

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 911 300**

51 Int. Cl.:

**F03D 17/00**

(2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.02.2019** **PCT/EP2019/053760**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.09.2019** **WO19179701**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.02.2019** **E 19707302 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.04.2022** **EP 3749855**

54 Título: **Sistema de monitorización de pala de rotor**

30 Prioridad:

**22.03.2018 EP 18163345**

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

**18.05.2022**

73 Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY A/S**  
**(100.0%)**

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

72 Inventor/es:

**GIROLAMO, DONATO;**  
**ORLOWITZ, ESBEN y**  
**STEVANOVIC, NEVENA**

74 Agente/Representante:

**LOZANO GANDIA, José**

ES 2 911 300 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

Sistema de monitorización de pala de rotor

### 5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a una pala de rotor para una turbina eólica, se refiere a un sistema de monitorización de pala de rotor, se refiere a una turbina eólica y además se refiere a un método de monitorización de un estado estructural de una pala de rotor de una turbina eólica.

### 10 Antecedentes de la técnica

Una turbina eólica puede comprender un árbol de rotación con un buje en el que se montan múltiples palas de rotor. El árbol de rotación puede acoplarse mecánicamente con un rotor de un generador para generar energía eléctrica tras la rotación del buje al que se conectan las palas de rotor. Las palas de rotor pueden estar sometidas a desgaste durante el funcionamiento de tal manera que se deterioran a lo largo de un tiempo de funcionamiento prolongado.

Por tanto, es necesario monitorizar el estado estructural o la integridad estructural de las palas de rotor. La monitorización de la salud estructural de las palas de turbina eólica puede requerir convencionalmente una inspección *in-situ* regular, con el fin de evitar modos de fallo crítico de la estructura de palas. La inspección *in-situ* de palas en turbinas eólicas es actualmente, sin embargo, costosa y requiere mucho tiempo. Además, puede depender de la meteorología y a menudo las turbinas eólicas están situadas en sitios de difícil acceso en zonas remotas o instalaciones en alta mar, haciendo difícil planificar y realizar inspecciones. Adicionalmente, las palas de rotor actualmente son componentes relativamente grandes y caros de turbinas eólicas. Por tanto, una reparación estructural prolongada que implica la detención de producción de energía o pérdida de pala debido a daños estructurales puede implicar desventajas graves.

La inspección *in-situ* visual convencional la realiza el personal de mantenimiento anual o bienalmente para todas las turbinas eólicas de un parque eólico. De ese modo, el personal de mantenimiento entra en las palas, inspecciona las superficies y toma fotografías si se encuentran observaciones sospechosas. Esta operación de monitorización puede realizarse en sólo una pala cada vez porque la pala en inspección tiene que estar en horizontal, lo que de nuevo puede imponer requisitos sobre las condiciones meteorológicas. La decisión de si hay daño presente la evalúa subjetivamente una persona y el resultado final dependerá del conocimiento y experiencia de esta persona. Por tanto, puede haber la necesidad de una pala de rotor para una turbina eólica, de un sistema de monitorización de pala de rotor, de una turbina eólica y además de un método de monitorización de un estado estructural de una pala de rotor de una turbina eólica, en la que la monitorización puede realizarse de manera simplificada y de manera fiable, en particular sin requerir que el personal de mantenimiento esté presente.

Un ejemplo de un dispositivo de la técnica anterior se conoce a partir del documento EP 2 511 524 A1.

### 40 Sumario de la invención

La invención se define por el contenido según las reivindicaciones independientes. Las realizaciones ventajosas de la presente invención se describen por las reivindicaciones dependientes.

Según una realización de la presente invención, se proporciona una pala de rotor para una turbina eólica, que comprende: al menos una cámara montada en el interior de la pala de rotor y adaptada para adquirir una imagen de una porción de una superficie interior de la pala de rotor.

La cámara puede estar adaptada para adquirir una o más imágenes bidimensionales de la porción de la superficie interior de la pala de rotor. Por tanto, la cámara puede comprender múltiples elementos sensibles a la luz por ejemplo dispuestos en una matriz bidimensional. Los elementos sensibles a la luz pueden comprender por ejemplo una CCD o una unidad de CMOS. La(s) cámara(s) también puede(n) comprender uno o más filtros ópticos que filtran una o más regiones del espectro, tales como una región visible, región de luz infrarroja, región ultravioleta, y de ese modo permitir que se formen las imágenes adquiriendo las intensidades de intervalo(s) de longitudes de onda seleccionado(s). Además, pueden disponerse una o más lentes o en general un objetivo delante de los elementos sensibles a la luz, permitiendo el enfoque. La cámara puede estar montada de manera permanente en el interior de la pala de rotor de tal manera que la cámara también está montada dentro de la pala de rotor mientras que la turbina eólica está en funcionamiento normal produciendo, por tanto, energía eléctrica tras la rotación de las palas de rotor. Dependiendo de la extensión de la pala de rotor y los intervalos de visión (por ejemplo ángulos) de la cámara, pueden montarse múltiples cámaras en el interior de la pala de rotor y montarse en diferentes posiciones de tal manera que se les permite adquirir esencialmente imágenes de toda la superficie interior de la pala de rotor. De ese modo, puede evitarse que el personal de mantenimiento entre en el interior de la pala de rotor y tome fotografías manualmente de regiones críticas de la superficie interior.

La pala de rotor puede tener un espacio hueco (interno) con al menos un alma de cizalladura. El alma de cizalladura

(o alma) puede ser un subcomponente estructural interno de la pala de rotor. Conecta las tapas de larguero presentes en los lados de presión y succión y puede tener la función de transferir las cargas de cizalladura que están presentes en la pala debido al momento de flexión en el sentido de batimiento aplicado a la estructura. Puede consistir en o comprender una placa multicapa de material compuesto que tiene un núcleo de contrachapado y láminas frontales de material de plástico reforzado con fibra de vidrio (GFRP).

La cámara puede estar montada directa o indirectamente en una porción de montaje de la superficie interior, por ejemplo encolando una cara de montaje de la cámara o una cara de montaje de un bastidor en el que está montada la cámara a la porción de montaje de la superficie interior. La cámara también puede empernarse al interior de la pala de rotor o puede montarse mediante otros medios. De ese modo, puede permitirse una monitorización sencilla del estado estructural de la pala.

Según una realización de la presente invención, la pala de rotor comprende además al menos una fuente de luz montada en el interior de la pala de rotor, adaptada para generar luz de iluminación y dispuesta para iluminar la porción de la superficie interior.

Otras realizaciones de la presente invención pueden no requerir una fuente de luz, puesto que la luz procedente del entorno puede entrar en el interior de la pala de rotor, por ejemplo en casos en los que la pared de pala de rotor es al menos parcialmente transparente. Sin embargo, para controlar de manera más precisa el brillo, la fuente de luz puede ser ventajosa a la hora de ajustar de manera precisa el brillo de la porción iluminada de la superficie interior y/o ajustar un tiempo de adquisición de imagen de la cámara para que adquiera al menos una imagen. Utilizando por ejemplo un módulo de control o similar, la al menos una fuente de luz puede ser controlable con respecto a encender o apagar la fuente de luz y/o también con respecto a ajustar el brillo de la fuente de luz o la intensidad de la fuente de luz. Por ejemplo, un módulo de control puede estar adaptado para controlar la fuente de luz para encender la fuente de luz sólo si se desea adquirir al menos una imagen para monitorizar la pala de rotor. Por ejemplo, puede tomarse al menos una imagen de manera regular en el tiempo, tal como diariamente, cada dos días, cada semana, tres veces al mes o anualmente, por ejemplo. Durante estos periodos de adquisiciones de imágenes, puede controlarse la fuente de luz para que se encienda. La luz de iluminación puede comprender al menos luz visible (por ejemplo desde aproximadamente 300 nm hasta aproximadamente 800 nm) y/o puede comprender al menos uno o más intervalos de longitud de onda dentro del espectro de luz visible. Además, la luz de iluminación puede comprender o puede no comprender luz infrarroja (o al menos algún intervalo de longitud de onda del espectro infrarrojo) y/o luz ultravioleta o intervalos de longitud de onda ultravioleta. Tener una iluminación apropiada mediante la fuente de luz puede mejorar la calidad de imagen.

Según una realización de la presente invención, la al menos una cámara y/o la al menos una fuente de luz están montadas en una porción de montaje de la superficie interior, en la que la al menos una cámara y/o la al menos una fuente de luz están montadas en particular usando un adhesivo.

La superficie interior puede ser una superficie de una pared de pala de rotor que proporciona en el exterior un perfil aerodinámico en el que impacta el viento. El perfil aerodinámico está conformado para hacer que la pala de rotor ejerza un momento al árbol de rotación con el fin de efectuar una rotación del árbol de rotación. Cuando la cámara y/o la fuente de luz están montadas en una porción de montaje de la superficie interior, puede no ser necesaria una provisión particular de una disposición de montaje particular, pero puede montarse llanamente la cámara y/o la fuente de luz en la superficie interior que no está modificada en comparación con una superficie interior convencional de una pala de rotor.

No puede alterarse ni verse afectada la forma de la superficie exterior (que forma en particular un perfil aerodinámico) de la pala de rotor cuando se usa un adhesivo. De ese modo, la propiedad aerodinámica de la pala de rotor puede no cambiarse. Por ejemplo, el adhesivo puede ser o comprender una resina polimérica que se ha endurecido, formando de ese modo un polímero reticulado. Además, la pared de pala de rotor (que tiene la superficie interior y el perfil aerodinámico exterior) puede estar fabricada a partir de un polímero que se ha reticulado. Son posibles otros materiales y métodos de fabricación. De ese modo, puede permitirse el montaje de la cámara y/o la fuente de luz en materiales de pala de rotor utilizados convencionalmente.

Según una realización de la presente invención, se montan la al menos una cámara y/o la al menos una fuente de luz en al menos un bastidor que se monta en la superficie interior. El bastidor puede permitir ajustar apropiadamente la orientación de la cámara y/o la fuente de luz de tal manera que la fuente de luz ilumina una región de la superficie interior que también está en el campo de visión de la cámara. Además, el bastidor puede permitir ajustar apropiadamente la orientación y el posicionamiento de la cámara y/o la fuente de luz de tal manera que la cámara no ensombrece la luz de iluminación, no está en la trayectoria de la luz de iluminación. El bastidor puede tener montado sobre el mismo una cámara, dos cámaras, tres cámaras o incluso más cámaras y una fuente de luz, dos fuentes de luz, tres fuentes de luz o incluso más fuentes de luz.

Según una realización de la presente invención, el bastidor tiene una superficie de montaje que se ajusta, en particular de manera complementaria, a una forma de la porción de montaje de la superficie interior. Cuando la superficie de montaje del bastidor es complementaria a la forma de la porción de montaje de la superficie interior, la

superficie de montaje puede encolarse de manera sencilla a la porción de montaje de la superficie interior, simplificando de ese modo el montaje del bastidor al interior de la pala de rotor. La provisión del bastidor puede permitir utilizar cámaras y fuentes de luz disponibles convencionalmente sin requerir que las cámaras y las fuentes de luz tengan superficies de montaje con formas particulares, puesto que el bastidor puede servir de adaptador. De ese modo, pueden reducirse costes. El bastidor puede estar realizado de cualquier material, tal como un polímero, un metal, madera, cualquier material de plástico, cualquier material termoendurecible o similares. En particular, pueden utilizarse bastidores con formas diferentes con respecto a su superficie de montaje que tienen superficies de montaje respectivas que son complementarias a diferentes porciones de montaje de la superficie interior, por ejemplo a lo largo de la dirección longitudinal de la pala de rotor.

Según una realización de la presente invención, la al menos una cámara comprende múltiples cámaras montadas en el interior de la pala de rotor y adaptadas para adquirir múltiples imágenes de múltiples porciones, en particular parcialmente solapantes, de la superficie interior de la pala de rotor, y/o en la que la fuente de luz comprende múltiples fuentes de luz montadas en el interior de la pala de rotor y dispuestas para iluminar las múltiples porciones de la superficie interior.

Tener múltiples cámaras y/o múltiples fuentes de luz puede permitir monitorizar esencialmente toda la superficie interior de la pala de rotor.

En otras realizaciones la al menos una cámara comprende exactamente una cámara que tiene, en particular, un ángulo de visión grande que cubre 180°.

Según una realización de la presente invención, se forma al menos una unidad de adquisición de imágenes por un conjunto de al menos una cámara, en particular tres cámaras, al menos una fuente de luz todas montadas en un bastidor, en la que la pala de rotor en particular comprende múltiples unidades de adquisición de imágenes, dispuesta además en particular en grupos de unidades de adquisición de imágenes montadas para estar orientadas unas hacia las otras.

Proporcionar al menos una unidad de adquisición de imágenes puede simplificar la construcción y reducir costes. En el interior de la pala de rotor, puede montarse una unidad de adquisición de imágenes en, por ejemplo, un lado trasero de una superficie exterior de barlovento de la pala de rotor y puede montarse de manera opuesta otra unidad de adquisición de imágenes en el interior de la pala de rotor en un lado trasero de una superficie exterior de sotavento de la pala de rotor. De ese modo, se forma un grupo de unidades de adquisición. Pueden montarse varios grupos de unidades de adquisición de imágenes en el interior de la pala de rotor separados, por ejemplo, a lo largo de una dirección longitudinal de la pala de rotor.

Según una realización de la presente invención, las cámaras en una unidad de adquisición de imágenes: se orientan para tener direcciones de visualización que difieren en al menos 20°, en particular en entre 25° y 70°, además en particular en entre 35° y 40°, y/o se montan unas cerca de otras tal como para permitir adquirir imágenes de toda la superficie de interés.

En particular, en una unidad de adquisición de imágenes, pueden proporcionarse tres o por ejemplo seis cámaras que tienen las diferentes direcciones de visualización. Las tres cámaras pueden adquirir simultánea o sucesivamente imágenes respectivas y pueden unirse entre sí las imágenes, dando como resultado una imagen de combinación que comprende información de esencialmente 180° o un lado trasero entero de un lado exterior de sotavento o lado exterior de barlovento de la pala de rotor. En otras realizaciones, puede estar presente sólo una cámara en una unidad de adquisición de imágenes que tiene un ángulo de visión de entre 170° y 180° por ejemplo.

Según una realización de la presente invención, la porción de montaje de la superficie interior es una superficie trasera de una porción de perfil aerodinámico de la pala. La porción de perfil aerodinámico puede ser una porción de un lado de sotavento o un lado de barlovento de la pala de rotor.

Según una realización de la presente invención, las múltiples porciones de la superficie interior cubren esencialmente toda la extensión longitudinal de la pala. De este modo, puede permitirse una monitorización exhaustiva de la pala de rotor.

Según una realización de la presente invención, la al menos una cámara es sensible a al menos una porción de luz visible y/o a al menos una porción de luz infrarroja y/o a al menos una porción de luz ultravioleta.

Además, la fuente de luz puede estar adaptada para generar luz visible y/o puede estar adaptada para generar al menos una porción de luz ultravioleta y/o una porción de luz infrarroja. Dependiendo del tipo de daño que va a identificarse, puede ser ventajoso usar diferentes intervalos de longitud de onda.

Según una realización de la presente invención, la pala de rotor comprende además una interfaz de comunicación inalámbrica o por cable para comunicar señales de control y/o datos de imágenes entre la al menos una cámara y/o la al menos una fuente de luz y un módulo de control en el exterior de la pala de rotor. Además, puede suministrarse

energía eléctrica al sistema de monitorización de pala desde el exterior de la pala de rotor.

Por ejemplo, usando señales de control a partir de un módulo de control externo (o interno), la cámara y/o la fuente de luz pueden controlarse para encenderse o apagarse o pueden estar configuradas con respecto a la intensidad o al brillo de la luz generada o con respecto al tiempo de adquisición de imagen, enfoque, aplicación de filtros o similares. Puede permitirse que la cámara (o un módulo de procesamiento dentro de la pala de rotor) realice algún preprocesamiento, por ejemplo realice promediado, filtrado, extracción de características o similares. La interfaz de comunicación por cable puede estar adaptada para un cable eléctrico y/o un cable óptico.

Según una realización, se proporciona un sistema de monitorización de pala de rotor, que comprende: una pala de rotor según cualquiera de las realizaciones anteriores; y un módulo de análisis que comprende capacidad de procesamiento de imágenes para procesar la imagen para reconocer características en la imagen que indican daño de la superficie interior.

El módulo de análisis puede tener acceso a una biblioteca de imágenes de referencia que pueden compararse con las imágenes adquiridas por la cámara dentro de o en el interior de la pala de rotor, con el fin de detectar fallos o daño. Cualquier electrónica (por ejemplo comprendida en el módulo de análisis) puede estar encerrada en una cubierta apropiada para la protección de la electrónica, proporcionando las cubiertas, por ejemplo, una clasificación IP particular.

Según una realización de la presente invención, se proporciona una turbina eólica que comprende: un árbol de rotación; y una pala de rotor según cualquiera de las realizaciones anteriores o un sistema de monitorización de pala de rotor según la realización anterior, en la que la pala de rotor se monta en el árbol de rotación.

Debe entenderse que las características, individualmente o en cualquier combinación, dadas a conocer, descritas o explicadas en el contexto de una pala de rotor o un sistema de monitorización de pala de rotor o una turbina eólica también pueden aplicarse, individualmente o en cualquier combinación, a un método de monitorización de un estado estructural de una pala de rotor de una turbina eólica y viceversa según las realizaciones de la presente invención.

Según una realización de la presente invención, se proporciona un método de monitorización de un estado estructural de una pala de rotor de una turbina eólica, el método que comprende: usar al menos una cámara montada en el interior de la pala de rotor para adquirir al menos una imagen de una porción de una superficie interior de la pala de rotor; y analizar la imagen para determinar el estado estructural de la pala de rotor.

Los aspectos definidos anteriormente y aspectos adicionales de la presente invención resultan evidentes a partir de los ejemplos de realización que van a describirse a continuación en el presente documento y se explican con referencia a los ejemplos de realización. La invención se describirá con más detalle a continuación en el presente documento con referencia a ejemplos de realización pero a los que no se limita la invención.

#### Breve descripción de los dibujos

La figura 1 ilustra esquemáticamente una unidad de adquisición de imágenes que puede instalarse en una pala de rotor según una realización de la presente invención;

la figura 2 ilustra esquemáticamente ángulos de visualización de cámaras de una unidad de adquisición de imágenes tal como se configura según una realización de la presente invención;

la figura 3 ilustra esquemáticamente en una vista en perspectiva una disposición de dos unidades de adquisición de imágenes dentro de una pala de rotor según una realización de la presente invención;

las figuras 4, 5 y 6 ilustran esquemáticamente disposiciones adicionales de unidades de adquisición de imágenes dentro de una pala de rotor según las realizaciones de la presente invención;

la figura 7 ilustra un esquema de método de un método para monitorizar una pala de rotor según una realización de la presente invención; y

la figura 8 ilustra esquemáticamente una turbina eólica según una realización de la presente invención.

#### Descripción detallada

La ilustración en los dibujos es en forma esquemática. Se observa que en diferentes figuras, se proporcionan elementos similares o idénticos con los mismos signos de referencia o con signos de referencia que son diferentes de los signos de referencia correspondientes sólo en la primera cifra.

Según una realización de la presente invención, múltiples sensores de cámara montados de manera permanente toman fotografías de manera regular (por ejemplo en intervalos de tiempo regulares) que cubren la superficie interna

completa de la pala de rotor desde el inicio de raíz hasta el extremo del inicio de alma. Los sensores de cámara pueden recogerse en unidades junto con una fuente de luz, por ejemplo, tal como se ilustra en una forma esquemática en la figura 1.

De ese modo, la figura 1 ilustra una unidad 100 de adquisición de imágenes que puede instalarse en el interior de una pala de rotor según una realización de la presente invención. De ese modo, la unidad 100 de adquisición de imágenes comprende un conjunto de al menos una cámara 101, al menos una fuente 103 de luz y un bastidor 105 de montaje en el que están montadas la cámara 101 y la fuente 103 de luz. Además, el bastidor de montaje o bastidor 105 comprende una placa 107 de montaje que tiene una superficie 109 de montaje que puede unirse directamente, por ejemplo mediante encolado, a una superficie interior de una pala de rotor.

La unidad 100 de adquisición de imágenes puede comprender más de una cámara 101, tal como dos cámaras, tres cámaras o incluso más cámaras que pueden orientarse para dirigir sus campos de visión respectivos en diferentes intervalos angulares. La cámara 101 puede comprender una óptica de obtención de imágenes (opcionalmente que incluye filtro(s) espectral(es)) y una matriz de elementos sensibles a la luz, tales como una matriz de CCD bidimensional o una matriz de CMOS, por ejemplo.

El bastidor 105 de montaje comprende zonas 111 de montaje de componentes que comprende orificios roscados en los que pueden empernarse componentes, tales como la cámara 101 y la fuente 103 de luz. La placa 107 de montaje puede realizarse de madera, un material termoendurecible, un polímero, metal o similares. La superficie 109 de montaje puede tener una forma complementaria a la forma de una superficie interior o una porción de una superficie interior de la pala de rotor. El conjunto 100 de adquisición de imágenes comprende además una tarjeta de control y/o una interfaz 113 de comunicación que pueden realizar un control sobre la cámara 101 y/o la fuente de luz y que también pueden realizar algún procesamiento de datos, tal como datos de imágenes adquiridos por la cámara 101.

Una única unidad de adquisición de imágenes con múltiples sensores o cámaras puede cubrir diferentes ángulos y puede garantizar que se cubra al menos o más de 180°. En la figura 2 se ilustra esquemáticamente una ilustración de los campos de visión de tres cámaras en una sección transversal tal como se observa a lo largo de una dirección 215 longitudinal de la pala de rotor. En la misma, se ilustra esquemáticamente (una porción de) la pared 217 de pala de rotor que tiene una superficie 219 interior y una superficie 221 exterior que pueden ser un perfil aerodinámico de la pala 220 de rotor. La unidad 200 de adquisición de imágenes se monta en una porción de la superficie 219 interior de la pala de rotor y comprende en el ejemplo ilustrado tres cámaras que tienen tres campos 223a, 223b, 223c de visión solapantes. En el ejemplo iluminado, los campos 223a,b,c de visión son de 36° cada uno. Tal como puede verse a partir de la figura 2, las tres cámaras se orientan para tener direcciones 225a, 225b, 225c de visualización que difieren en 32°. Puesto que su ángulo de visión es de 36° cada uno, las imágenes adquiridas por las tres cámaras se solapan en un intervalo angular de 4°, en el que el solapamiento se indica con el signo de referencia 227. En otras realizaciones, un campo de visión combinado puede cubrir 180°.

La figura 3 ilustra esquemáticamente en una vista en perspectiva una porción de una pala 320 de rotor según una realización de la presente invención que tiene instalada en la misma dos unidades 300a y 300b de adquisición comprendiendo cada una tres cámaras y una o más fuentes de luz. Se ilustra esquemáticamente en una forma parcialmente segmentada que la pala de rotor tiene una pared 317 de pala de rotor que tiene una superficie 319 interior y que tiene una superficie 321 exterior. Cada una de las dos cámaras instaladas en la unidad 300a de adquisición de imágenes tiene en el ejemplo ilustrado un campo de visión de 49,2°. Las dos cámaras se orientan de tal manera que se consigue un solapamiento de 30°.

Según una realización de la presente invención, el sistema de monitorización puede comprender un sensor de imágenes (por ejemplo que incluye una lente/un objetivo) que cubre los 180°. En principio, esto podría realizarse con un único sensor de imágenes (que tiene por ejemplo una lente) pero la calidad puede ser demasiado deficiente.

Cuando se usan más sensores de imágenes (por ejemplo con lentes) para cubrir los 180°, es importante que exista un solapamiento (margen) entre campos de visión de los sensores de imágenes individuales.

La segunda unidad 300b de adquisición de imágenes tiene sus dos o tres cámaras orientadas de tal manera que su zona 302b de visualización (compuesta por zonas 330b1, 330b2 de visualización de las dos cámaras) se solapa parcialmente con la zona 302a de visualización (compuesta por zonas 330a1, 330a2 de visualización de las dos cámaras) de la primera unidad 300a de adquisición de imágenes. Según una realización de la presente invención, dentro de las zonas 302a, 302b de visualización, pueden instalarse unidades de adquisición de imágenes adicionales que pueden monitorizar entonces el lado opuesto, por tanto, la superficie interior en la que se montan las unidades 300a y 300b de adquisición de imágenes.

La figura 4 ilustra esquemáticamente una vista en alzado en la que la dirección 415 longitudinal de la pala de rotor está en la dirección horizontal. Una primera unidad 400a de adquisición de imágenes y una segunda unidad 400b de adquisición de imágenes se instalan en el interior de la pala de rotor separadas por una distancia 1 en la dirección 415 longitudinal. Cada una de las unidades 400a, 400b de adquisición de imágenes comprende tres cámaras,

teniendo una primera el campo 231a1 de visión, teniendo otra el campo 231a2 de visión y teniendo la tercera el campo 231a3 de visión. La primera cámara de la segunda unidad 400b de adquisición de imágenes tiene un campo 231b1 de visión, una segunda cámara tiene un campo 231b2 de visión y una tercera tiene un campo 231b3 de visión. De ese modo, la unión de todos los campos 231a1 a 231b3 de visión cubre sustancialmente la totalidad de la superficie interior de un lado de la pala de rotor.

La figura 5 ilustra esquemáticamente en una vista en perspectiva otra pala 520 de rotor según una realización de la presente invención que tiene unidades 500a, 500b de adquisición de imágenes dispuestas en el interior de la pala de rotor en diferentes posiciones separadas a lo largo de la dirección 515 longitudinal. De ese modo, cada una de las unidades 500a, 500b de adquisición de imágenes comprende dos cámaras que tienen diferentes campos 530a1, 530a2 de visión para la primera unidad 500a de adquisición de imágenes. Además, las dos cámaras de la segunda unidad 500b de adquisición de imágenes tienen los campos 530b1 y 530b2 de visión que se solapan en varios grados.

La figura 6 ilustra esquemáticamente una pala 620 de rotor según otra realización de la presente invención que tiene varias unidades 600a, 600b de adquisición de imágenes instaladas dentro de la pala de rotor y que tiene dos cámaras que monitorizan cada una campos de visión solapantes.

La figura 7 ilustra esquemáticamente un diagrama de método de un método 740 de monitorización de un estado estructural de una pala de rotor de una turbina eólica según una realización de la presente invención. De ese modo, el método usa al menos una cámara montada en el interior de la pala de rotor para adquirir al menos una imagen de una porción de una superficie interior de la pala de rotor. Además, se analiza la imagen para determinar el estado estructural de la pala de rotor.

Según la realización ilustrada en la figura 7 en una etapa de método 741, se capturan fotografías por ejemplo a diario. En un bloque de decisión 743, se comprueba si la operación era aceptable y la calidad de imagen es suficiente. Si el bloque de decisión 743 da como resultado "sí" se avanza a la etapa de método 745 en la que se realiza la extracción de características y/o el procesamiento de datos. En un bloque de decisión 747, se comprueba si el procesamiento de datos da como resultado un valor que es menor o mayor que un umbral. Si el valor no es menor que el umbral, se avanza al bloque de método 749 en el que se aumenta un contador que cuenta el número de avisos. En un bloque de decisión 751, se comprueba si el número de avisos es menor que un umbral. Si este no es el caso, se avanza a la etapa de método 753, en la que se activa una alarma.

Si el número de avisos es menor que el umbral, se vuelve de nuevo a la primera etapa de método 741.

Si el bloque de decisión 743 encuentra que el funcionamiento y la calidad no son aceptables, se avanza al bloque de método 755 en el que no se realizan acciones y se vuelve de nuevo a la primera etapa de método 741.

Si el bloque de decisión 747 encuentra que el valor es menor que el umbral, se avanza a la etapa de método 757 en la que no se toman acciones adicionales y se vuelve de nuevo a la primera etapa de método 741.

Tal como puede deducirse de la figura 2, las tres cámaras cubren un campo de 180°, es decir, un lado de una superficie interior de la pala de rotor. Pueden cubrirse los 180° restantes con una unidad de adquisición similar que se encuentra en el lado opuesto de la superficie interna. Pueden denominarse grupo de unidades de adquisición de imágenes dos unidades juntas que se encuentran opuestas entre sí. Para cubrir la longitud de interés completa de la pala, pueden colocarse grupos de unidades de adquisición de imágenes a lo largo de la pala, tal como se ilustra en la figura 3.

Según las realizaciones de la presente invención, pueden transferirse las imágenes o fotografías que se han adquirido por las diferentes cámaras a un centro de diagnóstico o módulo de control o módulo de procesamiento en el que pueden analizarse de manera automatizada en busca de daños en la pala. Si se reconocen daños, puede accionarse una alarma, tal como se indica en la etapa de método 753 en la figura 7. El análisis puede implicar la extracción de características y puede basarse en el procesamiento de imágenes, especialmente la segmentación de imágenes, por ejemplo la eliminación del fondo. Pueden compararse las imágenes con imágenes de salud conocidas (de referencia) o imágenes de referencia de las palas de rotor internas y puede activarse una alarma si se alcanza un umbral, tal como la diferencia entre la imagen adquirida y la imagen de referencia muestra una característica de imagen pronunciada. El centro de diagnóstico puede estar *in-situ* al nivel de la turbina (en tiempo real/en línea) o en un servidor remoto (fuera de línea). El método ilustrado en la figura 7 puede aplicarse a todas las palas de rotor de la turbina eólica, por ejemplo, tres palas de rotor.

Las realizaciones de la presente invención pueden proporcionar varias ventajas:

- Pueden adquirirse en remoto fotografías de la superficie interna de la pala de rotor. Esto puede tener una extensa reducción de costes ya que el mismo funcionamiento requiere al menos dos personas de mantenimiento entrenadas y el transporte a sitios de manera regular.

- La opción de hacer un análisis automatizado de las fotografías y activar alarmas cuando se descubre un daño potencial

5 - Procedimientos automatizados usando procesamiento de imágenes pueden ser objetivos en su detección y de tal manera que la detección de los daños no dependa del conocimiento y experiencia de los especialistas

10 - Las palas de rotor según las realizaciones de la presente invención pueden comprender unidades montadas internamente de manera permanente, que contienen múltiples unidades de cámara y al menos una fuente de luz. Pueden tomarse fotografías idénticas de manera regular, de ese modo pueden aplicarse los mismos ángulos de visualización y condiciones de iluminación. Las realizaciones de la presente invención pueden permitir una probabilidad mayor de descubrir daños en una fase temprana, proporcionando un coste de reparación menor y reducción del riesgo de un fallo fatal.

15 La figura 8 ilustra esquemáticamente una turbina 760 eólica según una realización de la presente invención. La turbina eólica comprende una torre 761 de turbina eólica en la que está montada una góndola 763. La góndola alberga un generador 765 que tiene un árbol 767 de rotación que está acoplado a un buje 769 en el que están montadas múltiples palas 720 de rotor, tal como las palas de rotor ilustradas en una de las figuras 2, 3, 4, 5, 6. Un módulo 771 de análisis está dispuesto dentro de la góndola 763 y comprende capacidad de procesamiento de imágenes para procesar la imagen tomada por la cámara dentro de la pala 720 de rotor para reconocer  
20 características en la imagen que indican daño de la superficie interior de la pala 720 de rotor.

Debe observarse que el término “que comprende” no excluye otros elementos o etapas y “un” o “una” no excluye una pluralidad. También debe observarse que no debe considerarse que los signos de referencia en las reivindicaciones limitan el alcance de las reivindicaciones.

25

# REIVINDICACIONES

1. Pala (220, 320, 420, 520, 620, 720) de rotor para una turbina (760) eólica, que comprende:  
5 al menos una cámara (101) montada en el interior de la pala de rotor y adaptada para adquirir una imagen de una porción de una superficie (219) interior de la pala (220) de rotor;  
al menos una fuente (103) de luz montada en el interior de la pala de rotor, adaptada para generar luz de iluminación y dispuesta para iluminar la porción de la superficie (219) interior; y  
10 al menos un bastidor (105),  
caracterizada porque  
15 la al menos una cámara (101) y la al menos una fuente (103) de luz están montadas en el al menos un bastidor (105) que está montado en la superficie (219) interior.
2. Pala de rotor según la reivindicación anterior, en la que el bastidor (105) tiene una superficie (109) de montaje ajustada a una forma de la porción de montaje de la superficie (219) interior.
- 20 3. Pala de rotor según la reivindicación anterior, en la que la superficie (109) de montaje del bastidor (105) se ajusta complementariamente a la forma de la porción de montaje de la superficie (219) interior.
4. Pala de rotor según una de las dos reivindicaciones anteriores, en la que la superficie de montaje del bastidor está montada en la porción de montaje de la superficie interior usando un adhesivo.
- 25 5. Pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores,  
en la que la al menos una cámara comprende múltiples cámaras montadas en el interior de la pala de rotor y adaptadas para adquirir múltiples imágenes de múltiples porciones (330a1, 330a2, 330b1, 330b2), en particular parcialmente solapantes, de la superficie interior de la pala de rotor,  
en la que la fuente (101) de luz comprende múltiples fuentes de luz montadas en el interior de la pala de rotor y dispuestas para iluminar las múltiples porciones de la superficie interior.
- 30 6. Pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores,  
en la que se forma al menos una unidad (100, 200, 300a, 300b, 400a, 400b, 500a, 500b, 600a, 600b) de adquisición de imágenes mediante un conjunto de al menos una cámara, en particular tres cámaras, al menos una fuente de luz todas montadas en un bastidor,  
en la que la pala de rotor en particular comprende múltiples unidades de adquisición de imágenes, dispuestas además en particular en grupos de unidades de adquisición de imágenes montadas para estar orientadas unas hacia las otras.
- 35 7. Pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que cámaras en una unidad de adquisición de imágenes:  
están orientadas para tener direcciones (225a, 225b, 225c) de visualización que difieren en al menos 20°, en particular en entre 25° y 70°, además en particular en entre 35° y 40°, y/o montadas unas cerca de otras.
- 50 8. Pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la porción de montaje de la superficie (219) interior es una superficie trasera de una porción (221) de perfil aerodinámico de la pala (220) de rotor.
- 55 9. Pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que las múltiples porciones de la superficie interior cubren esencialmente toda la extensión longitudinal de la pala de rotor.
- 60 10. Pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la al menos una cámara (101) es sensible a al menos una porción de luz visible y/o a al menos una porción de luz infrarroja y/o a al menos una porción de luz ultravioleta.
11. Pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además:  
65 una interfaz (113) de comunicación inalámbrica o por cable para comunicar señales de control y/o datos de imágenes entre la al menos una cámara y/o la al menos una fuente de luz y un módulo de control en el

exterior de la pala de rotor.

12. Sistema de monitorización de pala de rotor, que comprende:

5 una pala (720) de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores; y  
un módulo (771) de análisis que comprende capacidad de procesamiento de imágenes para procesar la imagen para reconocer características en la imagen que indican daño de la superficie interior.

10 13. Turbina (760) eólica que comprende:

un árbol (767) de rotación; y

15 una pala (720) de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 12 o un sistema de monitorización de pala de rotor según la reivindicación anterior,

en la que la pala (720) de rotor está montada en el árbol (767) de rotación.

20 14. Método de monitorización de un estado estructural de una pala de rotor de una turbina eólica, comprendiendo el método:

usar una pala de rotor (220) según una de las reivindicaciones anteriores;

25 usar la al menos una cámara montada en el interior de la pala de rotor para adquirir (741) al menos una imagen de una porción de la superficie (219) interior de la pala (220) de rotor; y

analizar (743, 745, 747) la imagen para determinar el estado estructural de la pala de rotor.

FIG 1

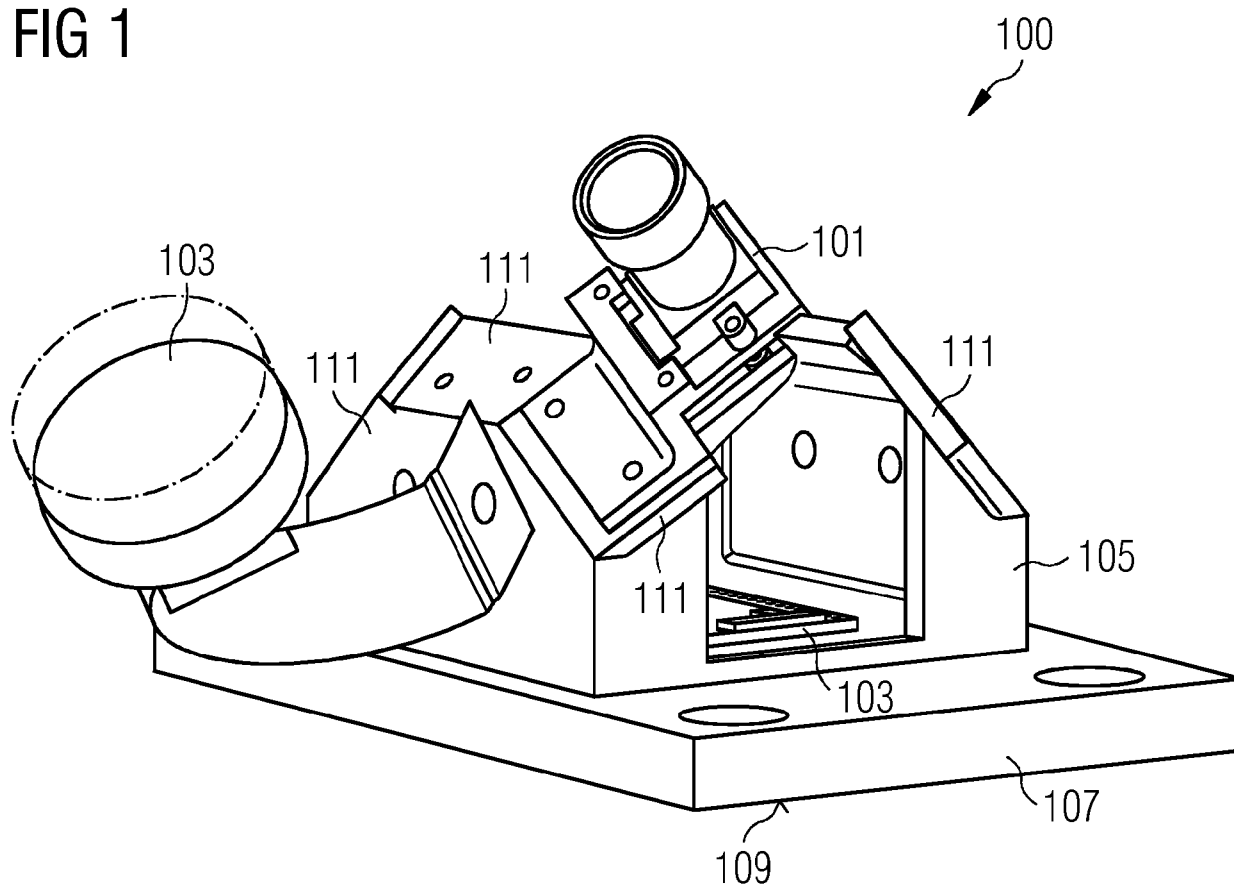
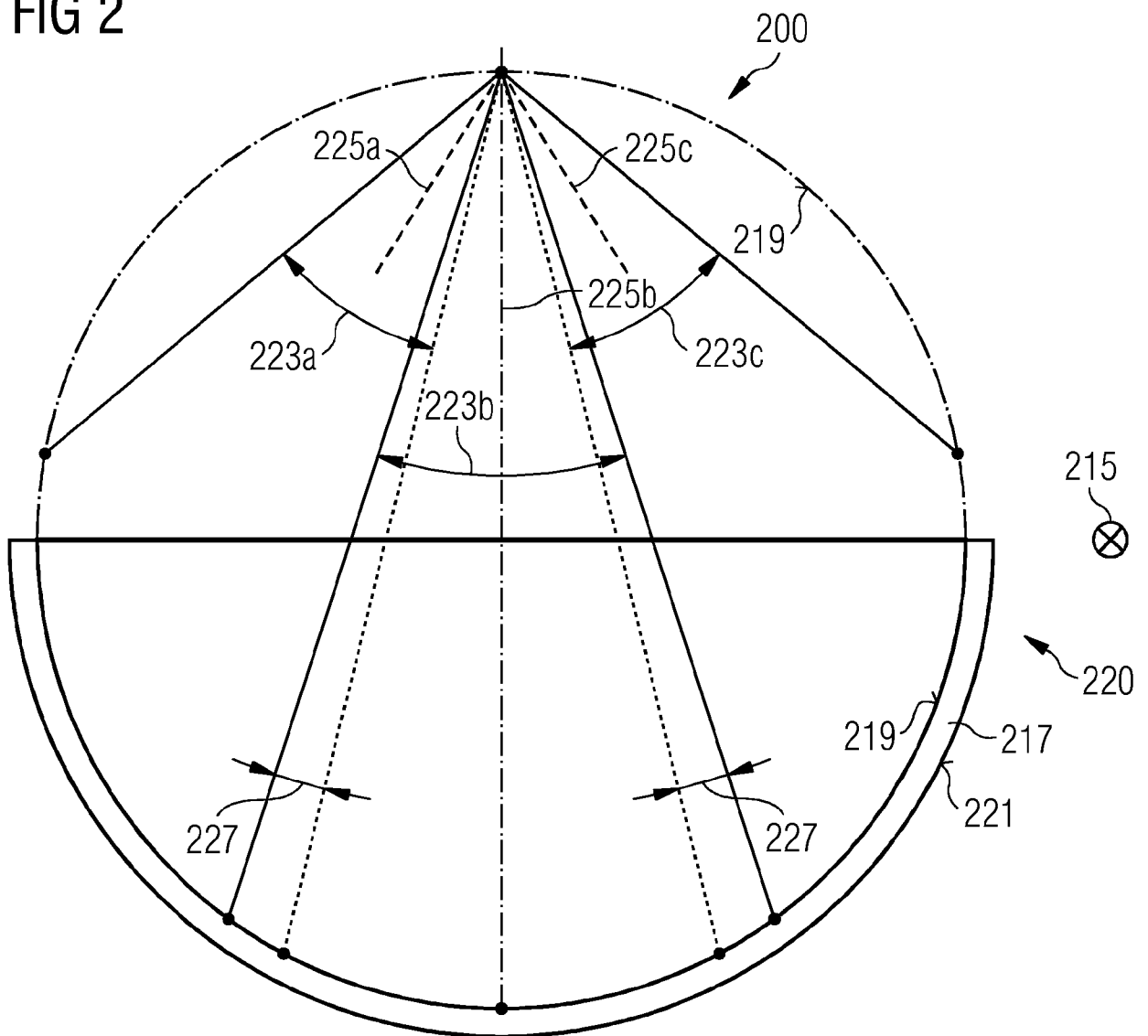


FIG 2



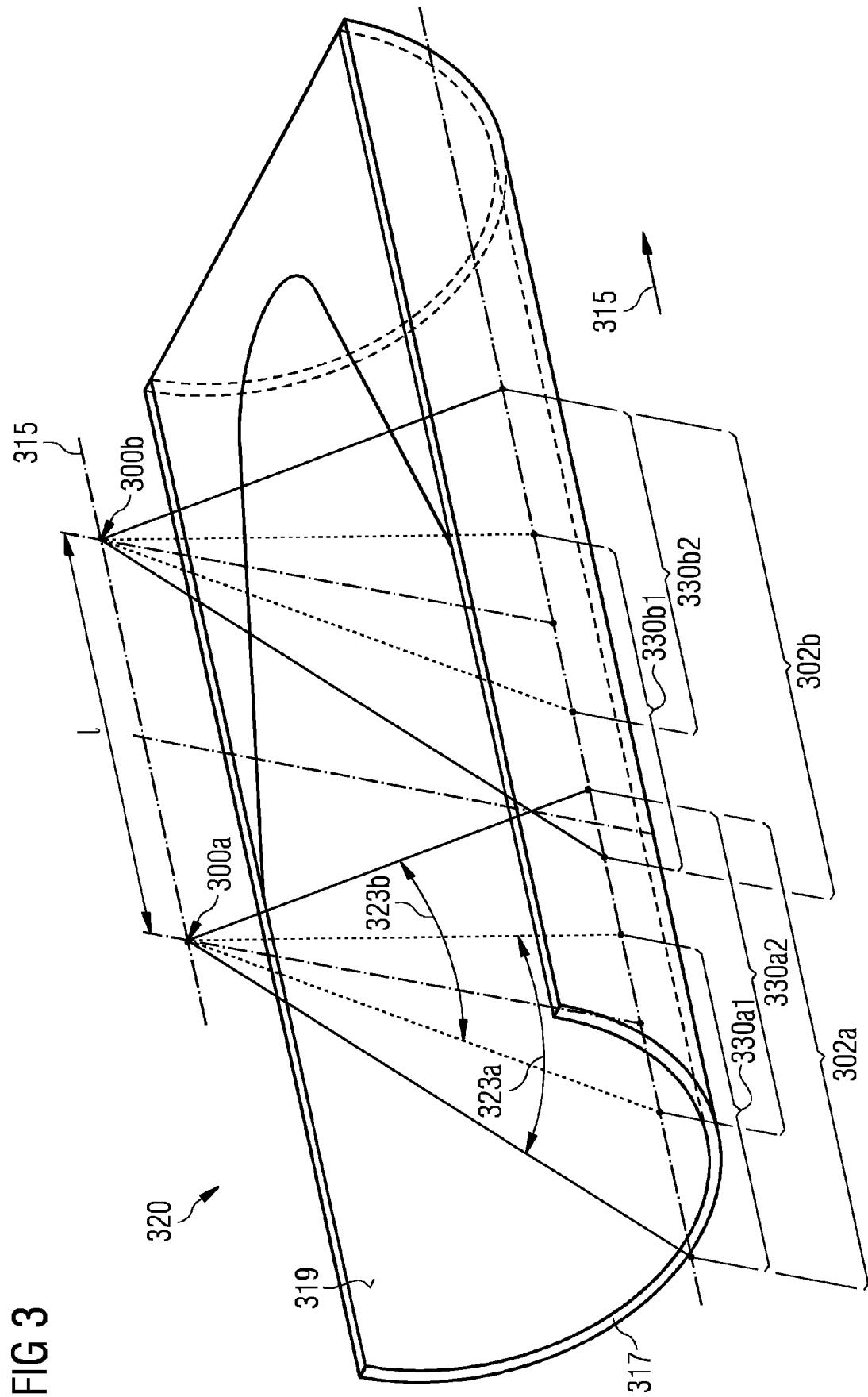


FIG 3

FIG 4

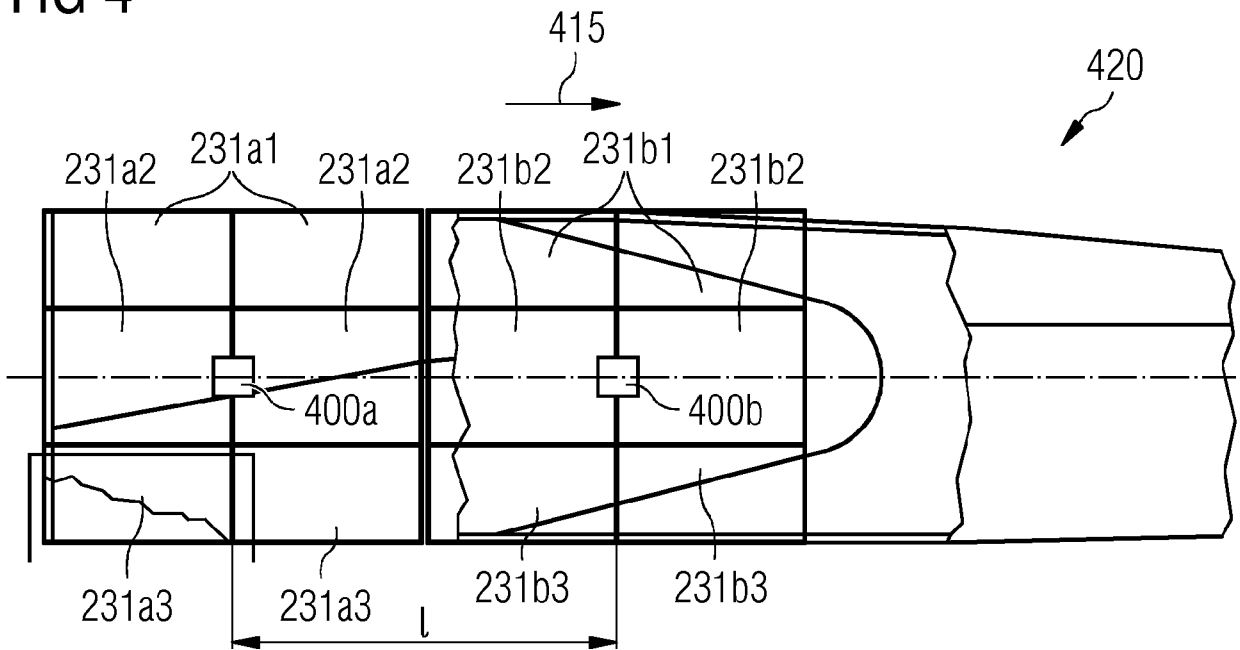


FIG 5

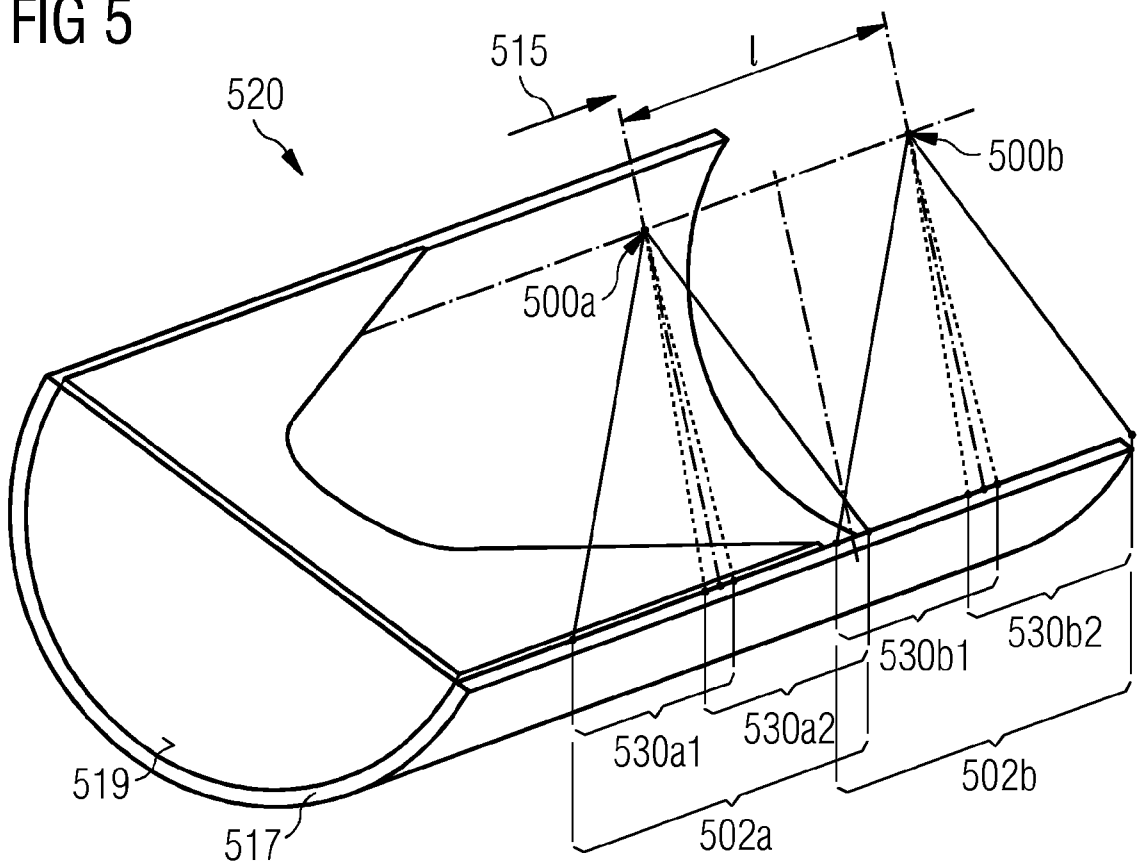


FIG 6

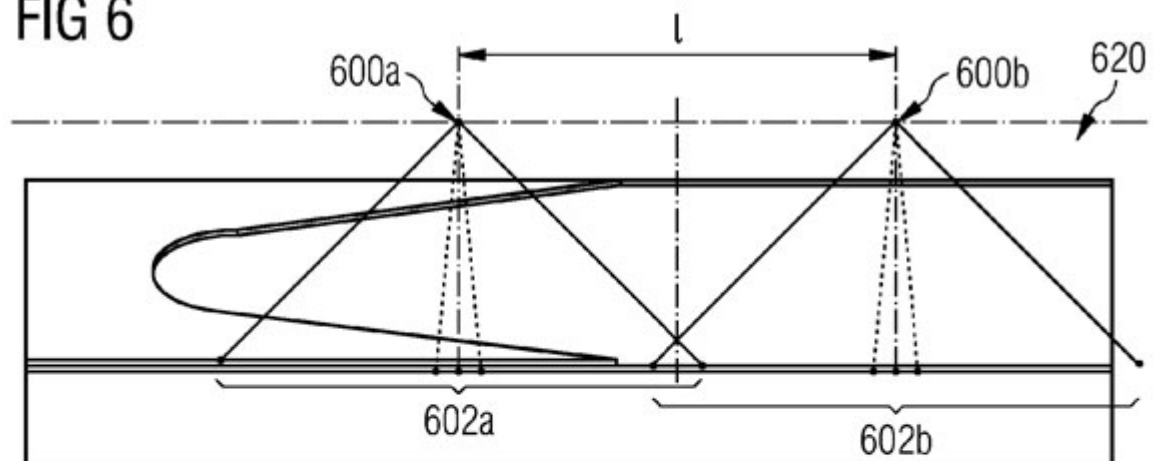


FIG 7

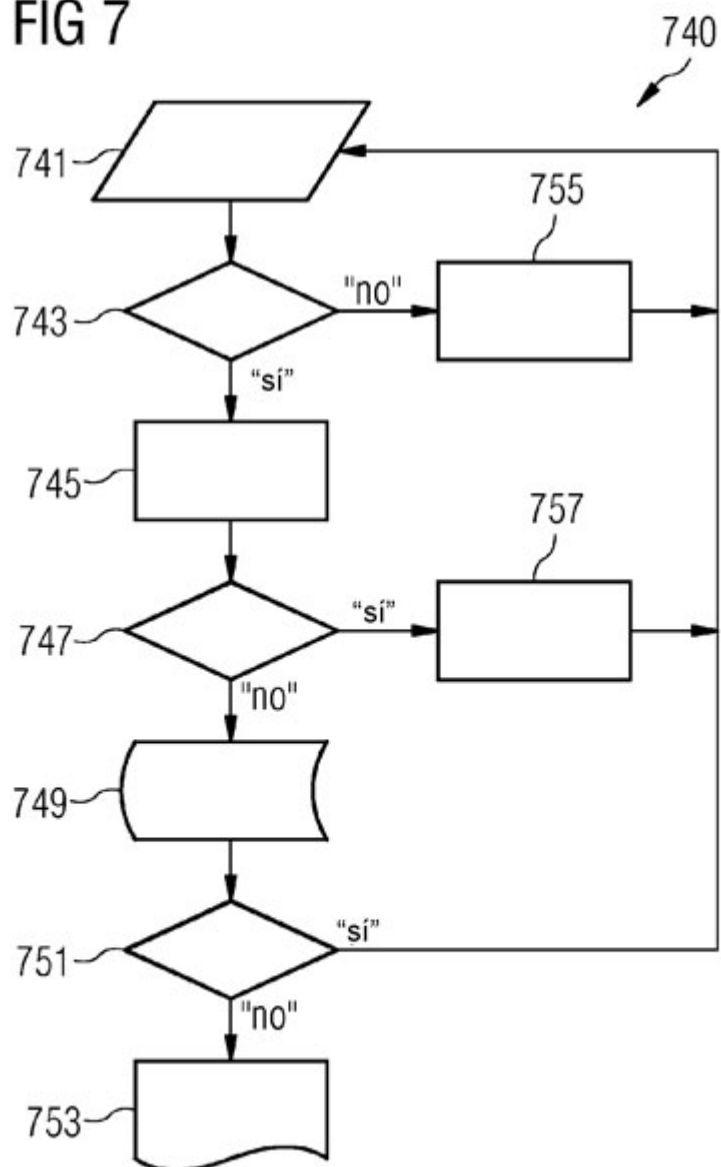


FIG 8

