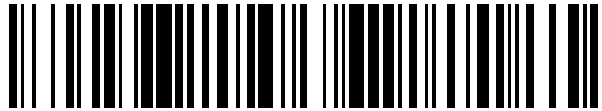


19



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: 2 688 758

21 Número de solicitud: 201730664

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

05.05.2017

43 Fecha de publicación de la solicitud:

06.11.2018

71 Solicitantes:

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA (100.0%)

Jordi Girona, 31 08034 Barcelona ES

72 Inventor/es:

ACHO ZUPPA, Leonardo; VIDAL SEGUI, Yolanda; TUTIVÉN GÁLVEZ, Christian; RODELLAR BENEDE, Christian y POZO MONTERO, José

54 Título: Método y circuito electrónico analógico para la detección de fallos en el sistema hidráulico de variación de paso de pala de una turbina eólica

57 Resumen:

Método y circuito electrónico analógico para la detección de fallos en el sistema hidráulico de variación de paso de pala de una turbina eólica. El método comprende generar una señal residual (10) representativa de una estimación de fallos en un actuador hidráulico de variación de paso de pala (107) del sistema hidráulico de la turbina (100); y realizar un procesamiento, por un circuito electrónico analógico (190), de dicha señal residual (10) generada para estimar un fallo en dicho actuador hidráulico (107) incluyendo: filtrar la señal residual (10) a una frecuencia de corte equivalente a una frecuencia natural resonante del actuador hidráulico (107) implementado como un modelo dinámico de servo-sistema de segundo orden; amplificar la señal residual filtrada; extraer por rectificado una señal equivalente, envolvente, de la señal residual amplificada; sintonizar un valor umbral de voltaje de referencia programable; comparar la señal equivalente, envolvente, con el valor umbral de voltaje de referencia programable proporcionando una señal comparada; binarizar dicha señal comparada, y activar un indicador para señalar que se ha producido un fallo en el actuador hidráulico (107).

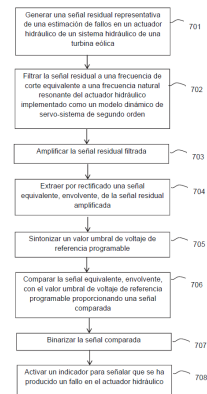


Fig. 7

## DESCRIPCIÓN

### Método y circuito electrónico analógico para la detección de fallos en el sistema hidráulico de variación de paso de pala de una turbina eólica

#### Campo de la técnica

- 5 La presente invención concierne en general a aerogeneradores. En particular, la invención concierne a un método y a un circuito electrónico analógico para la detección de fallos en el sistema hidráulico de variación de paso de pala de una turbina eólica.

#### Antecedentes de la invención

- 10 Un aerogenerador de gran escala (capaz de generar una potencia eléctrica de varios megavatios) suele estar compuesto, tal como se ilustra en la Fig. 1, por una torre anclada a tierra, una góndola montada en la misma, y un rotor acoplado a la góndola. El rotor incluye generalmente un buje rotativo y tres palas del rotor, acopladas al buje y que se extienden hacia fuera desde él.

- 15 Además, la mayoría de las turbinas eólicas modernas controlan la carga sobre el rotor variando el paso de las palas para que oponga una mayor o menor resistencia al viento incidente. Se varía el paso de las palas para optimizar la salida de potencia o para proteger la turbina eólica frente a sobrecargas o sobreesfuerzos perjudiciales.

- 20 Para realizar la variación de paso, cada pala está dotada de un sistema de variación que comprende un cojinete entre el buje y la pala, y algún tipo de motor o actuador para proporcionar una fuerza para variar el paso de la pala y mantenerla en una posición dada (Fig. 2). Tales sistemas comprenden habitualmente accionamientos de pala hidráulicos formados por actuadores hidráulicos y una bomba hidráulica para proporcionar líquido a presión a dichos actuadores.

- 25 Por otro lado, y dado que el mantenimiento de las turbinas eólicas se encuentra entre uno de los factores que más incrementan el coste total de los proyectos eólicos, la forma más eficaz de reducir dicho coste es supervisar continuamente el estado de los aerogeneradores.

- 30 Un mantenimiento preventivo, basado en la monitorización, permite la detección temprana de la degeneración de la integridad de la turbina de viento. Esto facilita una respuesta proactiva, reducir al mínimo el tiempo de inactividad y maximizar la vida útil de la turbina y, por ende, su productividad. Sin embargo, los informes técnicos de energía eólica muestran que algunas de las técnicas de monitorización disponibles actualmente no son fiables ni

adecuadas para aplicaciones de turbinas de viento, debido a la naturaleza estocástica del viento que afecta a la toma de decisiones.

Asimismo, actualmente, los procedimientos de inspección de los sistemas de variación de paso de pala requieren que un aerogenerador se apague para permitir que un trabajador de mantenimiento escale hasta la góndola y pueda acceder al actuador. De esta manera, los procedimientos de inspección convencionales pueden ser muy costosos, desde un punto de vista económico, así como requerir mucho tiempo. Como resultado, las inspecciones programadas de los actuadores del paso de pala son normalmente poco frecuentes, incrementando por tanto la probabilidad de daños en los actuadores debido a: pérdidas de aceite, pérdida de presión y desgaste de la bomba, entre otros.

Adicionalmente, la capacidad para detectar fallos en las turbinas de viento y de controlar dichas turbinas ante la presencia de fallos son también factores importantes que se han de considerar para conseguir una disminución del coste de generación de la energía eólica.

Son varias las metodologías que existen actualmente en la literatura científica para la detección de fallos. Una de las más usadas es aquella basada en una toma exhaustiva de datos con el objetivo de sintonizar los parámetros de diseño de un algoritmo matemático y poder, de este modo, emitir un diagnóstico de posibles fallos. Sin embargo, estas técnicas ligadas a la toma exhaustiva de datos tienen, en general, un coste computacional elevado y no permiten una detección rápida, lo cual es vital en este tipo de fallos.

En [1], de los mismos inventores de la presente invención, se da a conocer una nueva metodología de diagnóstico de fallos (FD) y de control de tolerancia a fallos (FTC) de los actuadores de paso en las turbinas eólicas. Esto se logra combinando un compensador de perturbaciones con un controlador, ambos formulados en el dominio de tiempo discreto. El compensador de perturbaciones tiene un doble propósito: estimar el fallo del actuador (que se usa por el algoritmo FD) y diseñar el controlador de tiempo discreto para obtener un FTC. Eso es, se evalúan los fallos del actuador y, a continuación, las leyes de control de paso se modifican apropiadamente para lograr un FTC con un comportamiento comparable al caso sin fallos. El desempeño del FD y FTC son probados en simulaciones con el código aero-elástico FAST [2].

Por tanto, se requieren nuevos métodos y/o dispositivos que permitan la monitorización en línea de los actuadores hidráulicos para así poder detectar, en tiempo real, y con un alto grado de fiabilidad los fallos más comunes que ocurren en dichos actuadores hidráulicos.

Referencias:

[1] Vidal, Y.; Tutivén, C.; Rodellar, J.; Acho, L. Fault Diagnosis and Fault-Tolerant Control of Wind Turbines via a Discrete Time Controller with a Disturbance Compensator. *Energies* 2015, 8, 4300-4316.

5 [2] Jonkman, J., *NWTC Information Portal (FAST)*. <https://nwtc.nrel.gov/FAST>. Last modified 19-March-2015; Accessed 11-October-2016

### Exposición de la invención

La presente invención proporciona en un primer aspecto un método para la detección de fallos en el sistema hidráulico de variación de paso de pala de una turbina eólica, que comprende, al igual que los métodos conocidos en el estado de la técnica, generar, por un  
10 compensador de perturbaciones del sistema hidráulico de la turbina eólica, controlado por un sistema de control en lazo cerrado de unas variables control de par, control de paso y actuador de paso, una señal residual representativa de una estimación de fallos en un actuador hidráulico de variación de paso de pala del sistema hidráulico.

El método propuesto, a diferencia del estado de la técnica, realiza un procesamiento, por un  
15 circuito electrónico analógico, de dicha señal residual generada para estimar un fallo en dicho actuador hidráulico de variación de paso de pala mediante la realización de las siguientes etapas:

a) filtrar la señal residual a una frecuencia de corte equivalente a una frecuencia natural resonante del actuador hidráulico de variación de paso de pala implementado como  
20 un modelo dinámico de servo-sistema de segundo orden;

b) amplificar la señal residual filtrada;

c) extraer por rectificado una señal equivalente, envolvente, de la señal residual amplificada;

d) sintonizar un valor umbral de voltaje de referencia programable en función del tipo  
25 de fallo a detectar;

e) comparar la señal equivalente, envolvente, con dicho valor umbral de voltaje de referencia programable proporcionando una señal comparada;

f) binarizar dicha señal comparada, y

g) activar un indicador, visual y/o auditivo, para señalar que se ha producido un fallo  
30 en el actuador hidráulico de variación de paso de pala.

Preferiblemente, el procesamiento se realiza en tiempo real. No obstante, el procesamiento también se puede realizar offline.

El fallo del actuador hidráulico de variación de paso de pala puede comprender uno o más de los siguientes fallos: un fallo por alto contenido de aire en el aceite del actuador hidráulico  
35 de variación de paso de pala, un fallo por desgaste de una bomba del actuador hidráulico de variación de paso de pala o un fallo por fuga hidráulica en el actuador hidráulico de variación

de paso de pala. En la etapa d) se prevé una sintonización diferencial (valor umbral de voltaje de referencia distinto) en función del tipo de fallo a detectar.

La gama del voltaje de referencia programable de la etapa d) varía de 0 a 12 volts, siendo este último el valor de voltaje de alimentación al circuito electrónico analógico. Esta gama  
5 preferiblemente se fracciona en dos particiones para poder discriminar y detectar el fallo en el actuador hidráulico de variación de paso de pala del caso funcional sin fallos. Estos intervalos se programan en base al tipo de pala y se suele hacer en base a inducir los fallos en el actuador hidráulico y ajustar el sistema hasta discriminarlos del caso sin fallo. Se fija entonces este umbral que queda permanente programado. Asimismo, también se pueden  
10 usar datos experimentales para tal labor de ajuste o sintonización. Dependiendo de la pala de actuación hidráulica, que las hay de varios tipos, se induce el fallo y se ajusta el citado umbral. Por otro lado, el tipo de fallo induce en el circuito electrónico analógico niveles de voltaje de comparación fácilmente discriminables entre sí (de cada fallo) y del caso funcional sin fallo. De aquí que se pueden programar en base a una necesidad en particular por aislar  
15 un posible fallo de interés en comparación del esquema funcional sin fallo.

En un ejemplo de realización, previamente a la realización de la etapa a), se realiza un pre-escalado de la señal residual, proporcionando una señal pre-escalada comprendida en un rango de entre 0 y 5 voltios. Además, también se puede modular la señal pre-escalada mediante una modulación por ancho de pulso, proporcionando una señal de modulación por  
20 ancho de pulso. En este último caso, el método propuesto utiliza la señal de modulación por ancho de pulso como señal de entrada en la etapa a).

La presente invención proporciona en un segundo aspecto un circuito electrónico analógico para la detección de fallos en el sistema hidráulico de variación de paso de pala de una turbina eólica, en donde a partir de una señal residual generada por un compensador de  
25 perturbaciones del sistema hidráulico de la turbina eólica, controlado por un sistema de control en lazo cerrado de unas variables control de par, control de paso y actuador de paso, y representativa de una estimación de fallos en un actuador hidráulico de variación de paso de pala del sistema hidráulico, dicho circuito electrónico analógico está adaptado y configurado para realizar un procesamiento de dicha señal residual generada para estimar  
30 un fallo en dicho actuador hidráulico de variación de paso de pala para lo cual comprende:

- un módulo de filtrado tal como un filtro paso bajo adaptado y configurado para filtrar la señal residual a una frecuencia de corte equivalente a una frecuencia natural resonante del actuador hidráulico de variación de paso de pala implementado como un modelo dinámico de servo-sistema de segundo orden;
- 35 - un módulo de amplificación adaptado y configurado para amplificar la señal residual filtrada;

- un módulo de rectificación adaptado y configurado para extraer una señal equivalente, envolvente, de la señal residual amplificada;

- un módulo de sintonización-comparación que comprende:

- 5           • un módulo de sintonización adaptado y configurado para sintonizar un valor umbral de voltaje de referencia programable en función del tipo de fallo a detectar;
- un módulo de comparación adaptado y configurado para comparar la señal equivalente, envolvente, con dicho valor umbral de voltaje de referencia programable, proporcionando una señal comparada;
- 10          • un módulo de acoplamiento binario adaptado y configurado para binarizar la señal comparada; y
- un módulo de control de tiempo adaptado y configurado para activar durante un tiempo determinado un módulo de indicación; y
- 15          - dicho módulo de indicación adaptado y configurado para señalar que se ha producido un fallo en el actuador hidráulico de variación de paso de pala.

En un ejemplo de realización, el circuito electrónico analógico comprende una pluralidad de módulos de sintonización-comparación, estando cada uno adaptado y configurado para detectar un fallo de una pluralidad de fallos en el actuador hidráulico de variación de paso de pala.

20   En un ejemplo de realización, el módulo de indicación comprende unos indicadores visuales luminosos incluyendo unos diodos de emisor de luz (LED).

Asimismo, el circuito electrónico analógico puede comprender además un módulo de pre-escalado para realizar un pre-escalado de la señal residual, proporcionando una señal pre-escalada comprendida en un rango de entre 0 y 5 voltios, y un módulo de modulación por ancho de pulso para modular la señal pre-escalada.

25

#### Breve descripción de los dibujos

Las anteriores y otras características y ventajas se comprenderán más plenamente a partir de la siguiente descripción detallada de unos ejemplos de realización, los cuales tiene un carácter meramente ilustrativo y no limitativo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los

30   que:

La Fig. 1 muestra una vista frontal de una turbina eólica industrial moderna tal como se conoce en la técnica.

La Fig. 2 muestra una vista esquemática en alzado de una realización de la góndola de un aerogenerador, con indicación de las partes integrantes de la misma.

La Fig. 3 muestra esquemáticamente el controlador de una turbina de viento descrito en [1].

5 La Fig. 4 ilustra, en un diagrama de bloques, los pasos previos del procesado de la señal residual  $\hat{d}[k]$  para su posterior procesamiento para la detección de fallos en tiempo real por medio del circuito electrónico analógico propuesto según un ejemplo de realización de la presente invención.

La Fig. 5 ilustra el diseño electrónico del circuito electrónico analógico propuesto según un ejemplo de realización de la presente invención.

10 La Fig. 6 ilustra el diseño electrónico del circuito electrónico analógico propuesto según otro ejemplo de realización de la presente invención.

La Fig. 7 ilustra, en un diagrama de bloques, un método para detección de fallos en el sistema hidráulico de variación de paso de pala de una turbina eólica, según un ejemplo de realización de la presente invención.

15 Descripción detallada de unos ejemplos de realización

La presente invención se refiere a un método y a un dispositivo (circuito electrónico analógico 190) para realizar un diagnóstico, preferiblemente en línea, es decir en tiempo real, de los actuadores hidráulicos 107 responsables de la variación de paso de pala en un turbina eólica 100, tal como la descrita en las Figs. 1 y 2.

20 De manera preferida según la presente invención, se propone usar como controlador del ángulo del paso de pala el propuesto en [1]. En el citado trabajo se desarrolla un controlador robusto que trabaja colaborativamente con un compensador de perturbaciones en tiempo discreto. Este compensador de perturbación propuesto en la teoría permite obtener una señal residual que, gracias a la presente invención, va a ser convenientemente post  
25 procesada. Dicho post procesado se realiza mediante el citado circuito electrónico analógico 190, teniendo en cuenta diversos aspectos prácticos para estimar el fallo del actuador hidráulico de variación de paso de pala 107 en tiempo real y con un rápido tiempo de detección.

30 La presente invención se basa en que la señal residual  $\hat{d}[k]$  10 generada por el sistema mostrado en la Fig. 3 (por lo tanto usando como controlador del ángulo del paso de pala el propuesto en [1]) necesita ser post procesada para la detección en tiempo real de los fallos en el actuador hidráulico de variación de paso de pala 107, particularmente fallos por alto contenido de aire en el aceite del actuador hidráulico de variación de paso de pala 107,

fallos por desgaste de la bomba del actuador hidráulico de variación de paso de pala 107 y/o fallos por fuga hidráulica en el actuador hidráulico de variación de paso de pala 107, entre otros.

Con referencia a la Fig. 4, en la misma se muestra un ejemplo de realización en el que la  
 5 señal residual 10 del controlador de la Fig. 3, previamente a su procesado por el circuito electrónico analógico 190, es pre-escalada, por un módulo de pre-escalado 170, para dar una señal resultante de entre 0 y 5 voltios. La señal resultante alimenta un módulo de modulación por ancho de pulso 180 (*pulse-width modulation*, PWM, por sus siglas en inglés), que, en el diseño actual preferiblemente está sintonizado a 1 kHz, para luego ser  
 10 transmitida al circuito electrónico analógico 190. En un ejemplo de realización alternativo, en este caso no ilustrado, la señal residual 10 es procesada directamente por el circuito electrónico analógico 190, es decir no se realizan las etapas de pre-escalado y modulado.

Con referencia a la Fig. 5, en la misma se muestra un ejemplo de realización del desarrollo electrónico del circuito electrónico analógico 190 para estimar un fallo en el actuador  
 15 hidráulico de variación de paso de pala 107 de los anteriormente descritos. Los diferentes bloques/módulos que componen el circuito electrónico analógico 190 se describen a continuación:

- módulo de filtrado 191: Presenta un filtro paso bajo cuya frecuencia de corte se ajusta a una frecuencia natural resonante del actuador hidráulico de variación de paso de  
 20 pala 107 implementado como un modelo dinámico de servo-sistema de segundo orden. Tal como se indica en [1], el sistema de paso hidráulico consiste en tres actuadores de paso idénticos, uno para cada pala, que son modelados como una ecuación diferencial lineal con variables dependientes del tiempo, ángulo de paso  $\beta(t)$  y su referencia  $u(t)$ . En principio, se trata de un servo-sistema, que puede expresarse como un sistema diferencial de segundo  
 25 orden:

$$\ddot{\beta}(t) + 2\xi\omega_n\dot{\beta}(t) + \omega_n^2\beta(t) = \omega_n^2u(t)$$

en donde,  $\omega_n$  y  $\xi$  son la frecuencia natural y el coeficiente de amortiguación, respectivamente.

- módulo de amplificación 192: este bloque presenta el diseño de un amplificador no  
 30 inversor de ganancia 2, y que también funciona como acoplador de impedancias. Se encarga de amplificar la señal residual filtrada.

- módulo de rectificación 193: representa un rectificador de media onda con la finalidad de extraer un equivalente de envolvente de la señal residual 10 a procesar, y para



que posteriormente pueda ser fácilmente comparada con un umbral de referencia de voltaje programable.

5 - módulo de sintonización-comparación 194: está formado por un módulo de sintonización 195, un módulo de comparación 196, un módulo de acoplamiento binario 197 y un módulo de control de tiempo.

- módulo de sintonización 195: muestra un diseño electrónico simple para sintonizar un valor umbral de voltaje de referencia programable. Este módulo sirve para controlar la sensibilidad y precisión del sistema de detección de fallos.

10 - módulo de comparación 196: es un sistema simple de comparación, o comparador de voltaje, para comparar la señal equivalente, envolvente, con dicho valor umbral de voltaje de referencia programable, proporcionando una señal comparada.

- módulo de acoplamiento binario 197: es un acoplador binario de 0 o 5 voltios como referencia de entrada al módulo de control de tiempo 198 en su configuración monoestable.

15 - módulo de control de tiempo 198: circuito temporizador en su modalidad monoestable para activar durante un tiempo determinado un módulo de indicación 199.

- módulo de indicación 199: configuración complementaria de actuadores para indicadores, en este caso particular visuales de tipo LED, para mostrar el resultado de la señal pre-procesada para el diagnóstico de fallos.

20 Con referencia a la Fig. 6, en la misma se muestra un segundo ejemplo de realización del desarrollo electrónico del circuito electrónico analógico 190, en este caso para estimar diferentes fallos en el actuador hidráulico de variación de paso de pala 107 de los anteriormente descritos. Debe notarse que los módulos de filtrado 191, amplificación 192, rectificación 193 e indicación 199 son iguales a los anteriormente descritos para la Fig. 5.

25 Por el contrario, a diferencia de la Fig. 5, en este caso el circuito electrónico analógico 190 incluye tres módulos de sintonización-comparación 194, tal como el descrito anteriormente, cada uno de ellos para detectar un fallo en el actuador hidráulico de variación de paso de pala 107, es decir, uno para detectar los fallos por alto contenido de aire en el aceite del actuador hidráulico de variación de paso de pala 107, otro para detectar los fallos por desgaste de la bomba del actuador hidráulico de variación de paso de pala 107 y otro para  
30 detectar los fallos por fuga hidráulica en el actuador hidráulico de variación de paso de pala 107. En caso que se desearan detectar otros fallos en el actuador hidráulico de variación de paso de pala 107 tan solo sería necesario incluir módulos de sintonización-comparación 194 adicionales en el circuito electrónico analógico 190.

El módulo de sintonización 195 de cada uno de los tres módulos de sintonización-comparación 194 se programa/configura en base a la necesidad particular del tipo de fallo a detectar.

5 Con referencia a la Fig. 7, en la misma se ilustra un ejemplo de realización de un método para detección de fallos en el sistema hidráulico de variación de paso de pala de una turbina eólica 100, según este ejemplo de realización, el método en primer lugar comprende, etapa 701, generar la señal residual 10, representativa de una estimación de fallos en el actuador hidráulico de variación de paso de pala 107. Posteriormente, etapa 702, se realiza un filtrado la señal residual a una frecuencia de corte equivalente a la frecuencia natural resonante del 10 actuador hidráulico de variación de paso de pala 107 implementado como un modelo dinámico de servo-sistema de segundo orden. Seguidamente, etapa 703, se amplifica la señal residual filtrada y se extrae, por rectificado, una señal equivalente, envolvente, de la señal residual amplificada (etapa 704). Luego, etapa 705, se sintoniza un valor umbral de voltaje de referencia programable (dependiendo del tipo de fallo a detectar), comparándose, 15 etapa 706, la señal equivalente, envolvente, con el valor umbral de voltaje de referencia programable. Finalmente, etapa 707, se binariza la señal comparada y se activa un indicador para señalar que se ha producido un fallo en el actuador hidráulico de variación de paso de pala 107.

20 Preferiblemente, el citado indicador es un indicador de tipo visual, tal como los anteriores de tipo LED descritos. No obstante, alternativamente, el citado indicador puede ser también un indicador de tipo auditivo que proporciona una señal sonora para señalar que se ha producido un fallo.

El alcance de la presente invención está definido en las reivindicaciones adjuntas.

## REIVINDICACIONES

1. Método para la detección de fallos en el sistema hidráulico de variación de paso de pala de una turbina eólica, que comprende generar, por un compensador de perturbaciones del sistema hidráulico de la turbina eólica, controlado por un sistema de control en lazo cerrado de unas variables control de par, control de paso y actuador de paso, una señal residual (10) representativa de una estimación de fallos en un actuador hidráulico de variación de paso de pala (107) del sistema hidráulico, estando el método **caracterizado porque** comprende realizar un procesamiento, por un circuito electrónico analógico (190), de dicha señal residual (10) generada para estimar un fallo en dicho actuador hidráulico de variación de paso de pala (107) mediante la realización de las siguientes etapas:
- a) filtrar la señal residual (10) a una frecuencia de corte equivalente a una frecuencia natural resonante del actuador hidráulico de variación de paso de pala (107) implementado como un modelo dinámico de servo-sistema de segundo orden;
  - b) amplificar la señal residual filtrada;
  - 15 c) extraer por rectificado una señal equivalente, envolvente, de la señal residual amplificada;
  - d) sintonizar un valor umbral de voltaje de referencia programable en función del tipo de fallo a detectar;
  - e) comparar la señal equivalente, envolvente, con dicho valor umbral de voltaje de referencia programable proporcionando una señal comparada;
  - 20 f) binarizar dicha señal comparada, y
  - g) activar un indicador para señalar que se ha producido un fallo en el actuador hidráulico de variación de paso de pala (107).
2. Método según la reivindicación 1, en donde dicho procesamiento se realiza en tiempo real.
- 25 3. Método según las reivindicaciones anteriores, en donde dicho indicador comprende una indicación visual o una indicación auditiva.
4. Método según las reivindicaciones anteriores, que comprende previamente a la realización de la etapa a) realizar un pre-escalado de la señal residual, proporcionando una señal pre-escalada comprendida en un rango de entre 0 y 5 voltios.
- 30 5. Método según la reivindicación 4, que comprende además modular dicha señal pre-escalada mediante una modulación por ancho de pulso, proporcionando una señal de modulación por ancho de pulso, en donde el método comprende utilizar dicha señal de modulación por ancho de pulso como señal de entrada en dicha etapa a).

6. Método según las reivindicaciones anteriores, en donde el fallo del actuador hidráulico de variación de paso de pala (107) del sistema hidráulico comprende al menos uno de los siguientes fallos: un fallo por alto contenido de aire en el aceite del actuador hidráulico de variación de paso de pala (107), un fallo por desgaste de una bomba del actuador hidráulico de variación de paso de pala (107) o un fallo por fuga hidráulica en el actuador hidráulico de variación de paso de pala (107), habiéndose previsto en la etapa d) una sintonización diferencial en función del tipo de fallo a detectar.

7. Circuito electrónico analógico (190) para la detección de fallos en el sistema hidráulico de variación de paso de pala de una turbina eólica, en donde a partir de una señal residual (10) generada por un compensador de perturbaciones del sistema hidráulico de la turbina eólica (100), controlado por un sistema de control en lazo cerrado de unas variables control de par, control de paso y actuador de paso, y representativa de una estimación de fallos en un actuador hidráulico de variación de paso de pala de variación de paso de pala (107) del sistema hidráulico, dicho circuito electrónico analógico (190) está adaptado y configurado para realizar un procesamiento de dicha señal residual (10) generada para estimar un fallo en dicho actuador hidráulico de variación de paso de pala de variación de paso de pala (107) para lo cual comprende:

- un módulo de filtrado (191) adaptado y configurado para filtrar la señal residual a una frecuencia de corte equivalente a una frecuencia natural resonante del actuador hidráulico de variación de paso de pala (107) implementado como un modelo dinámico de servo-sistema de segundo orden;

- un módulo de amplificación (192) adaptado y configurado para amplificar la señal residual filtrada;

- un módulo de rectificación (193) adaptado y configurado para extraer una señal equivalente, envolvente, de la señal residual amplificada;

- un módulo de sintonización-comparación (194) que comprende:

- un módulo de sintonización (195) adaptado y configurado para sintonizar un valor umbral de voltaje de referencia programable en función del tipo de fallo a detectar;

- un módulo de comparación (196) adaptado y configurado para comparar la señal equivalente, envolvente, con dicho valor umbral de voltaje de referencia programable, proporcionando una señal comparada;

- un módulo de acoplamiento binario (197) adaptado y configurado para binarizar la señal comparada; y

- un módulo de control de tiempo (198) adaptado y configurado para activar durante un tiempo determinado un módulo de indicación (199); y

- dicho módulo de indicación (199) adaptado y configurado para señalar que se ha producido un fallo en el actuador hidráulico de variación de paso de pala (107).

5 8. Circuito electrónico analógico según la reivindicación 7, que comprende una pluralidad de módulos de sintonización-comparación (194), estando cada uno adaptado y configurado para detectar un fallo de una pluralidad de fallos en dicho actuador hidráulico de variación de paso de pala (107).

10 9. Circuito electrónico analógico según la reivindicación 8, en donde dicha pluralidad de fallos comprende al menos un fallo por alto contenido de aire en el aceite del actuador hidráulico de variación de paso de pala (107), un fallo por desgaste de una bomba del actuador hidráulico de variación de paso de pala (107) y/o un fallo por fuga hidráulica en el actuador hidráulico de variación de paso de pala (107).

10. Circuito electrónico analógico según la reivindicación 7, en donde dicho módulo de filtrado (191) comprende un filtro paso bajo.

15 11. Circuito electrónico analógico según la reivindicación 7, en donde dicho módulo de indicación comprende unos indicadores visuales luminosos incluyendo unos diodos de emisor de luz, LED.

20 12. Circuito electrónico analógico según las reivindicaciones 7 a 11, que comprende además un módulo de pre-escalado (170) adaptado y configurado para realizar un pre-escalado de la señal residual, proporcionando una señal pre-escalada comprendida en un rango de entre 0 y 5 voltios.

13. Circuito electrónico analógico según la reivindicación 12, que comprende además un módulo de modulación por ancho de pulso (180) adaptado y configurado para modular la señal pre-escalada.

25 14. Circuito electrónico analógico según la reivindicación 7, en donde dicho valor umbral varía de 0 a 12 Voltios.

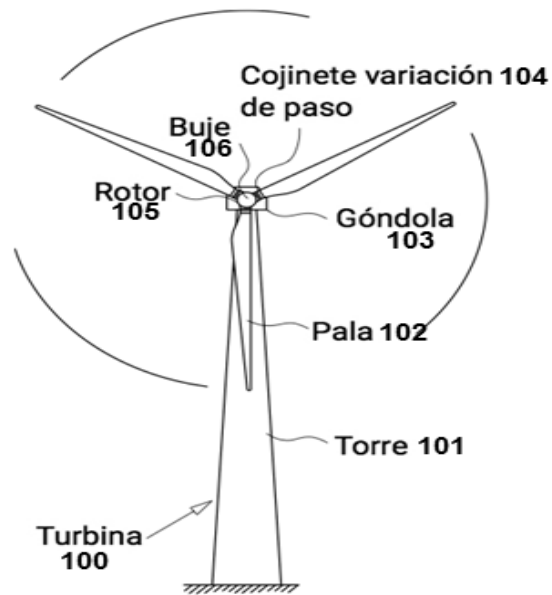


Fig. 1

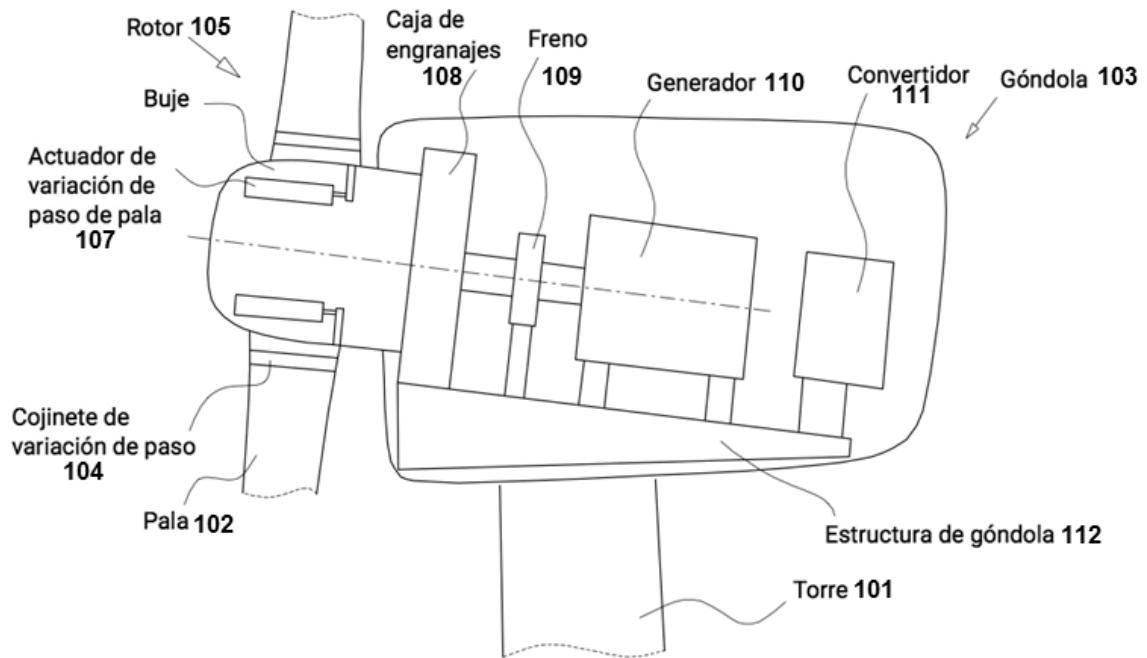


Fig. 2

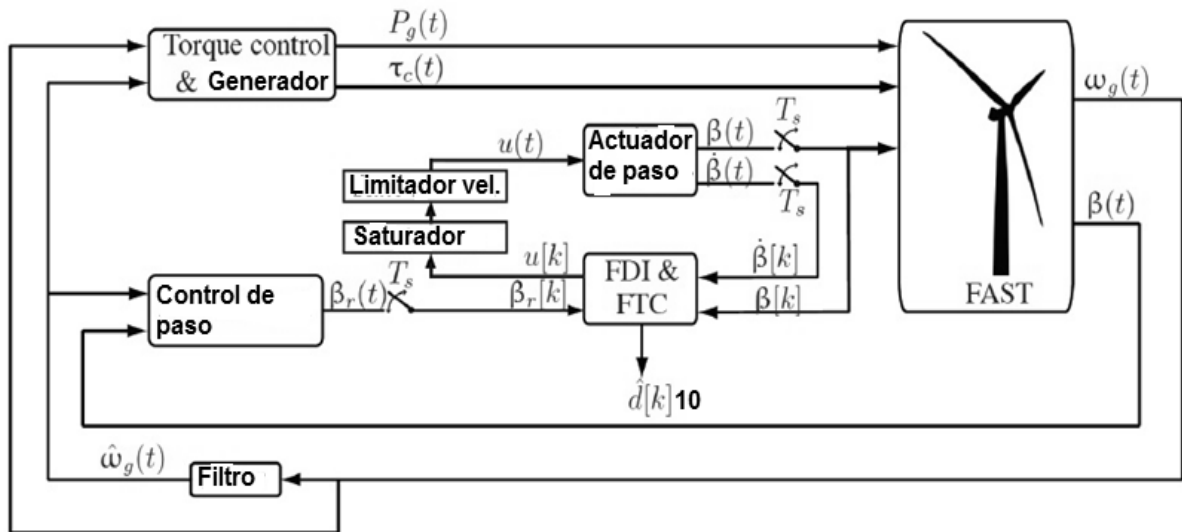


Fig. 3

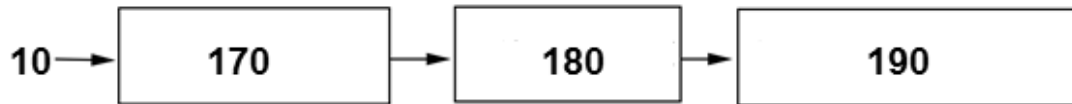


Fig. 4

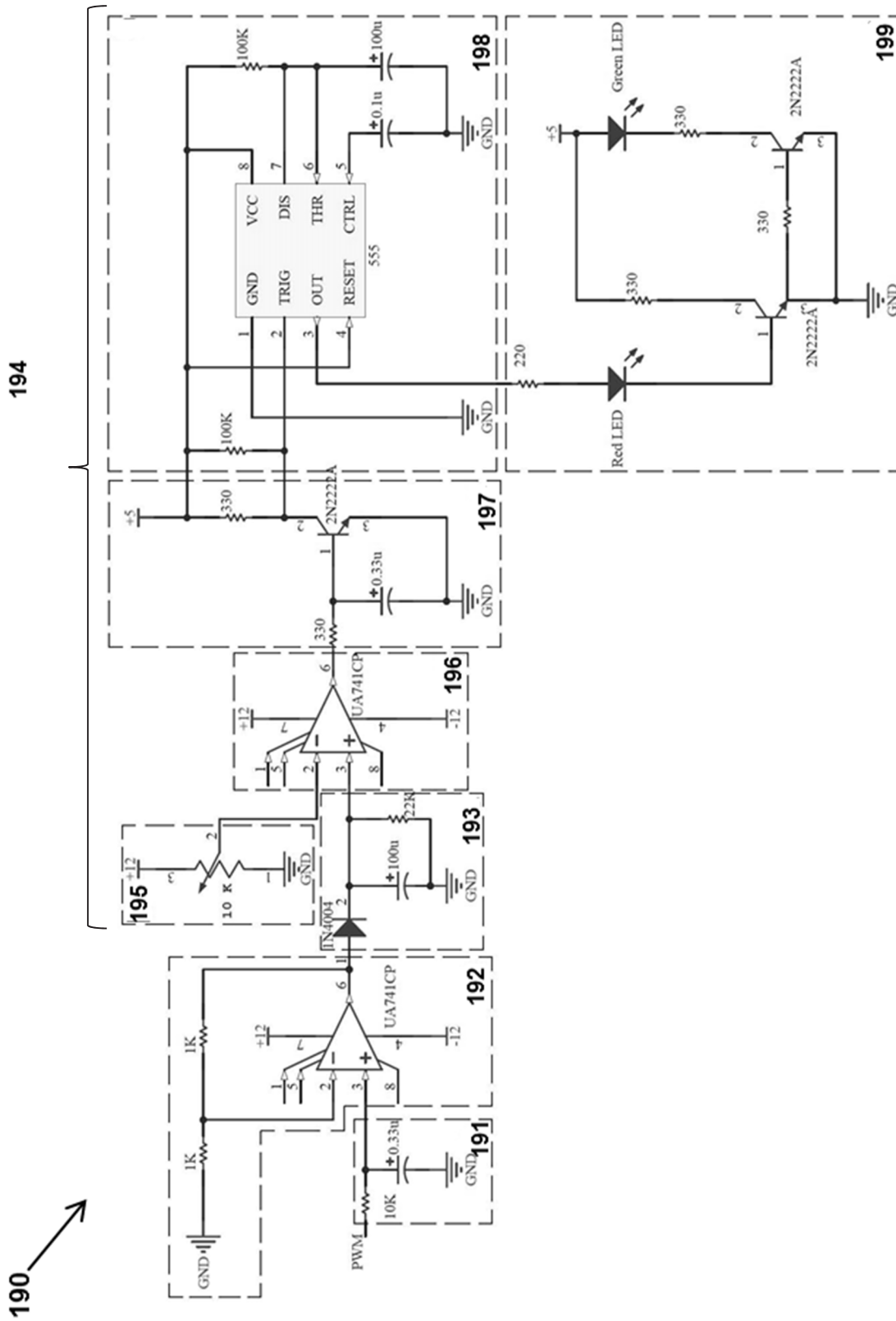


Fig. 5



190 ↗

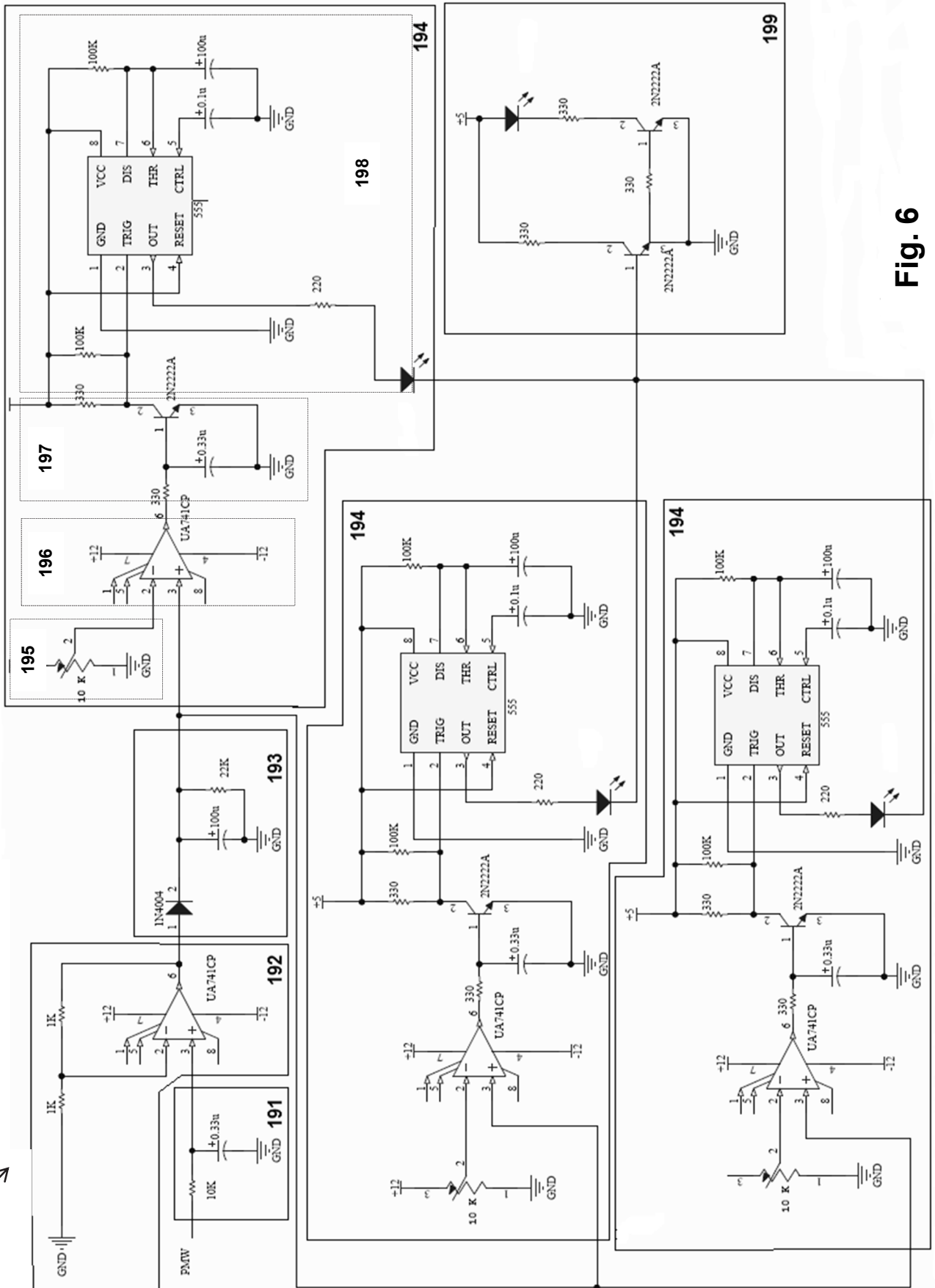
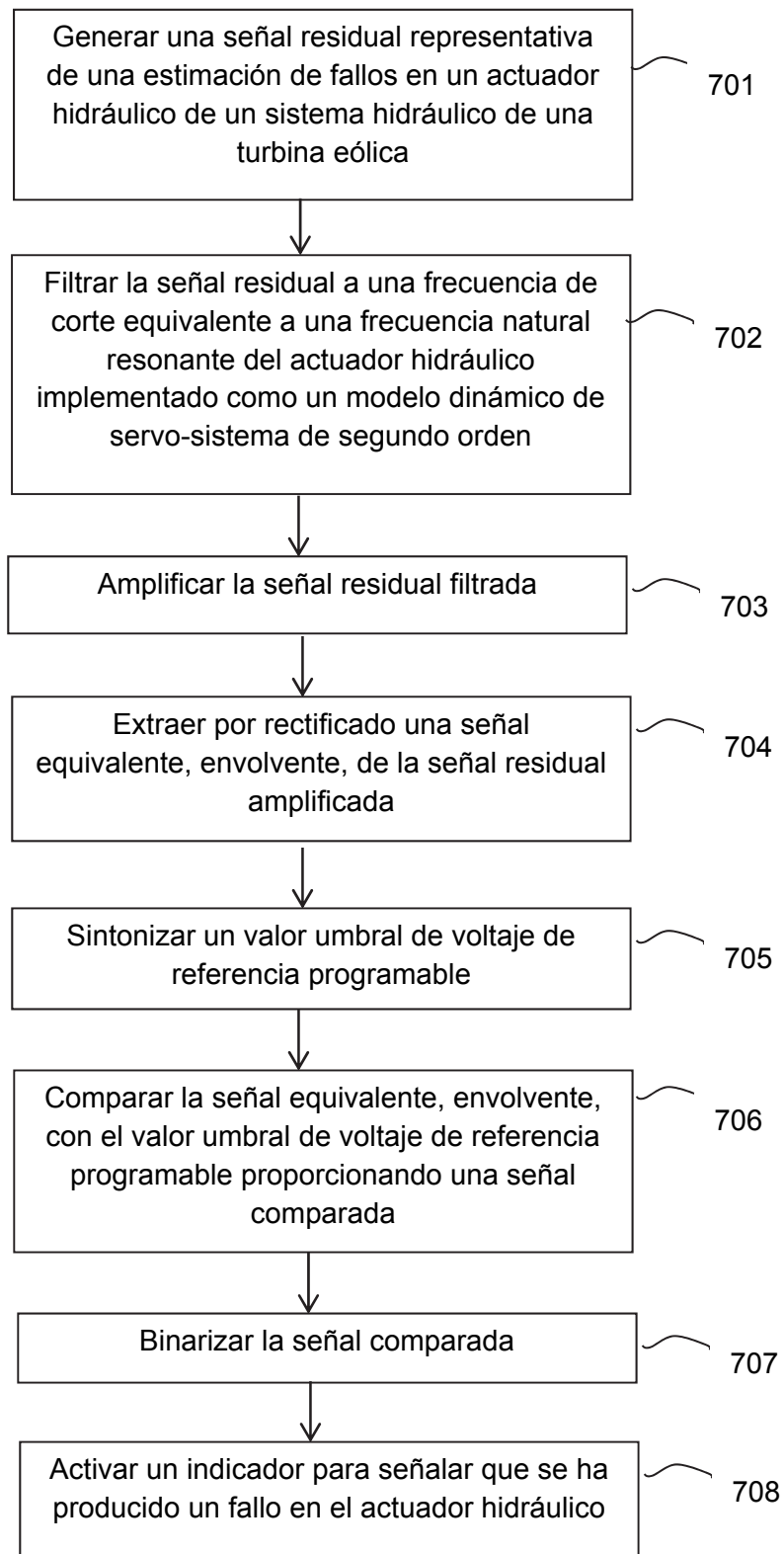


Fig. 6



**Fig. 7**



- ②<sup>1</sup> N.º solicitud: 201730664  
 ②<sup>2</sup> Fecha de presentación de la solicitud: 05.05.2017  
 ③<sup>2</sup> Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤<sup>1</sup> Int. Cl.: **F03D7/02** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤ <sup>6</sup> Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	YOLANDA VIDAL *, CHRISTIAN TUTIVÉN, JOSÉ RODELLAR AND LEONARDO ACHO. Fault Diagnosis and Fault-Tolerant Control of Wind Turbines via a Discrete Time Controller with a Disturbance Compensator.2015 [en línea][recuperado el 06/11/2017]. Recuperado de Internet <URL: <a href="http://www.mdpi.com/1996-1073/8/5/4300/htm">http://www.mdpi.com/1996-1073/8/5/4300/htm</a> >, <DOI: 10.3390/en8054300 >	1-14
A	CN 102678452 A (UNIV JIANGNAN) 19/09/2012, Resumen de la base de datos WPI. Recuperado de EPOQUE	1-14
A	CN 105156270 A (UNIV SHANGHAI DIANJI) 16/12/2015, Resumen de la base de datos WPI. Recuperado de EPOQUE	1-14

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia  
 Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría  
 A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita  
 P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud  
 E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
10.11.2017

Examinador  
R. Molinera de Diego

Página  
1/2

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

F03D

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC