar eventos específicos que se puedan producir durante la operación de una turbina eólica. La detección de eventos como la formación de hielo, acumulación de suciedad u otras disfunciones es importante para iniciar contramedidas adecuadas. Por ejemplo, se podría requerir una regulación para apagar la turbina eólica en caso de que se produzca un desprendimiento de hielo.

25 Además, eventos como la formación de hielo, acumulación de suciedad en las palas de rotor, grietas en las palas de rotor o gran tensión en componentes de la turbina eólica pueden reducir la producción de energía en caso de que no se apliquen contramedidas o etapas de control apropiadas en la turbina eólica.

30 La detección de la condición de una turbina eólica con mediciones directas puede no dar lugar a una precisión suficiente, ya que la propia medición podría no ser lo suficientemente precisa o porque la señal no se correlaciona suficientemente con el fenómeno a detectar. El documento EP1748185 describe un sistema de detección de formación de hielo para una turbina eólica.

35 En vista de lo anterior, es deseable tener una mejor monitorización de eventos de una turbina eólica. De acuerdo con una primera forma de realización de la presente invención, se proporciona un procedimiento para monitorización de eventos de una turbina eólica. El procedimiento incluye medir un primer patrón de señal que representa una característica seleccionada de entre un grupo de características, consistiendo el grupo de características en: una característica mecánica de una turbina eólica, ruido emitido de una turbina eólica, ruido emitido de una parte de una turbina eólica; producción de energía de una turbina eólica, conductividad en superficie de partes de una turbina eólica, datos de operación de una turbina eólica, temperatura de partes de una turbina eólica, temperatura exterior, velocidad del viento, dirección del viento y humedad del aire exterior u otras condiciones meteorológicas; medir al menos un segundo patrón de señal que representa una característica diferente seleccionada de entre el grupo de características; analizar el primer y segundo patrones de señal o una combinación del primer y segundo patrones de señal analizados con un procedimiento de análisis, en el que se generan datos analizados; y evaluar los datos analizados, en el que la evaluación proporciona un resultado indicativo de un evento.

50 Según otra forma de realización, se proporciona un procedimiento para monitorización de eventos para una turbina eólica. El procedimiento de monitorización de eventos para una turbina eólica incluye: medir un primer patrón de señal que representa una característica seleccionada de entre un grupo de características, consistiendo el grupo de características en: una frecuencia natural de una parte de una turbina eólica, ruido emitido de una turbina eólica, ruido emitido de una parte de una turbina eólica; producción de energía de una turbina eólica, tensión o estrés de una parte de una turbina eólica, oscilación de carga de una parte de una turbina eólica, posición relativa de partes de una turbina eólica, conductividad en superficie de partes de una turbina eólica, datos de operación de una turbina eólica, temperatura de partes de una turbina eólica, temperatura exterior, velocidad del viento, dirección del viento y humedad del aire exterior u otras condiciones meteorológicas; medir al menos un segundo patrón de señal que representa una característica diferente seleccionada de entre el grupo de características; analizar el primer y segundo patrones de señal o una combinación del primer y segundo patrones de señal analizados con un procedimiento de análisis, en el que se generan datos analizados; y evaluar los datos analizados, en el que la evaluación proporciona un resultado indicativo de un evento.

65 Según otra forma de realización, se proporciona un procedimiento para monitorización de eventos para una turbina eólica. El procedimiento de monitorización de eventos para una turbina eólica incluye: medir un primer patrón de señal que representa una característica de un viento; medir al menos un segundo patrón de señal que representa una característica de una turbina eólica; analizar el primer y segundo patrones de señal o una combinación del primer y segundo patrones de señal analizados, en el que se generan datos

analizados, con al menos un procedimiento de análisis de entre el grupo que consiste en: clasificación o ponderación de señales individuales del patrón de señal, análisis de Fourier, análisis de tendencia, mapeo del patrón de señal con curvas con al menos dos parámetros, análisis con redes neuronales u otros procedimientos de autoaprendizaje. La clasificación o ponderación se puede realizar mediante estabilidad de las señales de medición en un dominio de tiempo, espacio o frecuencia. El procedimiento incluye además evaluar los datos analizados, en el que la evaluación proporciona un resultado indicativo de un evento.

Según otra forma de realización más, se proporciona una unidad de monitorización de eventos para una turbina eólica. La unidad de monitorización de eventos incluye: una primera unidad de medición de señales adaptada para medir un primer patrón de señal que representa una característica seleccionada de entre un grupo de características, consistiendo el grupo de características en: una característica mecánica de una turbina eólica, ruido emitido de una turbina eólica, ruido emitido de una parte de una turbina eólica; producción de energía de una turbina eólica, conductividad en superficie de partes de una turbina eólica; datos de operación de una turbina eólica, temperatura de partes de una turbina eólica, temperatura exterior, velocidad del viento, dirección del viento y humedad del aire exterior u otras condiciones meteorológicas; una segunda unidad de medición de señales adaptada para medir al menos un segundo patrón de señal que representa una característica diferente seleccionada de entre el grupo de características; una unidad de análisis conectada para recibir el primer patrón de señal y el segundo patrón de señal y adaptada para analizar la primera y segunda señales con un procedimiento de análisis, en el que se genera un primer patrón de señal analizado y un segundo patrón de señal analizado; y una unidad de evaluación adaptada para evaluar al menos el primer y segundo patrones de señal analizados, en el que la evaluación proporciona un resultado indicativo de un evento.

Diversos aspectos, ventajas y características de la presente invención serán evidentes a partir de las reivindicaciones dependientes, la descripción y los dibujos adjuntos, en los cuales:

Las Figuras 1a y 1b muestran una turbina eólica según formas de realización que se describen en el presente documento, en las que se mide la pluralidad de señales con el fin de generar patrones de señal; y

La Figura 2 muestra una vista esquemática de procedimientos de monitorización de un evento según formas de realización que se describen en el presente documento.

A continuación se hará referencia en detalle a las diversas formas de realización de la invención, uno o más ejemplos de las cuales se ilustran en las Figuras. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, y no se entiende como una limitación de la misma. Por ejemplo, características ilustradas o descritas como parte de una forma de realización se pueden utilizar en o junto con otras formas de realización para producir otra forma de realización adicional. Se tiene por objeto que la presente invención incluya dichas modificaciones y variaciones.

De acuerdo con ciertas formas de realización que se describen en el presente documento, es posible correlacionar patrones de señal con desviaciones condicionales o con ciertos eventos de la turbina eólica que se pueden producir durante la operación de la turbina eólica. A través de una combinación de señales es posible monitorizar condiciones o eventos de la turbina eólica de manera indirecta.

Según otras formas de realización, un analizador lógico que correlaciona patrones de señal con condiciones o eventos se puede basar en una historia a largo plazo o a corto plazo de los patrones de señal de la turbina eólica.

De acuerdo con otras formas de realización, un analizador lógico puede analizar los patrones de señal en base a su estabilidad, su deriva en el tiempo, su dominio de espacio, sus dominios de frecuencia, su tendencia a largo plazo y corto plazo, o una combinación de los mismos. De este modo, según diferentes formas de realización, se pueden analizar patrones de señal individualmente o se puede analizar una combinación de patrones de señal.

Las turbinas eólicas de uso común pueden incluir elementos de detección de una pluralidad de señales tales como velocidad del viento, dirección del viento, producción de energía, vibraciones, tensión mecánica en las palas de rotor y otras partes de la turbina eólica, humedad del aire, temperatura exterior y otras condiciones meteorológicas, y datos de operación como actividad de ajuste de paso de pala, temperaturas de operación de componentes durante la producción de energía de la turbina, medios y entorno. La Figura 1 ilustra una forma de realización en la que se proporciona una turbina eólica 100. Se proporciona una góndola 6 en una parte superior de la torre 2. El buje 4 es sostenido de forma giratoria en la góndola 6. Las palas de rotor 8 están montadas en la góndola 6. De acuerdo con una forma de realización, se proporcionan tres palas de rotor. De acuerdo con otras formas de realización, se pueden proporcionar más de tres o menos de tres palas de rotor. De acuerdo con algunas formas de realización que se describen en este documento, el buje 4 está conectado a través de un tren de transmisión 22 con la multiplicadora 24 y transfiere la energía rotatoria al generador 26.

Dentro de la turbina eólica que se muestra en las Figuras 1A y 1B se genera una pluralidad de señales. Cualquiera de estas señales o las unidades de generación de señales se pueden combinar de forma arbitraria con el fin de producir formas de realización que se describen en este documento.

5

La Figura 1A muestra un primer anemómetro 111 y un segundo anemómetro 112, así como una unidad de medición de temperatura 114. Como otro ejemplo, la Figura 1B muestra un sensor de humedad 116 como parte del sistema de medición de condiciones meteorológicas 110. Estas unidades de generación de señales forman parte de un sistema de medición de condiciones meteorológicas 110. Cada una de estas unidades mide la condición meteorológica actual a lo largo del tiempo y, por lo tanto, mide patrones de señal. Las unidades de medición pueden transmitir el patrón de señal medido, por ejemplo, a la unidad de control 30. (Véase la Figura 1 B.)

10

Según otras formas de realización, que se pueden combinar con cualquiera de las formas de realización que se describen en el presente documento, patrones de señal de condiciones meteorológicas también pueden ser proporcionados por una fuente externa. En consecuencia, se pueden incluir condiciones meteorológicas remotas en la monitorización de eventos.

15

Según otras formas de realización, se pueden integrar galgas de tensión 122 en las palas de rotor 8. Las galgas de tensión 122 generan señales indicativas de una tensión en las palas de rotor durante la operación. Estas señales se miden a lo largo del tiempo y, por lo tanto, generan patrones de señal. Según otras formas de realización más adicionales, se puede medir la tensión en otras partes de la turbina eólica con galgas de tensión y se pueden generar correspondientes patrones de señal. Las unidades de medición pueden transmitir el patrón de señal medido, por ejemplo, a la unidad de control 30. (Véase la Figura 1 B.)

20

Según otras formas de realización, se puede proporcionar uno o más sensores de vibración 132 en la góndola 6. Según se muestra en la Figura 1B, el sensor de vibración 134 también se puede proporcionar en la torre de la turbina eólica. Los sensores de vibración 132 y 134 miden vibraciones de partes de la turbina eólica. Las señales se miden a lo largo del tiempo y, por lo tanto, miden patrones de señal.

25

Los correspondientes sensores 132 y 134 u otros sensores situados en diferentes partes de la turbina eólica, por ejemplo en la raíz de la torre, en una pala de rotor, en un eje rotatorio o en la multiplicadora, transmiten datos variables mecánicos a la unidad de control 30 (véase la Figura 1 B.). Cualquiera de los correspondientes patrones de señal o una combinación de los mismos se puede utilizar para monitorización de un evento o una condición de la turbina eólica.

30

Según se muestra en las Figuras 1A y 1B, hay micrófonos 152 instalados junto a la turbina eólica o dentro de la turbina eólica con el fin de medir el ruido emitido por la turbina eólica o partes de la turbina eólica. Según una forma de realización, según se muestra en la Figura 1B, el micrófono 153 está instalado junto a la multiplicadora 24. De este modo, el ruido generado por la multiplicadora 24 se puede medir con el micrófono 153. De acuerdo con otras formas de realización, un micrófono puede estar instalado adicional o alternativamente junto a otras partes de la turbina eólica. Según otras formas de realización, alternativa o adicionalmente, un micrófono 152 puede estar instalado con el fin de medir el ruido emitido por la turbina eólica en su totalidad. Las unidades de medición pueden transmitir el patrón de señal medido, por ejemplo, a la unidad de control 30. (Véase la Figura 1 B.)

40

La Figura 1A muestra una unidad de medición de distancia 142 que mide la distancia entre la torre de la turbina eólica y la pala de rotor. Las señales representativas de la distancia entre la torre 2 y la pala de rotor 8 se miden a lo largo del tiempo y, por lo tanto, se genera un patrón de señal.

50

Una unidad de control 30 está instalada dentro de la góndola 6. La unidad de control 30 recibe una pluralidad de patrones de señal, que son generados por las unidades de medida según se ha descrito anteriormente u otras unidades de medida. Las otras unidades de medida, según otras formas de realización más adicionales que se describen en el presente documento, pueden incluir: una frecuencia natural de una parte de una turbina eólica, ruido emitido de una turbina eólica, ruido emitido de una parte de una turbina eólica; producción de energía de una turbina eólica, tensión o estrés de una parte de una turbina eólica, oscilación de carga de una parte de una turbina eólica, posición relativa de partes de una turbina eólica en general, conductividad en superficie de partes de una turbina eólica, datos de operación de una turbina eólica, temperatura de partes de una turbina eólica, temperatura exterior, velocidad del viento, dirección del viento, y humedad del aire exterior u otras condiciones meteorológicas.

55

Según se ha mencionado anteriormente, se puede medir una pluralidad de señales dentro de la turbina eólica 100. De este modo, se pueden obtener diferentes formas de realización mediante una combinación de al menos dos de las señales mencionadas. La combinación de señales se puede describir de la siguiente manera. Según una forma de realización, las características de la señal medida pueden incluir al menos cualquiera de las siguientes características. Hay parámetros mecánicos de la turbina eólica. Estos parámetros mecánicos pueden ser vibraciones, oscilaciones de carga, tensión, información geométrica,

65

frecuencias naturales de partes de la turbina eólica, o similares. Además, se pueden medir parámetros de condiciones meteorológicas. Por ejemplo, la velocidad del viento, la temperatura del aire exterior, la humedad y la dirección del viento, presión atmosférica, o similares, son parámetros que definen una condición meteorológica. Otras características de la turbina eólica pueden ser datos de operación como la producción de energía de la turbina eólica, actividad de ajuste de paso de pala, temperatura de operación de componentes, medios y entorno en partes de la turbina eólica, o similares. Otro grupo de características se refiere al ruido emitido por la turbina eólica o al ruido emitido por partes de la turbina eólica, que puede ser medido por los micrófonos 152 y 153. Conforme se ha descrito anteriormente, según otras formas de realización, se pueden proporcionar micrófonos adicionales. Otro grupo de características son los parámetros eléctricos. Por ejemplo, mediciones de conductividad en superficie de la turbina eólica. Esto se podría aplicar, por ejemplo, a la conductividad en superficie de las palas de rotor 8.

Según formas de realización que se describen en el presente documento, se miden al menos dos patrones de señal y se proporcionan para su análisis. De acuerdo con algunas formas de realización, los al menos dos patrones de señal pueden ser indicativos de diferentes características de entre un grupo de características de turbina eólica. Según una forma de realización, el primer patrón de señal puede ser del primer grupo de características que consiste en una característica mecánica de una turbina eólica, ruido emitido de una turbina eólica, ruido emitido de una parte de una turbina eólica; producción de energía de una turbina eólica, conductividad en superficie de partes de una turbina eólica, datos de operación de una turbina eólica, temperatura de partes de una turbina eólica, temperatura exterior, velocidad del viento, dirección del viento y humedad del aire exterior, u otras condiciones meteorológicas. El segundo patrón de señal procede de una característica diferente del mismo primer grupo de características.

Según otra forma de realización más, el primer patrón de señal puede ser del segundo grupo de características, que consiste en: una característica mecánica de una turbina eólica, ruido emitido de una turbina eólica, ruido emitido de una parte de una turbina eólica; producción de energía de una turbina eólica, conductividad en superficie de partes de una turbina eólica, datos de operación de una turbina eólica, temperatura de partes de una turbina eólica, temperatura exterior, velocidad del viento, dirección del viento, y humedad del aire exterior, u otras condiciones meteorológicas. El segundo patrón de señal es una señal que representa una característica diferente del mismo segundo grupo de características.

Por lo tanto, para las formas de realización que se describen en el presente documento, los patrones de señal utilizados para el análisis y la evaluación para monitorización de un evento de una turbina eólica o una condición de una turbina eólica son, al menos en parte, señales indirectas, que no se correlacionan directamente con el parámetro a medir. En este caso, una correlación indirecta se debe entender según se explica en los siguientes ejemplos. Por ejemplo, un anemómetro mide la velocidad del viento con independencia del principio físico utilizado para una medición de velocidad del viento. De este modo, la señal de salida del anemómetro es una señal de velocidad del viento y/o de dirección del viento. Por lo tanto, un anemómetro mide directamente la velocidad del viento. Como otro ejemplo, si se comparan dos mediciones similares de dos anemómetros diferentes con el fin de monitorizar una condición de formación de hielo, la comparación de los dos anemómetros se refiere a una condición de formación de hielo de los diferentes anemómetros. De este modo, la señal comparada es de nuevo una señal directa para el evento de formación de hielo, ya que se evalúa una formación de hielo de los anemómetros. La condición se mide simplemente de forma directa en un lugar diferente de la turbina eólica (formación de hielo en pala de rotor versus formación de hielo en anemómetro). Por consiguiente, una señal indirecta como se menciona en el presente documento se refiere a una medición que normalmente no se utiliza para monitorizar el evento de la turbina eólica o la condición de la turbina eólica o una medición que no representa el mismo evento para una parte diferente de la turbina eólica.

Formas de realización que se describen en el presente documento miden patrones de señal de entre diferentes grupos de características y/o patrones de señales indirectas. Se analizan los patrones de señal y se evalúan los datos analizados. La evaluación produce como resultado una detección de un evento o una condición de la turbina eólica. El análisis de patrones de señal permite la generación de datos analizados, lo cual no suele estar disponible para turbinas eólicas. De acuerdo con diferentes formas de realización, estos datos analizados pueden ser evaluados a corto plazo y/o a largo plazo. Por ejemplo, los datos analizados se pueden evaluar dentro de una ventana de minutos u horas. Sin embargo, los datos analizados de la turbina eólica según la presente operación también se pueden evaluar con respecto a los datos analizados de un período de tiempo similar del año anterior, un período en el que la turbina era nueva o un período de tiempo en el que el evento no se produjo. Como ejemplo, la evaluación para monitorización de formación de hielo se puede realizar en comparación con patrones de señal generados durante meses de verano, durante los cuales se puede excluir la formación de hielo.

Según formas de realización que se describen en el presente documento, la pluralidad de patrones de señal, que pueden ser, por ejemplo, 5, 10, 20 patrones de señal, o incluso más, no sólo se evalúan con respecto al valor actual. Normalmente, las señales de una turbina eólica se comparan a menudo con un valor umbral. Esto aplica a puntos de medición individuales, a señales promediadas o a promedios móviles de la señal.

Por el contrario, formas de realización que se describen en el presente documento pueden incluir un análisis que va más allá de esta simple evaluación de señales actuales o promedios de las señales actuales.

5 Según algunas formas de realización, el análisis de los patrones de señal se puede realizar de forma individual para cada patrón de señal o se puede realizar en una combinación de patrones de señal. Según una forma de realización, el análisis puede incluir la clasificación o ponderación de uno o más patrones de señal. De este modo, por ejemplo, se evalúa la estabilidad del patrón de señal y se utiliza para la clasificación o ponderación. Puntos de medición individuales del patrón de señal se pueden clasificar como inestables y, por lo tanto, no se tienen en cuenta en el conjunto de datos analizados a evaluar. En 10 consecuencia, los datos analizados se basan en un patrón de señal analizado con una mayor estabilidad, que se puede utilizar para la evaluación. Según otra forma de realización, puntos de medición individuales del patrón de señal también se pueden ponderar en función de su estabilidad. En el caso de que puntos de medición inestables tengan, por ejemplo, un peso menor, los datos analizados también reflejan una mayor estabilidad. Para las formas de realización que se refieren a la estabilidad de puntos de medición, la 15 evaluación de la estabilidad se puede realizar, por ejemplo, con respecto a uno o más puntos de medición vecinos. Un período de tiempo de altas fluctuaciones no es incluido en una evaluación de los datos analizados o es considerado con un peso menor.

20 De acuerdo con otras formas de realización, que pueden ser utilizadas alternativa o adicionalmente, se realiza un mapeo de los patrones de señal para el análisis de los patrones de señal. De este modo, los patrones de señal se analizan con respecto a una pluralidad de parámetros. Es decir, el patrón de señal se analiza como una curva de al menos dos dimensiones, y los puntos de señal pueden, por ejemplo, ser interpolados en al menos dos dimensiones. De acuerdo con otra forma de realización, se utilizan al menos cuatro o al menos seis parámetros para mapeo de patrones de señal.

25 Por consiguiente, un patrón de señal puede ser analizado en base a otro parámetro, es decir, otra señal medida. Por lo tanto, además del dominio de tiempo, dominio de espacio y dominio de frecuencia a los que se hace referencia en las formas de realización que se describen en el presente documento, se pueden obtener más formas de realización analizando un patrón de señal en función de una frecuencia natural de 30 una parte de una turbina eólica, ruido emitido de una turbina eólica, un patrón de señal en función del ruido emitido de una parte de una turbina eólica; producción de energía de una turbina eólica, tensión o estrés de una parte de una turbina eólica, oscilación de carga de una parte de una turbina eólica, posición relativa de partes de una turbina eólica, conductividad en superficie de partes de una turbina eólica, datos de operación de una turbina eólica, temperatura de partes de una turbina eólica, temperatura exterior, 35 velocidad del viento, dirección del viento y humedad del aire exterior, u otras condiciones meteorológicas. De este modo, además del dominio de tiempo, dominio de espacio y dominio de frecuencia, se pueden utilizar otros "dominios" para analizar patrones de señal.

40 De acuerdo con otras formas de realización, el análisis de los patrones de señal puede incluir alternativa o adicionalmente un análisis de tendencia. De este modo, el patrón de señal puede ser evaluado a corto o largo plazo y los datos analizados incluyen información sobre una tendencia o cambios en los patrones de señal. De este modo, se puede realizar un análisis con respecto al estado de la turbina eólica cuando la turbina eólica se acaba de instalar o en función de un momento (por ejemplo, en verano) en el que es muy improbable que se produzca un determinado evento, por ejemplo, la formación de hielo. Como alternativa, 45 se puede realizar un análisis a corto plazo.

Según otras formas de realización, que se pueden utilizar adicional o alternativamente, el procedimiento de análisis puede incluir procedimientos de análisis que son de autoaprendizaje. Así, por ejemplo, se pueden utilizar redes neuronales artificiales, lógica difusa, procedimientos de análisis multi-variante, aprendizaje automático, o similares. El procedimiento de análisis puede aprender, por ejemplo, en base a un conjunto de datos de ejemplo, para los cuales se sabe si está presente o no está presente la condición o el evento. De este modo, el conjunto de datos de aprendizaje incluye combinaciones de patrones de señal de una pluralidad de patrones de señal que son indicativos de un evento o una condición de la turbina eólica. En general, hay procedimientos de aprendizaje supervisados, no supervisados, reforzados y otros. El análisis de autoaprendizaje puede mejorar su precisión de monitorización a lo largo del tiempo y, por lo tanto, puede 50 mejorar su precisión de monitorización de eventos.

Según otras formas de realización adicionales, que se pueden combinar con otros procedimientos de análisis, se puede proporcionar una transformada de Fourier para los patrones de señal. Como ejemplo, se realiza una transformada rápida de Fourier (FFT: Fast Fourier Transform) en los patrones de señal para proporcionar los datos analizados en el dominio de frecuencia. Los datos analizados en el dominio de frecuencia pueden ser evaluados o se puede aplicar un procedimiento de análisis adicional para los datos analizados en el dominio de frecuencia. En general, de acuerdo con formas de realización más adicionales que se describen en el presente documento, se pueden combinar diferentes procedimientos de análisis. De 60 acuerdo con otras formas de realización más adicionales, un procedimiento de análisis se puede combinar con un promedio o una evaluación de umbral, lo que se ha descrito anteriormente y no se considera un procedimiento de análisis según se define en el presente documento.

De acuerdo con diferentes formas de realización, que se pueden combinar con cualquiera de las formas de realización que se describen en el presente documento, los procedimientos de análisis se pueden aplicar a un patrón de señal individual o a una pluralidad de patrones de señal. Según otras formas de realización, una pluralidad de patrones de señal puede entenderse como que incluye dos patrones de señal, cinco patrones de señal o un número aún mayor de patrones de señal. Además, es posible opcionalmente que se analicen grupos de patrones de señal en combinación, de manera que se pueda combinar el resultado de diferentes grupos de patrones de señal. Por ejemplo, un patrón de señal indicativo de una característica mecánica de la turbina eólica se puede analizar en combinación con un patrón de señal indicativo de ruido emitido. Además, el patrón de señal indicativo del ruido emitido se puede analizar en combinación con un patrón de señal indicativo de una señal de condición meteorológica. A partir de aquí, los dos patrones de datos analizados pueden ser más analizados y/o evaluados conjuntamente.

Como un ejemplo, el primer patrón de señal indicativo de la velocidad del viento y el segundo patrón de señal indicativo de la producción de energía se analizan conjuntamente. Los dos patrones de señal se pueden analizar clasificando la estabilidad de la combinación de los dos patrones de señal con el fin de generar una curva de potencia que incluye un análisis de estabilidad. Los datos analizados, es decir, una curva de potencia estabilizada, se pueden evaluar entonces para monitorizar si hay o no hay un evento como formación de hielo, suciedad, grietas, erosión, aflojamiento de conexiones atornilladas o de otro tipo, problemas de control de temperatura, o similares. Según una forma de realización, la estabilidad de, por ejemplo, la producción de energía se clasifica o pondera, por ejemplo, en el dominio de tiempo, para derivar una curva con mayor probabilidad. De este modo, sólo se obtiene una curva abstracta como datos analizados para su evaluación. Por ejemplo, los datos abstraídos analizados pueden ser comparados con una curva preestablecida. De acuerdo con otras formas de realización más adicionales, que se pueden combinar con otras formas de realización que se describen en el presente documento, la curva preestablecida puede ser parametrizada para diferentes parámetros como densidad del aire, temperatura del aire, otras condiciones meteorológicas, y/o parámetros relacionados con la condición u operación de la turbina eólica.

Las formas de realización que se describen en el presente documento no se someten a un procesamiento directo de datos, lo que es difícil ya que la precisión de los puntos de medición individuales puede ser baja. A través de una combinación de un conjunto de entradas, es decir, de al menos dos patrones de señal, en un analizador lógico se puede conseguir una mejor correlación con respecto a desviaciones condicionales de la turbina eólica. De este modo, se puede realizar un análisis con respecto a un estado de la turbina eólica cuando la turbina eólica se acaba de instalar o en función de un momento (por ejemplo, en verano) en el que es muy improbable que se produzca un determinado evento, por ejemplo, la formación de hielo. Alternativamente, se puede realizar un análisis a corto plazo.

Por lo general, un patrón de señal utilizado de acuerdo con formas de realización que se describen en el presente documento puede no ofrecer por sí mismo la suficiente fiabilidad para determinar el evento o la condición, pero la combinación de la información de la pluralidad de patrones de señal aumenta la probabilidad de una monitorización del evento correcta. Según diferentes formas de realización, que se pueden combinar con cualquiera de las formas de realización que se describen en el presente documento, los procedimientos de análisis se pueden realizar durante la operación normal de una turbina eólica o ser activados por una señal, por ejemplo, una señal de aviso, una señal de fallo o incluso después de que se haya producido el evento. Según otras formas de realización, el análisis puede ser realizado localmente por el controlador de turbina eólica, la herramienta de adquisición y supervisión de datos (SCADA) de la turbina eólica, la herramienta de adquisición y supervisión de datos del parque eólico, o de forma remota.

Según otras formas de realización, la pluralidad de patrones de señal que se analizan para proporcionar datos analizados para una evaluación para monitorización de eventos también puede ser proporcionada por diferentes turbinas eólicas en un parque de turbinas eólicas. Una persona experta en la materia comprenderá que uno o más de los patrones de señal utilizados para el análisis se pueden medir en una turbina eólica diferente si se proporciona un parque de turbinas eólicas. De este modo, las formas de realización que se describen en el presente documento pueden dar lugar a otras formas de realización combinando patrones de señal individuales o grupos de patrones de señal procedentes de diferentes turbinas eólicas.

Según se muestra en la Figura 2, el procedimiento de monitorización de un evento o condición de la turbina eólica incluye la entrada de una pluralidad de señales  $302_1, 302_2 \dots 302_n$ . Se proporciona la pluralidad de señales para su análisis y evaluación (etapa 310) a un controlador, SCADA, o a una ubicación remota. Como ejemplo, la Figura 1B muestra un controlador 30, que recibe señales procedentes de las unidades de medición que se proporcionan en la turbina eólica. En base al análisis de los patrones de señal y a la evaluación de los datos analizados, se monitoriza un evento según se muestra en la etapa 321. Según se indica mediante la flecha 312 y la flecha discontinua 312', opcionalmente se puede monitorizar más de un evento en base a los patrones de señal medidos en las etapas 322 y 323.

En general, según formas de realización que se describen en el presente documento, los procedimientos descritos pueden ser realizados por una herramienta de software apropiada. De este modo, se proporciona el controlador, SCADA o ubicación remota con el producto de programa informático, que puede realizar cualquiera de las formas de realización que se han descrito anteriormente.

5

Según formas de realización que se describen en el presente documento, se proporciona un procedimiento para monitorización de eventos en una turbina eólica. El procedimiento incluye medir un primer patrón de señal que representa una característica seleccionada de entre un grupo de características, consistiendo el grupo de características en: una característica mecánica de una turbina eólica, ruido emitido de una turbina eólica, ruido emitido de una parte de una turbina eólica; producción de energía de una turbina eólica, conductividad en superficie de partes de una turbina eólica, datos de operación de una turbina eólica, temperatura de partes de una turbina eólica, temperatura exterior, velocidad del viento, dirección del viento, y humedad del aire exterior, u otras condiciones meteorológicas; medir al menos un segundo patrón de señal que representa una característica diferente seleccionada de entre el grupo de características; analizar el primer y segundo patrones de señal o una combinación del primer y segundo patrones de señal analizados con un procedimiento de análisis, en el que se generan datos analizados; y evaluar los datos analizados, en el que la evaluación proporciona un resultado indicativo de un evento. De este modo, es posible que la evaluación incluya evaluar el primer y segundo patrones de señal y una combinación del primer y segundo patrones de señal analizados. Según algunas formas de realización, el procedimiento de análisis incluye al menos un procedimiento seleccionado de entre el grupo de: análisis de la estabilidad a lo largo del tiempo, clasificación o ponderación de señales, análisis de Fourier, análisis de tendencia a largo plazo, análisis de tendencia a corto plazo, mapeo con curvas, análisis con redes neuronales u otros procedimientos de autoaprendizaje, y lógica difusa. De este modo, el procedimiento de análisis se puede realizar en un dominio de tiempo, un dominio de espacio o un dominio de frecuencia.

10

15

20

25

De acuerdo con otras formas de realización, se pueden monitorizar uno o más eventos/condiciones. Por ejemplo, el evento puede ser al menos un evento seleccionado de entre el grupo que consiste en: formación de hielo, integridad estructural de partes de la turbina eólica, suciedad o erosión de palas de rotor de la turbina eólica; aflojamiento de conexiones, problemas en el control de temperatura.

30

En general, es posible para algunas formas de realización que se describen en el presente documento que el primer y/o el segundo patrón de señal no estén directamente correlacionados con la condición del evento. De acuerdo con una forma de realización, se puede proporcionar medir al menos cinco patrones de señal que representan una característica seleccionada de entre el grupo de características. En este caso, el análisis incluye analizar los cinco patrones de señal con el procedimiento de análisis, y en el que la evaluación incluye analizar los al menos cinco patrones de señal analizados.

35

Según otra forma de realización, se proporciona un procedimiento para monitorización de eventos en una turbina eólica. El procedimiento incluye medir un primer patrón de señal que representa una característica seleccionada de entre un grupo de características, medir al menos un segundo patrón de señal que representa una característica seleccionada de entre el grupo de características; analizar el primer y segundo patrones de señal o una combinación del primer y segundo patrones de señal analizados, en el que se generan datos analizados, con al menos un procedimiento de análisis de entre el grupo que consiste en: clasificación o ponderación de señales individuales del patrón de señal, análisis de Fourier; análisis de tendencia; mapeo del patrón de señal con curvas con al menos dos parámetros; análisis con redes neuronales u otros procedimientos de autoaprendizaje; y evaluar los datos analizados, en el que la evaluación proporciona un resultado indicativo de un evento.

40

45

Según otra forma de realización, opcionalmente es posible que el grupo de características consista en: una frecuencia natural de una parte de una turbina eólica, ruido emitido de una turbina eólica, ruido emitido de una parte de una turbina eólica; producción de energía de una turbina eólica, tensión o estrés de una parte de una turbina eólica, oscilación de carga de una parte de una turbina eólica, posición relativa de partes de una turbina eólica, conductividad en superficie de partes de una turbina eólica, datos de operación de una turbina eólica, temperatura de partes de una turbina eólica, temperatura exterior, velocidad del viento, dirección del viento, y humedad del aire exterior, u otras condiciones meteorológicas.

50

55

De acuerdo con otras formas de realización, que se pueden proporcionar alternativa o adicionalmente, la evaluación incluye evaluar el primer y segundo patrones de señal y una combinación del primer y segundo patrones de señal analizados. Como una opción adicional o alternativa, el procedimiento de análisis se realiza en un dominio de tiempo, un dominio de espacio o un dominio de frecuencia.

60

Según otra forma de realización, se proporciona una unidad de monitorización de eventos para una turbina eólica. La unidad incluye una primera unidad de medición de señales adaptada para medir un primer patrón de señal que representa una característica seleccionada de entre un grupo de características, consistiendo el grupo de características en: una frecuencia natural de una parte de la turbina eólica, ruido emitido de la turbina eólica o de una parte de la turbina eólica; producción de energía de la turbina eólica, tensión o estrés de una parte de la turbina eólica, oscilación de carga de una parte de la turbina eólica, posición relativa de

65

partes de la turbina eólica, conductividad en superficie de partes de la turbina eólica, datos de operación, temperatura de partes de la turbina eólica, temperatura exterior, velocidad del viento, dirección del viento, y humedad del aire exterior, u otras condiciones meteorológicas; una segunda unidad de medición de señales adaptada para medir al menos un segundo patrón de señal que representa una característica diferente seleccionada de entre el grupo de características; una unidad de análisis conectada para recibir el primer patrón de señal y el segundo patrón de señal y adaptada para analizar la primera y segunda señales con un procedimiento de análisis, en el que se genera un primer patrón de señal analizado y un segundo patrón de señal analizado; una unidad de evaluación adaptada para evaluar al menos el primer y segundo patrones de señal analizados, en el que la evaluación proporciona un resultado indicativo de un evento.

Otras formas de realización se refieren a turbinas eólicas para realizar los procedimientos divulgados o incluir formas de realización relativas a las unidades de monitorización.

Esta descripción escrita utiliza ejemplos para divulgar la invención, incluyendo la mejor modalidad, y también para permitir a cualquier persona experta en la materia hacer y utilizar la invención. Si bien la invención se ha descrito en términos de diversas formas de realización específicas, los expertos en la materia reconocerán que la invención puede ser practicada con modificaciones dentro del alcance de las reivindicaciones. En particular, se pueden combinar características no exclusivas entre sí de las formas de realización que se han descrito anteriormente. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la materia. Dichos otros ejemplos pretenden caer dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales con respecto a los lenguajes literales de las reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un procedimiento de monitorización de eventos para una turbina eólica (100), que comprende:  
 5 medir un primer patrón de señal (302<sub>n</sub>) que representa una característica seleccionada de entre un grupo de características, consistiendo el grupo de características en: una característica mecánica de una turbina eólica, ruido emitido de una turbina eólica, ruido emitido de una parte de una turbina eólica; producción de energía de una turbina eólica, conductividad en superficie de partes de una turbina eólica, datos de operación de una turbina eólica, temperatura de partes de una turbina eólica, temperatura exterior, velocidad del viento, dirección del viento, y humedad del aire exterior, u otras condiciones meteorológicas;  
 10 medir al menos un segundo patrón de señal (302<sub>n</sub>) que representa una característica diferente seleccionada de entre el grupo de características;  
 analizar (310) el primer y segundo patrones de señal o una combinación del primer y segundo patrones de señal analizados con un procedimiento de análisis, en el que se generan datos analizados;  
 15 evaluar (310) los datos analizados con respecto a un dato analizado de un período de tiempo en el que no se produjo un evento (312, 322, 323), en el que la evaluación proporciona un resultado indicativo del evento (312, 322, 323).
2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el procedimiento de análisis incluye al menos un procedimiento seleccionado de entre el grupo de: análisis de la estabilidad en el tiempo, clasificación o ponderación de señales, clasificación o ponderación por estabilidad, análisis de Fourier, análisis de tendencia a largo plazo, análisis de tendencia a corto plazo, mapeo con curvas, análisis con redes neuronales u otros procedimientos de autoaprendizaje, y lógica difusa.
3. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, en el que el primer y segundo patrones de señal (302<sub>n</sub>) no son correlacionados directamente con el evento.
4. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el procedimiento de análisis se realiza en un dominio de tiempo o en un dominio de frecuencia.
- 30 5. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el evento (312, 322, 323) es al menos un evento seleccionado de entre el grupo que consiste en: formación de hielo, integridad estructural de partes de la turbina eólica, suciedad o erosión de palas de rotor de la turbina eólica; aflojamiento de conexiones, problemas en control de temperatura.
- 35 6. El procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se monitorizan al menos dos eventos en base al primer y segundo patrones de señal.
7. Un producto de programa informático para realizar un procedimiento de monitorización de eventos para una turbina eólica (100) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 40 8. Una unidad de monitorización de eventos para una turbina eólica (100), que comprende:  
 una primera unidad de medición de señales (110, 111, 112, 114, 116, 122, 132, 134, 142, 152, 153) adaptada para medir un primer patrón de señal (302<sub>n</sub>) que representa una característica seleccionada de entre un grupo de características, consistiendo el grupo de características en: una frecuencia natural de una parte de la turbina eólica, ruido emitido de la turbina eólica o de una parte de la turbina eólica; producción de energía de la turbina eólica, tensión o estrés de una parte de la turbina eólica, oscilación de carga de una parte de la turbina eólica, posición relativa de partes de la turbina eólica, conductividad en superficie de partes de la turbina eólica, datos de operación, temperatura de partes de la turbina eólica, temperatura exterior, velocidad del viento, dirección del viento, y humedad del aire exterior, u otras condiciones meteorológicas;  
 45 una segunda unidad de medición de señales (110, 111, 112, 114, 116, 122, 132, 134, 142, 152, 153) adaptada para medir al menos un segundo patrón de señal que representa una característica diferente seleccionada de entre el grupo de características;  
 una unidad de análisis (30) conectada para recibir el primer patrón de señal y el segundo patrón de señal y adaptada para analizar la primera y segunda señales con un procedimiento de análisis, en el que se genera un primer patrón de señal analizado y un segundo patrón de señal analizado;  
 50 una unidad de evaluación (30) adaptada para evaluar al menos el primer y segundo patrones de señal analizados con respecto a un dato analizado de un período de tiempo en el que no se produjo un evento (312, 322, 323), en el que la evaluación proporciona un resultado indicativo del evento (312, 322, 323).
- 55 9. La unidad de monitorización de eventos según la reivindicación 8, en el que al menos una de entre la primera y segunda unidades de medición de señales es un micrófono (152, 153).
- 60 10. Una turbina eólica (100) que comprende:  
 65 una unidad de monitorización de eventos según la reivindicación 8 o la reivindicación 9.

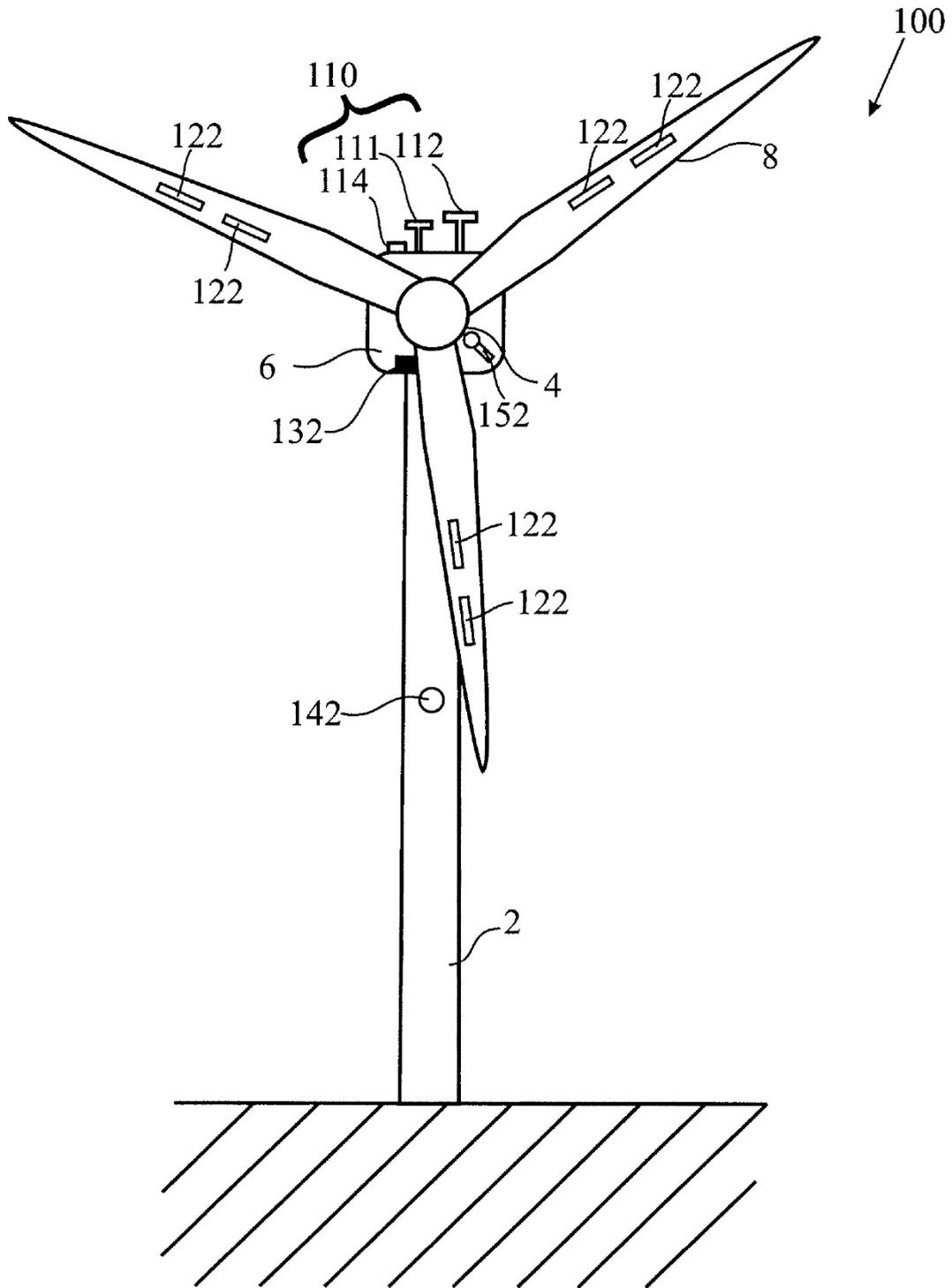


Fig. 1A



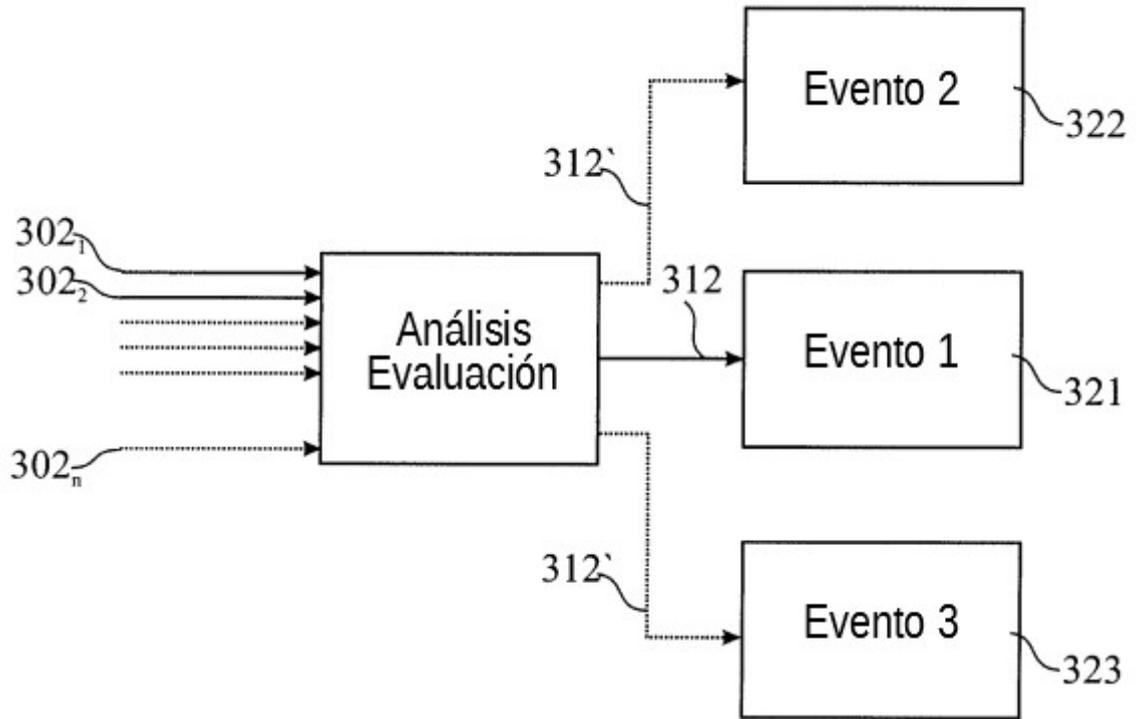


Fig. 2