

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 023 739**

51 Int. Cl.:

**F03D 17/00**

(2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.03.2022** **PCT/EP2022/057276**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.10.2022** **WO22207380**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.03.2022** **E 22716395 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.02.2025** **EP 4295040**

54 Título: **Método de obtención de imágenes de una pala de rotor de turbina eólica**

30 Prioridad:

**01.04.2021 EP 21166618**

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

**03.06.2025**

73 Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY A/S**  
**(100.00%)**

**Borupvej 16**  
**7330 Brande, DK**

72 Inventor/es:

**KARATAJEW, MAXIM y**  
**NIELSEN, LARS HOLM**

74 Agente/Representante:

**DEL VALLE VALIENTE, Sonia**

ES 3 023 739 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

Método de obtención de imágenes de una pala de rotor de turbina eólica

5 La invención describe un método para obtener imágenes de una pala de rotor de turbina eólica y una disposición de obtención de imágenes de palas de rotor de turbina eólica.

10 Las palas del rotor de turbina eólica están expuestas a condiciones ambientales adversas y pueden sufrir daños por impacto por granizo, arena u otras partículas suspendidas en el aire. Es importante reparar daños menores en el exterior de la pala del rotor para evitar daños más graves. Por ejemplo, el agua atrapada en una pequeña fisura o grieta puede expandirse cuando se congela, exacerbando el daño. Además, incluso un daño menor en el revestimiento exterior de la pala del rotor puede convertirse en un blanco no previsto para caída de relámpagos, que puede provocar daños muy graves o incluso catastróficos. Por estos motivos, es importante inspeccionar regularmente la superficie exterior de una pala de rotor para identificar anomalías en la superficie.

15 Sin embargo, las dimensiones de una pala de rotor actual (que puede tener fácilmente una longitud superior a 70 m) excluyen la posibilidad de identificar defectos en una sola imagen de una pala de rotor completa capturada con una cámara convencional. Esto se debe a que la cámara tendría que estar muy lejos para incluir toda la pala del rotor en su campo de visión, y la resolución resultante sería demasiado baja para permitir una identificación de daños del orden de algunos milímetros.

20 En un enfoque, una persona que lleve un arnés de cuerda puede ser bajado desde el buje y puede inspeccionar visualmente la pala del rotor para detectar daños. Sin embargo, el riesgo de lesiones es significativo. Además, este enfoque lleva mucho tiempo y da lugar a un tiempo de inactividad significativo, por lo que este tipo de inspección in situ puede resultar muy caro.

Por lo tanto, se han propuesto varias técnicas de inspección automatizadas basadas en cámaras para la detección de daños en el exterior de una pala de rotor.

30 Por ejemplo, puede montarse una cámara en una pista horizontal y hacer que se deslice hacia adelante y hacia atrás mientras se capturan imágenes de una pala de rotor, que también puede inclinarse durante la secuencia de obtención de imágenes para que puedan obtenerse imágenes de todos los aspectos de la superficie de la pala del rotor.

35 El documento US 2019/0370999 A1 proporciona un método, un sistema y un equipo para detectar y rastrear automáticamente una pala, utilizado para rastrear la pala del generador de energía eólica a través de un vehículo aéreo no tripulado. El vehículo aéreo no tripulado está provisto de un cabezal de base, el cabezal de base controla un ángulo de disparo de una cámara, incluyendo las siguientes etapas: obtener un archivo de vídeo de la pala a través de una cámara, detectar al menos un fotograma de la imagen de la pala en el archivo de vídeo de la pala y extraer los bordes laterales de la región de la pala en al menos un fotograma de imágenes de pala; rastrear y detectar los bordes laterales de la región de pala en imágenes de pala de múltiples fotogramas adyacentes temporalmente en el archivo de vídeo de pala según los bordes laterales de la región de pala; determinar un punto central de la región de pala en cada fotograma de la imagen de pala; y ajustar el cabezal de la base.

45 El documento EP 3770424 A1 describe un sistema automatizado de monitorización de palas de turbina que proporciona fotografías bajo demanda para evitar los grandes costes de mano de obra derivados de las inspecciones in situ, que aumentan la frecuencia de las inspecciones de las palas y, en última instancia, prolonga la vida útil de las palas de turbina eólica. Los datos sobre el estado de las palas pueden obtenerse de forma remota sin enviar técnicos a la turbina, mejorando el tiempo medio entre visitas a la unidad.

50 En las técnicas conocidas, es inevitable cierto grado de error y el error acumulado puede dar lugar a discrepancias muy grandes entre la posición real de un defecto y sus coordenadas locales. Por ejemplo, cuando se utilizan imágenes obtenidas de un sistema basado en drones, los errores pueden ser incluso más significativos debido a la inestabilidad inherente del vehículo aéreo y a las limitaciones en la precisión de las lecturas de altitud basadas en satélite.

55 Los datos de imagen obtenidos por un dron pueden ser ruidosos. Puede que no sea posible compensar el ruido utilizando técnicas de coincidencia de características entre imágenes consecutivas, ya que la superficie de una pala de rotor es generalmente uniforme y carente de características significativas. Además, las imágenes pueden capturarse en condiciones de iluminación deficientes o en condiciones de iluminación variables. Como resultado de ello, las técnicas conocidas pueden ser incapaces de obtener imágenes de una pala de rotor completa con el nivel de precisión deseado. Esto puede dar lugar a costes significativos debido a retrasos cuando un equipo de mantenimiento in situ no pueda encontrar un defecto en la localización comunicada y debe buscarlo.

60 Por lo tanto, un objeto de la invención es proporcionar una forma mejorada de obtención de imágenes de una pala de turbina eólica.

65

Este objeto se logra mediante una disposición de obtención de imágenes de una pala de rotor de turbina eólica según la reivindicación 1 y mediante un método según la reivindicación 6 para obtener imágenes de una pala de rotor de turbina eólica.

Según la invención, la disposición de obtención de imágenes de pala de rotor de turbina eólica comprende un cardán multieje montado en el exterior de la turbina eólica y configurado para ajustar su orientación en respuesta a uno o más ajustes de cardán recibidos; una cámara montada en el cardán multieje y dispuesta para capturar imágenes de una pala de rotor; una unidad de análisis de imágenes configurada para analizar las imágenes capturadas; y un controlador de orientación de la cámara configurado para calcular la configuración actualizada del cardán basándose en el resultado del análisis de imágenes. La unidad de análisis de imágenes genera datos de salida que el controlador de orientación de la cámara puede utilizar como base para calcular los ajustes de cardán actualizados.

La disposición de obtención de imágenes puede utilizarse para producir una secuencia de obtención de imágenes en la que la cámara se controla para obtener o capturar múltiples imágenes de la superficie de la pala del rotor actualmente presentada, es decir, la superficie de la pala del rotor que puede ser “vista” por la cámara. Por ejemplo, una secuencia de obtención de imágenes puede dar lugar a 50 imágenes del lado de presión cuando la pala del rotor está orientada de forma que su lado de presión esté orientado hacia la cámara.

Aplicando este principio es posible tomar imágenes precisas automáticamente de una pala de rotor larga precurvada utilizando una cámara fija, p. ej., dado que la curvatura de la parte más externa de la pala de rotor puede llevarla fuera del campo de visión inicial de la cámara.

En la disposición de obtención de imágenes de la invención, la orientación del eje óptico de la cámara con respecto a dos o más ejes en un espacio tridimensional viene determinada directamente por los ajustes del cardán, es decir, por los ajustes de cabeceo, balanceo y guiñada de un cardán de tres ejes; o mediante la configuración del cardán de cabeceo y balanceo de un cardán de dos ejes. Puede suponerse que la cámara está montada de forma rígida en un brazo de soporte del cardán, de modo que una rotación de cualquier eje del cardán tiene el efecto de girar la cámara en la misma cantidad. Por lo tanto, los términos “controlador de orientación de cámara” y “controlador de cardán” pueden considerarse sinónimos.

Una ventaja de la disposición de obtención de imágenes de la invención es que puede realizarse a un coste relativamente bajo. Puede realizarse sin ningún componente de hardware dedicado y puede ensamblarse a partir de componentes listos para su uso. La unidad de análisis de imágenes y el controlador de orientación de la cámara pueden realizarse total o parcialmente como módulos de software que se ejecutan en un procesador de un controlador de nivel superior. Una realización en gran medida en forma de módulos de software puede tener la ventaja de que las aplicaciones ya instaladas en un sistema existente pueden actualizarse con relativamente poco esfuerzo para instalar y ejecutar las etapas del método de la invención. Una ventaja adicional de la disposición de obtención de imágenes de la invención es que no requiere un dispositivo tal como un dron, ni un operario con experiencia en drones.

Según la invención, el método de obtención de imágenes de una pala de rotor de turbina eólica comprende las etapas de montar un cardán multieje de tal disposición de obtención de imágenes en el exterior de la turbina eólica; y accionar la cámara de la disposición de obtención de imágenes para capturar imágenes de la pala del rotor, donde una etapa de captura de una imagen viene precedida de una etapa de ajuste del cardán multieje al menos sobre la base del resultado del análisis de imágenes.

El cardán multieje puede montarse en cualquier cuerpo fijo adecuado en el exterior de la turbina eólica. Por ejemplo, el cardán puede estar unido a un soporte fijado a la torre, a una altura adecuada sobre el suelo. En un enfoque especialmente simple, el cardán puede montarse en una región inferior de la torre. Cuando una pala del rotor se lleva a una posición angular adecuada, p. ej., la posición de las “4 en punto” o de “8 en punto”, la cámara está situada entonces de forma favorable para capturar imágenes de la pala del rotor a lo largo de toda su longitud. De forma alternativa, para una turbina eólica terrestre, el cardán puede montarse sobre un soporte adecuadamente rígido, tal como un trípode, en un punto cerca de la torre de la turbina eólica, por ejemplo, sobre la base.

En el contexto de la invención, debe entenderse que una imagen capturada por la cámara puede mostrar solo una región de la pala del rotor (la región de la superficie de la que se han obtenido imágenes llena la imagen), o también puede mostrar un fondo (p. ej., partes del cielo, suelo, el mar, la torre de la turbina eólica, el buje). Es difícil obtener imágenes de una pala de rotor larga con una configuración de cámara convencional, ya que la punta muy delgada se estrecha hasta convertirse en una región plana y estrecha que puede ser difícil de identificar respecto al fondo. Estos problemas se agravan en el caso de palas de rotor precurvadas, que tienen una curvatura pronunciada en la dirección a favor del viento. El propósito de la curvatura a favor del viento es impedir que la punta de la pala del rotor choque con la torre durante el funcionamiento de la turbina eólica, en la que la pala del rotor se fabrica para “enderezarse” por la carga del viento. Sin embargo, la curvatura de la pala del rotor cuando se mantiene estacionaria durante un procedimiento de obtención de imágenes puede constituir una dificultad adicional para obtener un conjunto de imágenes completo.

El método de la invención resuelve este problema haciendo uso de un cardán multieje para soportar la cámara y ajustando los ejes del cardán para garantizar que la cámara esté en una posición óptima para capturar la siguiente imagen. Los ejes del cardán se ajustan al menos sobre la base del análisis de imágenes de una o más imágenes capturadas previamente. Por ejemplo, el análisis de imágenes puede indicar que, para la siguiente imagen, el eje óptico de la cámara debe ajustarse más hacia afuera (en la dirección de la punta) y más hacia un lado. Cada imagen capturada puede ser procesada por la unidad de análisis de imágenes, y el controlador de orientación de la cámara puede utilizar el resultado del análisis de imágenes para actualizar la configuración del cardán en preparación para capturar una imagen posterior.

En una realización especialmente preferida de la invención, la unidad de análisis de imágenes informa al controlador del cardán de que “continúe” si una imagen se considera satisfactoria, p. ej., con respecto a la resolución, brillo, contraste, color, localización de los detalles de la foto tomada, etc., o de que la “vuelva a tomar” si esa imagen no se considera satisfactoria. En otras palabras, las etapas de capturar una imagen de una región de pala de rotor, analizar la imagen capturada y ajustar la configuración del cardán se repiten según sea necesario hasta que se obtenga una imagen satisfactoria. De este modo, las etapas relevantes pueden repetirse en un bucle iterativo hasta que la imagen de esa región de la pala del rotor se considere satisfactoria.

Como se ha indicado anteriormente, el cardán multieje puede ser un cardán de dos ejes configurado para girar alrededor de dos ejes ortogonales, lo que permite ajustes en el cabeceo y balanceo, el cabeceo y la guiñada, o el balanceo y la guiñada. Sin embargo, en una realización especialmente preferida de la invención, el cardán multieje es un cardán de tres ejes que puede girar alrededor de tres ejes ortogonales, permitiendo ajustes en cabeceo, balanceo y guiñada. Por lo tanto, los ajustes del cardán calculados por el controlador de orientación de la cámara pueden comprender un ángulo de cabeceo, un ángulo de balanceo y un ángulo de guiñada. Dichos ángulos pueden denominarse ángulos de Euler, ángulos de Tait-Bryan, ángulos de cardán, etc.

Realizaciones y características particularmente ventajosas de la invención se dan por las reivindicaciones dependientes, como se revela en la siguiente descripción. Las características de distintas categorías de reivindicaciones pueden combinarse según corresponda para obtener realizaciones adicionales que no se describen en la presente memoria.

Una turbina eólica comprende de forma general varias palas de rotor, normalmente tres. A continuación, sin restringir la invención en modo alguno, puede asumirse que, durante una secuencia de obtención de imágenes, la cámara de la disposición de imágenes de la invención se controla para obtener o capturar múltiples imágenes de una sola pala de rotor, por ejemplo, 50 imágenes de la cara de una pala de rotor (p. ej., lado de presión, lado de succión, borde delantero).

En una realización especialmente preferida de la invención, la disposición de obtención de imágenes también comprende un telémetro configurado para medir una distancia entre la cámara y una región de la pala del rotor de la que se han obtenido imágenes. El telémetro puede comprender un sistema lidar, un telémetro láser o cualquier medio de seguimiento de distancias adecuado. El telémetro puede establecer continuamente la distancia desde la cámara a la superficie de la que se han obtenido imágenes, y esta distancia puede comunicarse en el instante en que se captura una imagen.

Junto con los datos del telémetro, que pueden cuantificar al menos la distancia a la región de superficie de la que se han obtenido imágenes previamente, el controlador de orientación de la cámara puede calcular los ajustes de eje relevantes para ajustar la orientación del cardán (y de la cámara).

Una ventaja del método de la invención es que puede obtenerse más rápidamente un conjunto completo de imágenes, y las imágenes mostrarán un nivel de ruido favorablemente bajo, dado que las imágenes vecinas pueden obtenerse con una profundidad de campo similar. Por lo tanto, las imágenes necesitan menos procesamiento antes de un procedimiento de unión de imágenes, lo que a su vez puede dar lugar a un resultado más preciso.

El método de la invención puede llevarse a cabo como sigue: El rotor aerodinámico se detiene en una posición que ofrezca la mejor vista de la pala del rotor a inspeccionar, p. ej., con esa pala del rotor en la posición de las “4 en punto”. El cardán se controla para dirigir la cámara hacia un extremo de la pala del rotor. A continuación, la cámara se controla para que comience a capturar imágenes que se envían a la unidad de análisis de imágenes, y el telémetro proporciona sus mediciones al controlador de orientación de la cámara. El controlador de orientación de la cámara utiliza el resultado del análisis de la imagen y la información del telémetro para calcular los ajustes de los ejes del cardán que asegurarán que, para una imagen posterior, el eje óptico de la cámara se dirija a una región directamente sobre la pala del rotor (preferiblemente una región que se superponga ligeramente a una imagen anterior capturada correctamente). Para ello, el módulo de análisis de imágenes está configurado para detectar la pala del rotor, es decir, para distinguir la pala del rotor del fondo (cielo, nubes, etc.) en la imagen. Por ejemplo, la unidad de análisis de imágenes puede configurarse para llevar a cabo etapas adecuadas de procesamiento de imágenes, como detección de bordes, para distinguir la pala del rotor del fondo de la imagen.

La configuración actualizada del cardán garantiza que la cámara esté siempre orientada de forma óptima para “ver” la siguiente parte de la pala del rotor de la que obtener imágenes. La configuración del cardán puede garantizar que

la imagen siguiente siga a la imagen anterior; y los ajustes de la cámara aseguran que la imagen cubra la mayor parte posible de la pala del rotor (p. ej., la imagen incluye tanto el “lado izquierdo” como el “lado derecho” de la superficie visible). Al controlar la cámara de esta forma, es posible obtener rápidamente un conjunto completo de imágenes de buena calidad, minimizando de este modo el tiempo de inactividad necesario de la turbina eólica. La calidad favorablemente alta del conjunto de imágenes simplifica la siguiente etapa, es decir, la unión de imágenes, y facilita la identificación precisa de daños en la superficie de la pala del rotor.

Puede utilizarse cualquier convención adecuada para describir la orientación del marco de referencia XYZ giratorio de la cámara con respecto a un marco de referencia xyz fijo. La orientación de los ejes XYZ de la cámara puede describirse como se ha indicado anteriormente utilizando ángulos de Euler, ángulos de Tait-Bryan, ángulos de cardán, etc. Como la cámara está firmemente montada en el cardán, la unidad de seguimiento de ángulos de visión y distancia mide y comunica de forma efectiva la orientación del eje óptico de la cámara.

El cardán se monta preferiblemente sobre un cuerpo rígido, p. ej., sobre un adaptador sujeto por una correa u oruga unida alrededor de la torre de la turbina eólica, o sobre un trípode robusto dispuesto en el suelo cerca de la base de la torre, etc.

La disposición de obtención de imágenes de la invención también comprende preferiblemente un controlador de cámara configurado para ajustar parámetros tales como la distancia focal de la cámara, la velocidad de obturación, etc. Puede asumirse que la cámara tenga una distancia focal variable, p. ej., mediante una lente parfocal (“lente de zoom”). Cualquiera de los parámetros de la cámara también puede ajustarse o corregirse basándose en el resultado del análisis de imágenes. Antes de una etapa de captura de imágenes, el controlador de orientación de la cámara puede proporcionar una configuración de cardán actualizada y el controlador de la cámara puede proporcionar una configuración de cámara actualizada. Una vez ajustado el cardán, el controlador de la cámara hace que la cámara capture una imagen. Estas etapas se repiten hasta que se haya obtenido un número suficiente de imágenes para una región deseada de la pala del rotor, para un lado de la pala del rotor o para toda la superficie de la pala del rotor, por ejemplo.

El controlador de orientación de la cámara y el controlador de la cámara pueden realizarse como una unidad de control combinada, o pueden estar subordinados a una unidad de control de nivel superior. De igual modo, el control de cualquier componente del sistema de imágenes también puede ser gestionado por un usuario a través de una interfaz de usuario adecuada, por ejemplo, un usuario puede determinar que debería ajustarse un parámetro de la cámara (p. ej., velocidad de captura de imágenes, resolución de la imagen, etc.).

Como se ha mencionado anteriormente, un cardán de dos ejes puede configurarse para girar alrededor de dos ejes ortogonales, por ejemplo, de modo que una cámara montada en el cardán pueda “cabecear” (p. ej., en la dirección del eje longitudinal de la pala del rotor) y “girarse” (p. ej., en una dirección de lado a lado a través de la pala del rotor). Este tipo de cardán puede ser suficiente para obtener imágenes de palas de rotor largas y esencialmente rectas. Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, una pala de rotor larga puede estar “precurvada”, con una curvatura significativa en la dirección a favor del viento. Una pala de rotor larga también puede estar “torcida”, es decir, el plano de la cuerda no es plano, sino que se tuerce en cierta medida alrededor del eje longitudinal de la pala de rotor. Por lo tanto, en una realización especialmente preferida de la invención, el cardán multieje es un cardán de tres ejes configurado para girar alrededor de tres ejes ortogonales, es decir, la cámara montada en el cardán puede cabecear, girar y guiñar. La capacidad de girar la cámara alrededor de tres ejes ortogonales significa que pueden obtenerse imágenes óptimas de una pala de rotor larga, precurvada y retorcida en toda su longitud.

Antes de comenzar una secuencia de imágenes, se define un marco de referencia fijo. Esto puede hacerse asignando una localización específica para el cardán, es decir, una localización cuya posición dentro de un marco de referencia sea conocida, y definiendo los ajustes del cardán en relación con esta localización. De forma alternativa, puede ser preferible calibrar la disposición de imágenes en relación con un marco de referencia antes de una secuencia de imágenes.

Preferiblemente, un sistema de coordenadas de referencia (o “marco de referencia”) se define en términos de un cuerpo fijo, tal como la torre de turbina eólica. Este marco de referencia puede ser un sistema de coordenadas cartesianas con ejes principales X, Y y Z. Estos tres ejes pueden asignarse de cualquier forma conveniente. El origen de dicho sistema de coordenadas de referencia puede definirse, por ejemplo, para que esté en el centro del buje de la turbina eólica, es decir, en la intersección de los ejes longitudinales de las palas del rotor. Del mismo modo, el sistema de coordenadas de referencia puede configurarse en términos de la pala del rotor de la que se ha obtenido imágenes, y el origen puede estar situado en la base de la pala del rotor. En tal marco de referencia, el eje Z puede asignarse para que coincida con el eje longitudinal de la pala del rotor.

En una realización especialmente preferida de la invención, un procedimiento de calibración inicial comprende las etapas de definir un marco de referencia fijo; dirigir el eje óptico de la cámara hacia el origen del marco de referencia y capturar una imagen inicial; y registrar una medición de distancia para la imagen inicial. Los parámetros establecidos de este modo, es decir, el origen del marco de referencia, los ángulos de visión iniciales y la distancia inicial, sirven como base sobre la cual se definen todas las imágenes posteriores. La medición de la distancia para la imagen inicial puede hacerse y registrarse por ejemplo manualmente, o puede establecerse de forma automatizada.

Uno o más de los ejes del cardán pueden reorientarse en cada etapa posterior de obtención de imágenes. Para cada etapa de captura de imágenes, se sincronizan los datos de la imagen y los datos de posición, es decir, se registran los ajustes del eje del cardán y las mediciones del telémetro en el momento de la captura de la imagen. Con el sistema de la invención, puede establecerse la orientación del sistema de coordenadas de la cámara con respecto al marco de referencia fijo para cada imagen. Este conocimiento permite transformar o proyectar cada imagen en un sistema de coordenadas común (p. ej., el marco de referencia fijo) mediante un proceso denominado mapeo por homografía, que forma parte del procedimiento de unión. Una vez que todas las imágenes se han “traducido” a un sistema de coordenadas común, es posible medir distancias que se extienden a lo largo de varias imágenes.

Como la cámara está montada en el cardán, que a su vez está montado de forma segura sobre un soporte estacionario, pueden capturarse imágenes sucesivas con ajustes de cámara similares. Por lo tanto, la invención presenta una mejora con respecto a enfoques “ruidosos” conocidos, tal como la técnica de drones automatizados, en la que es difícil sincronizar mediciones de distancia con las imágenes capturadas, ya que el dron generalmente está siempre en movimiento: los datos de imagen y los datos del telémetro pueden generarse y transmitirse por separado, de modo que en un escenario de “peor caso” desde el punto de vista de la unión de imágenes, las imágenes y las mediciones de distancia están “desincronizadas” y las mediciones de distancia se asignan incorrectamente a las imágenes, debido a la demora entre los dos tipos de datos y movimiento de drones dentro de este breve intervalo de tiempo.

El método de la invención, por el contrario, puede proporcionar una secuencia de imágenes, cada una con información de orientación muy precisa, de modo que la precisión del procedimiento de unión de imágenes mejora en consecuencia.

La configuración del cardán puede relacionarse con un marco de referencia de la pala del rotor, de modo que el análisis posterior de la imagen puede permitir que cualquier punto de cualquier imagen se relacione con un punto “real” de la superficie de la pala del rotor. En otras palabras, la posición de un píxel en una imagen puede asignarse con coordenadas únicas en el marco de referencia de la pala del rotor. Esto permite identificar un defecto en la superficie de la pala del rotor aplicando algoritmos de procesamiento de imágenes adecuados, por ejemplo algoritmos que pueden detectar anomalías de color, anomalías de borde, etc. Dichos algoritmos serán conocidos por el experto en la técnica y no es necesario describirlos en detalle aquí. Cualquier anomalía o “hallazgo” detectado por tal algoritmo puede notificarse al usuario junto con las coordenadas del marco de referencia de la pala del rotor. Por ejemplo, el usuario puede recibir un mensaje como “posible defecto en la superficie a 25 m del extremo de la raíz, en el lado de succión, a 3 cm del borde delantero”. Dicho informe de defectos también puede indicar la longitud, la anchura o el área del defecto.

Los defectos resultantes del impacto (picaduras, fisuras, descamación de la capa de pintura exterior, etc.) se encuentran a menudo cerca del borde de ataque en las regiones exteriores de la pala. Esto se debe a que la velocidad de rotación de la pala del rotor aumenta en la dirección de la punta y por lo tanto aumenta la velocidad de impacto de las partículas. Los defectos resultantes de cargas y momentos de flexión elevados pueden aparecer como grietas o arrugas en la región interior de la pala del rotor. El método de la invención puede identificar la localización de cualquiera de dichos defectos con un grado de precisión favorablemente alto.

El objeto de la invención también se logra mediante un producto de programa informático con un programa informático que puede cargarse directamente en la memoria de una unidad de control de la disposición de obtención de imágenes, y que comprende unidades de programa para realizar las etapas del método de la invención cuando el programa es ejecutado por la unidad de control.

Otros objetivos y características de la presente invención serán evidentes a partir de las siguientes descripciones detalladas consideradas en conjunto con los dibujos adjuntos. Sin embargo, debe entenderse que los dibujos están diseñados únicamente con fines ilustrativos y no como una definición de los límites de la invención.

La Figura 1 muestra una realización de la disposición de la invención de obtención de imágenes de palas de rotor de turbina eólica;

la Figura 2 es un diagrama de bloques simplificado de una realización de la disposición de la invención de obtención de imágenes de palas de rotor de turbina eólica;

la Figura 3 ilustra una etapa durante la implementación del método de la invención;

la Figura 4 ilustra una etapa durante la implementación del método de la invención;

la Figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra las etapas del método de la invención;

cada una de las Figuras 6 y 7 ilustra una disposición de obtención de imágenes de la técnica anterior.

En los diagramas, números similares se refieren a objetos similares en todas partes. Los objetos en los diagramas no están necesariamente dibujados a escala.

La Figura 1 es un diagrama simplificado de una realización de la disposición de obtención de imágenes de la invención 1, la Figura 2 muestra un diagrama de bloques de la disposición de obtención de imágenes de la invención 1, y la Figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra las etapas del método de la invención. En

5 la Figura 1, una cámara 11 está montada en un cardán multieje, que está unido a una torre 22 de turbina eólica. La cámara 11 está montada en un cardán multieje 10. Un telémetro 12 mide la distancia 12\_d entre la cámara 11 y una superficie de la que se ha obtenido la imagen de la pala del rotor.

10 La Figura 2 es un diagrama de bloques simplificado de la disposición de obtención de imágenes de la invención. El diagrama indica un cardán 10 de 3 ejes y un controlador 100 de cardán que calcula los ajustes actualizados para la cámara 11, que se entenderá está montada en el cardán 10 de 3 ejes de modo que pueda girar alrededor de tres ejes ortogonales en su marco de referencia XYZ. Aunque aquí se describe un cardán de tres ejes, debe entenderse que la cámara puede montarse en un cardán de dos ejes. Tal realización puede ser suficiente para obtener imágenes de una pala de rotor no precurvada, por ejemplo.

15 Antes de comenzar una secuencia de imágenes, se define un marco de referencia fijo. Por ejemplo, puede definirse un sistema de coordenadas 3D para que tenga su origen en el centro del buje 20H (un punto indica el origen en el centro geométrico del buje 20H en la intersección de los ejes longitudinales de las tres palas del rotor), con uno de los tres ejes ortogonales dispuesto paralelo al eje longitudinal de la torre del aerogenerador. Del mismo modo, puede  
20 definirse un sistema de coordenadas 3D para que tenga su origen en la base de la pala de rotor de la que se están tomando imágenes (otro punto indica la base de la pala de rotor de la que se están tomando imágenes) con uno de los tres ejes ortogonales coincidiendo con el eje longitudinal de la pala de rotor 20. Una vez elegido el marco de referencia, la disposición 1 de obtención de imágenes puede configurarse dirigiendo el eje óptico 11A de la cámara 11 hacia el origen y capturando una imagen inicial. Al mismo tiempo, se mide la distancia a la superficie de la que se han  
25 obtenido imágenes y se anotan los ajustes del cardán. Estos parámetros (origen del marco de referencia, configuración del cardán y distancia inicial) sirven de base a partir de la cual se definen todas las imágenes posteriores.

En la Figura 1, la pala 20 de rotor de la que se están obteniendo imágenes se muestra en la posición de las “cuatro en punto”. En esta posición, la cámara 11 puede obtener imágenes de un lado completo (p. ej., el lado de presión). La  
30 pala 20 de rotor se puede girar entonces a la posición de las “ocho en punto”, de modo que la cámara 11 pueda obtener imágenes de su otro lado (p. ej., el lado de succión). Los ajustes del cardán se actualizan durante un procedimiento de obtención de imágenes, por ejemplo, durante un procedimiento en el que la cámara 11 captura una secuencia de imágenes del extremo de la raíz 20R al extremo de la punta 20T de una pala 20 de rotor. La secuencia de obtención de imágenes puede comenzar en la raíz 20R con un conjunto inicial de ajustes de cardán 10\_α, 10\_β, 10\_γ. Cada imagen 11i se analiza para determinar el progreso total, así como para determinar la calidad de la imagen. La distancia 12\_d entre la cámara y la pala 20 de rotor, según comunica el telémetro 12, puede utilizarse para actualizar el ajuste de cabeceo 10\_α.

Si una imagen se considera satisfactoria, p. ej., con respecto a la resolución, brillo, contraste, color, localización de los  
40 detalles de la foto tomada, etc., pueden actualizarse uno o más de los ajustes del cardán 10\_α, 10\_β, 10\_γ para orientar la cámara como preparación para la siguiente etapa de captura de imágenes. Si una imagen se considera no satisfactoria, los ajustes del cardán 10\_α, 10\_β, 10\_γ pueden actualizarse para ajustar la orientación de la cámara y capturar una imagen más satisfactoria.

45 Dado que la cámara 11 está montada en el cardán 10, los ángulos de visión de la cámara 11 (en el instante en que se captura una imagen 11i) están directamente relacionados con los ajustes del cardán 10\_α, 10\_β, 10\_γ, de modo que los ajustes de cabeceo, balanceo y guiñada 10\_α, 10\_β, 10\_γ del cardán 10 pueden entenderse como los ángulos de visión de la cámara 11. En cualquier momento, los ajustes de cabeceo, balanceo y guiñada 10\_α, 10\_β, 10\_γ del cardán 10 determinarán la orientación del eje óptico 11A de la cámara. El método de la invención proporciona una  
50 forma de apuntar de forma óptima la cámara 11 a la pala 20 de rotor para capturar toda su longitud con una calidad de imagen consistentemente alta, ajustando continuamente los ajustes de cabeceo, balanceo y guiñada 10\_α, 10\_β, 10\_γ del cardán 10.

El diagrama de flujo de la Figura 5 ilustra las etapas del método de la invención como se lleva a cabo mediante la  
55 realización ilustrativa ilustrada en la Figura 1 y la Figura 2. En una primera etapa 51, el cardán 10 se inicializa de modo que la cámara 11 apunte a un extremo de la pala del rotor, por ejemplo, al extremo raíz 20R. En una etapa 52 siguiente, la cámara captura una imagen 11i, que se envía a una unidad 110 de análisis de imágenes y se procesa en la etapa 53. En una realización, la unidad 110 de análisis de imágenes informa al controlador del cardán de que “continúe” si la imagen se ha considerado satisfactoria en la etapa 56, o de que “vuelva a tomarla” si la imagen no se ha considerado  
60 satisfactoria. Antes de volver a tomar una imagen 11i con el mismo ajuste de cabeceo 10\_α, el ajuste de guiñada 10\_β y/o el ajuste de balanceo 10\_γ se ajustan según corresponda en la etapa 54. La cantidad de ajuste necesaria puede indicarse mediante la unidad 110 de análisis de imágenes, que puede comunicar al controlador 100 de cardán cuánto debe ajustarse la cámara alrededor de un eje particular para la siguiente imagen, según corresponda. Antes de capturar una imagen posterior en la etapa 52, los ajustes del cardán 10\_α, 10\_β, 10\_γ se pasan al cardán 10, de modo  
65 que la orientación de la cámara 11 se ajustará como preparación para la etapa 52 de captura de imágenes. El proceso se repite hasta que se hayan obtenido imágenes de toda la pala 20 de rotor. Después de cada imagen satisfactoria,

la configuración de cabeceo puede actualizarse en la etapa 55 para girar la cámara más hacia afuera en la dirección de la punta de la pala del rotor. Cualquier imagen no satisfactoria puede tomarse de nuevo ajustando la configuración de guiñada  $10_{\beta}$  y/o la configuración de balanceo  $10_{\gamma}$  en la etapa 54, como se ha explicado anteriormente. En la etapa 57, la unidad 110 de análisis de imágenes detecta la finalización del procedimiento de obtención de imágenes, que, por ejemplo, puede reconocer la punta de la pala del rotor en una imagen final satisfactoria.

Por supuesto, el método de la invención podría realizarse analizando cada imagen para determinar los ajustes de cabeceo, balanceo y guiñada  $10_{\alpha}$ ,  $10_{\beta}$ ,  $10_{\gamma}$  para la imagen posterior, de modo que se reduzca la probabilidad de una imagen no satisfactoria.

Sin embargo, puede ser más rápido simplemente ajustar el ajuste de cabeceo  $10_{\alpha}$  como se ha descrito anteriormente y corregir la orientación y/o el balanceo según sea necesario, ya que estas correcciones pueden resultar más relevantes en la parte más delgada del perfil aerodinámico de la pala del rotor, cuya forma curva puede requerir más ajustes de la orientación de la cámara.

La Figura 3 ilustra una etapa en el método de la invención. Cualquiera de las imágenes descritas a continuación puede considerarse como una imagen 111 capturada en la etapa 52 del diagrama de flujo de la Figura 5. Se ha analizado una imagen 30 y se ha considerado satisfactoria. Los ajustes del cardán se actualizan para inclinar la cámara más hacia afuera, y se captura una imagen 31 posterior. Sin embargo, el análisis de imágenes considera que esta imagen posterior 31 no es óptima, porque no incluye ambos bordes de la pala 20 de rotor (por supuesto, algún otro criterio puede determinar si una imagen es satisfactoria o no). Por lo tanto, el controlador 100 de cardán ajusta los ajustes del cardán para ajustar los ajustes de guiñada y/o balanceo (dejando cabeceo sin cambios), y se captura otra imagen 32. El análisis de imágenes aprueba esta imagen 32, ya que muestra la pala del rotor de borde a borde. La configuración del cardán puede ajustarse una vez más para inclinar la cámara más hacia afuera, procediendo a capturar más imágenes en la dirección de la punta de la pala del rotor, como se ilustra en la Figura 4. Aquí, se ha analizado una imagen 40 y se ha considerado satisfactoria. Los ajustes del cardán se actualizan para inclinar la cámara más hacia afuera, y se captura una imagen 41 posterior. Sin embargo, debido a que la pala 20 de rotor se ha precurvado y se curva notablemente en la dirección a favor del viento en su estado sin carga, el extremo de la punta estrecha ya no está dentro del campo de visión de la cámara, y el análisis de imágenes considera que esta imagen posterior 41 no es óptima. Por lo tanto, el controlador del cardán ajusta los ajustes del cardán para ajustar los ajustes de guiñada y/o balanceo (dejando el cabeceo sin cambios), y se captura otra imagen 42. El análisis de imagen aprueba esta imagen 42, ya que se cambió la orientación de la cámara para capturar el estrecho perfil aerodinámico de un extremo a otro. La configuración del cardán puede ajustarse una vez más para inclinar la cámara aún más hacia afuera y capturar una imagen 43 de la punta 20T de la pala del rotor.

La Figura 6 muestra una implementación de un método de la técnica anterior. En este caso, se utiliza un dron 60 con cámara para capturar imágenes de una pala 20 de rotor. Las imágenes pueden ser bastante “ruidosas” debido a la dificultad de mantener una posición estable del dron incluso en condiciones de poco viento, y también debido a las inexactitudes inherentes a las lecturas de geolocalización basadas en satélites. El ruido puede dificultar la unión de imágenes y dar lugar a malos resultados. Si la calidad no es satisfactoria, el procedimiento debe volver a realizarse, dando lugar a más tiempo de inactividad y a la pérdida de ingresos.

La Figura 7 muestra una técnica anterior adicional, en la que una cámara estacionaria 70 está dispuesta para poder ver cualquier parte de la pala 20 de rotor. Sin embargo, en el caso de palas de rotor precurvadas, como se muestra aquí, puede resultar difícil y llevar mucho tiempo ajustar la configuración de la cámara para capturar toda la superficie de las palas del rotor.

Aunque la presente invención se ha descrito en forma de realizaciones preferidas y variaciones de las mismas, se entenderá que podrían realizarse numerosas modificaciones y variaciones adicionales en la misma sin apartarse del ámbito de la invención.

En aras de la claridad, debe entenderse que el uso de “un” o “una” a lo largo de esta solicitud no excluye una pluralidad, y “que comprende” no excluye otras etapas o elementos. La mención de una “unidad” o un “módulo” no excluye el uso de más de una unidad o módulo.



REIVINDICACIONES

1. Una disposición (1) de obtención de imágenes de palas de rotor de turbina eólica, que comprende
  - un cardán multieje (10) montado en el exterior de la turbina eólica (2) y configurado para ajustar su orientación en respuesta a uno o más ajustes de cardán recibidos (10\_α, 10\_β, 10\_γ), en particular en donde los ajustes del cardán comprenden cualquiera de un ángulo de cabeceo (10\_α), un ángulo de balanceo (10\_β) o un ángulo de guiñada (10\_γ);
  - una cámara (11) montada en el cardán multieje (10) y dispuesta para capturar imágenes (11i) de una pala (20) de rotor;
  - una unidad (110) de análisis de imágenes configurada para analizar las imágenes capturadas (11i) y generar un resultado (110\_out) de análisis de imágenes; y **caracterizada por**
  - un controlador (100) de orientación de cámara configurado para calcular los ajustes de cardán actualizados (10\_α, 10\_β, 10\_γ) sobre la base del resultado (110\_out) de análisis de imágenes.
2. La disposición (1) de obtención de imágenes de palas de rotor de turbina eólica según la reivindicación 1, en donde la disposición (1) de imágenes de palas de rotor de turbina eólica, en particular la unidad (110) de análisis de imágenes y/o el controlador (100) de orientación de la cámara, está(n) configurado(s) para repetir la captura de una imagen (11i) de la pala (20) de rotor o de una región de pala de rotor, analizar la imagen capturada (11i) y ajustar la configuración (10\_α, 10\_β) del cardán, 10\_γ) sobre la base del resultado (110\_out) de análisis de imagen hasta que se considere satisfactoria la imagen (11i) de la pala (20) de rotor o de la región de la pala del rotor.
3. La disposición (1) de obtención de imágenes de palas de rotor de turbina eólica según la reivindicación 1 o 2, en donde el cardán multieje (10) está configurado para girar alrededor de un primer eje (10Y), para girar alrededor de un segundo eje (10Z), cuyo segundo eje (10Z) es ortogonal al primer eje (10Y), y en particular en donde el cardán multieje (10) está configurado para girar alrededor de un tercer eje (10Z), cuyo tercer eje (10X) es ortogonal al primer eje (10Y) y al segundo eje (10Z).
4. La disposición (1) de obtención de imágenes de palas de rotor de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un telémetro (12) configurado para medir una distancia (12\_d) entre la cámara (11) y una región de la que se obtienen imágenes de la pala (20) de rotor, que comprende además en particular un controlador de cámara configurado para ajustar la distancia focal de la cámara (10) sobre la base de la distancia medida (12\_d) y/o sobre la base del resultado (110\_out) del análisis de imágenes.
5. La disposición (1) de obtención de imágenes de palas de rotor de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el cardán multieje (10) está montado en el exterior de la torre de turbina eólica.
6. Un método de obtención de imágenes de una pala (2) de rotor de turbina eólica, que comprende las etapas de
  - proporcionar un cardán multieje (10) de la disposición (1) de obtención de imágenes de palas de rotor de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 a un exterior de la turbina eólica (2);
  - accionar la cámara (11) de la disposición (1) de obtención de imágenes de palas de rotor de turbina eólica para capturar imágenes (11i) de la pala (20) de rotor, donde una etapa de captura de una imagen (11i) va precedida de una etapa de ajuste de uno o más ajustes (10\_α, 10\_β, 10\_γ) de cardán del cardán multieje (10) al menos sobre la base del resultado (110\_out) de análisis de imágenes.
7. El método según la reivindicación 6, que comprende una etapa de analizar las imágenes (11i) y calcular los ajustes (10\_α, 10\_β, 10\_γ) del cardán para dirigir el eje óptico (11A) de la cámara (11) hacia una región diana de la pala (20) de rotor.
8. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores del método, en donde las etapas de capturar una imagen (11i) de una región de pala de rotor, analizar la imagen capturada (11i) y ajustar la configuración (10\_α, 10\_β, 10\_γ) del cardán sobre la base del resultado (110\_out) del análisis de imágenes se repiten hasta que la imagen (11i) de dicha región de pala de rotor se considere satisfactoria.
9. El método según cualquiera de las reivindicaciones del método anteriores, en donde el método comprende una etapa de determinación de la fracción de la pala del rotor de la que se han obtenido imágenes.
10. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores del método, en donde la unidad (110) de análisis de imágenes detecta cuándo se ha completado el procedimiento de obtención de imágenes.

11. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores del método, en donde un procedimiento de calibración inicial comprende las etapas de
- 5                    -definir un marco de referencia fijo;  
                      -dirigir el eje óptico (11A) de la cámara (11) hacia el origen del marco de referencia y capturar una imagen inicial (111); y  
                      -registrar una medición de distancia para la imagen inicial (11i).
- 10 12. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores del método, en donde un procedimiento de obtención de imágenes comprende las etapas de
- 15                    -llevar la pala (20) de rotor a una primera posición angular antes de obtener imágenes de un lado de la pala (20) de rotor; y  
                      -llevar la pala (20) de rotor a una segunda posición angular antes de obtener imágenes del otro lado de la pala (20) de rotor.
13. El método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores del método, que comprende una etapa de inclinar la pala (20) de rotor alrededor de su eje longitudinal (20L) durante el procedimiento de obtención de imágenes.
- 20 14. El método según cualquiera de las reivindicaciones del método anteriores, que comprende una etapa de análisis de las imágenes capturadas (11i) para identificar un hallazgo (F) en la pala (20) de rotor y determinar las coordenadas del hallazgo (F) en un marco de referencia de la pala (20) de rotor.
- 25 15. Un producto de programa informático para llevar a cabo las etapas del método según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 14 cuando el producto de programa informático se carga en una memoria de un dispositivo programable configurado para controlar uno o más componentes de la disposición (1) de obtención de imágenes de palas de rotor de turbina eólica.

Figura 1

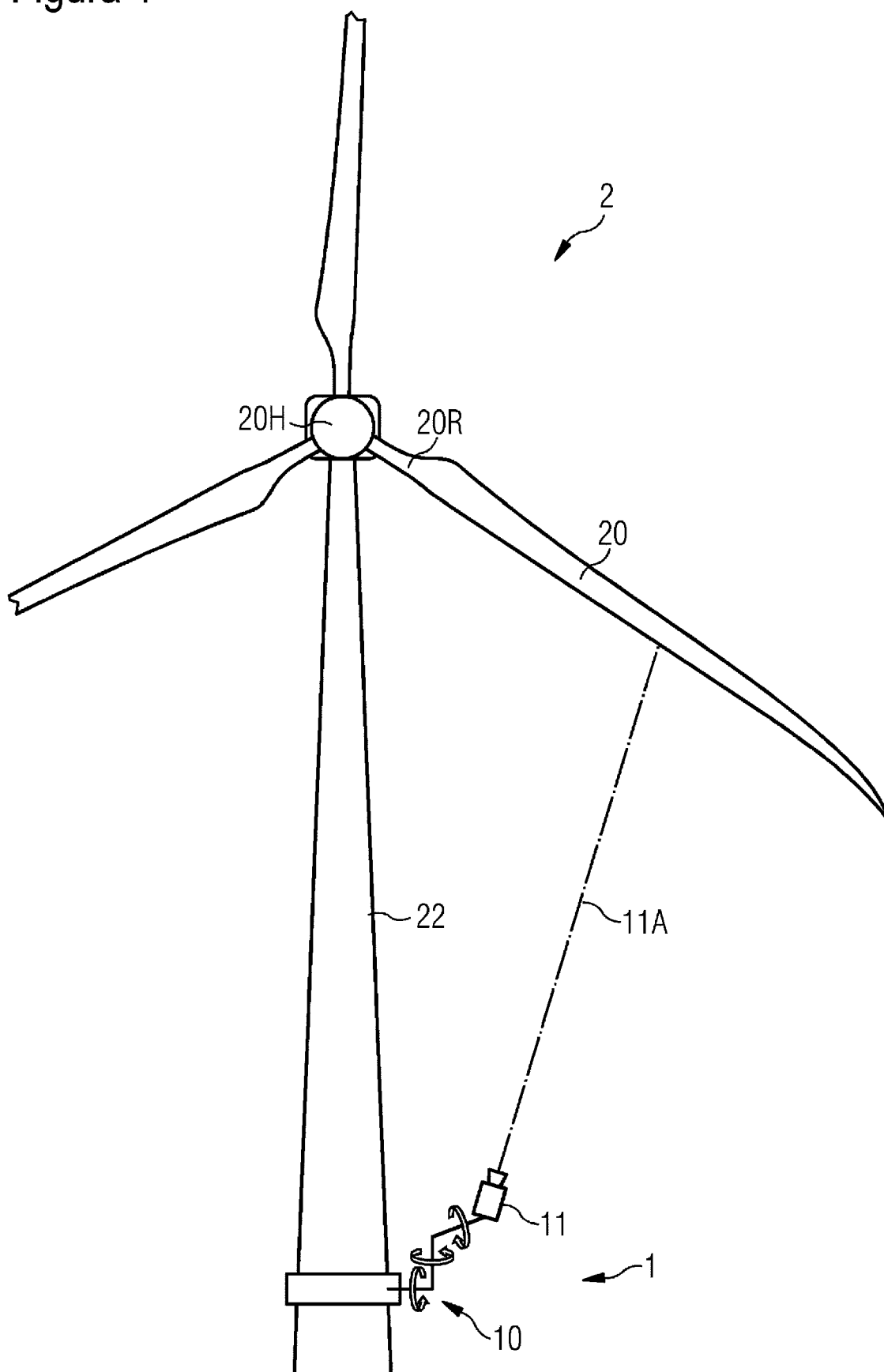


Figura 2

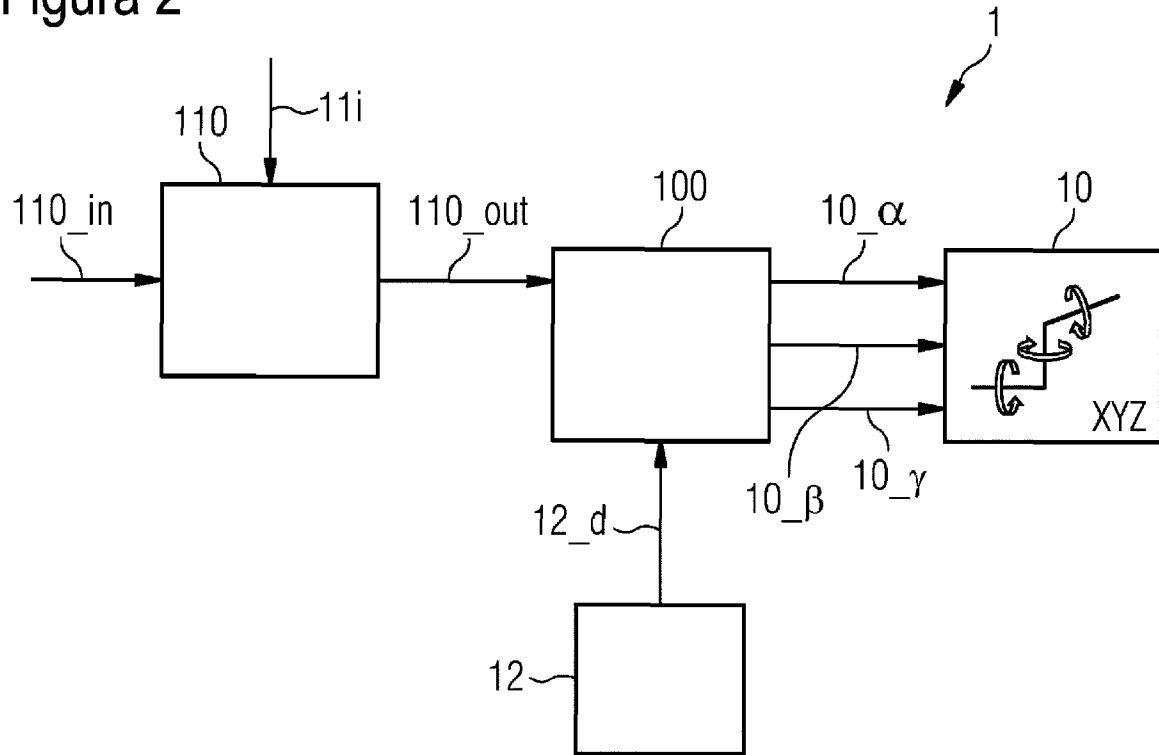


Figura 3

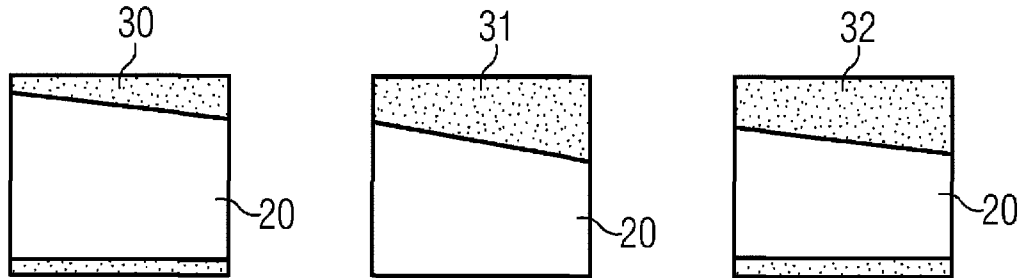


Figura 4

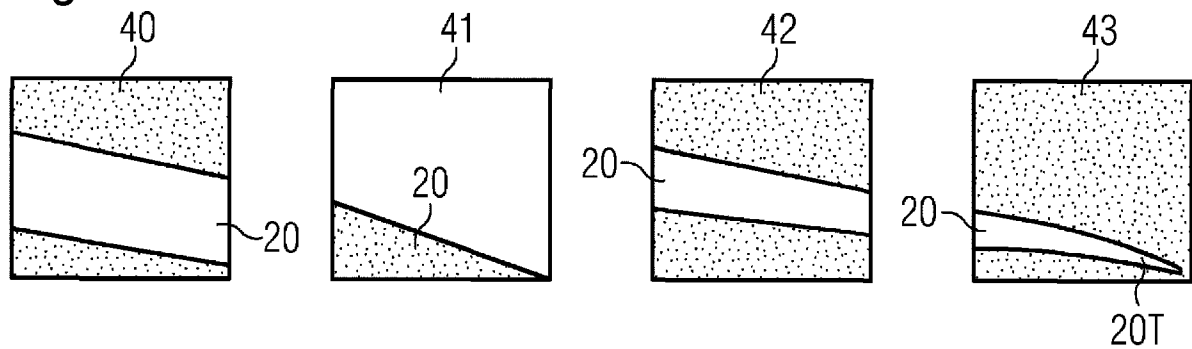


Figura 5

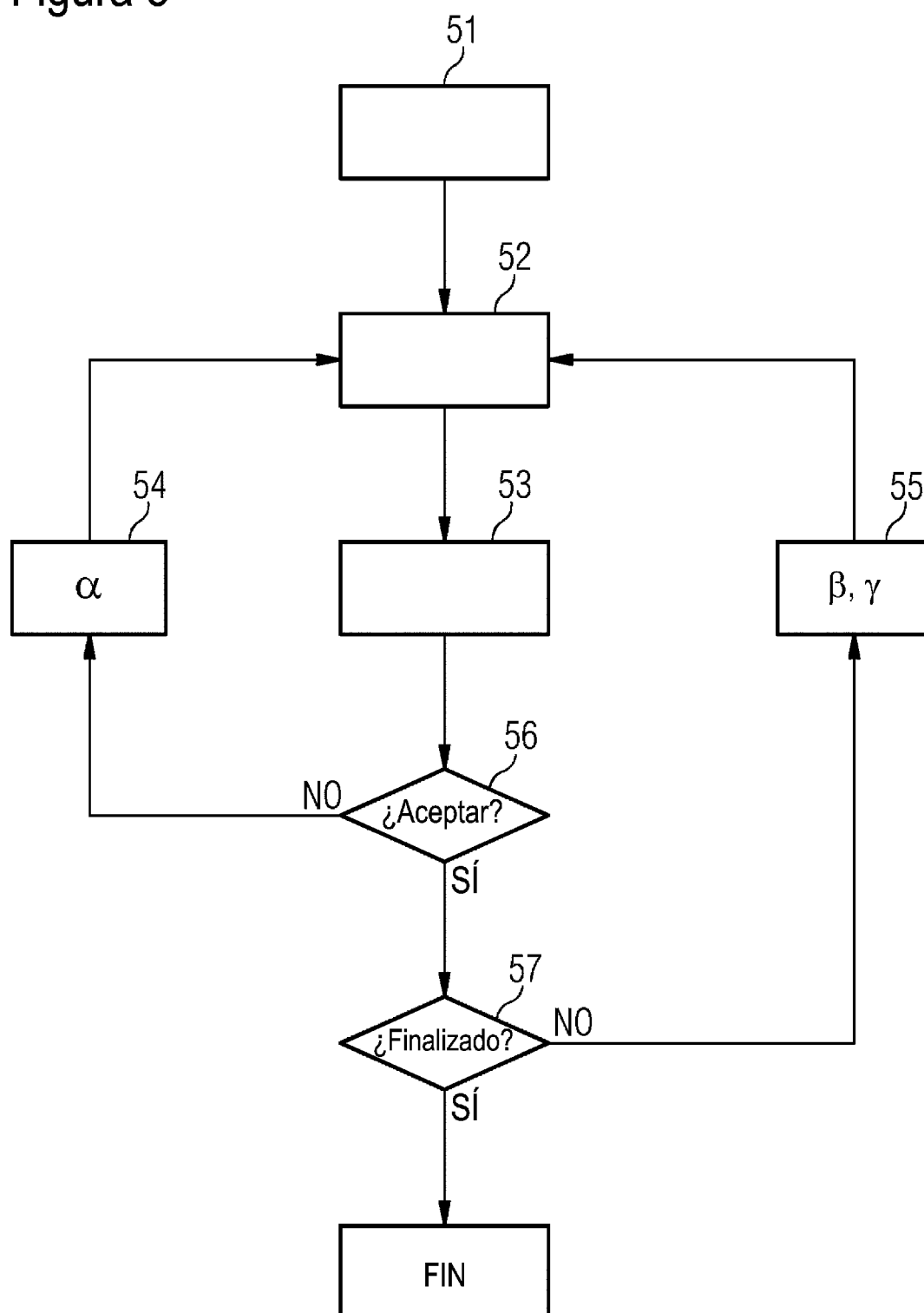


FIGURA 6 ESTADO DE LA TÉCNICA

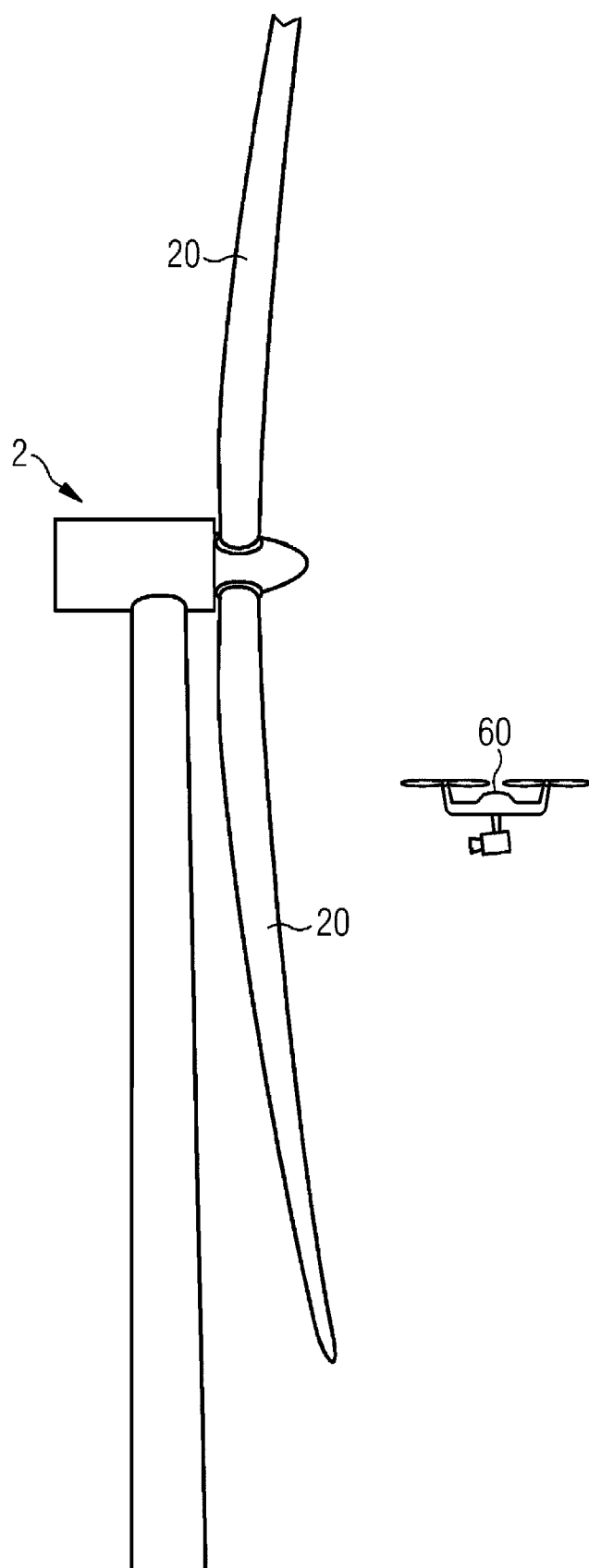


FIGURA 7 ESTADO DE LA TÉCNICA

