

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 643 622**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/06** (2006.01)

**F03D 80/30** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.03.2010 PCT/EP2010/052904**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.09.2010 WO10100283**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.03.2010 E 10707045 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.07.2017 EP 2404056**

54 Título: **Pala de turbina eólica con sistema de protección contra rayos y método de actualización**

30 Prioridad:

**06.03.2009 EP 09154511**

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

**23.11.2017**

73 Titular/es:

**LM WIND POWER A/S (100.0%)**

**Jupitervej 6**

**6000 Kolding, DK**

72 Inventor/es:

**HANSEN, LARS BO**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 643 622 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

Pala de turbina eólica con sistema de protección contra rayos y método de actualización

Campo Técnico

5 La presente invención se refiere a una pala de turbina eólica con un sistema de protección contra rayos, donde la pala comprende un cuerpo de revestimiento hecho de un material compuesto y comprende una dirección longitudinal con un extremo de raíz y un extremo de la punta. La pala comprende además un contorno de perfil suave que incluye una cara de presión y una cara de succión, así como un borde de ataque y un borde de fuga que tiene una cuerda, donde la longitud de dicha cuerda se extiende entre ellos, y donde, cuando un flujo de aire incidente impacta el contorno de perfil suave, genera una fuerza de sustentación. El sistema de protección contra rayos comprende por lo menos un receptor de rayos dispuesto en una superficie del cuerpo de revestimiento o sobre la misma de manera que se pueda acceder libremente al mismo. El sistema de protección contra rayos comprende además un conductor de bajada para rayos hecho de un material conductor de la electricidad o que comprende dicho tipo de material y que se extiende por el interior del cuerpo de revestimiento desde el receptor de rayos hasta el extremo de raíz de la pala. El receptor de rayos y el conductor de bajada para rayos están conectados eléctricamente.

15 Antecedentes del arte

Es conocido el recurso de proveer palas con sistemas de protección contra rayos para protegerlos de los rayos. Como ejemplo, WO 96/07825 divulga un sistema de protección contra rayos, en el cual la punta de la pala se provee de un denominado receptor de rayos hecho de un material conductor de la electricidad. Este receptor de rayos puede "capturar" un rayo y conducir la corriente a través de un conductor de bajada para rayos, y dicho conductor se extiende en la dirección longitudinal de la pala y se conecta a tierra a través del cubo del rotor de la turbina eólica. Frecuentemente este sistema ha mostrado proveer una protección satisfactoria contra los rayos.

25 Sin embargo, existe el riesgo de que ocurra un contorneamiento o la formación de un arco de tensión desde el receptor de rayos o el conductor de bajada para rayos a las áreas de pala, donde se ha acumulado agua, porque el agua contaminada conduce la electricidad. En este caso, la corriente de los rayos calienta el agua, lo que puede causar una "explosión de vapor de agua". Esto puede causar un aumento de la presión suficientemente grande como para dañar la pala. Los contorneamientos también pueden ocurrir debido a los depósitos sobre la superficie de la pala, por ejemplo, de partículas del aire, de sales o insectos. Los daños debidos a los contorneamientos hacen que la pala se deba reparar o, en el peor de los casos, que se deba cambiar, que es un proceso que demanda mucho tiempo y es costoso, porque es complicado reparar o cambiar las palas, especialmente en las plantas de energía eólica en alta mar.

35 Además, existe el riesgo de que el rayo golpee el conductor de bajada para rayos (o contorneamientos) a través de la superficie de la pala, creando en el mejor de los casos solo una pequeña perforación a través de la superficie de la pala, pero que frecuentemente causa mayores daños a la pala. Para un mejor control de la corriente de los rayos a través de la pala sin dañarla, el sistema de protección contra rayos se puede proveer de varios receptores de rayos (múltiples receptores) o conductores de bajada para rayos a lo largo de la dirección longitudinal de la pala. Preferiblemente, los receptores de rayos se disponen con un intervalo máximo de cinco metros para asegurar que no ocurran impactos de rayos (ni contorneamientos) a través de la superficie de la pala. Sin embargo, esta es una solución comparativamente costosa y complicada.

40 WO 2007/062659 provee una solución en la cual hay un conductor de rayos interior aislado eléctricamente en toda su longitud.

US 2008/095624 divulga una pala de rotor con un sistema de protección contra rayos que comprende un conductor de bajada aislado, donde se utiliza una hoja de dieléctrico como aislante eléctrico.

45 WO 00/14405 divulga una pala de turbina eólica, donde la pala comprende una pared de la pala que incluye unas tiras alargadas que contienen plásticos reforzados con fibra de carbono, que están conectados eléctricamente a un conductor interior de bajada para rayos.

EP 1 011 182 divulga una pala de turbina eólica provista de una capa de cinta de conductor eléctrico sobre la superficie exterior.

WO 01/77527 divulga una pala de turbina eólica que comprende un sistema de protección contra rayos que comprende uno o más medios conductores internos y uno o más medios conductores externos para rayos.

50 WO 2008/006377 divulga una turbina eólica que comprende una nacela [o góndola] y por lo menos una pala de turbina eólica, donde por lo menos una de dichas partes comprende una capa de película conductora con conexión

al potencial de tierra.

Breve Descripción de la Invención

Un objeto de la invención consiste en obtener una nueva pala de turbina eólica, que soluciona o mitiga por lo menos una de las desventajas del arte anterior o que provee una alternativa útil.

5 De acuerdo con la invención, este objeto se obtiene con un cuerpo de revestimiento que comprende por lo menos una primera capa conductora que se extiende a lo largo de por lo menos una parte en sentido longitudinal del conductor de bajada para rayos a una distancia del mismo en dirección transversal, donde la primera capa conductora está aislada eléctricamente del conductor de bajada para rayos y/o el receptor de rayos, y donde la primera capa conductora tiene una resistencia de la hoja dentro del rango entre 1 - 5 Mega Ohm por cuadrado. La  
10 disposición del receptor de rayos, el conductor de bajada para rayos, y la capa conductora contribuye a evitar la acumulación de filamentos de descarga [*streamers*] y/o descargas iniciales [*leaders*]. Al dotar la pala de una capa conductora se reduce el campo eléctrico alrededor del conductor de bajada para rayos y el receptor de rayos durante un rayo porque actúa como conductor de corrientes parásitas. Esto minimiza el problema con los filamentos de descarga verticales, que está presente especialmente en conexión con los rayos positivos, que son responsables de aproximadamente el 10% de los impactos. Dichos filamentos de descarga y descargas iniciales son etapas previas de los rayos y por lo tanto, al impedir su acumulación también se impiden los rayos. Además, se evita la necesidad de múltiples receptores. Si la resistencia de la hoja de la capa conductora es demasiado baja, la capa conductora puede actuar como receptor de rayos y puede aumentar el riesgo de que ocurra un contorneamiento, dañando potencialmente el aislante eléctrico del conductor de bajada para rayos y la pala de la turbina eólica. Por otro lado, si  
20 la resistencia de la hoja es demasiado grande, la influencia de la capa sobre el campo eléctrico alrededor del conductor de bajada para rayos es insuficiente para proveer la protección necesaria. Las pruebas con rayos simulados realizadas sobre palas existentes a altas tensiones negativas, correspondientes a rayos positivos, mostraron que las palas equipadas con el nuevo sistema de protección contra rayos no mostraron daños en la pala, cumpliendo de esa manera los requerimientos en el estándar IEC61400-24 de CDV. Por lo tanto, sorprendentemente se descubrió que el agregado de las primeras capas conductoras con una baja conductividad relativa provee una protección eficiente, mucho mejor, contra los rayos positivos en comparación con los sistemas convencionales de protección contra rayos.

En su extremo de raíz, el conductor de bajada para rayos preferiblemente se conecta a tierra a través del cubo del rotor de manera tal que la corriente de un rayo se conduce de manera segura desde el receptor de rayos al  
30 conductor de bajada para rayos y finalmente a tierra. Sin embargo, puede ser suficiente crear un espacio de chispa entre el conductor de bajada para rayos y el cubo del rotor.

De manera ventajosa, el receptor de rayos se dispone en la punta de la pala o muy cerca de la misma de manera que se pueda acceder libremente al mismo.

De acuerdo con una forma de realización, la primera capa conductora tiene una resistencia de la hoja dentro del  
35 rango entre los 1,5 - 4,5 Mega Ohm por cuadrado, o dentro del rango entre los 2 - 4 Mega Ohm por cuadrado.

En una forma de realización ventajosa, el contorno de perfil suave de la pala está dividido en una región de raíz con un perfil sustancialmente circular o elíptico en la zona más cercana al cubo del rotor, una región aerodinámica con un perfil que genera una fuerza de sustentación en la zona más alejada del cubo del rotor, y una región de transición entre la región de raíz y la región aerodinámica. La región de transición tiene un perfil que cambia gradualmente en  
40 dirección radial del perfil circular o elíptico de la región de raíz al perfil de la región aerodinámica que genera una fuerza de sustentación.

De acuerdo con una forma de realización en particular de la invención, el conductor de bajada para rayos y/o receptor de rayos están aislados eléctricamente por lo menos hasta el cuerpo de revestimiento de la pala y preferiblemente por lo menos parcialmente a través del cuerpo de revestimiento. Por lo tanto, se minimiza aún más  
45 el riesgo de que ocurran daños debido a rayos o contorneamientos en el extremo de la punta de la pala.

De acuerdo con una forma de realización ventajosa del sistema de protección contra rayos de acuerdo con la invención, el conductor de bajada para rayos comprende un conductor interior hecho de un material conductor de la electricidad, como por ejemplo cobre o aluminio, y un lecho de aislante eléctrico hecho de polietileno, de manera ventajosa HDPE. Sorprendentemente, se ha descubierto que esta composición es particularmente resistente a los  
50 rayos o contorneamientos a través de la superficie de la pala.

De manera ventajosa, el conductor interior tiene un diámetro dentro del rango entre los 3-30 mm, 5-15 mm o 7,5-12 mm y el lecho de aislante eléctrico tiene un espesor de 2-15 mm, 3-10 mm o 4-7 mm. Se ha descubierto que dichas dimensiones son suficientes para impedir que impacten rayos a través de la superficie de la pala así como la conducción de la corriente de un rayo a través del conductor de bajada para rayos.

De acuerdo con una forma de realización apropiada, se provee una capa de material semiconductor entre el conductor interior y el lecho de aislante eléctrico. De manera ventajosa, este material semiconductor tiene un espesor de 0,5-1 mm. El material semiconductor provee una protección adicional contra los contorneamientos porque minimiza las concentraciones de campo eléctrico en el conductor.

- 5 De acuerdo con una forma de realización en particular, el receptor de rayos y el área de conexión entre el receptor de rayos y el conductor de bajada para rayos están aislados por medio de un material aislante, que está separado del lecho de material aislante. Este material aislante puede ser por ejemplo un manguito contraíble o una silicona. El material aislante adicional minimiza el riesgo de que impacte un rayo o de contorneamiento en el área de conexión entre el receptor de rayos y el conductor de bajada para rayos.
- 10 De acuerdo con una forma de realización alternativa de la invención, la punta de la pala está formada como un cuerpo de material aislante sustancialmente sólido. De manera ventajosa, este material aislante es un material plástico, como por ejemplo PVC, polímero reforzado con fibras o poliuretano (PUR), por ejemplo espuma de PUR. Esto provee una forma de realización particularmente simple, donde se minimiza el riesgo de que impacten rayos en el área de conexión entre el receptor de rayos y el conductor de bajada para rayos.
- 15 De acuerdo con una forma de realización apropiada de la invención, el conductor de bajada para rayos se provee de un medio de conexión, por ejemplo una rosca, en su extremo exterior para conectar dicho conductor a un medio correspondiente en el receptor de rayos. El receptor de rayos se puede adaptar por ejemplo para que incluya una rosca interior de manera tal que el receptor de rayos y el conductor de bajada para rayos se puedan asegurar entre sí usando pernos. De acuerdo con otra forma de realización apropiada, el receptor de rayos se provee de una pieza conectora con una rosca exterior, mientras que el conductor de bajada para rayos incluye una rosca interior, por ejemplo mediante un corte dentro del revestimiento aislante hecho de HDPE.
- 20

De acuerdo con una forma de realización de la invención, el receptor de rayos se posiciona en el borde de fuga de la pala. De esa manera, se puede reducir la emisión ruidos de la pala. Puede ser ventajoso dotar a la superficie de la pala de un desviador de manera tal que los rayos que impactan el borde de ataque de la pala sean conducidos al receptor de rayos.

25

De acuerdo con una forma de realización particularmente apropiada, adicionalmente se dispone por lo menos un agujero de drenaje en la punta de la pala o muy cerca de la misma, y opcionalmente, se posiciona sobre la superficie de la pala un desviador que se extiende sustancialmente entre el lugar donde está el agujero de drenaje y el lugar donde está el receptor de rayos. El agujero de drenaje asegura que no se acumule agua en el interior de la pala, que aumente el riesgo de contorneamientos desde el conductor de bajada para rayos hasta dichas acumulaciones de agua. El desviador asegura que un rayo que impacta en un agujero de drenaje sea conducido al receptor de rayos a través del desviador y finalmente a tierra a través del conductor de bajada para rayos. Adicionalmente, de manera ventajosa, se dispone un filtro para la recolección de partículas en el interior de la pala, de manera tal que dichas partículas no bloqueen el agujero de drenaje.

30

De acuerdo con una forma de realización ventajosa, el receptor de rayos tiene la forma de una barra de Franklin o que tiene una forma sustancialmente ovoide. Esta forma asegura que el receptor de rayos no tenga bordes "afilados" que puedan sufrir el impacto de los rayos y que puedan ser dañados, por ejemplo por fusión. Una superficie del receptor redondeada prolonga la vida útil del receptor, porque su geometría es alterada solo mínimamente por un rayo.

35

De acuerdo con una forma de realización alternativa de la invención, una parte de la punta de la pala se adapta para que sea un receptor de rayos hecho, por ejemplo, de tungsteno, cobre o bronce. Esto provee una forma de realización de la punta de la pala particularmente simple. De manera ventajosa, el receptor de rayos es aerodinámico, y se adapta a la punta de la pala.

40

De acuerdo con otra forma de realización de la invención, la primera capa conductora comprende un recubrimiento del conductor. Un recubrimiento del conductor permite obtener un proceso de fabricación simple, porque el recubrimiento se puede aplicar a la pala mediante procedimientos de recubrimiento convencionales. Por ejemplo la pala se puede pintar con una pintura conductora pintándola con un rodillo.

45

De acuerdo con otra forma de realización de la invención, la primera capa conductora comprende una red conductora. La red se debe adaptar para que tenga una resistencia equivalente a la resistencia de la hoja mencionada anteriormente, y se puede incluir en el cuerpo de revestimiento durante la fabricación.

50

De acuerdo con otra forma de realización de la invención, la primera capa conductora se sitúa sobre una superficie exterior del cuerpo de revestimiento. Por lo tanto, la capa se puede agregar a los diseños de pala existentes con mínimos cambios en la fabricación y el rendimiento de la pala. Además, esta forma de realización se puede utilizar para palas que no se hacen como partes que son mitades separadas del cuerpo de revestimiento y luego se unen.

- 5 De acuerdo con otra forma de realización de la invención, la primera capa conductora se sitúa sobre una superficie interior del cuerpo de revestimiento. La formación de la capa conductora en el interior del cuerpo de revestimiento asegura que el exterior de la pala se pueda optimizar con respecto a sus propiedades aerodinámicas, independientemente de las propiedades de la capa conductora. Una ventaja adicional de esta disposición de la capa conductora es que hay disponible una selección más amplia de materiales para la capa, porque los requerimientos de estabilidad ambiental, por ejemplo con respecto a la resistencia al agua, pueden ser menos estrictos.
- 10 De acuerdo con una forma de realización específica, la capa se puede aplicar después de moldear dos partes que son mitades del cuerpo de revestimiento, pero antes de pegarlas entre sí para formar la pala. En este caso, puede ser necesario realizar solo cambios menores al método de producción existente.
- 15 De acuerdo con otra forma de realización de la invención, la primera capa conductora se incorpora al material del interior del cuerpo de revestimiento. De esta manera, la capa conductora se puede incorporar al material del interior del cuerpo de revestimiento al crear las capas del material compuesto. Esto deja inalterado tanto el interior como el exterior del cuerpo de revestimiento, de manera tal que los pasos de producción de acabado de la superficie se pueden realizar de la manera acostumbrada. Además, la capa conductora se puede adaptar para proveer resistencia estructural a la pala, por ejemplo si se proveen en forma de red.
- En una forma de realización en particular, la capa conductora se aplica al molde como un recubrimiento inmediatamente después de aplicar una capa de Gelcoat, pero antes, por ejemplo de aplicar las mantas de fibra de vidrio.
- 20 De acuerdo con otra forma de realización de la invención, la primera capa conductora puede ser una tira con una dirección longitudinal orientada sustancialmente a lo largo de la dirección longitudinal de la pala.
- La pala de turbina eólica también puede comprender una segunda capa conductora con una resistencia de la hoja en el mismo intervalo que la de la primera capa conductora.
- De acuerdo con otra forma de realización de la invención, la primera capa conductora se sitúa en el borde de ataque o cerca del mismo, y una segunda capa conductora se sitúa en el borde de fuga o cerca del mismo. Esto provee en la pala una supresión eficaz de los filamentos de descarga verticales en cualquier posición de su rotación.
- 25 La(s) capa(s) conductora(s) se pueden proveer en la cara de succión y/o la cara de presión de la pala.
- El objetivo de la invención se consigue también mediante una turbina eólica con un rotor, donde el rotor comprende varias palas, preferiblemente dos o tres, de acuerdo con las formas de realización mencionadas anteriormente. Al proveer a la turbina eólica unas palas de acuerdo con la invención, se provee un sistema de protección contra rayos particularmente eficaz que protege a la turbina eólica de todo tipo de rayos.
- 30 Además, el objetivo de la invención se obtiene con un método para realizar una adaptación para actualizar una pala de turbina eólica adaptándole un sistema de protección contra rayos, donde la pala comprende un cuerpo de revestimiento hecho de un material compuesto y comprende una dirección longitudinal con un extremo de raíz y un extremo de la punta, donde la pala comprende además un contorno de perfil suave que incluye una cara de presión y una cara de succión, así como un borde de ataque y un borde de fuga que tiene una cuerda, donde la longitud de dicha cuerda se extiende entre ellos, y en la cual, cuando un flujo de aire incidente incide sobre el contorno de perfil suave, genera una fuerza de sustentación, donde el método comprende los siguientes pasos:
- 40 - proveer a la pala de por lo menos un primer receptor de rayos dispuesto en una superficie del cuerpo de revestimiento o sobre la misma superficie de manera que se pueda acceder libremente al mismo, y opcionalmente en extremo de la punta de la pala o muy cerca del mismo,
- proveer a la pala de un conductor de bajada para rayos hecho de un material conductor de la electricidad que se extiende por el interior del cuerpo de revestimiento desde el receptor de rayos hasta el extremo de raíz de la pala, donde el receptor de rayos y el conductor de bajada para rayos están conectados eléctricamente, y
- 45 - proveer al cuerpo de revestimiento de por lo menos una primera capa conductora que se extiende a lo largo de por lo menos una parte en sentido longitudinal del conductor de bajada para rayos a lo largo de una distancia en dirección transversal desde los mismos, donde la primera capa conductora está aislada eléctricamente del conductor de bajada para rayos y/o el receptor de rayos, y donde la resistencia de la hoja de la capa conductora se encuentra dentro del rango entre 1 - 5 Mega Ohm por cuadrado. De acuerdo con este método de la invención, se puede proteger a una pala de turbina eólica existente de la acumulación de contorneamientos y filamentos de descarga [streamers]/ descargas iniciales [leaders].
- 50 Por supuesto, la primera capa conductora se puede usar para actualizar una pala de turbina eólica existente con un

sistema de protección contra rayos, por ejemplo pintando la primera capa conductora sobre la superficie exterior de la pala.

- 5 El novedoso sistema de protección contra rayos también se puede aplicar a las palas de turbinas eólicas con un exterior conductor de bajada, es decir donde el conductor de bajada se dispone sobre la superficie exterior de la pala o en la misma, por ejemplo disponiendo el conductor de bajada en el borde de ataque y/o el borde de fuga de la pala. Por lo tanto, la primera capa conductora puede extenderse de manera sustancialmente paralela al(a los) conductor(es) de bajada a lo largo de una distancia en dirección transversal desde el conductor de bajada, por ejemplo aplicando la capa conductora a la cara de presión y/o a la cara de succión de la pala.

Breve descripción del dibujo

- 10 A continuación se explica la invención de manera más detallada mediante formas de realización que se muestran en las figuras, en las cuales:

La Figura 1a es una vista esquemática de una pala de acuerdo con una primera forma de realización de la invención, mirando hacia el borde de fuga de la pala,

La Figura 1 b es una vista desde arriba de la misma pala,

- 15 La Figura 1 c muestra una ampliación de un detalle de la pala que se muestra en la Figura 1 b,

La Figura 2a es una vista esquemática desde arriba de una pala de acuerdo con una segunda forma de realización de la invención,

La Figura 2b muestra una ampliación de un detalle de la pala que se muestra en la Figura 2a,

- 20 La Figura 3a es una vista esquemática en sección transversal a lo largo de la línea IIb-IIb de la Figura 3b, de una parte de una pala de acuerdo con otra forma de realización de la invención,

La Figura 3b es una vista parcial en sección transversal de la misma pala a lo largo de la línea IIa-IIa de la Figura 3a,

La Figura 4 es una vista esquemática en sección desde arriba de una parte de una pala de acuerdo con otra forma de realización de la invención,

- 25 La Figura 5 es una vista en sección transversal a través de un conductor de bajada de rayos de acuerdo con la invención,

Figura 6 muestra una turbina eólica, y

La Figura 7 muestra una vista esquemática de aún otra forma de realización de una pala de turbina eólica de acuerdo con la invención.

Descripción Detallada

- 30 La Figura 6 ilustra una turbina eólica moderna convencional con rotor a barlovento 25 de acuerdo con el denominado "concepto danés" con una torre 26, una nacela 27 y un rotor con un eje de rotor sustancialmente horizontal. El rotor incluye un cubo del rotor 28 y tres palas 30 que se extienden radialmente desde el cubo 28, cada una de las cuales tiene una raíz 36 de la pala más cercana al cubo y una punta 34 de la pala más alejada del cubo 28.

- 35 En los sistemas de protección contra rayos existentes para las palas de una turbina eólica de acuerdo con el concepto danés frecuentemente se usa una construcción donde se provee en la punta de la pala un denominado receptor de rayos hecho de un material conductor de la electricidad. Este receptor de rayos puede "capturar" un rayo y conducir la corriente a través de un conductor de bajada para rayos, y dicho conductor se extiende en la dirección longitudinal de la pala y se conecta a tierra a través del cubo del rotor. Típicamente, el receptor se conecta con un lado de un bloque de anclaje, mientras que el conductor de bajada para rayos se conecta con el otro lado del mismo
- 40 bloque de anclaje. Se ha descubierto que esta construcción provee una eficaz protección contra los rayos, sin embargo, también se ha descubierto que es vulnerable a los rayos que impactan a través de la superficie de la pala - especialmente en situaciones donde los rayos caen cuando la pala se encuentra en una posición aproximadamente horizontal durante la rotación del rotor. Además, el bloque de anclaje es frecuentemente rectangular y tiene bordes afilados, lo que aumenta la probabilidad de que se acumulen filamentos de descarga en dichos bordes afilados y por
- 45 lo tanto la probabilidad de que impacte un rayo u ocurra un contorneamiento.

- 5 Para un mejor control de la corriente de los rayos a través de la pala sin dañar la misma, el sistema de protección contra rayos de la pala se puede proveer de varios receptores de rayos o conductores de bajada para rayos a lo largo de la dirección longitudinal de la pala. Preferiblemente, los receptores de rayos se disponen con un intervalo máximo de cinco metros para asegurar que no caigan rayos a través de la superficie de la pala. Sin embargo, esta es una solución comparativamente costosa y complicada.
- 10 La Figura 7 muestra una vista esquemática de una forma de realización de una pala de turbina eólica 30 de acuerdo con la invención. La pala de turbina eólica 30 tiene la forma de una pala de turbina eólica convencional y comprende una región de raíz 40 más cercana al cubo del rotor, una región de perfil suave o aerodinámica 44 más alejada del cubo y una región de transición 42 entre la región de raíz 40 y la región aerodinámica 44. La pala 30 comprende un borde de ataque 48 que mira en la dirección de rotación de la pala 30, cuando la pala está montada en el cubo, y un borde de fuga 50 que mira en la dirección opuesta al borde de ataque 48.
- 15 La región aerodinámica 44 (que también se denomina la región de perfil suave) tiene una forma de pala ideal o casi ideal con respecto a la generación de la fuerza de sustentación, mientras que, debido a consideraciones estructurales, la región de raíz 40 tiene una sección transversal sustancialmente circular o elíptica, que hace por ejemplo que sea más fácil y seguro montar la pala 30 en el cubo del rotor. El diámetro (o la cuerda) de la región de raíz 40 es típicamente constante a lo largo de toda el área de la raíz 40. La región de transición 42 tiene un perfil de transición que cambia gradualmente de la forma circular o elíptica de la región de raíz 40 al perfil de sección aerodinámica de la región aerodinámica 44. El ancho de la región de transición 42 típicamente aumenta de manera sustancialmente lineal al aumentar la distancia  $r$  desde el cubo del rotor.
- 20 La región aerodinámica 44 tiene un perfil de sección aerodinámica que tiene una cuerda que se extiende entre el borde de ataque 48 y el borde de fuga 50 de la pala 30. El ancho de la cuerda se reduce al aumentar la distancia  $r$  desde el cubo del rotor.
- 25 Se debería señalar que las cuerdas de diferentes secciones de la pala normalmente no se encuentran en el mismo plano, porque la pala puede ser alabeada y/o curva (es decir puede ser precurvada), haciendo así que el plano de la cuerda recorra un camino correspondientemente alabeado y/o curvo, que es lo más frecuente para compensar la dependencia de la velocidad local de la pala respecto de la distancia desde el cubo del rotor.
- 30 La pala 30 se provee de un receptor de rayos 53' en el extremo de la punta de la pala, donde el receptor de rayos se conecta eléctricamente a un conductor interior de bajada (no se muestra). En el borde de ataque de la pala 48 se provee una primera capa conductora 60' que se extiende como una primera tira a lo largo de una parte en sentido longitudinal de la pala 30 y de esa manera a lo largo del conductor interior de bajada. En el borde de fuga de la pala 50 se provee una segunda capa conductora 62' que se extiende también como una segunda tira a lo largo de una parte en sentido longitudinal de la pala 30 y de esa manera también a lo largo del conductor interior de bajada. La primera capa conductora 60' y la segunda capa conductora 62' tienen una resistencia de la hoja dentro del rango entre 1 y 5 Mega Ohm por cuadrado.
- 35 La primera capa conductora 60' tiene una primera extensión longitudinal L1, mientras que la segunda capa conductora 62' tiene una segunda extensión longitudinal L2. La pala de turbina eólica 30 tiene una longitud total L, y la región aerodinámica 44 tiene una extensión longitudinal La. En la forma de realización que se muestra, las capas conductoras 60', 62' solo se extienden a lo largo de una parte de la región aerodinámica 44. Sin embargo, en una forma de realización ventajosa, las capas conductoras 60', 62' se extienden a lo largo de sustancialmente toda la región aerodinámica 44. Las capas conductoras también pueden extenderse hacia el interior de la región de transición 42 y/o la región de raíz 40. Las capas conductoras también se pueden proveer de espacios en la dirección longitudinal, es decir una pluralidad de capas conductoras posicionadas en diferentes partes longitudinales de la pala. En una forma de realización ventajosa, la primera extensión longitudinal L1 de la primera capa conductora 60' y/o la segunda extensión longitudinal L2 de la segunda capa conductora 62' se extienden a lo largo de por lo menos el 20%, o por lo menos el 30%, o por lo menos el 40%, o por lo menos el 50% de la extensión longitudinal La de la región aerodinámica 44. En otra forma de realización ventajosa, la primera extensión longitudinal L1 de la primera capa conductora 60' y/o la segunda extensión longitudinal L2 de la segunda capa conductora 62' se extienden a lo largo de por lo menos el 20%, o por lo menos el 30%, o por lo menos el 40%, o por lo menos el 50% de la extensión longitudinal L de la pala de turbina eólica 30.
- 40
- 45
- 50 Las Figuras 1 a-c muestran el área de la punta de una forma de realización de una pala 1 de acuerdo con la invención. De acuerdo con esta forma de realización, se posiciona un receptor de rayos 3 en el extremo de la punta de la pala 1, donde preferiblemente, aunque no necesariamente, dicho receptor de rayos tiene una forma predominantemente ovoide o se conforma como una de las denominadas barras de Franklin. El receptor de rayos 3 se conecta a un conductor de bajada para rayos 2 que se extiende sustancialmente en toda la dirección longitudinal de la pala 1 desde el receptor de rayos 3 en la punta de la pala 1 hasta el área de la raíz de la pala 1 en el cubo del rotor. Hay una capa conductora (no se muestra) que se extiende a lo largo de una parte de la longitud y a lo largo de una distancia en dirección transversal desde el conductor de bajada para rayos, de manera similar a la forma de realización que se muestra en la Figura 7. Preferiblemente, la parte del conductor de bajada para rayos se conecta
- 55

eléctricamente al cubo del rotor, y de esa manera, la corriente de los rayos debida al impacto de un rayo en el receptor de rayos 3 se puede conducir a tierra a través del conductor de bajada para rayos 2 y el cubo, donde dicho cubo está conectado a tierra mediante un segundo conductor de bajada para rayos (no se muestra) conectado a una barra de tierra a través, por ejemplo, de la torre y la nacela. Además, entre el conductor de bajada para rayos 2 y el cubo o entre el conductor de bajada para rayos 2 y la torre se pueden proveer uno o más espacios de chispas. Los conductores de bajada para rayos y la barra de tierra pueden ser conductores de cobre o se pueden hacer de cualquier otro material conductor de la electricidad.

El conductor de bajada para rayos 2 está aislado sustancialmente en toda su dirección longitudinal desde el área de la raíz de la pala 1 hasta el área de conexión entre el conductor de bajada para rayos 2 y el receptor de rayos 3. La pala 1 está formada por un cuerpo de revestimiento hecho preferiblemente de polímero reforzado con fibras de manera tal que la pala 1 comprende un revestimiento laminado 6 y una cavidad 9 en el interior de la pala 1, respectivamente. El conductor de bajada para rayos 2 y el receptor de rayos 3 están conectados por ejemplo por medio de una rosca, donde el receptor de rayos 3 preferiblemente está provisto de una rosca interior. Sin embargo, también es concebible proveer una forma de realización, donde el receptor 3 se provee de una pieza conectora con una rosca exterior, donde dicha pieza conectora está asegurada con pernos junto con una rosca interior del conductor de bajada para rayos 2.

El receptor de rayos 3 se posiciona en el revestimiento laminado 6 de la pala 1 de manera tal que una parte del receptor 3 se proyecta desde la superficie de la pala 1 por su borde de fuga, donde el conductor de bajada para rayos 2 se hace pasar a través de una parte del revestimiento laminado 6. El conductor de bajada para rayos 2 que se muestra aquí incluye un primer aislante eléctrico en la forma de un lecho o recubrimiento aislante de la electricidad. Adicionalmente, el área de conexión entre el receptor 3 y el conductor de bajada para rayos 2 está aislada eléctricamente por medio de un aislante eléctrico 5 adicional en la forma de un manguito contraíble. El manguito contraíble 5 se extiende una corta distancia hacia el interior del lecho de aislante eléctrico del conductor de bajada para rayos 2 y una corta distancia hacia el interior del receptor 3. Por lo tanto, el conductor de bajada para rayos 2 está completamente aislado hasta el receptor 3.

Además, la pala 1 se provee de un agujero de drenaje 4 que también pasa a través del laminado 6 y que se posiciona en el borde de fuga de la pala 1. El agujero de drenaje 4 se conecta a la cavidad 9, comunicando así a éste último con el ambiente. De esta manera, se evita en todo momento la acumulación de agua en el interior de la pala 1, porque el agua es evacuada de la pala 1 por el agujero de drenaje 4 por la fuerza centrífuga durante la rotación del rotor. Simultáneamente, la pala 1 se puede proveer de un filtro 7 para recolectar el polvo y otro tipo de suciedad, que pueda estar presente en el interior de la pala 1, de manera tal de evitar que este sea arrojado hacia el agujero de drenaje 4 y lo bloquee. Preferiblemente, el filtro 7 se posiciona a través de toda la sección transversal de la cavidad 9. Al posicionar el receptor 3 y el agujero de drenaje 4 en el borde de fuga de la pala 1, se reduce el ruido que genera la rotación del rotor.

Adicionalmente, la superficie de la pala 1 se puede proveer de un desviador 8 que se extiende desde un área adyacente al receptor 3 en el borde de fuga de la pala 1 hasta un área en el borde de ataque de la pala 1. Este desviador asegura que los rayos que golpeen el borde de ataque de la pala 1, mientras la pala 1 se encuentra en una posición sustancialmente horizontal, en la cual el receptor 3 mira hacia abajo, sean conducidos al receptor 3 y a través de este último al receptor de rayos 2. El desviador 8 puede ser una tira continua de material conductor de la electricidad, pero también puede estar segmentado, en cuyo caso las descargas iniciales [*leaders*] de aire ionizado se forman entre los segmentos individuales al recibir un rayo, y de esa manera la corriente de los rayos es conducida a lo largo del desviador 8 en su dirección longitudinal.

Como se muestra en la Figura 1c, el receptor 3 se puede dividir en dos, de manera tal que una parte del receptor se moldea en el interior del revestimiento laminado 6 de la pala 1, mientras que la segunda parte se une a la primera parte por ejemplo por medio de una conexión cableada. Por lo tanto, es fácil cambiar la parte del receptor 3 que se proyecta desde la superficie de la pala 1, si dicha parte está gastada o si se daña después de un rayo.

La Figura 2 muestra otra forma de realización de una pala 51 de acuerdo con la invención. La pala 51 comprende un conductor de bajada para rayos 52, que se extiende por sustancialmente toda la longitud de la pala 51 en sentido longitudinal desde el extremo de raíz hasta el extremo de la punta. El conductor de bajada para rayos 52 se puede enviar a lo largo de una viga de soporte 61 dentro de la pala, por lo menos a lo largo de parte de la longitud de la pala. Cerca de la punta, la pala 51 se provee de tres agujeros de drenaje 54, que se conectan de manera que se comunican con la cavidad interior de la pala. En el extremo de la punta, el conductor de bajada para rayos 52 se conecta con el receptor de rayos 53. El receptor de rayos se fija a la pala con pegamento 58. Se dispone una primera capa conductora 60 en el borde de ataque de la pala, y se dispone una segunda capa conductora 62 en el borde de fuga de la pala. Las capas conductoras se pueden formar tanto en el borde de fuga como en el borde de ataque, y en las caras de la pala tanto de barlovento como de sotavento, es decir la cara de presión y la cara de succión de la pala. Por lo tanto, la pala también se puede proveer de una tercera y una cuarta capa conductora. Sin embargo, de acuerdo con la invención puede ser suficiente una única capa conductora. En un ejemplo, las capas conductoras se hacen pintando una capa de recubrimiento antiestático reticulado APC8116D pintando con rodillo de

pelo corto sobre el Gelcoat en el exterior de una pala. Como alternativa, el recubrimiento del conductor se puede aplicar a la parte interior del Gelcoat, mientras se está construyendo el cuerpo de revestimiento. De esta manera, con el recubrimiento del conductor se forma un sándwich entre el Gelcoat y el material compuesto. La resistencia de la hoja de las capas conductoras se encuentra dentro del rango entre 1 - 5 Mega Ohm por cuadrado, que se ha mostrado que provee una protección eficiente contra los rayos positivos. Por lo tanto, las capas conductoras tienen una conductividad relativamente baja, asegurando así que las capas conductoras no actúen como receptores de rayos, proveyendo, sin embargo, una conductividad suficientemente alta como para actuar como conductor de corrientes parásitas.

La Figura 3 muestra una tercera forma de realización de una pala 101 de acuerdo con la invención. La pala 101 de acuerdo con esta forma de realización tiene una punta 105 conformada como un cuerpo sólido por ejemplo, de Poliuretano, PVC o un polímero reforzado con fibras. El resto de la pala 101 se hace de un cuerpo de revestimiento con un revestimiento laminado 106. Al igual que en la forma de realización que se muestra en la Figura 1 y en la Figura 2, el sistema de protección contra rayos de la pala incluye un conductor de bajada para rayos 102 que se extiende sustancialmente en toda la dirección longitudinal de la pala 101 desde el extremo de raíz en el cubo del rotor y hasta el extremo de la punta así como una o más capas conductoras en el cuerpo de revestimiento o sobre el mismo (no se muestra) y se extiende a lo largo de una parte de la longitud del conductor de bajada para rayos 102 y a lo largo de una distancia en dirección transversal desde dicho conductor de bajada para rayos. El conductor de bajada para rayos 102 se guía hacia afuera de la cavidad de la pala 101 y se hace pasar por un agujero creado en la punta 105 y que se corresponde con el conductor de bajada para rayos 102. El conductor de bajada para rayos se puede pegar a este agujero. El conductor de bajada para rayos se conecta con un receptor de rayos 103 de forma sustancialmente ovoide. El receptor de rayos 103 se posiciona en la superficie de la punta 105 de manera tal que se proyecta desde la superficie una pequeña parte del mismo. La posición y la forma del receptor 103 se adaptan para obtener las propiedades aerodinámicas de la punta 105 de la pala 101 que se desean, mientras que al mismo tiempo tienen una gran superficie de metal, lo que asegura una buena durabilidad y una prolongada vida útil, porque contiene una gran cantidad de material, que se puede fundir al recibir un rayo.

Al igual que en la forma de realización que se muestra en la Figura 1 y en la Figura 2, el conductor de bajada para rayos 102 y el receptor 103 preferiblemente están conectados por medio de una conexión cableada, donde el área de conexión entre el conductor de bajada para rayos 102 y el receptor 103 se puede aislar eléctricamente por medio de un aislante eléctrico adicional en la forma, por ejemplo, de un manguito contraíble o de silicona. Sin embargo, la punta sólida 105 puede ser suficiente para proveer el aislamiento eléctrico que se desea.

La punta 105 se provee de una cavidad 109 conectada a dos agujeros de drenaje 104 de manera tal que la cavidad pueda comunicarse con el ambiente a través de los agujeros. De esa manera, cuando el rotor gira, el agua que es posible que se acumule en el interior de la pala 101 es guiada a la cavidad 109 de la punta 105 y desde allí hacia el exterior a través de los agujeros de drenaje 104 debido a la fuerza centrífuga. Preferiblemente, la punta 105 adicionalmente está provista de un desviador que se extiende entre un área adyacente a los agujeros de drenaje 104 y un área adyacente al receptor 103 sobre la superficie de la punta 105. De esa manera, cualquier rayo que golpee los agujeros de drenaje 104 es conducido a través del desviador hacia el receptor 103 y a través de éste último al conductor de bajada para rayos 102 y finalmente a tierra a través del cubo del rotor, la torre o de alguna manera similar. La punta 105 se asegura al resto de la pala 101 por medio de una unión con pegamento 108.

La Figura 4 muestra una cuarta forma de realización de una pala 201 de acuerdo con la invención. La pala 201 de acuerdo con esta forma de realización tiene una punta 205 formada como un cuerpo sustancialmente sólido, por ejemplo, de Poliuretano, PVC o polímero reforzado con fibras al igual que en la forma de realización que se muestra en la Figura 3. El resto de la pala 201 se hace de un cuerpo de revestimiento con un revestimiento laminado 206. Al igual que en la formas de realización que se muestran en la Figura 1, la Figura 2, y la Figura 3, el sistema de protección contra rayos de la pala 201 incluye un conductor de bajada para rayos 202 que se extiende sustancialmente en toda la dirección longitudinal de la pala 201 desde el extremo de raíz en el cubo del rotor hasta el extremo de la punta así como una o más capas conductoras en el cuerpo de revestimiento o sobre el mismo (no se muestra) y se extiende a lo largo de una parte de la longitud de una distancia en dirección transversal desde el conductor de bajada para rayos 202 y a lo largo de dicha distancia. El conductor de bajada para rayos 202 se guía hacia afuera de la cavidad de la pala 201 y se hace pasar por un agujero creado en la punta 205 que se ajusta a la forma del conductor de bajada para rayos 202.

El conductor de bajada para rayos 202 se conecta a un receptor de rayos 203 de forma redondeada y que está posicionado en el ápice de la punta 205. El receptor de rayos 203 se adapta de manera tal que existe una transición sustancialmente suave entre la punta 205 y el receptor 203 y de manera tal que esta pueda tener las propiedades aerodinámicas de la punta 201 que se desean. En otras palabras, el receptor 203 de acuerdo con esta forma de realización es una parte de la punta de la pala 201.

Al igual que en la forma de realización que se muestran en la Figura 1, la Figura 2 y la Figura 3, el conductor de bajada para rayos 202 y el receptor 203 están conectados por medio de una conexión con grampa o una conexión cableada 211. Además, el conductor de bajada para rayos se ancla a la punta 205 por medio de dos varillas plásticas

210 con una rosca exterior y dos perforaciones roscadas en el receptor 203. El área de conexión entre el conductor de bajada para rayos 202 y el receptor 203 se aísla eléctricamente por medio de un aislante eléctrico adicional en la forma, por ejemplo, de un material contraíble o silicona. Sin embargo, la punta sólida 205 puede ser suficiente para proveer el aislamiento eléctrico que se desea.

5 Como los rayos "intentan" encontrar el camino más corto a tierra, los rayos frecuentemente golpean la pala del rotor que en el momento del impacto se proyectan a mayor altura en el aire. Sin embargo, existe el riesgo de que los rayos golpeen una pala mientras esta se encuentra en una posición sustancialmente horizontal durante la rotación del rotor. Esta es la situación con la mayor probabilidad de que un rayo irrumpa a través del laminado de la pala o por las uniones entre las mitades del revestimiento de la pala.

10 El Solicitante de la presente ha realizado varias pruebas para examinar los sistemas de protección contra rayos para palas en dichos escenarios de peor caso. Las denominadas simulaciones por conmutación de alta tensión e impulsos de rayos se condujeron suspendiendo una pala en posición horizontal sobre el piso de un laboratorio o una superficie que durante la prueba simula la superficie equipotencial que ocurre sobre la pala antes de que impacte un rayo cuando esta se encuentra cerca de la posición horizontal. Se creó una diferencia de potencial entre la superficie del laboratorio y el sistema de protección contra rayos de la pala para provocar un contorneamiento entre el sistema de protección contra rayos de la pala y el piso del laboratorio. Las pruebas se llevaron a cabo con polaridad tanto positiva como negativa, donde los contorneamientos con polaridad positiva se obtuvieron a 1050 kV, mientras que los contorneamientos con polaridad negativa se obtuvieron a 1400 kV.

15 Las pruebas se llevaron a cabo con diversas palas LM28.8P y LM53.2P de LM Glasfiber con diferentes sistemas de protección contra rayos. Se demostró muy rápidamente que los sistemas tradicionales de protección contra rayos, en los cuales el receptor y el conductor de bajada para rayos están conectados a un bloque de anclaje, eran insuficientes para prevenir el impacto de los rayos a través del laminado de la pala o las uniones de las mitades del revestimiento de la pala.

20 Cuando se probaron diferentes conductores de bajada para rayos para un sistema de protección contra rayos correspondiente al sistema de protección contra rayos que se muestra en la Figura 1 sin capas conductoras, se descubrió sorprendentemente que un conductor de bajada para rayos en la forma de un cable con núcleo de cobre y un aislante eléctrico hecho de polietileno de alta densidad (HDPE) fue particularmente eficaz para prevenir el impacto de los rayos a través de la superficie de la pala. Después de 22 rayos simulados, 12 positivos y 10 negativos, la pala no mostró daño visible ni otros efectos negativos. Durante todos los rayos simulados solo se observó la formación de filamentos de descarga [*streamers*] en el receptor de la pala.

25 Las siguientes pruebas en palas sin capas conductoras con mayores tensiones negativas, correspondientes a los rayos positivos, sin embargo, se descubrió que era necesaria una protección adicional. Por lo tanto, luego se llevaron a cabo pruebas con una parte de pala LM53.2P equipada con el sistema de protección contra rayos que se muestra en la Figura 2 que incluye capas conductoras, con tres impulsos con conmutación de altas tensiones exitosos de -1410 kV, -1416 kV, y -1880 kV sin daños, cumpliendo de esa manera los requerimientos del estándar IEC61400-24 de CDV. Por lo tanto, se descubrió sorprendentemente que el agregado de las capas conductoras proporcionó una protección eficiente contra los rayos positivos, aún en el peor de los casos, con una orientación de la pala casi paralela a la tierra en un ángulo de 5 grados respecto de la horizontal.

30 Como se muestra en la Figura 5, el cable que se probó se construye con un núcleo 21 de 50 mm<sup>2</sup> hecho de cables de cobre y una funda de aislante eléctrico 22 de aproximadamente 4,5 mm de espesor hecha de HDPE. Entre el núcleo 21 y el aislante eléctrico 22, se provee un material semiconductor 23 con el objeto de minimizar las concentraciones del campo eléctrico en los cables de cobre individuales. Sin embargo, el material semiconductor 23 no es absolutamente necesario para conseguir el efecto que se desea en el sistema de protección contra rayos. Se descubrió que era suficiente usar un aislante eléctrico de HDPE comparativamente delgado. Esto es ventajoso, porque el cable no causa un incremento innecesariamente grande en el peso de la pala. Además, dicho tipo de cable es muy barato. Por lo tanto, el novedoso sistema de protección contra rayos no solo previene eficazmente el impacto de los rayos a través de la superficie de la pala, sino que también provee una construcción más simple y es menos costoso de fabricar que los sistemas de protección tradicionales contra los rayos con o sin multirreceptores.

35 Sin embargo, al usar las capas conductoras 60, 60', 62, 62' puede ser suficiente usar conductores de bajada sin ningún aislante eléctrico.

La invención se ha descrito haciendo referencia a las formas de realización preferidas. Hay muchas modificaciones concebibles que no se desvían del alcance de la invención, que está definida por las siguientes reivindicaciones. Se considera que las modificaciones y variaciones evidentes para aquellos con experiencia en el se encuentran dentro del alcance de la presente invención, que se define mediante las siguientes reivindicaciones.

55 Lista de números de referencia

	1, 51, 101, 201	pala
	2, 52, 102, 202	conductor de bajada para rayos
	3, 53, 103, 203	receptor de rayos
	4, 54, 104, 204	agujero de drenaje
5	5	manguito contraíble o material contraíble
	105, 205	punta
	6, 106, 206	revestimiento laminado
	7	filtro
	8	desviador
10	58, 108, 208	unión con pegamento
	9, 109, 209	cavidad
	21	conductor interior
	22	lecho o recubrimiento aislante de la electricidad
	23	material semiconductor
15	25	turbina eólica
	26	torre
	27	nacela
	28	culo del rotor
	30	pala
20	34	punta de la pala
	36	raíz de la pala
	40	región de raíz
	42	región de transición
	44	región aerodinámica
25	48	borde de ataque
	50	borde de fuga
	60	primera capa conductora
	61	viga de soporte
	62	segunda capa conductora
30	210	barra de plástico
	211	conexión roscada

212

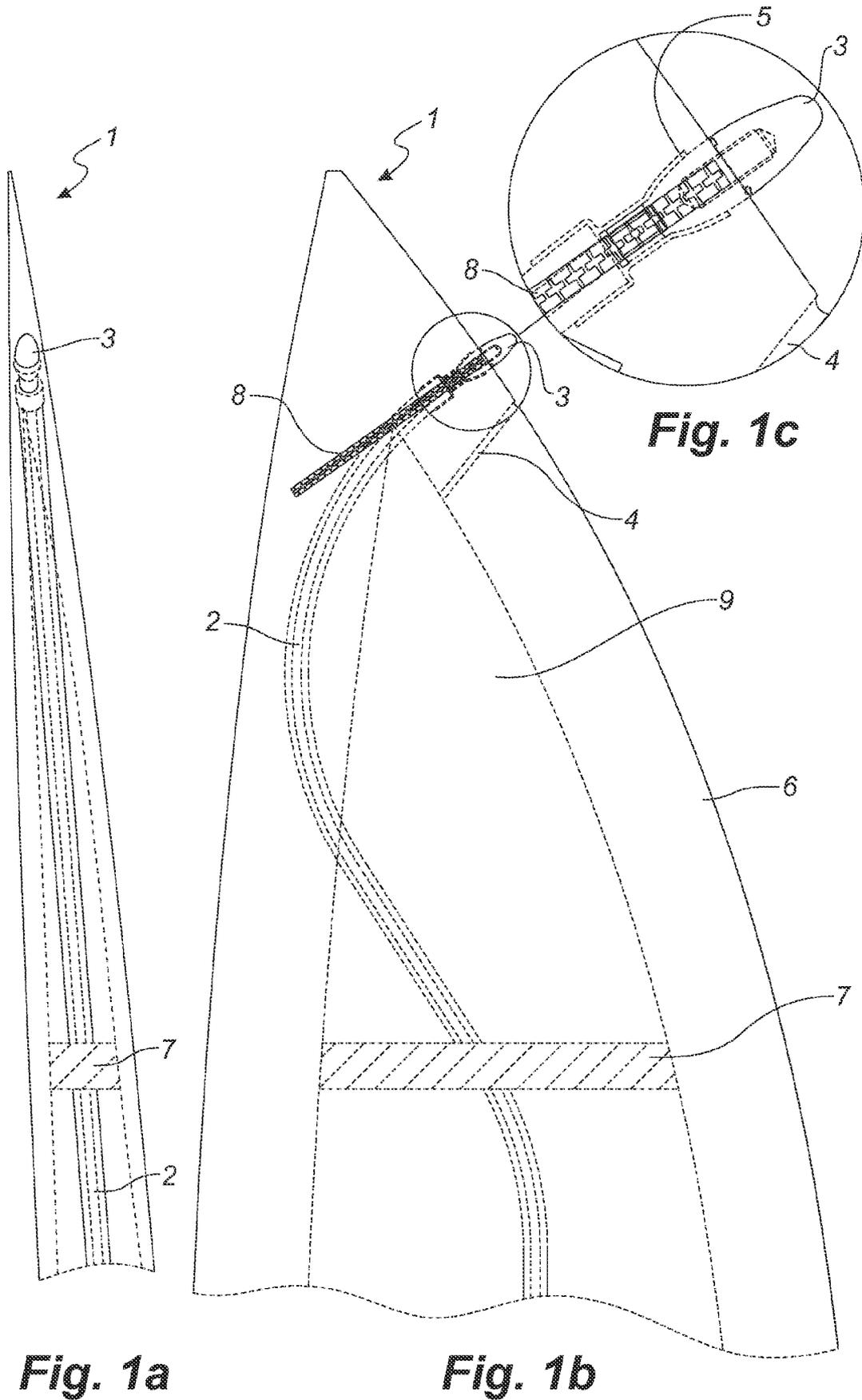
agujero roscado

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Una pala de turbina eólica con un sistema de protección contra rayos (1, 51, 101, 201), donde la pala (1, 51, 101, 201) comprende un cuerpo de revestimiento hecho de un material compuesto y comprende una dirección longitudinal con un extremo de raíz y un extremo de la punta, donde la pala comprende además un contorno de perfil suave que incluye una cara de presión y una cara de succión, así como un borde de ataque y un borde de fuga que tiene una cuerda, donde la longitud de dicha cuerda se extiende entre ellos, y en la cual, cuando un flujo de aire incidente incide sobre el contorno de perfil suave, genera una fuerza de sustentación, y donde el sistema de protección contra rayos comprende:
- 10 - por lo menos un receptor de rayos (3, 53, 103, 203) dispuesto en una superficie del cuerpo de revestimiento o sobre la misma superficie de manera que se pueda acceder libremente al mismo, y
- un conductor de bajada para rayos (2, 52, 102, 202) hecho de un material conductor de la electricidad o que comprende dicho tipo de material y se extiende por el interior del cuerpo de revestimiento desde el receptor de rayos (3, 53, 103, 203) hasta el extremo de raíz de la pala (1, 51, 101, 201), y donde
- 15 - el receptor de rayos (3, 53, 103, 203) y el conductor de bajada para rayos (2, 52, 102, 202) están conectados eléctricamente, caracterizado porque
- el cuerpo de revestimiento comprende por lo menos una primera capa conductora (60, 62) que se extiende a lo largo de por lo menos una parte en sentido longitudinal del conductor de bajada para rayos (2, 52, 102, 202) a lo largo de una distancia en dirección transversal a la misma, donde la primera capa conductora (60, 62) está aislada eléctricamente del conductor de bajada para rayos (2, 52, 102, 202) y del receptor de rayos (3, 53, 103, 203), y donde la primera capa conductora (60, 62) tiene una resistencia de la hoja dentro del rango entre 1 y 5 Mega Ohm por cuadrado.
- 20 2. Una pala de turbina eólica (1, 51, 101, 201) de acuerdo con la reivindicación 1, donde el por lo menos un receptor de rayos (3, 53, 103, 203) se dispone en la punta de la pala o muy cerca de la misma (1, 51, 101, 201).
- 25 3. Una pala de turbina eólica (1, 51, 101, 201) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, donde el contorno de perfil suave está dividido en:
- una región de raíz con un perfil sustancialmente circular o elíptico en la zona más cercana al cubo del rotor,
- una región aerodinámica con un perfil que genera una fuerza de sustentación en la zona más alejada del cubo del rotor, y
- 30 - una región de transición entre la región de raíz y la región aerodinámica, donde la región de transición tiene un perfil que cambia gradualmente en la dirección radial desde el perfil circular o elíptico de la región de la raíz hacia el perfil de la región aerodinámica que genera una fuerza de sustentación.
4. Una pala de turbina eólica (1, 51, 101, 201) de acuerdo con la reivindicación 3, donde la primera capa conductora se extiende a lo largo de por lo menos el 20%, o a lo largo de por lo menos el 30%, o a lo largo de por lo menos el 40%, o por lo menos el 50% de la extensión longitudinal de la región aerodinámica.
- 35 5. Una pala de turbina eólica (1, 51, 101, 201) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la primera capa conductora se extiende a lo largo de por lo menos el 20%, o a lo largo de por lo menos el 30%, o a lo largo de por lo menos el 40%, o por lo menos el 50% de la extensión longitudinal de pala de turbina eólica.
- 40 6. Una pala de turbina eólica (1, 51, 101, 201) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde el conductor de bajada para rayos comprende un conductor interior (21) hecho de material conductor de la electricidad, como por ejemplo cobre o aluminio, y un lecho de aislante eléctrico (22) hecho de polietileno, preferiblemente HDPE, que opcionalmente tiene una capa de material semiconductor que se provee entre el conductor interior y el lecho de aislante eléctrico.
7. Una pala de turbina eólica (1, 51, 101, 201) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la primera capa conductora comprende un recubrimiento del conductor.
- 45 8. Una pala de turbina eólica (1, 51, 101, 201) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la primera capa conductora comprende una red conductora.
9. Una pala de turbina eólica (1, 51, 101, 201) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde

la primera capa conductora se sitúa sobre una superficie exterior del cuerpo de revestimiento.

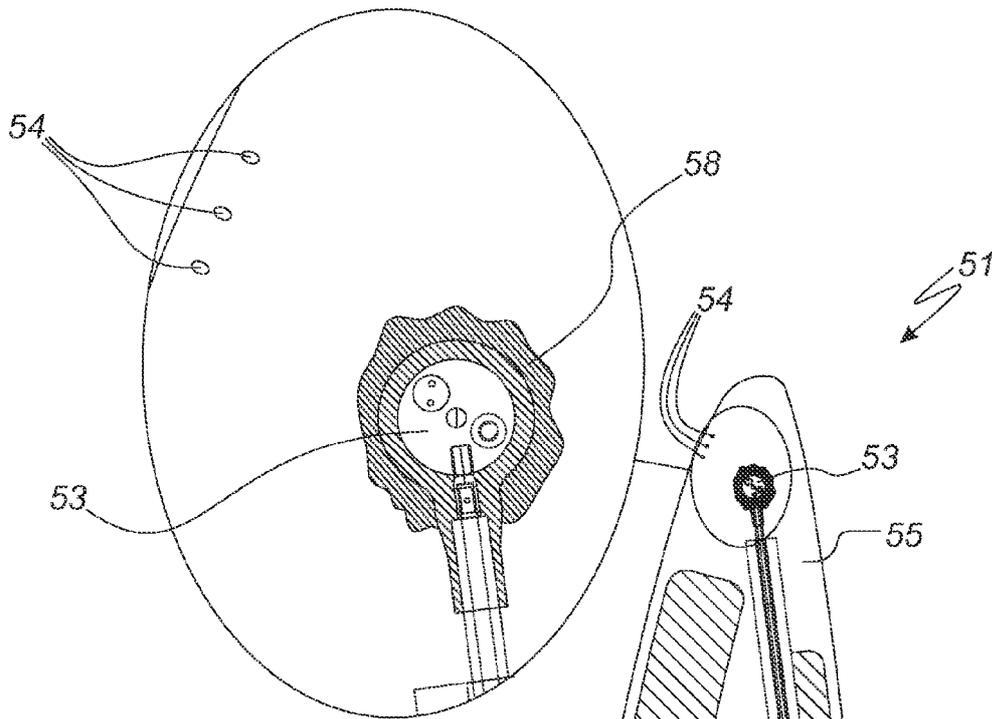
10. Una pala de turbina eólica (1, 51, 101, 201) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la primera capa conductora se sitúa sobre una superficie interior del cuerpo de revestimiento.
- 5 11. Una pala de turbina eólica (1, 51, 101, 201) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la primera capa conductora está incluida en el material compuesto del cuerpo de revestimiento.
12. Una pala de turbina eólica (1, 51, 101, 201) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la primera capa conductora puede ser una tira con una dirección longitudinal orientada sustancialmente a lo largo de la dirección longitudinal de la pala.
- 10 13. Una pala de turbina eólica (1, 51, 101, 201) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, donde la primera capa conductora se sitúa en el borde de ataque o cerca del mismo, y una segunda capa conductora se sitúa en el borde de fuga o cerca del mismo.
14. Una turbina eólica con un rotor, caracterizada porque el rotor comprende varias palas (1, 51, 101, 20 1) de acuerdo con las reivindicaciones 1-13.
- 15 15. Un método para realizar una adaptación para actualizar una pala de turbina eólica adaptándole un sistema de protección contra rayos, en el cual la pala (1, 51, 101, 201) comprende un cuerpo de revestimiento hecho de un material compuesto y comprende una dirección longitudinal con un extremo de raíz y un extremo de la punta, donde la pala comprende además un contorno de perfil suave que incluye una cara de presión y una cara de succión, así como un borde de ataque y un borde de fuga que tiene una cuerda, donde la longitud de dicha cuerda se extiende entre ellos, y que, cuando un flujo de aire incidente incide sobre el contorno de perfil suave, genera una fuerza de sustentación, donde el método comprende los siguientes pasos:
- 20 - proveer a la pala (1, 51, 101, 201) por lo menos un primer receptor de rayos (3, 53, 103, 203) dispuesto en una superficie del cuerpo de revestimiento o sobre la misma superficie de manera que se pueda acceder libremente al mismo, y opcionalmente en el extremo de la punta de la pala o muy cerca del mismo (1, 51, 101, 201),
- 25 - proveer a la pala (1, 51, 101, 201) un conductor de bajada para rayos (2, 52, 102, 202) hecho de material conductor de la electricidad, que se extiende por el interior del cuerpo de revestimiento desde el receptor de rayos (3, 53, 103, 203) hasta el extremo de raíz de la pala (1, 51, 101, 201), donde el receptor de rayos (3, 53, 103, 203) y el conductor de bajada para rayos (2, 52, 102, 202) están conectados eléctricamente, y
- 30 - proveer al cuerpo de revestimiento por lo menos una primera capa conductora (60) que se extiende a lo largo de por lo menos una parte en sentido longitudinal del conductor de bajada para rayos (2, 52, 102, 202) a lo largo de una distancia en dirección transversal del mismo, donde la primera capa conductora (60) está aislada eléctricamente del conductor de bajada para rayos (2, 52, 102, 202) y el receptor de rayos (3, 53, 103, 203), y donde la resistencia de la hoja de la primera capa conductora (60) se encuentra dentro del rango entre 1 y 5 Mega Ohm por cuadrado.



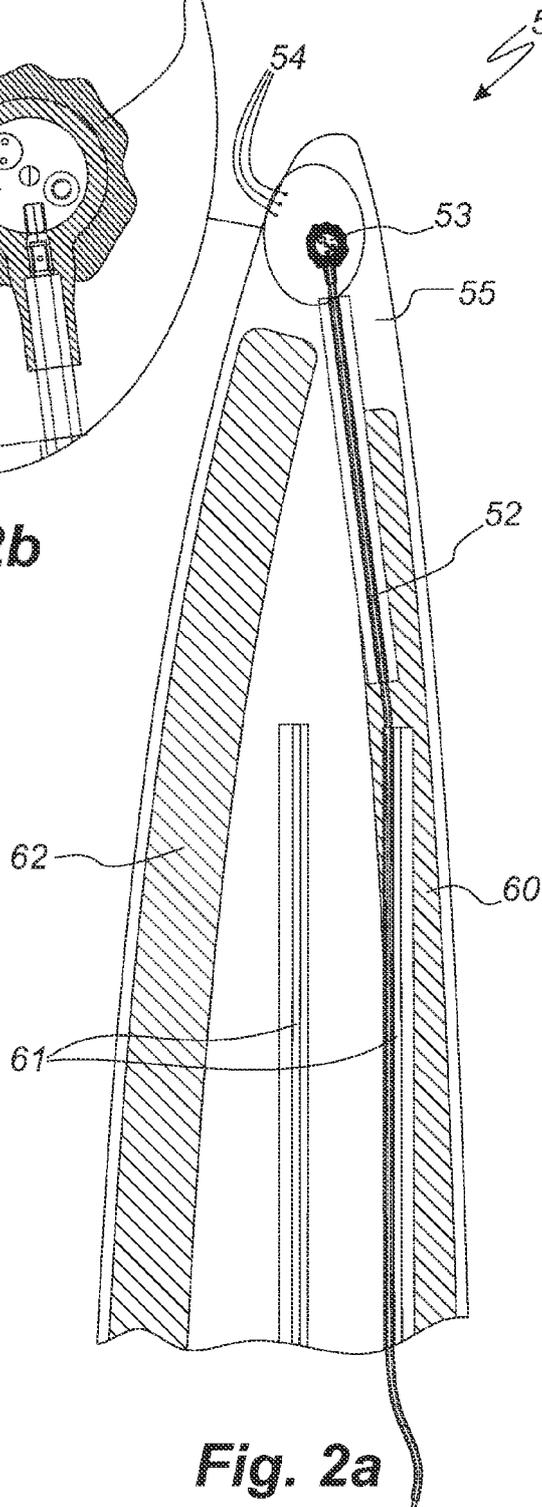
**Fig. 1a**

**Fig. 1b**

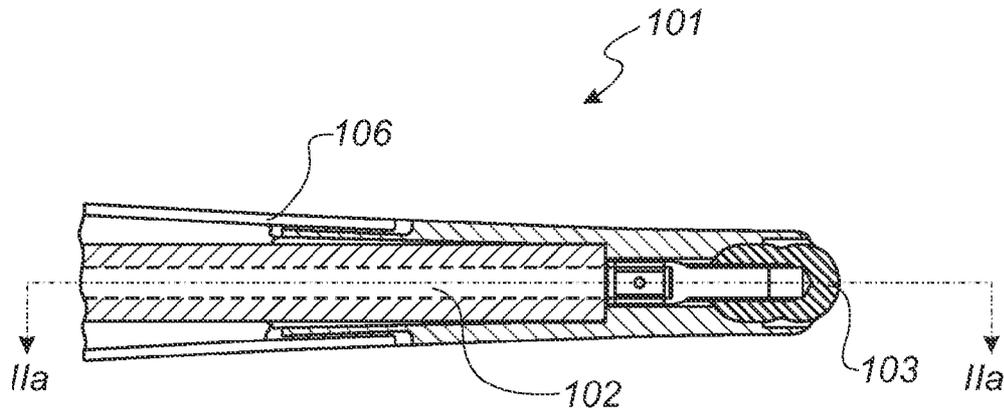
**Fig. 1c**



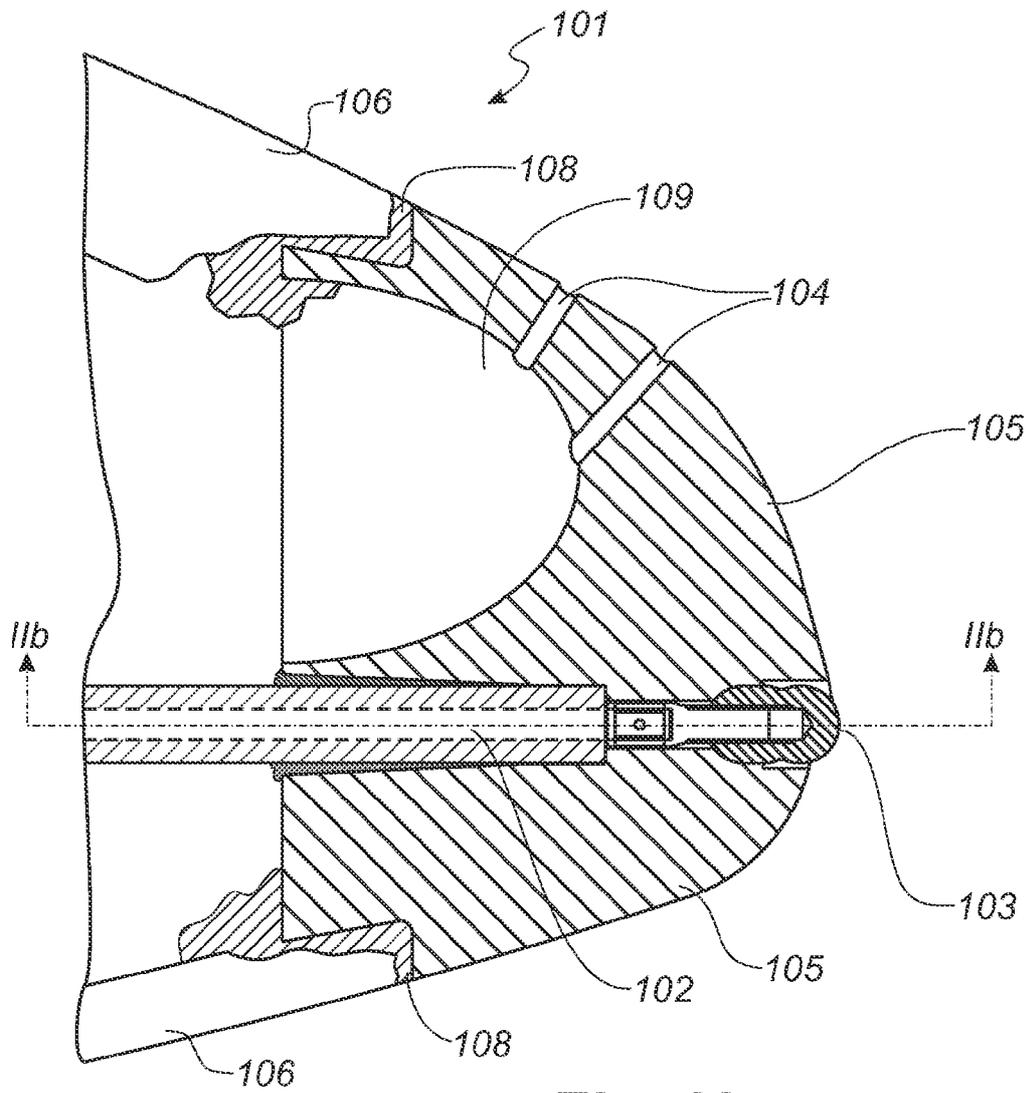
**Fig. 2b**



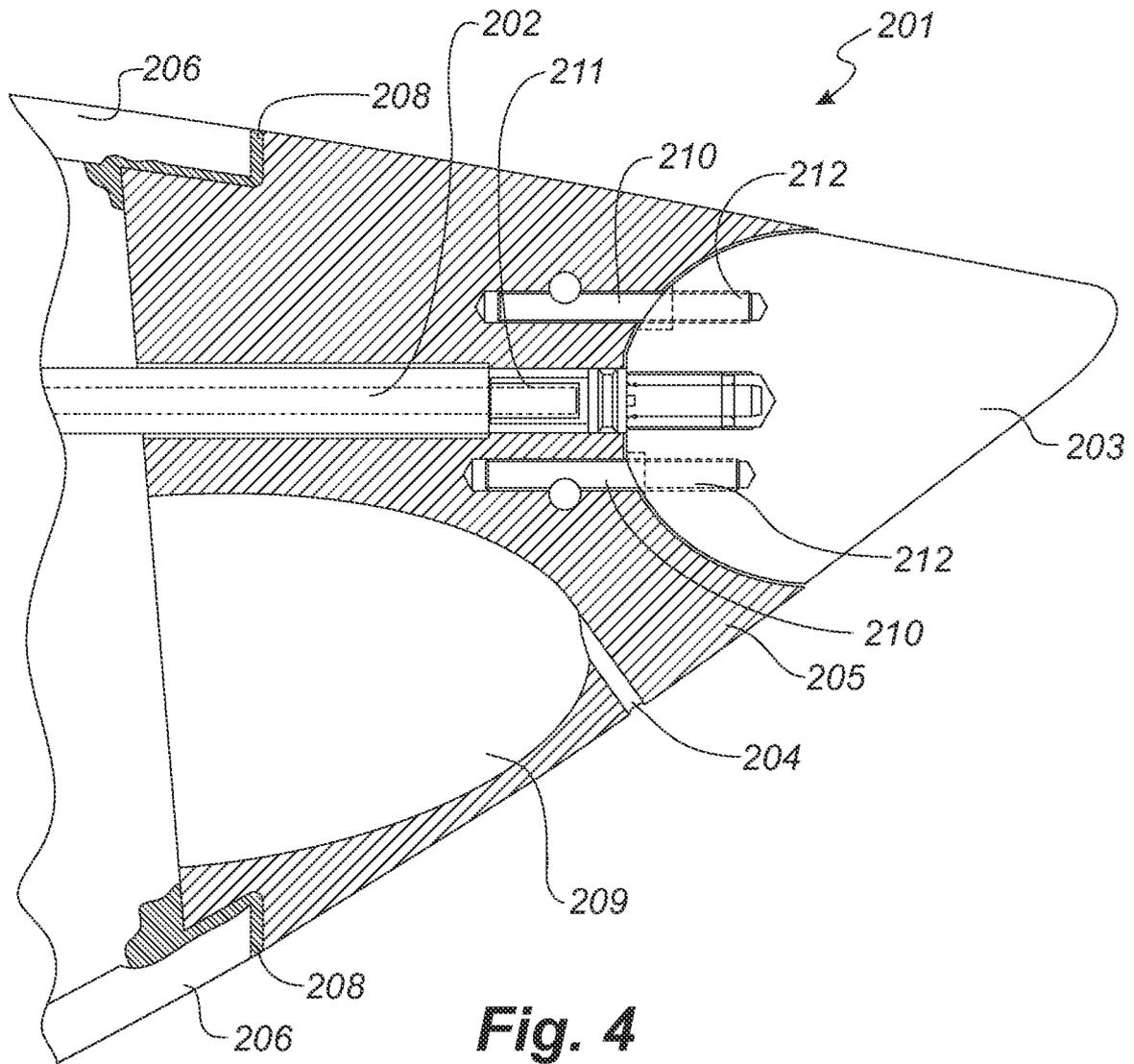
**Fig. 2a**



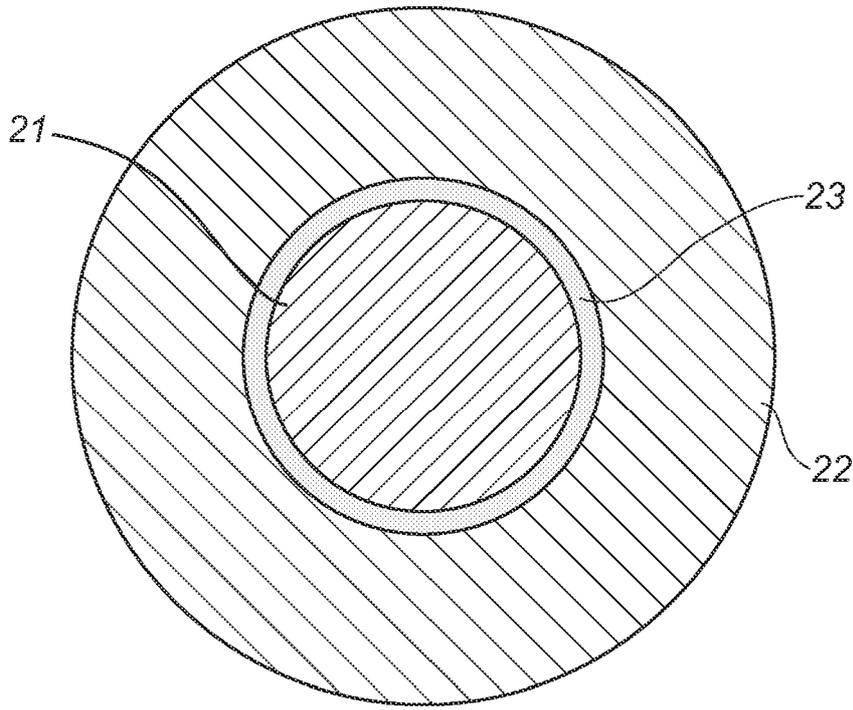
**Fig. 3a**



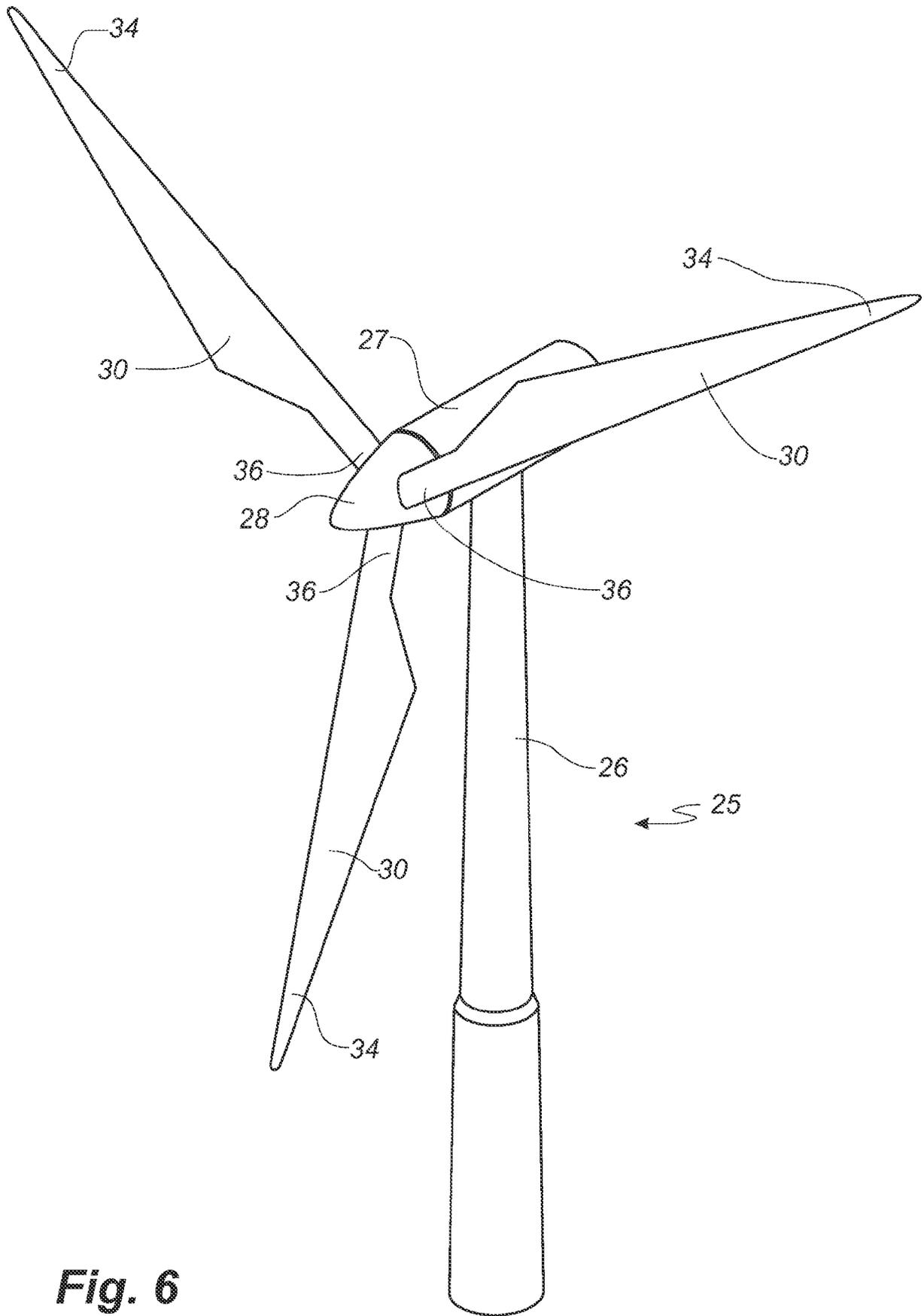
**Fig. 3b**



**Fig. 4**



**Fig. 5**



**Fig. 6**

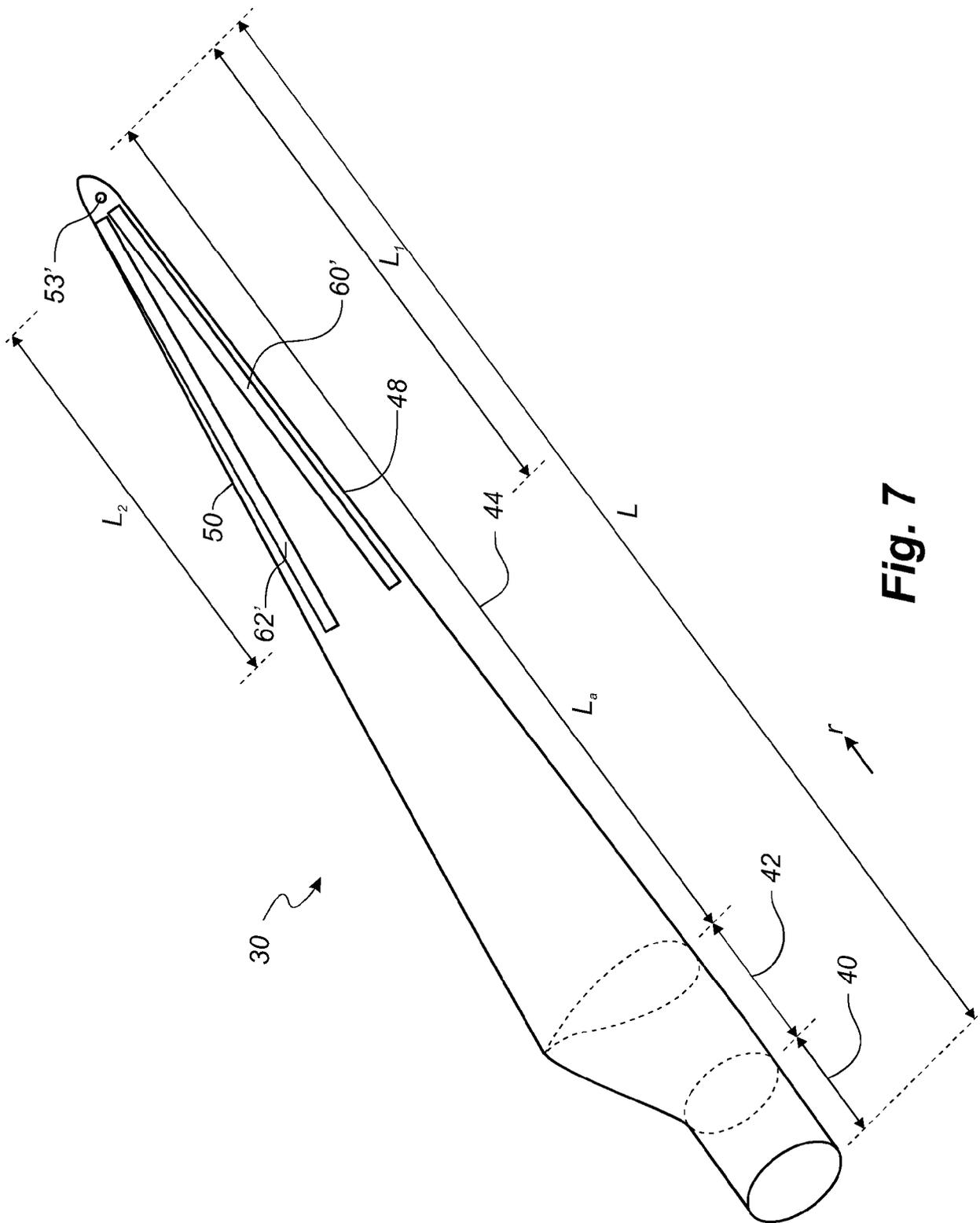


Fig. 7