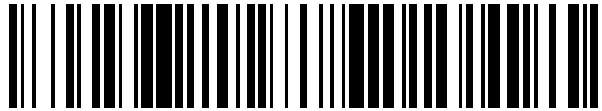


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 639 119**

51 Int. Cl.:

**F03D 80/30**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.12.2006 PCT/DK2006/000679**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.06.2007 WO07062659**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.12.2006 E 06818138 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.05.2017 EP 1957791**

54 Título: **Sistema de protección contra rayos para una pala de turbina eólica**

30 Prioridad:

**02.12.2005 DK 200501707**

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

**25.10.2017**

73 Titular/es:

**LM WP PATENT HOLDING A/S (100.0%)  
Jupitervej 6  
6000 Kolding, DK**

72 Inventor/es:

**HANSEN, LARS, BO**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 639 119 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 protección contra rayos para una pala de turbina eólica

Campo técnico

5 La presente invención se relaciona con una pala de turbina eólica que tiene un sistema de protección contra rayos, en donde la pala es un cuerpo de carcasa hecho de un material compuesto que comprende un área base y un extremo en punta, y en donde el sistema de protección contra rayos comprende al menos un receptor de rayos dispuesto de modo libremente accesible en o sobre la superficie del cuerpo de carcasa en la punta de la pala o en la proximidad inmediata de la misma, y un pararrayos hecho de un material eléctricamente conductor que se extiende dentro del cuerpo de carcasa sustancialmente a lo largo de toda la dirección longitudinal de la pala, y en donde el receptor de rayos y el pararrayos están conectados eléctricamente por medio de un área de conexión.

Antecedentes de la técnica

15 Es conocida la provisión de palas con sistemas de protección contra rayos para protegerlas contra la caída de rayos. Como un ejemplo, WO 96/07825 divulga un sistema de protección contra rayos, en el que la punta de la pala está provista de un así denominado receptor de rayos hecho de un material eléctricamente conductor. Este receptor de rayos puede "capturar" la descarga de un rayo y conducir la corriente a través de un pararrayos, donde el conductor de dicho pararrayos se extiende en la dirección longitudinal de la pala y está conectado a tierra a través del cubo del rotor de la turbina eólica. Con frecuencia se ha demostrado que este sistema provee una protección satisfactoria contra la caída de rayos.

20 Sin embargo, existe el riesgo de una descarga disruptiva o formación de arco desde el receptor de rayos o desde el pararrayos a áreas de la pala, donde se ha acumulado agua dado que el agua es eléctricamente conductora. En este caso, la corriente del rayo calienta el agua y puede causar una "explosión de vapor". Esto puede resultar en un aumento de presión que sea suficientemente elevado como para dañar la pala. Las descargas disruptivas también se pueden producir a causa de depósitos, por ejemplo, de partículas del aire, sales o insectos en la superficie de las palas. Los daños debidos a las descargas disruptivas tienen como resultado que hay que reparar la pala o en el peor de los casos hay que cambiarla y éstos son procesos consumidores de tiempo y costosos, ya que es complicado reparar o cambiar las palas, especialmente en plantas de energía eólica en alta mar.

30 Además, existe el riesgo de descarga de rayos (o descargas disruptivas) sobre el pararrayos a través de la superficie de la pala, que en el mejor de los casos sólo crea un pequeño orificio a través de la superficie de la pala, pero con frecuencia causa un daño mayor a la pala. Para un mejor control de la corriente del rayo a través de la pala sin que se dañe la misma, el sistema de protección contra rayos puede estar provisto de varios receptores de rayos (multireceptores) o conductores de rayos a lo largo de la dirección longitudinal de la pala. Preferentemente, los receptores de rayos están dispuestos en un intervalo máximo de cinco metros para asegurar que no haya descarga de rayos (o descargas disruptivas) a través de la superficie de la pala. Sin embargo, esta es una solución comparativamente costosa y complicada.

35 Divulgación de la invención

El objeto de la invención es proveer un nuevo y mejorado sistema de protección contra rayos para turbinas eólicas.

40 De acuerdo con la invención, este objeto se logra por medio del pararrayos en toda su dirección longitudinal, como así también el área de conexión entre el pararrayos y el receptor de rayos que están eléctricamente aislados con el fin de prevenir la aparición de descargas precursoras (streamer) y/o líderes. Tales descargas precursoras y líderes son etapas previas a la descarga de rayos y por lo tanto, la prevención de su aparición también previene la caída de rayos. Esto produce una eficiencia mejorada en comparación con los sistemas de protección contra rayos existentes, que más frecuentemente emplean pararrayos no aislados. Es más, no se necesitan multireceptores.

45 En su extremo base, el pararrayos preferentemente se conecta a tierra a través del cubo de manera que la corriente de una descarga de rayo se conduce de forma segura desde el receptor de rayos al pararrayos y finalmente a tierra. Sin embargo, puede ser suficiente con un descargador de chispas entre el pararrayos y el cubo.

De acuerdo con una forma de realización particular de la invención, el pararrayos y/o el receptor de rayos están aislados eléctricamente al menos hasta el cuerpo de carcasa de la pala y preferentemente al menos parcialmente a través del cuerpo de carcasa. Por lo tanto, se minimiza el riesgo de daños por caída de rayos o descargas disruptivas en el extremo en punta de la pala.

50 De acuerdo con una forma de realización preferida del sistema de protección contra rayos de acuerdo con la invención, el pararrayos comprende un conductor interno hecho de un material eléctricamente conductor, tal como

## ES 2 639 119 T3

5 cobre o aluminio, y una aislación base hecha de polietileno, preferentemente HDPE (high density polyethylene, polietileno de alta densidad). Sorprendentemente, se ha encontrado que esta composición es particularmente resistente a la caída de rayos o descargas disruptivas a través de la superficie de la pala. Preferentemente, el conductor interno tiene un diámetro en el rango de 3 - 30 mm, 5 - 15 mm o 7,5 - 12 mm y la aislación base tiene un espesor de 2 - 15 mm, 3 - 10 mm o 4 - 7 mm. Se ha encontrado que estas dimensiones son suficientes para prevenir la descarga de rayos a través de la superficie de la pala, como así también para conducir la corriente de una descarga de rayo a través del pararrayos.

10 De acuerdo con una forma de realización apropiada, se provee una capa de material semiconductor entre el conductor interno y la aislación base. Preferentemente, este material semiconductor tiene un espesor de 0,5 - 1 mm. El material semiconductor provee protección adicional contra las descargas disruptivas al minimizar las concentraciones del campo eléctrico en el conductor.

15 De acuerdo con una forma de realización particular, el receptor de rayos y el área de conexión entre el receptor de rayos y el pararrayos están aislados por medio de un material de aislación que está separado del material base. Este material de aislación puede ser, por ejemplo, un manguito retráctil o silicona. El material de aislación adicional minimiza el riesgo de una descarga de rayo o descarga disruptiva en el área de conexión entre el receptor de rayos y el pararrayos.

20 De acuerdo con una forma de realización alternativa de la invención, la punta de la pala está conformada como un cuerpo sustancialmente sólido de material de aislación. Preferentemente, este material de aislación es un material plástico, tal como PVC (Polyvinyl Chloride, Cloruro de Polivinilo), polímero o poliuretano (PUR, Thermoset Polyurethane, Poliuretano Termoendurecible) reforzado con fibras, por ejemplo, espuma PUR. Esto provee una forma de realización particularmente simple, donde se minimiza el riesgo de caída de rayos en el área de conexión entre el receptor de rayos y el pararrayos.

25 De acuerdo con una forma de realización apropiada de la invención, el pararrayos está provisto de un medio de conexión, por ejemplo, una rosca en su extremo externo para conectar dicho conductor de pararrayos con un correspondiente medio en el receptor de rayos. El receptor de rayos, por ejemplo, puede estar adaptado para incluir una rosca interna de modo que el receptor de rayos y el pararrayos se pueden atornillar entre sí. De acuerdo con otra forma de realización apropiada, el receptor de rayos está provisto de una pieza de conexión que tiene una rosca externa, mientras que el pararrayos incluye una rosca interna, por ejemplo, que entrecorta el revestimiento aislante hecho de HDPE.

30 De acuerdo con una forma de realización de la invención, el receptor de rayos se ubica en el borde posterior de la pala. Por lo tanto, se pueden reducir las emisiones sonoras de la pala. Puede ser ventajoso proveer la superficie de la pala con un desviador de manera que el rayo que cae en el borde delantero de la pala es conducido al receptor de rayos.

35 De acuerdo con una forma de realización particularmente apropiada, al menos un orificio de drenaje está además dispuesto en la punta de la pala o en la proximidad inmediata de la misma y opcionalmente un desviador extendiéndose sustancialmente entre la ubicación del orificio de drenaje y la ubicación del receptor de rayos está ubicado en la superficie de la pala. El orificio de drenaje asegura que no se forman acumulaciones de agua dentro de la pala, las que aumentan el riesgo de descargas disruptivas desde el pararrayos hacia dichas acumulaciones de agua. El desviador asegura que el rayo que cae en un orificio de drenaje es conducido hacia el receptor de rayos a través del desviador y finalmente hacia tierra a través del pararrayos. Además, un filtro de recolección de partículas está preferentemente dispuesto dentro de la pala de manera que dichas partículas no bloquean el orificio de drenaje.

40 De acuerdo con una forma de realización preferida, el receptor de rayos tiene la forma de una punta Franklin o sustancialmente tiene la forma de un huevo. Esta forma asegura que el receptor de rayos no tiene bordes "afilados" que pueden ser alcanzados por un rayo y quedar dañados, por ejemplo, por fusión. Una superficie receptora redondeada prolonga la vida útil del receptor, ya que su geometría es sólo mínimamente alterada por la descarga de un rayo.

45 De acuerdo con una forma de realización alternativa de la invención, una parte de la punta de la pala está adaptada para ser el receptor de rayos y está hecha, por ejemplo, de tungsteno, cobre o bronce. Esto provee una forma de realización particularmente sencilla de la punta de la pala. Preferentemente, el receptor de rayos es aerodinámico de modo que coincida con la punta de la pala.

Breve descripción de las figuras

La invención se explica a continuación con mayor detalle por medio de las formas de realización que se muestran en las figuras, en las que

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

la Figura 1b es una vista superior de la misma pala,

la Figura 1c muestra un detalle ampliado de la pala mostrada en la Figura 1b,

5 la Figura 2a es una vista en corte esquemática a lo largo de la línea de IIb-IIb de la Figura 2b de una parte de una pala de acuerdo con otra forma de realización de la invención,

la Figura 2b es una vista parcialmente en corte de la misma pala a lo largo de la línea IIa-IIa de la Figura 2a,

la Figura 3 es una vista esquemática superior parcialmente en corte de una parte de una pala de acuerdo con una tercera forma de realización de la invención, y

10 la Figura 4 es una vista en corte a través de un pararrayos, de acuerdo con la invención.

Mejores modos de llevar a cabo la invención

Preferentemente, la invención se relaciona con turbinas eólicas del tipo conocido en la industria, tal como las turbinas eólicas de acuerdo con el concepto danés. Típicamente, una tal turbina eólica consiste en una torre, una góndola con engranaje y un generador y un rotor que consiste en un cubo y tres palas, donde el eje del rotor es sustancialmente horizontal.

Los sistemas existentes de protección contra rayos en las palas de una turbina eólica, de acuerdo con el concepto danés, con frecuencia utilizan una construcción en la que un así denominado receptor de rayos está hecho de un material eléctricamente conductor que se provee en la punta de la pala. Este receptor de rayos puede "capturar" la descarga de un rayo y conducir la corriente a través de un pararrayos, donde el conductor de dicho pararrayos se extiende en la dirección longitudinal de la pala y se conecta a tierra a través del cubo. Típicamente, el receptor está conectado con un lado de un bloque de anclaje, mientras que el pararrayos está conectado con el otro lado del mismo bloque de anclaje. Se ha descubierto que esta construcción provee una protección eficaz contra la caída de rayos, sin embargo, también se ha encontrado que es vulnerable a la descarga de rayos a través de la superficie de la pala - especialmente en situaciones en las que las caídas de rayos se producen mientras la pala está en una posición aproximadamente horizontal durante la rotación del rotor. Es más, el bloque de anclaje es con frecuencia rectangular y tiene bordes afilados, lo que aumenta la probabilidad de la aparición de una descarga precursora en dichos bordes afilados y por lo tanto la probabilidad de la caída de un rayo o descarga disruptiva.

Para un mejor control de la corriente del rayo a través de la pala sin dañar la misma, el sistema de protección contra rayos de la pala puede estar provisto de varios receptores de rayos o pararrayos a lo largo de la dirección longitudinal de la pala. Preferentemente, los receptores de rayos están dispuestos en un intervalo máximo de cinco metros para asegurar que no hay descarga de rayos a través de la superficie de la pala. Sin embargo, esta es una solución comparativamente costosa y complicada.

La Figura 1 muestra una primera forma de realización de una pala 1 de acuerdo con la invención. De acuerdo con esta forma de realización, un receptor de rayos 3 está posicionado en el extremo en punta de la pala 1, donde dicho receptor de rayos preferentemente, pero no necesariamente, tiene predominantemente forma de huevo o está conformado como una así denominada punta Franklin. El receptor de rayos 3 se conecta con un pararrayos 2 que sustancialmente se extiende 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 base de la pala 1 en el cubo del rotor. Preferentemente, la porción de pararrayos está conectada eléctricamente con el cubo y la corriente del rayo que cae sobre el receptor de rayos 3 puede entonces ser conducida a tierra a través del pararrayos 2 y el cubo, donde el cubo se conecta a tierra a través de un segundo pararrayos (que no se muestra) que se conecta con una varilla de puesta a tierra por medio, por ejemplo, de la torre y la góndola. Además, se pueden proveer uno o más descargadores de chispas entre el pararrayos 2 y el cubo o entre el pararrayos 2 y la torre. Los conductores de rayos y la varilla de puesta a tierra pueden ser conductores de cobre o pueden estar hechos de cualquier otro material eléctricamente conductor.

El pararrayos 2 está sustancialmente aislado en toda su dirección longitudinal desde el área base de la pala 1 hasta el área de conexión entre el pararrayos 2 y el receptor de rayos 3. La pala 1 está hecha por un cuerpo de carcasa preferentemente hecho de polímero reforzado con fibras, de modo que la pala 1 comprende un revestimiento laminado 6 y una cavidad 9 en el interior de la pala 1, respectivamente. El pararrayos 2 y el receptor de rayos 3 se conectan, por ejemplo, por medio de una rosca de tornillo, donde el receptor de rayos 3 preferentemente se provee con una rosca interna. Sin embargo, también es concebible proveer una forma de realización en la que el receptor 3 está provisto de una pieza de conexión que tiene una rosca externa, donde dicha pieza de conexión se atornilla junto con una rosca interna del pararrayos 2.

El receptor de rayos 3 está ubicado en el revestimiento laminado 6 de la pala 1 de tal manera que una porción del receptor 3 sobresale de la superficie de la pala 1 en su borde posterior donde el pararrayos 2 se hace pasar a través de una porción del revestimiento laminado 6. El pararrayos 2 que se muestra en la presente incluye una primera aislación en la forma de una aislación base o de recubrimiento. Además, el área de conexión entre el receptor 3 y el pararrayos 2 está aislada eléctricamente por medio de una aislación adicional 5 en la forma de un manguito retráctil. El manguito retráctil 5 se extiende una corta distancia en la aislación base del pararrayos 2 y una corta distancia en el receptor 3. Por lo tanto, el pararrayos 2 está completamente aislado hasta el receptor 3.

Además, la pala 1 está provista de un orificio de drenaje 4 que también pasa a través del laminado 6 y que se ubica en el borde posterior de la pala 1. El orificio de drenaje 4 se conecta con la cavidad 9, esta última se comunica entonces con el medio ambiente. De esta manera, en todo momento se evita la acumulación de agua dentro de la pala 1, ya que el agua es vaciada de la pala 1 a través del orificio de drenaje 4 por las fuerzas centrífugas durante la rotación del rotor. En forma simultánea, la pala 1 puede estar provista de un filtro 7 para recolectar polvo y otro tipo de suciedad que puede estar presente en el interior de la pala 1, de modo que la misma no es lanzada hacia el orificio de drenaje 4 y entonces no lo bloquea. Preferentemente, el filtro 7 se ubica a través de toda la sección transversal de la cavidad 9. Al posicionar el receptor 3 y el orificio de drenaje 4 en el borde posterior de la pala 1, se reduce el ruido resultante de la rotación del rotor.

Además, la superficie de la pala 1 está provista de un desviador 8 que se extiende desde un área adyacente al receptor 3 en el borde posterior de la pala 1 hasta un área en el borde delantero de la pala 1. Este desviador asegura que el rayo que cae sobre el borde delantero de la pala 1, mientras la pala 1 está en una posición sustancialmente horizontal, en la que el receptor 3 está orientado hacia abajo, es conducido hacia el receptor 3 y a través de este último al receptor de rayos 2. El desviador 8 puede ser una banda continua de material eléctricamente conductor, pero también puede estar segmentada, donde líderes de aire ionizado se forman entre los segmentos individuales luego de la descarga de un rayo y de ese modo la corriente del rayo es conducida a lo largo del desviador 8 en su dirección longitudinal.

Tal como se muestra en la Figura 1c, el receptor 3 puede estar dividido en dos, de modo que una porción del receptor se moldea en el revestimiento laminado 6 de la pala 1, mientras que la segunda porción está unida a la primera porción, por ejemplo, por medio de una conexión roscada. Por lo tanto, es fácil cambiar la porción del receptor 3 que sobresale de la superficie de la pala 1, si dicha parte se desgasta o se daña después de la caída de un rayo.

La Figura 2 muestra una segunda 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 está hecha de un cuerpo de carcasa que tiene un revestimiento laminado 106. Como en la forma de realización mostrada en la Figura 1, el sistema de protección contra rayos de la pala incluye un pararrayos 102 que sustancialmente se extiende en toda la dirección longitudinal de la pala 101 desde el extremo base en el cubo del rotor y hasta el extremo en punta. El pararrayos 102 es guiado hacia fuera de la cavidad de la pala 101 y dentro de un orificio creado en la punta 105 y que coincide con el pararrayos 102. El pararrayos puede estar adherido en este orificio. El pararrayos se conecta con un receptor de rayos sustancialmente con forma de huevo 103. El receptor de rayos 103 se ubica en la superficie de la punta 105 de modo que una pequeña porción de la misma sobresale desde la superficie. La posición y la forma del receptor 103 están adaptadas para que coincidan con las propiedades aerodinámicas deseadas de la punta 105 de la pala 101, mientras que simultáneamente tiene una gran superficie metálica que asegura una buena durabilidad y larga vida, ya que el receptor contiene una gran cantidad de material que se puede fundir tras la descarga de un rayo.

Al igual que en la forma de realización mostrada en la Figura 1, el pararrayos 102 y el receptor 103 están preferentemente conectados por medio de una conexión roscada, donde el área de conexión entre el pararrayos 102 y el receptor 103 puede estar eléctricamente aislada por medio de una aislación adicional que tiene la forma, por ejemplo, de un manguito retráctil o silicona. Sin embargo, la punta sólida 105 puede ser suficiente como para proveer la aislación eléctrica deseada.

La punta 105 está provista de una cavidad 109 que se conecta con dos orificios de drenaje 104 de manera que la cavidad se puede comunicar con el medio ambiente a través de los orificios. Cuando el rotor gira, el agua que posiblemente se acumuló dentro de la pala 101 es entonces guiada a la cavidad 109 de la punta 105 y desde allí hacia afuera a través de los orificios de drenaje 104 debido a las fuerzas centrífugas. Preferentemente, la punta 105 está además provista de un desviador que se extiende entre un área adyacente a los orificios de drenaje 104 y un área adyacente al receptor 103 en la superficie de la punta 105. Cualquier rayo que cae en los orificios de drenaje 104 es entonces conducido a través del desviador hacia el receptor 103 y a través de este último al pararrayos 102 y finalmente a tierra a través del cubo, la torre o similar. La punta 105 se fija en el resto de la pala 101 por medio de un empalme de adhesión 108.

La Figura 3 muestra una tercera 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 conformada como un cuerpo sustancialmente sólido, por ejemplo, de poliuretano, PVC o un polímero reforzado con fibras, tal como en la forma de realización mostrada en la Figura 2. El resto de la pala 201 está hecho de un cuerpo de carcasa que tiene un revestimiento laminado 206. Como en las formas de realización mostradas en la Figura 1 y en la Figura 2, el sistema de protección contra rayos de la pala 201 incluye un pararrayos 202 que sustancialmente se extiende en toda la dirección longitudinal de la pala 201 desde el extremo base en el cubo del rotor y hasta el extremo en punta. El pararrayos 202 es guiado hacia fuera de la cavidad de la pala 201 y dentro de un orificio creado en la punta 205 que se ajusta a la forma del pararrayos 202.
- El pararrayos 202 se conecta con un receptor de rayos 203 que tiene una forma redondeada y que está ubicado en el vértice de la punta 205. El receptor de rayos 203 está adaptado como para que haya una transición sustancialmente suave entre la punta 205 y el receptor 203 y de modo que tenga las propiedades aerodinámicas deseadas de la punta 201. 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 las formas de realización mostradas en la Figura 1 y la Figura 2, el pararrayos 202 y el receptor 203 se conectan por medio de una conexión grapada o una conexión roscada 211. Es más, el pararrayos está anclado en la punta 205 por medio de dos varillas de plástico 210 con una rosca externa y dos orificios roscados en el receptor 203. El área de conexión entre el pararrayos 202 y el receptor 203 está aislada eléctricamente por medio de una aislación adicional en la forma, por ejemplo, de un material retráctil o silicona. Sin embargo, la punta sólida 205 puede ser suficiente como para proveer la aislación eléctrica deseada.
- Como el rayo "trata" de encontrar el camino más corto a tierra, con frecuencia caen rayos sobre la pala del rotor que en el momento de la descarga se eleva lo más alto posible en el aire. Sin embargo, también hay riesgo de caída de un rayo en la pala mientras la misma está en una posición sustancialmente horizontal durante la rotación del rotor. Esta es la situación que tiene mayor probabilidad de descarga de un rayo a través del laminado de la pala o en los empalmes entre las mitades de la carcasa de la pala.
- El actual solicitante ha realizado una serie de ensayos para examinar en los peores escenarios las palas con sistemas de protección contra rayos. Las así denominadas simulaciones de conmutación de alta tensión y de impulso tipo rayo se llevaron a cabo mediante la suspensión de una pala en una posición horizontal por encima del suelo o superficie de un laboratorio, la que durante el ensayo simula una superficie equipotencial, antes de que ocurra la descarga de un rayo por encima de la pala y mientras está cerca de la posición horizontal. Un diferencial de potencial aparece entre la superficie de laboratorio y el sistema de protección contra rayos de la pala que provoca una descarga disruptiva entre el sistema de protección contra rayos de la pala y el suelo del laboratorio. Los ensayos se realizaron tanto con polaridad positiva como negativa, donde las descargas disruptivas con polaridad positiva se realizaron a 1050 kV, mientras que las descargas disruptivas con polaridad negativa se realizaron a 1400 kV.
- Los ensayos se llevaron a cabo con diversas palas LM28.8P de LM Glasfiber con diferentes sistemas de protección contra rayos. Se demostró muy rápidamente que los sistemas de protección contra rayos tradicionales, donde el receptor y el pararrayos se conectan a un bloque de anclaje, previenen de manera insuficiente la descarga de rayos a través del laminado de la pala o los empalmes de las mitades de la carcasa de la pala.
- Cuando se probaron diferentes pararrayos de un sistema de protección contra rayos correspondiente al sistema de protección contra rayos que se muestra en la Figura 2, sorprendentemente se encontró que un pararrayos en la forma de un cable que tiene un núcleo de cobre y una aislación de polietileno hecha de polietileno de alta densidad (HDPE) era particularmente eficaz en la prevención de la descarga del rayo a través de la superficie de la pala. Después de veintidós descargas de rayos simuladas con doce positivas y diez negativas, la pala no mostró daño visible u otros efectos negativos. Durante todas las descargas de rayos simuladas sólo se observó la formación de descargas precursoras en el receptor de la pala.
- Tal como se muestra en la Figura 4, el cable examinado se construyó con un núcleo 21 de 50 mm<sup>2</sup> hecho de filamentos de cobre y un revestimiento aislante 22 de aproximadamente 4,5 mm de espesor hecho de HDPE. Entre el núcleo 21 y el revestimiento aislante 22, se provee un material semiconductor 23 que tiene como objeto minimizar las concentraciones del campo eléctrico en los cables de cobre individuales. Sin embargo, no es absolutamente necesario el material semiconductor para lograr el efecto deseado en el sistema de protección contra rayos. Se encontró que es suficiente utilizar una aislación de HDPE relativamente delgada. Esto es ventajoso, ya que el cable no resulta en un aumento innecesariamente grande del peso de la pala. Es más, este tipo de cable es muy económico. De este modo, el novedoso sistema de protección contra rayos no solo previene eficazmente las descargas de 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 tradicionales de protección contra rayos con o sin multireceptores.
- Se ha descrito la invención con referencia a las formas de realización preferidas. Numerosas modificaciones son concebibles sin desviarse por ello del alcance de la invención. Se considera que las modificaciones y variaciones

que son evidentes para los expertos en la técnica caen dentro del alcance de la presente invención.

Lista de números de referencia

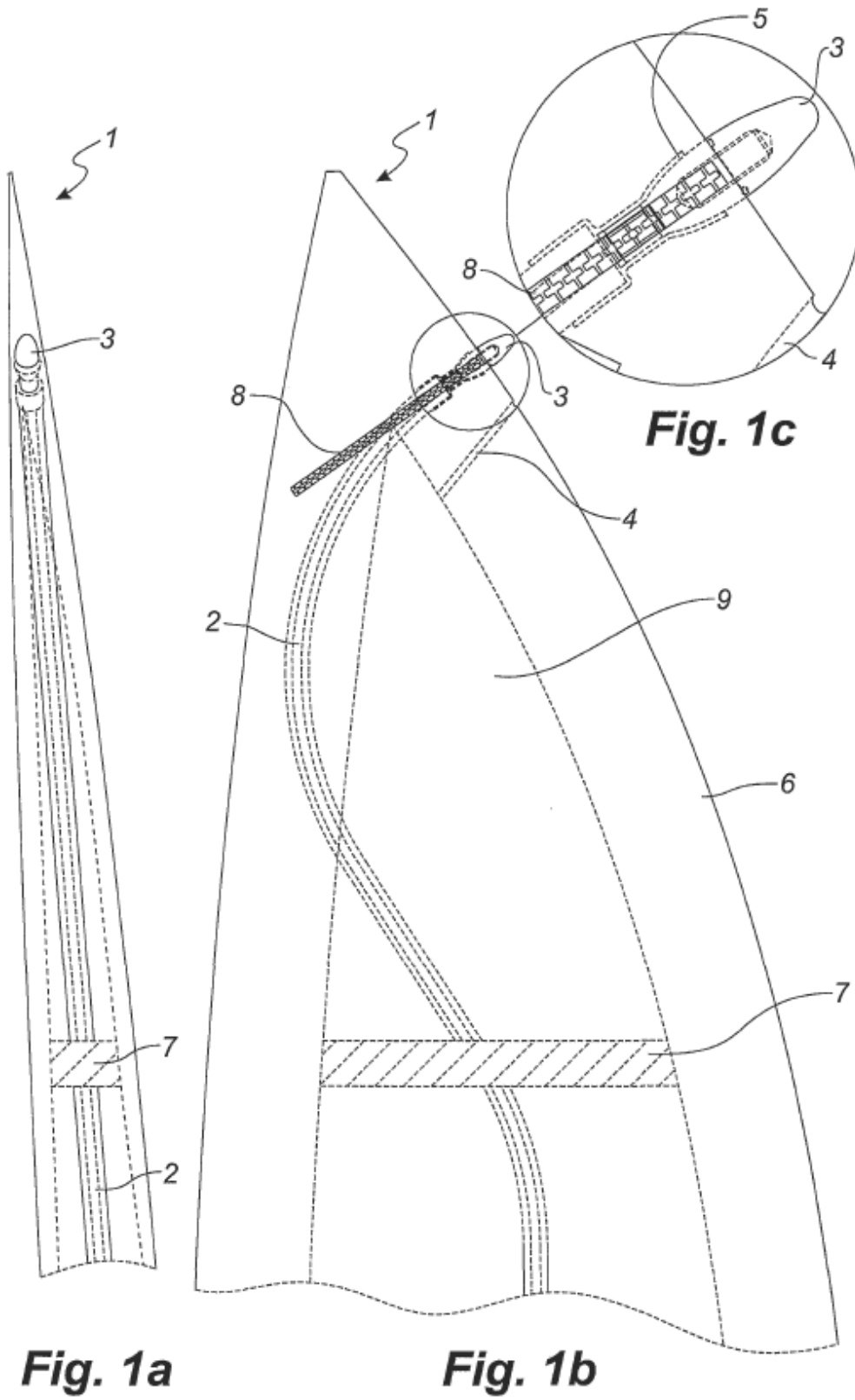
- 1, 101, 201 pala
- 2, 102, 202 pararrayos
- 5 3, 103, 203 receptor de rayos
- 4, 104, 204 orificio de drenaje
- 5 manguito o material retráctil
- 105, 205 punta
- 6, 106, 206 revestimiento laminado
- 10 7 filtro
- 8 desviador
- 108, 208 empalme de adhesión
- 9, 109, 209 cavidad
- 21 conductor interno
- 15 22 aislación base o de recubrimiento
- 23 material semiconductor
- 210 varilla de plástico
- 211 conexión roscada
- 212 orificio roscado
- 20

**REIVINDICACIONES**

1. Una pala de turbina eólica con un sistema de protección contra rayos (1, 101, 201), en donde la pala (1, 101, 201) es un cuerpo de carcasa hecho de un material compuesto y que comprende un área base y un extremo en punta y en donde el sistema de protección contra rayos comprende:
- 5 - al menos un receptor de rayos (3, 103, 203) dispuesto de modo libremente accesible en o sobre la superficie de la unidad de revestimiento en la punta de la pala (1, 101, 201) o en la proximidad inmediata de la misma, y
- un pararrayos (2, 102, 202) hecho de un material eléctricamente conductor que se extiende dentro del cuerpo de carcasa sustancialmente a lo largo de toda la dirección longitudinal de la pala (1, 101, 201), y en donde
- 10 - el receptor de rayos (3, 103, 203) y el pararrayos (2, 102, 202) están conectados eléctricamente por medio de un área de conexión,
- caracterizada porque
- el pararrayos (2, 102, 202) en toda su dirección longitudinal, como así también el área de conexión entre el pararrayos (2, 102, 202) y el receptor de rayos (3, 103, 203) están eléctricamente aislados con el fin de prevenir la aparición de descargas precursoras y/o líderes.
- 15 2. Una pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizada porque el pararrayos (2, 102, 202) y/o el receptor de rayos (3, 103, 203) están aislados eléctricamente al menos hasta el cuerpo de carcasa de la pala (1, 101, 201) y preferentemente al menos parcialmente a través del cuerpo de carcasa.
3. Una pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, caracterizada porque el pararrayos (2, 102, 202) comprende un conductor interno (21) hecho de un material eléctricamente conductor, tal como cobre o aluminio y
- 20 una aislación base (22) hecha de polietileno, preferentemente HDPE.
4. Una pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 3, caracterizada porque el conductor interno (21) tiene un diámetro en el rango de 3 - 30 mm, 5 - 15 mm o 7,5 - 12 mm y la aislación base (22) tiene un espesor de 2 - 15 mm, 3 - 10 mm o 4 - 7 mm.
- 25 5. Una pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 3 o 4, caracterizada porque está provista de una capa de material semiconductor (23) entre el conductor interno (21) y la aislación base (22).
6. Una pala de turbina eólica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 3 - 5, caracterizada porque el receptor de rayos (3, 103, 203) y el área de conexión entre el receptor de rayos (3, 103, 203) y el pararrayos (2, 102, 202) están aislados por medio de un material de aislación que está separado del material base.
- 30 7. Una pala de turbina eólica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 3 - 5, caracterizada porque la punta (105, 205) de la pala (1, 101, 201) está conformada como un cuerpo sustancialmente sólido de material de aislación.
8. Una pala de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizada porque el material de aislación es un material plástico, tal como PVC, polímero reforzado con fibras o poliuretano (PUR), por ejemplo, espuma PUR.
- 35 9. Una pala de turbina eólica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque el pararrayos (2, 102, 202) está provisto de un medio de conexión, por ejemplo, una rosca, en su extremo externo para conectar dicho conductor de pararrayos con un correspondiente medio en el receptor de rayos.
- 40 10. Una pala de turbina eólica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque además, al menos un orificio de drenaje (4, 104, 204) está dispuesto en la punta de la pala (1, 101, 201) o en la proximidad inmediata de la misma y opcionalmente un desviador extendiéndose sustancialmente entre la ubicación del orificio de drenaje (4, 104, 204) y la ubicación del receptor de rayos (3, 103, 203) está ubicado en la superficie de la pala (1, 101, 201).
11. Una pala de turbina eólica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque el receptor de rayos (3, 103, 203) tiene la forma de una punta Franklin o sustancialmente tiene la forma de un huevo.
- 45 12. Una pala de turbina eólica de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque una parte de la punta (205) de la pala (201) está adaptada para ser el receptor de rayos (203) y está hecha,



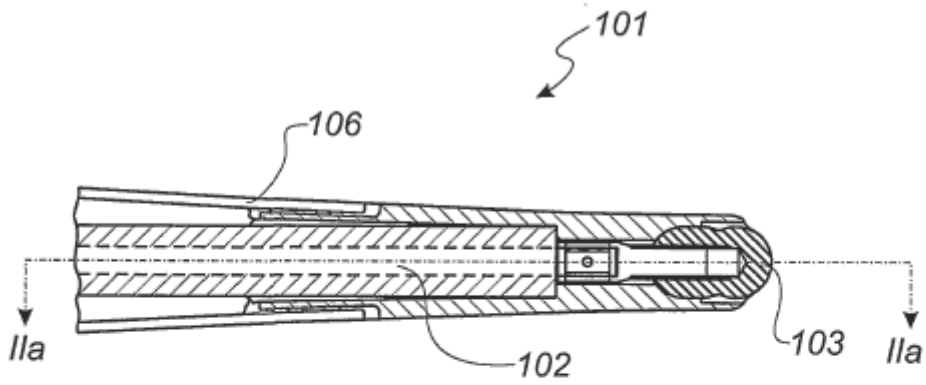
por ejemplo, de tungsteno, cobre o bronce.



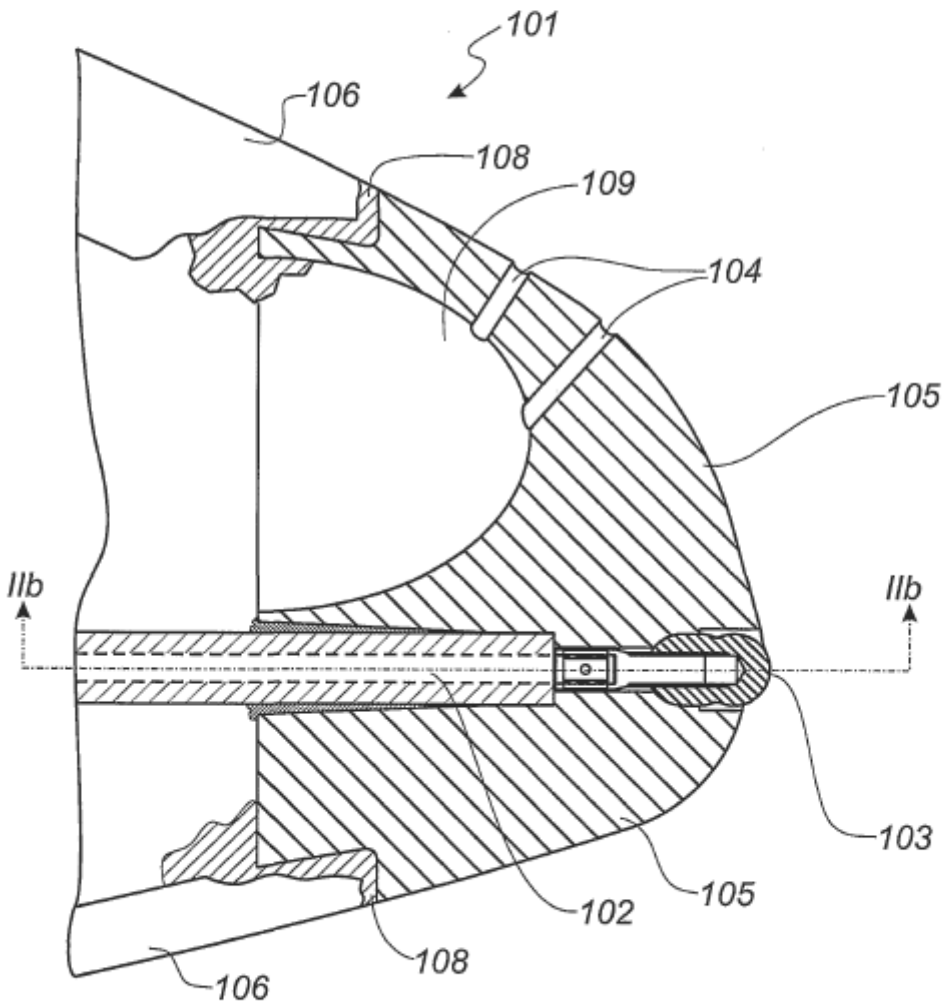
**Fig. 1a**

**Fig. 1b**

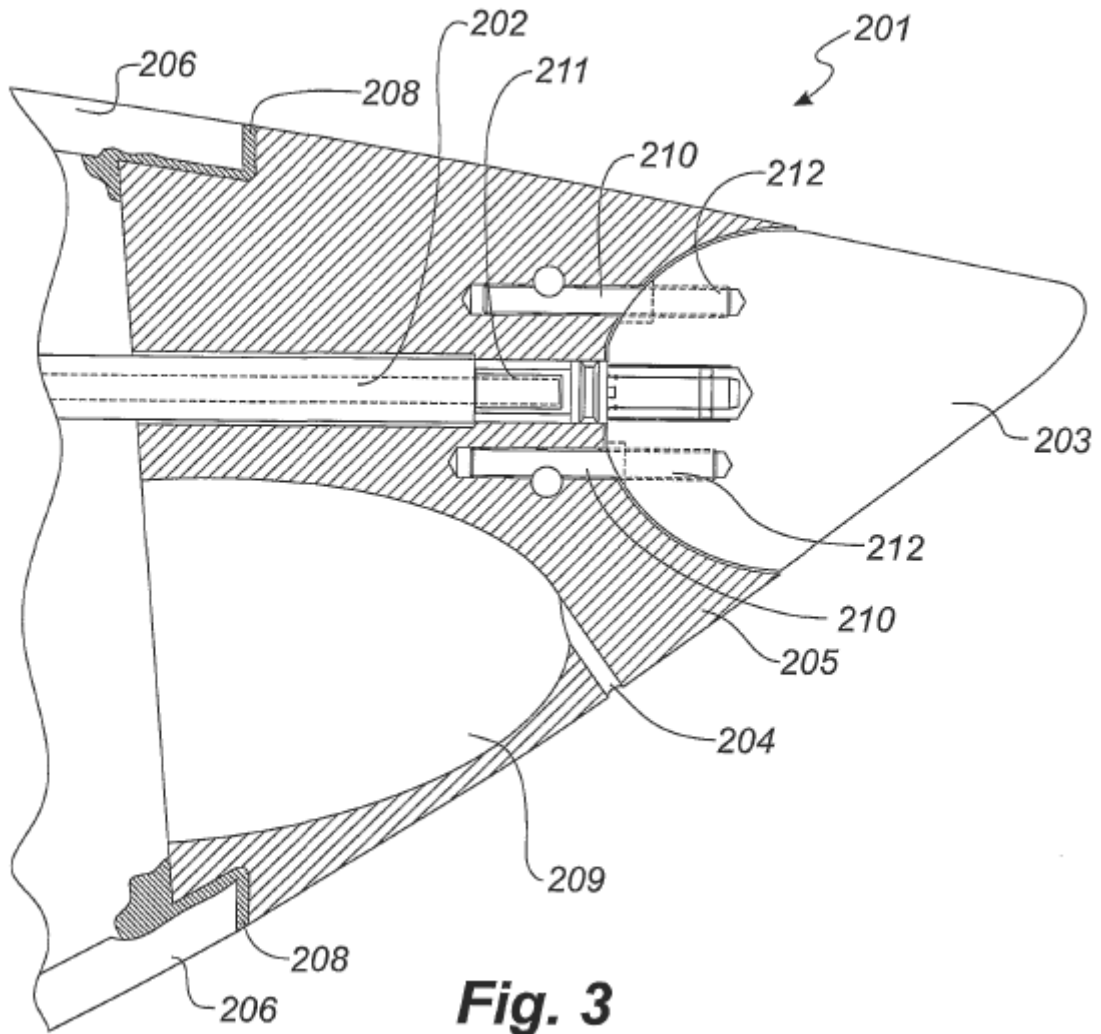
**Fig. 1c**



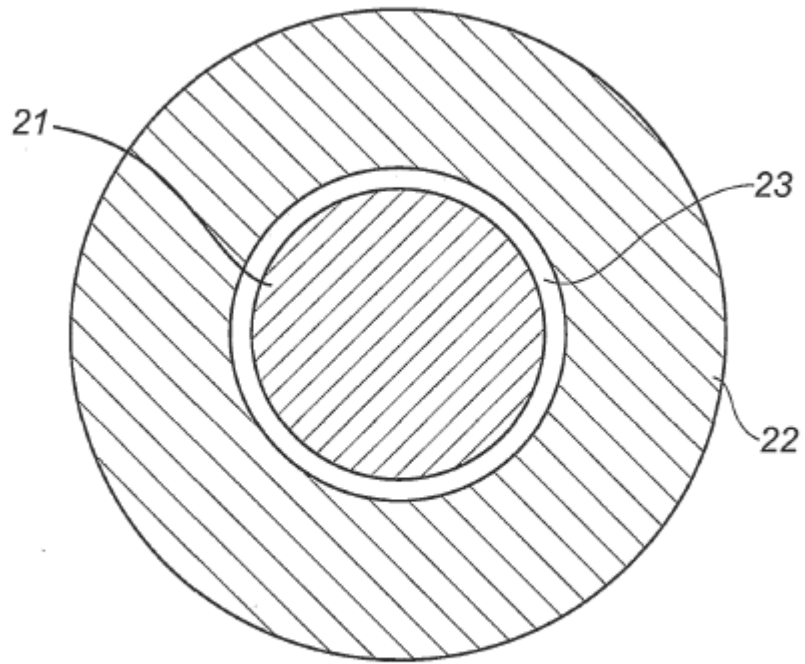
**Fig. 2a**



**Fig. 2b**



**Fig. 3**



**Fig. 4**