

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 624 208**

51 Int. Cl.:

F03D 80/30 (2006.01)

F03D 1/06 (2006.01)

H02G 13/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.12.2012 PCT/DK2012/050470**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.07.2013 WO13097855**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.12.2012 E 12810048 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.03.2017 EP 2798206**

54 Título: **Pala de turbina eólica y método de fabricación de una pala de turbina eólica**

30 Prioridad:

29.12.2011 DK 201170764

30.12.2011 US 201161581654 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
13.07.2017

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**BECH, ANTON;
AARUP, HENRIK;
HEUER, MICHAEL y
HARDERS, SÖNKE**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 624 208 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 y método de fabricación de una pala de turbina eólica

Campo de la invención

- 5 La invención se refiere de manera general a una pala de turbina eólica y a un método de fabricación de una pala de turbina eólica. En particular, la invención se refiere a una pala de turbina eólica que comprende un sistema de protección frente a rayos.

Antecedentes

- 10 En los últimos años, ha habido un interés aumentado en reducir las emisiones de gases con efecto invernadero generados al quemar combustibles fósiles. Una solución para reducir las emisiones de gases con efecto invernadero es desarrollar fuentes de energía renovables. Particularmente, la energía derivada del viento ha demostrado ser una fuente de energía fiable y segura para el medio ambiente, que puede reducir la dependencia de combustibles fósiles.

- 15 La energía en el viento puede captarse mediante una turbina eólica, que es una máquina rotatoria que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica, y posteriormente la energía mecánica en potencia eléctrica. Las turbinas eólicas de eje horizontal comunes incluyen una torre, una góndola ubicada en el vértice de la torre, y un rotor que está soportado en la góndola por medio de un árbol. El árbol acopla el rotor o bien directa o bien indirectamente a un conjunto de rotor de un generador alojado dentro de la góndola. Puede disponerse una pluralidad de turbinas eólicas juntas para formar un parque eólico o una central eólica.

- 20 Los impactos de rayos son una causa principal de preocupación para la sostenibilidad de turbinas eólicas. Al estar las turbinas eólicas ubicadas en zonas remotas para captar el viento de la mejor manera, las turbinas son un objetivo particularmente atrayente para impactos de rayos debido a su altura y composición de material.

Las palas de turbina eólica abarcan normalmente sistemas de protección frente a rayos avanzados, algunos de los cuales comprenden características tales como receptores de rayos y un conductor de bajada para rayos para llevar un rayo hasta la tierra para prevenir que impactos de rayos dañen la pala de turbina eólica.

- 25 El documento US2004/0130842 describe un sistema de protección frente a rayos para una pala de turbina eólica. El sistema de protección frente a rayos comprende medios de conducción internos y medios de conducción externos montados sobre una superficie de la pala.

Sumario de la invención

- 30 En un primer aspecto de la invención, se proporciona una pala de turbina eólica que comprende un sistema de protección frente a rayos, comprendiendo el sistema de protección frente a rayos, un conductor de rayos ubicado a lo largo de una parte longitudinal de la pala de turbina eólica y que está acoplado a una toma de tierra, un módulo receptor de rayos dispuesto sobre una superficie externa de la pala de turbina eólica y acoplado eléctricamente al conductor de rayos, y una banda receptora alargada instalada sobre la superficie externa de la pala de turbina eólica, encima del módulo receptor de rayos, estando la banda receptora dispuesta para recibir una descarga de rayo y transferir corriente eléctrica de la descarga de rayo al conductor de rayos a través del módulo receptor de rayos, en la que la banda receptora alargada comprende un pliegue en un perfil en sección transversal longitudinal de la banda receptora alargada.

Breve descripción de los dibujos

- 40 Se explican realizaciones de la presente invención, a modo de ejemplo, y con referencia a los dibujos adjuntos. Debe observarse que los dibujos adjuntos sólo ilustran ejemplos de realizaciones de esta invención y por tanto no deben considerarse como limitativos de su alcance, ya que la invención puede admitir otras realizaciones igualmente eficaces.

La figura 1 ilustra una turbina eólica.

- 45 La figura 2 ilustra una pala de turbina eólica que comprende un sistema de protección frente a rayos según una realización.

La figura 3 ilustra una vista en sección transversal de la pala de turbina eólica de la figura 2.

La figura 4 ilustra un perfil en sección transversal longitudinal aumentado de una parte de la pala de la figura 2.

La figura 4a ilustra un perfil en sección transversal longitudinal aumentado de una parte de la pala según otra realización.

- 50 La figura 4b ilustra un perfil en sección transversal longitudinal aumentado de una parte de la pala según aún otra

realización.

La figura 4c ilustra un perfil en sección transversal longitudinal aumentado de una parte de la pala según otra realización.

Descripción detallada

5 Antes de pasar a la descripción detallada de los dibujos, se comentarán algunos elementos generales más de la realización.

10 Un ejemplo de un sistema de protección frente a rayos típico es uno en el que se proporcionan receptores de rayos diferenciados, que son conductores metálicos que se originan desde el interior de la carcasa de la pala y terminan en la superficie de la pala, como parte del sistema de protección frente a rayos. Los receptores de rayos diferenciados se fabrican normalmente de metal y se supone que atraen cualquier unión de impacto de rayo a los receptores, y no a la pala de turbina eólica. Los receptores de rayos diferenciados también están conectados a un conductor de bajada para rayos dentro de la pala, y que acopla los receptores de rayos a una toma de tierra.

15 Sin embargo, se ha mostrado en el campo que un sistema de protección frente a rayos de este tipo no es tan eficaz como se diseña. Estudios realizados con turbinas eólicas erguidas que comprenden palas con tales sistemas de protección frente a rayos típicos han mostrado que el riesgo de uniones de impacto de rayo a la propia pala no se mitiga lo suficiente mediante la presencia de los receptores de rayos diferenciados.

20 A continuación, se hace referencia a realizaciones de la invención. Sin embargo, debe entenderse que la invención no se limita a las realizaciones descritas específicas. En vez de eso, se contempla cualquier combinación de las siguientes características y elementos, ya estén relacionados con realizaciones diferentes o no, para implementar y poner en práctica la invención.

25 Además, en diversas realizaciones, la invención proporciona numerosas ventajas con respecto a la técnica anterior. Sin embargo, aunque realizaciones de la invención pueden lograr ventajas con respecto a otras posibles soluciones y/o con respecto a la técnica anterior, el hecho de si se logra una ventaja particular o no mediante una realización dada no es limitativo de la invención. Por tanto, los siguientes aspectos, características, realizaciones y ventajas son simplemente ilustrativos y no se consideran elementos o limitaciones de las reivindicaciones adjuntas a menos que se mencione explícitamente en una(s) reivindicación/reivindicaciones. Asimismo, no debe interpretarse la referencia a "la invención" como una generalización de cualquier objeto inventivo dado a conocer en el presente documento y no debe considerarse que es un elemento o limitación de las reivindicaciones adjuntas a menos que se mencione explícitamente en una(s) reivindicación/reivindicaciones.

30 En el primer aspecto, se proporciona una pala de turbina eólica que comprende un sistema de protección frente a rayos, comprendiendo el sistema de protección frente a rayos un conductor de rayos ubicado a lo largo de una parte longitudinal de la pala de turbina eólica y estando acoplado a una toma de tierra, un módulo receptor de rayos dispuesto sobre una superficie externa de la pala de turbina eólica y acoplado eléctricamente al conductor de rayos, y una banda receptora alargada instalada sobre la superficie externa de la pala de turbina eólica, encima del módulo receptor de rayos, estando la banda receptora dispuesta para recibir una descarga de rayo y transferir corriente eléctrica de la descarga de rayo al conductor de rayos a través del módulo receptor de rayos, en la que la banda receptora alargada comprende un pliegue en un perfil en sección transversal longitudinal de la banda receptora alargada.

40 Proporcionar una banda receptora alargada aumenta la atracción del rayo hacia el módulo receptor de rayos y mejora la eficacia de la pala de turbina eólica. Una banda receptora alargada de este tipo es conductora y aumenta el área superficial de la pala que se presenta como parte del sistema de protección frente a rayos. Particularmente, la banda receptora alargada proporciona más área por la que pueden propagarse trazadores eléctricos iniciales desde el sistema de protección frente a rayos para conectarse con trazadores de carga opuesta a partir de un impacto de rayo y para conducir el impacto de rayo por el sistema de protección frente a rayos.

45 Además, proporcionar una banda receptora alargada que comprende variación en su perfil en sección transversal, particularmente, que comprende un pliegue en su perfil en sección transversal longitudinal, ofrece una medida de flexibilidad a la banda receptora alargada. Esto es útil ya que la banda receptora está instalada sobre la superficie externa de la pala, y tiene que experimentar tensiones mecánicas similares a las que experimenta la pala. Tensiones tales como curvado de pala, torsión de pala y estiramiento y deformación son ejemplos de las tensiones mecánicas que puede experimentar la banda receptora alargada. Proporcionar flexibilidad a la banda receptora alargada permite una inclusión físicamente más fiable en un sistema de protección frente a rayos típico.

50 En una realización, la banda receptora alargada comprende un perfil en sección transversal longitudinal ondulado. En otra realización, la banda receptora alargada comprende un perfil en sección transversal longitudinal en forma de acordeón. En aún otra realización, la banda receptora alargada comprende un perfil en sección transversal longitudinal corrugado.

55 En una realización, la banda receptora alargada está instalada sobre la superficie externa de la turbina eólica

mediante un adhesivo.

En una realización, la banda receptora alargada comprende un metal.

En otra realización, en la que la banda receptora alargada comprende uno cualquiera de: hierro, acero inoxidable, aluminio y cobre.

5 En una realización, el módulo receptor de rayos es un receptor de rayos diferenciado.

En una realización, el módulo receptor de rayos comprende dos receptores de rayos diferenciados, y la banda receptora alargada está instalada encima de ambos receptores de rayos diferenciados.

En una realización, la banda receptora alargada está instalada en una dirección sustancialmente longitudinal a lo largo de la pala de turbina eólica.

10 Adicionalmente se proporciona una turbina eólica que comprende una pala de turbina eólica tal como se describió anteriormente.

En el segundo aspecto, se proporciona una instalación de un sistema de protección frente a rayos en una pala de turbina eólica, comprendiendo el método proporcionar un sistema de protección frente a rayos en la pala de turbina eólica, que comprende un módulo receptor de rayos dispuesto sobre una superficie externa de la pala de turbina eólica y que está eléctricamente acoplado a un conductor de rayos, estando el conductor de rayos ubicado a lo largo de una parte longitudinal de la pala de turbina eólica y estando acoplado a una toma de tierra; preparar una banda receptora alargada para su aplicación sobre la pala de turbina eólica comprendiendo la banda receptora alargada un pliegue en un perfil en sección transversal longitudinal de la banda receptora alargada, e incorporar la banda receptora alargada dentro del sistema de protección frente a rayos, en el que incorporar la banda receptora alargada comprende además retirar el módulo receptor de rayos de la pala de turbina eólica, dejando así un orificio rebajado de receptor en la superficie externa de la pala de turbina eólica, crear un orificio pasante en la banda receptora alargada que se alinea con el orificio rebajado de receptor, aplicar la banda receptora alargada sobre la superficie externa de la pala de turbina eólica, montar el módulo receptor de rayos encima de la banda receptora alargada y dentro del orificio rebajado a través del orificio pasante en la banda receptora alargada, para incorporar la banda receptora alargada dentro del sistema de protección frente a rayos.

En otra realización, se recorta cualquier saliente del módulo receptor de rayos tras montarse el módulo receptor de rayos encima de la banda receptora.

En una realización, preparar la banda receptora para su aplicación sobre la pala de turbina eólica comprende proporcionar una tira de cobre para la protección frente a rayos de la pala, proporcionar una tira de lámina de cobre expandida, aplicar una capa de resina de sellado sobre una primera superficie de la tira de cobre, curar la resina de sellado para adherir la tira de cobre a la tira de lámina de cobre expandida formando la banda receptora, y proporcionar una capa de adhesivo sobre una segunda superficie de la lámina de cobre para su aplicación sobre la pala de turbina eólica.

En una realización, aplicar la banda receptora sobre la pala de turbina eólica comprende colocar la banda receptora sobre la superficie de la pala, sujetar la banda receptora en su sitio sobre la superficie de la pala de manera que el orificio pasante en la banda receptora se alinea con el rebaje de receptor, aplicar una red de distribución de vacío encima de la banda receptora y crear un vacío encima de la banda receptora, fijar una cubierta de calentamiento encima de la red de distribución de vacío y aplicar calor para activar el adhesivo sobre la banda receptora, retirar la cubierta de calentamiento y la red de distribución de vacío, y aplicar un agente de sellado a un borde de la banda receptora aplicada.

Lo siguiente es una descripción detallada de realizaciones de la invención representadas en los dibujos adjuntos. Las realizaciones son ejemplos y presentan un detalle tal como para transmitir claramente la invención. Sin embargo, no se pretende que la cantidad de detalle ofrecida limite las variaciones previstas de realizaciones; sino por el contrario, se pretende cubrir todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que se encuentren dentro del espíritu y alcance de la presente invención tal como se define por las reivindicaciones adjuntas.

La figura 1 ilustra una turbina eólica 100 a modo de ejemplo según una realización. Tal como se ilustra en la figura 1, la turbina eólica 100 incluye una torre 110, una góndola 120 y un rotor 130. En una realización de la invención, la turbina eólica 100 puede ser una turbina eólica en tierra. Sin embargo, las realizaciones de la invención no se limitan únicamente a turbinas eólicas en tierra. En realizaciones alternativas, la turbina eólica 100 puede ser una turbina eólica en alta mar ubicada sobre una masa de agua tal como, por ejemplo, un lago, un océano o similares. La torre 110 de una turbina eólica en alta mar de este tipo se instala o bien en el fondo del mar o bien sobre plataformas estabilizadas sobre o por encima del nivel del mar.

La torre 110 de la turbina eólica 100 puede configurarse para elevar la góndola 120 y el rotor 130 hasta una altura en la que el rotor 130 puede recibir un flujo de aire fuerte, menos turbulento y generalmente sin obstrucciones. La altura de la torre 110 puede ser cualquier altura razonable, y debe considerarse la longitud de las palas de turbina eólica

que se extienden desde el rotor 130. La torre 110 puede fabricarse de cualquier tipo de material, por ejemplo, acero, hormigón o similares. En algunas realizaciones, la torre 110 puede fabricarse de un material monolítico. Sin embargo, en realizaciones alternativas, la torre 110 puede incluir una pluralidad de secciones, por ejemplo, dos o más secciones de acero tubulares 111 y 112, tal como se ilustra en la figura 1. En algunas realizaciones de la invención, la torre 110 puede ser una torre enrejada. Por consiguiente, la torre 110 puede incluir perfiles de acero soldados.

El rotor 130 puede incluir un buje de rotor (denominado a continuación en el presente documento simplemente "buje") 132 y al menos una pala 140 (en la figura 1 se muestran tres de tales palas 140). El buje de rotor 132 puede configurarse para acoplar la al menos una pala 140 con un árbol (no mostrado).

En una realización, las palas 140 pueden tener un perfil aerodinámico de manera que, a velocidades de viento predefinidas, las palas 140 experimentan sustentación, provocando de ese modo que las palas roten radialmente alrededor del buje. El buje 132 comprende además mecanismos (no mostrados) para ajustar el cabeceo de la pala 140 para aumentar o reducir la cantidad de energía eólica captada por la pala 140. El cabeceo ajusta el ángulo al que el viento impacta sobre la pala 140.

El buje 132 rota normalmente alrededor de un eje sustancialmente horizontal a lo largo del árbol de accionamiento que se extiende desde el buje 132 hasta la góndola 120. El árbol de accionamiento está habitualmente acoplado a uno o más componentes en la góndola 120, que están configurados para convertir la energía de rotación del árbol en energía eléctrica.

Normalmente, la pala 140 puede variar desde una longitud de 20 metros hasta 60 metros, y más allá. Tales palas se fabrican con precisión para garantizar que el rotor permanece equilibrado para un rendimiento aerodinámico óptimo. El sistema de protección frente a rayos para su uso en la pala de turbina eólica se integra en el procedimiento de fabricación, siendo el producto final que la pala fabricada comprende un sistema de protección frente a rayos totalmente operativo. La pala 140 se forma mediante un procedimiento de fabricación que incluye la preimpregnación de fibras compuestas ("material preimpregnado"), lo cual es un procedimiento bien conocido y no se describirá en detalle. También pueden usarse otros métodos de fabricación.

La figura 2 ilustra una parte de una pala de turbina eólica que comprende un sistema de protección frente a rayos según una realización. La pala 140 es una pala de 45 m, pero en otras realizaciones puede ser de cualquier otra longitud. La pala 140 se origina en la presente realización en una raíz de pala (no mostrada), que puede delimitarse como extremo proximal de la pala. La raíz de pala es normalmente una sección cilíndrica de la pala 140 que presenta una sección decreciente para formar un larguero de soporte de carga 142 que actúa como soporte interno para la pala 140. En la fabricación de la pala 140, dos carcasas de pala opuestas, una que forma una superficie de barlovento 147 de la pala, formando la otra una superficie de sotavento de la pala, se unen posteriormente entre sí encima del larguero para formar la pala 140. Se observa que una parte de la pala 140, correspondiente a un extremo distal, se extiende más allá del larguero 142. Una capa de pintura resistente a la suciedad, que normalmente no es eléctricamente conductora, se pinta adicionalmente encima de la superficie de la pala 140.

El larguero de soporte de carga 142 tiene forma sustancialmente rectangular y está compuesto principalmente por fibra de carbono y resina epoxídica para una construcción ligera pero resistente. Obsérvese también que la fibra de carbono es inherentemente de naturaleza eléctricamente conductora, y como tal, la presencia del larguero 142 por debajo de la superficie de la pala 140, formada por las dos carcasas de pala opuestas, es atrayente para un impacto de rayo.

La pala 140 presenta una sección decreciente hacia un extremo distal para formar una punta de pala 144. La punta de pala 144 comprende un receptor de punta 146 que adopta la forma y conformación de una punta de pala típica y forma una parte de un sistema de protección frente a rayos de pala 150. Un receptor de punta 146, que es un buen conductor eléctrico, proporciona la formación y liberación fácil de trazadores eléctricos y por tanto es extremadamente atrayente para la formación y atracción de descargas de rayos. Con el fin de proporcionar un segmento eficaz y duradero para incorporarse en la pala 140, y que pueda recibir y resistir múltiples impactos de rayos, el receptor de punta 146 está compuesto totalmente por metal, y en la presente realización, por cobre.

El receptor de punta 146 está acoplado sobre la pala 140 mediante una configuración de fijación de perno y tuerca, pero cualquier otro medio que permita sujetar de manera fija el receptor de punta 146 sobre la pala 140 puede ser posible. El receptor de punta 146 también está sujeto directamente, mediante engarce, a un conductor de bajada (indicado como una línea discontinua 152) en el interior de la pala 140. Otros métodos son posibles.

El conductor de bajada 152 discurre desde la conexión con el receptor de punta 146 hacia abajo por la raíz de pala, y posteriormente se acopla a la góndola 120 de la turbina eólica 100 y a una toma de tierra. Al discurrir por el interior de la pala 140, el conductor de bajada 152 está acoplado a un lado del larguero 142 para su soporte. El conductor de bajada 152 comprende un núcleo de cable de cobre, en la presente realización de aproximadamente 50 mm² de sección transversal. También se proporciona aislamiento frente a alta tensión alrededor del núcleo de cobre del conductor de bajada 152. En esta realización, se proporciona caucho de silicona, pero también puede usarse cualquier otro aislamiento de tipo polimérico o no conductor eléctrico con alta tensión de ruptura dieléctrica.

El sistema de protección frente a rayos de pala 150 comprende además una pluralidad de receptores laterales, de los cuales se muestran dos receptores laterales 154, 156 en la figura 2. Los receptores laterales 154, 156 se originan desde el interior de la carcasa de la pala, en la que están eléctricamente acoplados al conductor de bajada 152, y terminan en la superficie de la pala 140, en la que la superficie expuesta del receptor lateral está sustancialmente a nivel con la superficie de la pala. Los receptores laterales también pueden conocerse como receptores de rayos diferenciados. La presente pala 140 comprende receptores laterales 154, 154a (véase la figura 3) tanto en la cara de barlovento como en la cara de sotavento de la pala, aunque, en algunas realizaciones, la pala puede comprender sólo receptores laterales en una cara, por ejemplo la cara de barlovento. Los receptores laterales 154, 156 están actualmente ubicados en la presente realización en un lado del larguero 142 correspondiente a un borde de salida 149 de la pala 140. En la presente realización, los receptores laterales 154 y 156 están ubicados con una separación de 3 metros.

En la presente realización, el receptor lateral tiene forma circular, y se fabrica de metal, en particular, acero inoxidable. Evidentemente, pueden usarse otros tipos de forma, tamaño y material para lograr el mismo fin.

En la presente realización, los receptores laterales están ubicados a una distancia predeterminada del receptor de punta 146 a lo largo de la longitud de la pala 140. En la presente realización, hay al menos 6 receptores laterales en la pala 140, y la distancia entre cada receptor lateral aumenta hacia la raíz de la pala. El número de receptores y la distancia predeterminada entre cada receptor se basan en estudios de protección frente a rayos y pueden variar en otras realizaciones.

La función y ubicación del receptor lateral están diseñadas para que el receptor lateral sea más eléctricamente atrayente para una unión de impacto de rayo que el resto de la pala 140. Las composiciones metálicas de los receptores laterales facilitan la ionización y liberación de trazadores y efluvios, que son necesarias en la unión de impacto de rayo.

La figura 3 ilustra una vista en sección transversal de la pala de turbina eólica de la figura 2, según la línea X-X. Para orientación, la superficie de barlovento 147 de la pala 140 está dirigida hacia arriba, mientras que el borde de ataque 148 y el borde de salida 149 se indican en consecuencia. Tal como se indicó anteriormente, el conductor de bajada 152 está acoplado sobre un lado del larguero 142 para su soporte, y en tal configuración, el conductor de bajada 152 discurre longitudinalmente dentro de la pala junto al larguero 142. El receptor lateral 154 está ubicado adyacente al larguero 142.

El receptor lateral 154 está instalado por medio de conformaciones de tornillo a través de la carcasa de la pala 140 y está fijado a una base de receptor 158 en el interior de la pala 140. La base de receptor 158 está conectada después de eso al conductor de bajada 152 con un trenzado de cables de cobre 153. La conexión desde el conductor de bajada 152 hasta el trenzado de cables de cobre 153 se forma con una soldadura de alta calidad o una conexión prensada. El trenzado de cables de cobre 153 puede comprender aislamiento adicional o no, dependiendo principalmente de la distancia desde la punta de la pala. Dentro de la pala, el receptor lateral 154 y las conexiones con el conductor de bajada 152 se sujetan en su sitio mediante un bloque de espuma 159 que comprende polietileno de baja densidad. En la presente realización, se proporciona un receptor lateral 154a correspondiente sobre la superficie de sotavento de la pala. La caja de espuma también actúa como aislamiento eléctrico para prevenir la formación de arco de la corriente de rayo dentro de la pala 140.

Volviendo a la figura 2, en la presente realización, la pala 140 comprende además una banda receptora alargada 160 instalada en una dirección sustancialmente longitudinal a lo largo de la pala de turbina eólica 140. Específicamente, la banda receptora 160 está instalada sobre la superficie de barlovento 147 de la pala 140, encima de los receptores laterales 154, 156. Una función de la banda receptora 160 es mejorar la eficacia del sistema de protección frente a rayos de pala 150 acentuando el carácter atrayente del sistema para una unión de impacto de rayo proporcionando una mayor área superficial para la emisión de trazadores eléctricos y para que se conecte con la misma una unión de impacto de rayo. La corriente de rayo procedente de una unión de impacto de rayo sobre la banda receptora 160 se transferirá a través de la banda receptora 160 al interior del receptor lateral 154, 156, al conductor de bajada 152 y bajando hasta una toma de tierra.

La banda receptora 160 comprende un metal, y en esta realización particular, cobre, debido a su buena conductividad eléctrica y durabilidad relativa. En otras realizaciones, puede usarse en su lugar uno cualquiera de hierro, acero inoxidable, aluminio y cobre.

La banda receptora 160 se proporciona sobre la pala 140 cerca del extremo distal de la pala 140. Esto también se identifica como la zona que es más probable que reciba el impacto de un rayo. La banda receptora 160 se instala en una dirección sustancialmente longitudinal a lo largo de la pala de turbina eólica. La banda receptora 160 se coloca sobre la superficie de la pala 140, en la que cubre una parte del larguero interno 142.

En particular, la banda receptora 160 se coloca de manera central encima de los receptores laterales 154, 156, y en contacto físico y eléctrico con los receptores laterales. De manera longitudinal, la banda receptora 160 cubre el extremo distal del larguero 142 en un extremo, extendiéndose más allá del borde del larguero, y cubre el segundo receptor lateral 156 en el otro. Evidentemente puede proporcionarse cualquier otra longitud de la banda receptora.

- 5 En general, la pala de turbina eólica 140 está diseñada de manera aerodinámica para garantizar el mejor rendimiento en la captación de viento para permitir que un generador eléctrico acoplado convierta la energía mecánica en el viento en energía eléctrica. Además, la pala 140 se fabrica con precisión para garantizar que el rotor 130 permanece equilibrado en funcionamiento. Como tal, y en vista de que la banda receptora 160 tiene que ubicarse sobre la superficie externa de la pala de turbina eólica, la banda receptora 160 se proporciona de manera que presenta tan poca influencia sobre el perfil aerodinámico de la pala 140 como sea posible. En la presente realización, la altura de la banda receptora, medida desde la superficie de la pala 140, está diseñada para ser como máximo de 2 mm. En una realización preferida, la altura de la banda receptora 160 es de 1,5 mm.
- 10 Además, la rotación de la pala 140 durante el funcionamiento provoca que un viento a alta velocidad se desplace sobre la superficie de barlovento de la pala, y esto posteriormente hace que una alta fuerza de resistencia actúe lateralmente sobre la banda receptora 160. Con el fin de no provocar ninguna desviación en el perfil aerodinámico una vez en funcionamiento, se pretende que la banda receptora 160 sea una fijación rígida, que no debe deformarse bajo la rotación continua de la pala. En la presente realización, la banda receptora 160 comprende una banda de metal, y en particular una banda de metal que comprende cobre.
- 15 Durante el funcionamiento de la turbina eólica 100, la turbina eólica 100 está diseñada para orientarse en la dirección del viento predominante. La rotación del rotor 130 y la pala 140 durante el funcionamiento provoca una situación en la que se producen tensiones mecánicas tales como curvado o flexión en la pala. La longitud de la pala agrava la aparición de curvado de pala, ya que la cantidad de par de torsión aumenta cuando aumenta la distancia desde la raíz de la pala, en la que está acoplada al rotor.
- 20 La banda receptora 160 de la presente realización está diseñada para resistir las tensiones y deformaciones de una fijación externa a la superficie de la pala de turbina eólica 140, y para reducir cualquier efecto aerodinámico adverso durante el funcionamiento. La banda receptora 160 comprende pliegues a lo largo de la longitud de la banda receptora, en particular pliegues perpendiculares al perfil longitudinal de la banda 160.
- 25 Se requiere que la banda receptora mantenga contacto físico con los receptores laterales 154, 156 en todo momento, con el fin de funcionar eficazmente como parte del sistema de protección frente a rayos al hacer pasar cualquier corriente de rayo recibida a los receptores laterales y al conductor de bajada hasta la toma de tierra. La presencia de un pliegue de este tipo en la banda receptora 160 permite que la banda receptora mantenga un contacto esencial con la superficie de la pala 140 y los receptores laterales, mientras que al mismo tiempo permite que la banda receptora 160 resista las tensiones físicas de curvado de pala constante sin producirse pandeo o agrietamiento debido a tensión de fatiga.
- 30 La figura 4 ilustra una parte aumentada de un perfil en sección transversal longitudinal de la superficie de la pala de la figura 2 a lo largo de la línea A-A. Se muestra que la banda receptora alargada 160 está fijada sobre la superficie de barlovento 147 de la pala 140. La banda receptora 160 comprende al menos un pliegue 162 en el perfil longitudinal. El pliegue 162 comprende un perfil sustancialmente en forma de bóveda sinusoidal, y además tiene un ángulo de pendiente ideal de aproximadamente 45°. Además, la banda receptora tiene un grosor de aproximadamente 0,5 mm y el pico de pliegue 162 de la banda receptora 160 tiene una altura de aproximadamente 1,5 mm.
- 35 En la presente realización, la banda receptora 160 comprende un perfil en sección transversal longitudinal corrugado, y en particular, comprende una pluralidad de pliegues idénticos 162. El perfil corrugado proporciona flexibilidad adicional de la banda receptora para enfrentarse con tensiones de curvado, y permite una solución más duradera con una resistencia a la fatiga aumentada, en comparación con una banda de metal plana típica para un fin similar. En la realización, la banda receptora 160 comprende una distancia de pico a pico entre dos pliegues de aproximadamente 3,5 mm a 4 mm.
- 40 La figura 4a ilustra una banda receptora según otra realización. La banda receptora 260 comprende una pluralidad de pliegues 262 con un perfil no sinusoidal.
- 45 La figura 4b ilustra una banda receptora según aún otra realización. La banda receptora 360 comprende una pluralidad de pliegues no idénticos 362 con alturas variables. Una combinación de este tipo produce un perfil en sección transversal longitudinal ondulado.
- 50 La figura 4c ilustra una banda receptora según otra realización. La banda receptora 460 comprende una pluralidad de pliegues triangulares idénticos 462 con vértices y pendientes similares. Una combinación de este tipo produce un perfil en sección transversal longitudinal en forma de acordeón. Otros perfiles de pliegues de la banda receptora son posibles en otras realizaciones.
- 55 En la realización, la banda receptora 160 está fijada a la superficie 147 de la pala 140 por medio de un adhesivo, específicamente cola. La cola 164 proporciona un sello entre la banda receptora 160 y la superficie 147 de la pala 140 y mantiene la banda receptora 160 de manera fija sobre la pala 140, y en particular, en contacto físico y eléctrico con el receptor lateral 154, 156. La cola 164 puede aplicarse sobre la banda receptora por medio de una cinta de montaje de adhesivo de doble cara proporcionada sobre la banda receptora, o mediante cualquier otro medio que es adecuado para mantener la instalación.

En una realización, instalar un sistema de protección frente a rayos en una pala de turbina eólica comprende lo siguiente:

- 5 • Proporcionar un sistema de protección frente a rayos en la pala de turbina eólica, que comprende un módulo receptor de rayos dispuesto sobre una superficie externa de la pala de turbina eólica y que está eléctricamente acoplado a un conductor de rayos, estando el conductor de rayos ubicado a lo largo de una parte longitudinal de la pala de turbina eólica y estando acoplado a una toma de tierra;
- Preparar una banda receptora para su aplicación sobre una pala de turbina eólica, e
- Incorporar en el sistema de protección frente a rayos de la pala de turbina eólica.

10 En un ejemplo, un método de preparación de una banda receptora para su aplicación sobre una pala de turbina eólica comprende lo siguiente:

- Proporcionar una tira de cobre corrugada para protección frente a rayos de la pala.
- Proporcionar una tira de lámina de cobre expandida que va a usarse en la banda receptora.
- Alinear la tira de lámina de cobre con la tira de cobre corrugada mediante recorte.
- Aplicar una capa de agente de preparación con un grosor de 20-25 μm sobre la tira de lámina de cobre.
- 15 • Aplicar una capa de agente de preparación con un grosor de 20-25 μm sobre la tira de cobre corrugada.
- Preparar una resina de sellado, tal como un adhesivo de poliuretano, para su aplicación entre la tira de lámina de cobre y la tira de cobre corrugada.
- Aplicar la resina de sellado sobre la tira de lámina de cobre y proporcionar una capa de tiras de ventilación encima de la resina aplicada.
- 20 • Aplicar otra capa de resina de sellado encima de las tiras de ventilación y aplicar la tira de cobre corrugada por encima.
- Aplicar una capa de película de desmoldeo por encima y sellar a vacío.
- Curar la resina a temperatura ambiente durante un periodo de 10 horas, para adherir la tira de cobre corrugada a la tira de lámina de cobre expandida.
- 25 • Desmoldear el paquete tras el curado.
- Retirar la capa de película de desmoldeo superior para obtener la banda receptora resultante.

• Proporcionar una capa de adhesivo, tal como una cinta de montaje de adhesivo de doble cara, sobre la banda receptora en preparación para la aplicación sobre una pala de turbina eólica.

30 En un ejemplo, un método de aplicación de la banda receptora sobre la pala de turbina eólica comprende lo siguiente:

- Preparar una superficie de la pala de turbina eólica para aplicar la banda receptora, mediante pulido, suavizado y/o limpieza de la superficie.
- Colocar la banda receptora sobre la superficie de la pala.
- Sujetar la banda receptora en su sitio sobre la superficie de la pala de manera que el orificio pasante en la banda receptora se alinea con el rebaje de receptor.
- 35 • Aplicar una red de distribución de vacío encima de la banda receptora y crear un vacío encima de la banda receptora.
- Fijar una cubierta de calentamiento encima de la red de distribución de vacío y aplicar calor para activar el adhesivo sobre la banda receptora.
- 40 • Retirar la cubierta de calentamiento y la red de distribución de vacío.
- Aplicar un agente de sellado a un borde de la banda receptora, tal como un agente de sellado de uretano.

En otro ejemplo, un método de incorporación de la banda receptora en el sistema de protección frente a rayos de la pala comprende lo siguiente:

- Retirar un módulo receptor lateral de la superficie de la pala antes del montaje de la banda receptora, para dejar un

orificio rebajado, es decir un rebaje en la superficie de pala con un orificio pasante, para ajustar un módulo receptor.

- Crear un orificio pasante en la banda receptora que se alinea con el orificio rebajado de receptor.
- Montar la banda receptora sobre la superficie de la pala.
- Montar el módulo receptor lateral encima de la banda receptora y dentro del orificio rebajado de receptor, por medio de un avellanado.

5

Un método de incorporación de este tipo permite un montaje fijo de la banda receptora y además garantiza la conexión física y eléctrica entre la banda receptora y el conductor de bajada para rayos, por medio del receptor lateral.

10

En una realización adicional, el método comprende además recortar cualquier saliente del módulo receptor lateral para reducir cualquier impacto aerodinámico. El saliente se produce debido a que el módulo receptor lateral no puede ajustarse totalmente de vuelta en el interior del orificio rebajado de receptor debido a la presencia de la banda receptora. El recorte del saliente retiene el perfil aerodinámico liso de la pala y reduce cualquier resistencia aerodinámica que puede provocarse por un saliente de este tipo.

15

En una realización, la banda receptora se aplica sobre la superficie de la pala de turbina eólica en un procedimiento de retroadaptación. En otras realizaciones, la banda receptora puede integrarse en el procedimiento de producción de pala. También puede pintarse una capa de pintura resistente a la suciedad encima de la banda receptora. Aunque tal pintura puede ser eléctricamente no conductora de manera inherente, la permeabilidad de la capa de pintura no es habitualmente lo suficientemente alta como para prevenir una rotura dieléctrica de la capa de pintura lo cual permite una transferencia eléctrica a través de la pintura. Alternativamente, se proporciona una pintura metálica para la banda receptora.

20

REIVINDICACIONES

1. Pala de turbina eólica (140) que comprende un sistema de protección frente a rayos, comprendiendo el sistema de protección frente a rayos:
 - 5 un conductor de rayos (152) ubicado a lo largo de una parte longitudinal de la pala de turbina eólica (140) y que está acoplado a una toma de tierra,
 - un módulo receptor de rayos (154) dispuesto sobre una superficie externa de la pala de turbina eólica (140) y acoplado eléctricamente al conductor de rayos (152), y
 - 10 una banda receptora alargada (160) instalada sobre la superficie externa de la pala de turbina eólica (140), encima del módulo receptor de rayos (154), estando la banda receptora dispuesta para recibir una descarga de un rayo y transferir corriente eléctrica de la descarga de rayo al conductor de rayos (152) a través del módulo receptor de rayos (154),
 - caracterizada porque la banda receptora alargada (160) comprende un pliegue (162) en un perfil en sección transversal longitudinal de la banda receptora alargada.
- 15 2. Pala de turbina eólica (140) según la reivindicación 1, en la que la banda receptora alargada (160) comprende un perfil en sección transversal longitudinal ondulado.
3. Pala de turbina eólica (140) según la reivindicación 1, en la que la banda receptora alargada (160) comprende un perfil en sección transversal longitudinal en forma de acordeón.
4. Pala de turbina eólica (140) según la reivindicación 1, en la que la banda receptora alargada (160) comprende un perfil en sección transversal longitudinal corrugado.
- 20 5. Pala de turbina eólica (140) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la banda receptora alargada (160) está instalada sobre la superficie externa de la turbina eólica mediante un adhesivo (164).
6. Pala de turbina eólica (140) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la banda receptora alargada (160) comprende un metal.
- 25 7. Pala de turbina eólica (140) según la reivindicación 6, en la que la banda receptora alargada (160) comprende uno cualquiera de: hierro, acero inoxidable, aluminio y cobre.
8. Pala de turbina eólica (140) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el módulo receptor de rayos (154) es un receptor de rayos diferenciado.
- 30 9. Pala de turbina eólica (154) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el módulo receptor de rayos comprende dos receptores de rayos diferenciados (154, 156), y en la que la banda receptora alargada (160) está instalada encima de ambos receptores de rayos diferenciados.
10. Pala de turbina eólica (140) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la banda receptora alargada (160) está instalada en una dirección sustancialmente longitudinal a lo largo de la pala de turbina eólica.
- 35 11. Turbina eólica (100) que comprende una pala de turbina eólica (140) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.
12. Método de instalación de un sistema de protección frente a rayos en una pala de turbina eólica (140), comprendiendo el método:
 - 40 proporcionar un sistema de protección frente a rayos en la pala de turbina eólica (140), que comprende un módulo receptor de rayos (154) dispuesto sobre una superficie externa de la pala de turbina eólica y que está eléctricamente acoplado a un conductor de rayos (152), estando el conductor de rayos ubicado a lo largo de una parte longitudinal de la pala de turbina eólica y estando acoplado a una toma de tierra;
 - preparar una banda receptora alargada (160) para su aplicación sobre la pala de turbina eólica (140), comprendiendo la banda receptora alargada un pliegue (162) en un perfil en sección transversal longitudinal de la banda receptora alargada e
 - 45 incorporar la banda receptora alargada (160) dentro del sistema de protección frente a rayos, en el que incorporar la banda receptora alargada comprende además
 - retirar el módulo receptor de rayos (154) de la pala de turbina eólica (140), dejando así un orificio rebajado de receptor en la superficie externa de la pala de turbina eólica,

- crear un orificio pasante en la banda receptora alargada (160) que se alinea con el orificio rebajado de receptor,
- aplicar la banda receptora alargada (160) sobre la superficie externa de la pala de turbina eólica (140),
- 5 montar el módulo receptor de rayos (154) encima de la banda receptora alargada (160) y dentro del orificio rebajado a través del orificio pasante en la banda receptora alargada, para incorporar la banda receptora alargada dentro del sistema de protección frente a rayos.
13. Método de instalación de un sistema de protección frente a rayos según la reivindicación 12, en el que se recorta cualquier saliente del módulo receptor de rayos (154) tras montar el módulo receptor de rayos encima de la banda receptora alargada (160).
- 10 14. Método de instalación de un sistema de protección frente a rayos según las reivindicaciones 12 ó 13, en el que preparar la banda receptora alargada (160) para su aplicación sobre la pala de turbina eólica (140) comprende:
- proporcionar una tira de cobre para la protección frente a rayos de la pala,
- proporcionar una tira de lámina de cobre expandida,
- 15 aplicar una capa de resina de sellado sobre una primera superficie de la tira de cobre,
- curar la resina de sellado para adherir la tira de cobre a la tira de lámina de cobre expandida formando la banda receptora alargada, y
- proporcionar una capa de adhesivo sobre una segunda superficie de la lámina de cobre para su aplicación sobre la pala de turbina eólica.
- 20 15. Método de instalación de un sistema de protección frente a rayos según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, en el que aplicar la banda receptora alargada (160) sobre la pala de turbina eólica (140) comprende:
- colocar la banda receptora alargada (160) sobre la superficie externa de la pala (140),
- 25 sujetar la banda receptora alargada (160) en su sitio sobre la superficie de la pala (140) de manera que el orificio pasante en la banda receptora alargada se alinea con el rebaje de receptor,
- aplicar una red de distribución de vacío encima de la banda receptora (160) y crear un vacío encima de la banda receptora alargada,
- fijar una cubierta de calentamiento encima de la red de distribución de vacío y aplicar calor para activar el adhesivo sobre la banda receptora alargada (160),
- 30 retirar la cubierta de calentamiento y la red de distribución de vacío, y
- aplicar un agente de sellado a un borde de la banda receptora alargada aplicada.

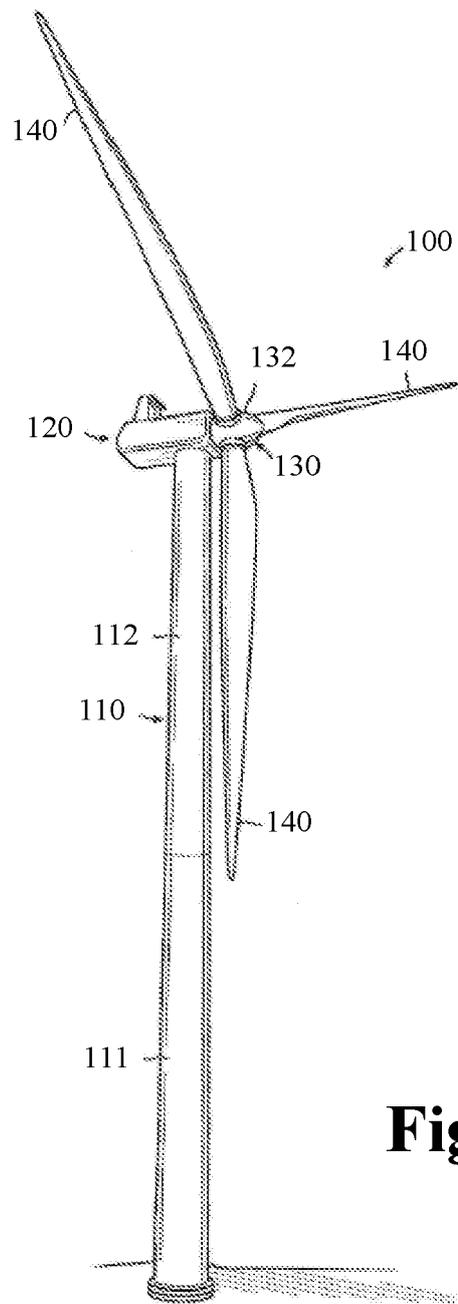


Fig. 1

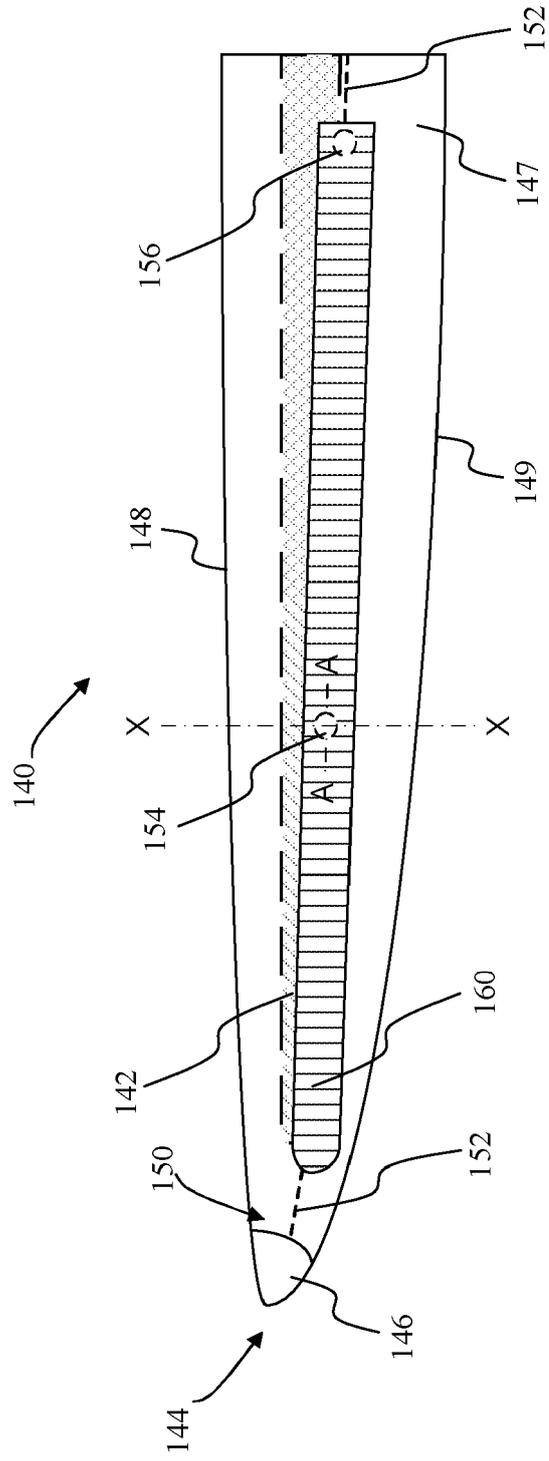


Fig. 2

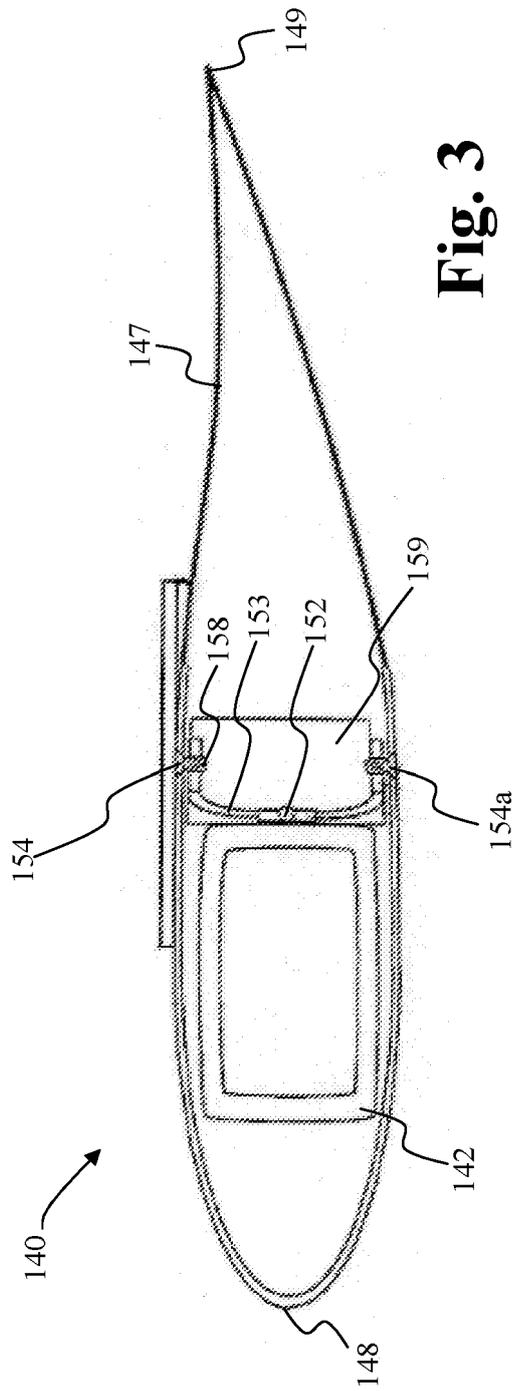


Fig. 3

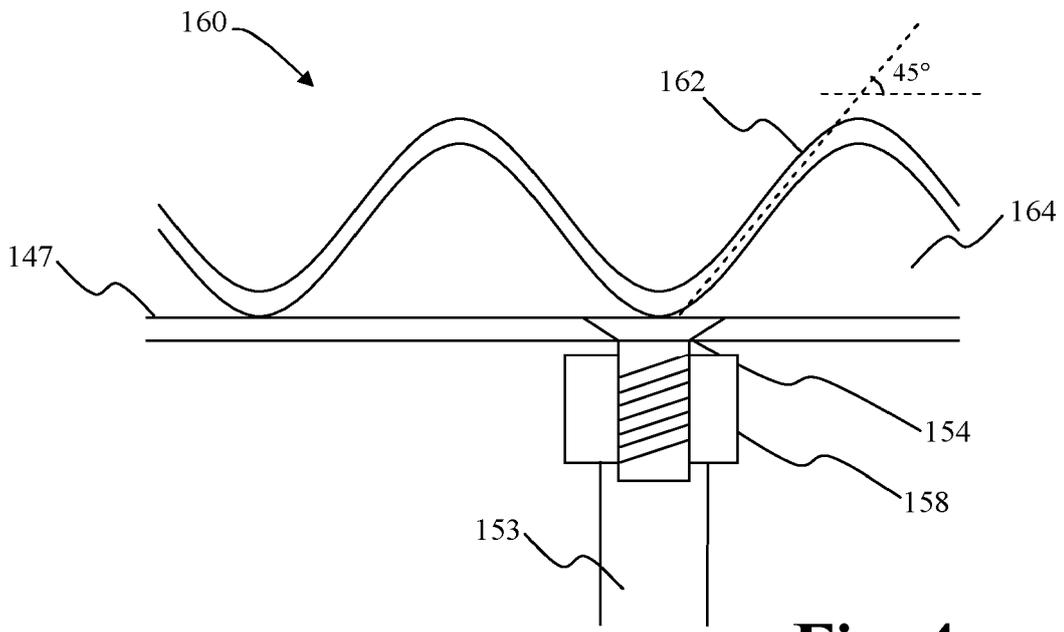


Fig. 4

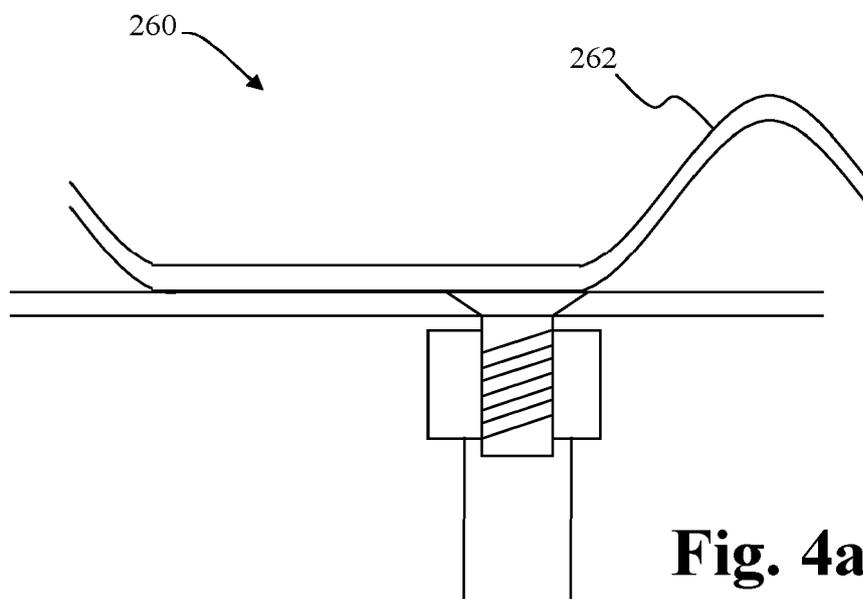


Fig. 4a

