

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 708 653**

51 Int. Cl.:

F03D 13/00 (2006.01)

F03D 80/30 (2006.01)

F03D 1/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.10.2014 PCT/DK2014/050333**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.04.2015 WO15055213**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.10.2014 E 14786794 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.12.2018 EP 3058220**

54 Título: **Mejoras relacionadas con los sistemas de protección frente a rayos para palas de turbina eólica**

30 Prioridad:

17.10.2013 GB 201318381

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

10.04.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**WHITEHOUSE, DANIEL y
BAKER, RICHARD**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 708 653 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

Mejoras relacionadas con los sistemas de protección frente a rayos para palas de turbina eólica

Campo técnico

5 La presente invención se refiere a estructuras de pala de turbina eólica y a procedimientos de fabricación asociados para mejorar la resistencia de las palas de turbina eólica a las descargas de rayos.

Antecedentes

10 Las turbinas eólicas son vulnerables a su alcance por descargas de rayos; a veces en la torre, la góndola y el buje de rotor, pero con la mayor frecuencia en las palas de la turbina. Un evento de descarga de rayos tiene el potencial de provocar daños físicos en las palas de turbina y también daño eléctrico en los sistemas de control internos de la turbina eólica. Las turbinas eólicas se instalan con frecuencia en amplios espacios abiertos que hacen que las descargas de rayos sean una situación habitual. Por consiguiente, en los últimos años los fabricantes de turbinas eólicas han realizado muchos esfuerzos para diseñar turbinas eólicas que puedan gestionar de manera eficaz la energía que se les confiere durante una descarga de rayos para evitar daños en la pala y el coste asociado del tiempo de parada de la turbina durante la sustitución de la pala.

20 Se conocen sistemas de protección frente a rayos para palas de turbina eólica. En un ejemplo, un elemento receptor de rayos eléctricamente conductor se dispone en una superficie exterior de la pala para recibir una descarga de rayos. Debido a que el elemento receptor es eléctricamente conductor, es más probable que el rayo se una al elemento receptor en lugar de al material de la pala relativamente no conductor. El elemento receptor se conecta a un cable o "conductor de bajada" que se extiende en el interior de la pala hasta la raíz y desde ahí se conecta mediante una disposición de inducido a una trayectoria de transferencia de carga en el buje, la góndola y la torre a un potencial de tierra. Por tanto, un sistema de protección frente a rayos de este tipo permite canalizar los rayos desde la pala a un potencial de tierra de manera segura, minimizando de ese modo el riesgo de daños. Sin embargo, los elementos receptores diferenciados son relativamente complejos de instalar durante la fabricación de la pala y, además, dejan una porción significativa de área de pala expuesta a un riesgo de descarga de rayos.

30 La observación de los efectos de descargas de rayos sobre palas de la turbina ha revelado que la mayor proporción de las descargas de rayos suceden en las puntas de pala. Para abordar este problema, el documento WO2005/031158 propone una pala de turbina que tiene una punta de metal macizo. Aunque la punta de metal macizo proporciona un cuerpo conductor robusto para resistir un gran número de descargas de rayos, en algunas circunstancias los rayos pueden alcanzar todavía la pala en el interior de la punta teniendo de ese modo el potencial de provocar daños en la pala.

35 El documento EP226497 describe una pala de turbina eólica con un sistema de protección frente a rayos con un receptor de rayos dispuesto libremente accesible en las proximidades de la punta de la pala. El documento WO2007128314 describe una pala de turbina eólica con un receptor ubicado en el extremo de punta de la pala en una cavidad, y la cavidad se llena de un material dieléctrico. El documento EP2532893 describe una pala de turbina eólica con un sistema de protección frente a rayos que tiene un receptor de punta conductor con una banda protectora de cerámica.

40 En el documento WO2013/007267 se describe una protección frente a rayos adicional, que propone acotar una pala de turbina en una pluralidad de zonas diferentes, estando dotada cada zona de una medida de protección diferente que se selecciona dependiendo del impacto esperado de una descarga de rayos en esa zona de la pala. En este caso, una zona de alcance de alto riesgo tal como la punta puede protegerse con medidas de protección robustas tales como una punta de metal macizo, mientras que las medidas de protección en zonas de impacto de bajo riesgo potencialmente pueden eliminarse del todo.

La invención se ha ideado en contra de este contexto.

45 **Sumario de la invención**

En un primer aspecto, la invención proporciona un conjunto de punta de pala para una pala de turbina eólica según la reivindicación 1.

50 Cuando se instala en una pala de turbina eólica, el conjunto de punta de pala puede conectarse a un sistema de conducción de bajada de modo que se canalice la energía eléctrica procedente de una descarga de rayos desde la punta hasta los sistemas de gestión de rayos instalados en la torre de la turbina eólica. En las puntas de palas conductoras de turbinas eólicas conocidas, se ha observado que los rayos pueden verse atraídos por el sistema de conducción de bajada y otros componentes metálicos en la pala justo en el interior de la punta de pala, lo que puede provocar daños en la pala. Por tanto, de manera beneficiosa, el conjunto de punta de pala de la invención incorpora una disposición receptora que está separada del módulo de punta de pala, pero separada del mismo de modo que sirve para "interceptar" las descargas de rayos que pueden no tender a unirse a la punta de pala tal como puede suceder cuando la pala se encuentra en orientaciones horizontales. Por tanto, la disposición receptora que forma

parte del conjunto de punta de pala proporciona una trayectoria de puesta a tierra eléctrica "fácil" que impide que los rayos se unan a los componentes metálicos internos de la pala.

5 La disposición receptora puede incluir una base receptora conductora, por ejemplo de latón, que tiene forma de placa y que sirve como punto de unión para uno o más elementos receptores o pernos que perforan el revestimiento de pala para conectarse a la base receptora. En una realización, el receptor es una placa que se extiende de manera transversal (es decir, en el sentido de la cuerda) hasta el eje longitudinal del conjunto de punta de pala.

10 El acoplador conecta el módulo de punta de pala a la disposición receptora y puede estar formado de manera solidaria con el módulo de punta de pala. Alternativamente, el acoplador puede desmontarse del módulo de punta de pala. Aunque el acoplador podría adoptar diversas formas, en una realización es una placa de tipo lengüeta que se extiende desde el módulo de punta de pala y que está encerrado por la pieza aislante. Preferiblemente, la pieza aislante es una pieza de tipo bloque polimérico que se extiende desde el módulo de punta de pala y que encierra el acoplador y la disposición receptora. Preferiblemente, la pieza aislante se moldea directamente sobre el acoplador.

15 Aunque el módulo de punta de pala conductora puede comprender una pieza de núcleo encerrada en una capa conductora, un módulo de metal macizo proporciona una unidad más tenaz que tiene una mayor capacidad de conducción de corriente. En principio, es aceptable que el módulo de punta de pala se realice de cualquier metal o aleación metálica, aunque actualmente se prefiere el cobre.

20 El acoplador puede comprender una placa de unión de tipo lengüeta que se extiende desde el módulo de punta de pala y que puede ser solidario con el módulo de punta de pala o unirse al mismo mediante medios adecuados, tales como un juego de pernos, en cuyo caso el acoplador puede recibirse en una cavidad definida en el módulo de punta de pala.

En una realización, la pieza aislante se moldea directamente en el acoplador y tiene un perfil en el sentido de la cuerda exterior similar al de la pala dentro de la que se recibe, en el uso. El tamaño relativamente grande de la pieza aislante garantiza una fuerte conexión entre el conjunto de punta de pala y la pala.

25 En una realización preferida, el módulo de punta de pala es de metal macizo, y la pieza aislante también puede encerrar una disposición receptora en su interior.

La invención también se refiere a un método de ensamblaje de un conjunto de punta de pala para una pala de turbina eólica según la reivindicación 16.

30 Ventajosamente, por tanto, el acoplador que se extiende desde el módulo de punta de pala y sirve para conectarse a un sistema de conducción de bajada está encerrado en una pieza aislante. La pieza aislante puede estar formada en una conformación adecuada, por ejemplo, una conformación que se presta a la incorporación en un volumen interno de una pala de material compuesto de una turbina eólica. Por tanto, la pieza aislante sirve como punto de montaje.

Antes de encerrar el acoplador en la pieza aislante, el acoplador puede unirse a un conductor de bajada en una junta adecuada. Por tanto, durante el ensamblaje de la pala el conjunto de punta de pala puede instalarse como una unidad junto con el conductor de bajada, lo que lo hace más conveniente para la fabricación.

35 Se apreciará que pueden combinarse características preferidas y/u opcionales del primer aspecto de la invención con los demás aspectos de la invención, y viceversa. La invención en sus diversos aspectos se define en las reivindicaciones independientes a continuación y se definen características ventajosas en las reivindicaciones dependientes a continuación.

Breve descripción de los dibujos

40 Para una mayor comprensión de la invención, se describirán ahora algunas realizaciones de la invención con referencia a los siguientes dibujos, en los que:

la figura 1 es una vista en planta de una pala de turbina eólica equipada con un sistema de protección frente a rayos;

la figura 2 es una vista a escala ampliada de una región de la pala de turbina en la figura 1, que muestra con más detalle el aparato relacionado con el sistema de protección frente a rayos;

45 la figura 3 es una sección transversal de la pala de turbina en la figura 2 a lo largo de la línea A-A;

la figura 4 es una sección transversal de la pala de turbina en la figura 2 a lo largo de la línea B-B;

la figura 5 es una vista en sección del borde de ataque de la pala de turbina en la figura 1 a lo largo de la línea C-C;

la figura 6 es una vista de una región de pala como la de la figura 2, pero muestra una realización alternativa del subsistema de protección frente a rayos; y

50 la figura 7 es una vista en perspectiva de un conjunto de punta de pala alternativo.

Descripción detallada

Con referencia a la figura 1, una pala de turbina eólica 2 incorpora un sistema de protección frente a rayos 3. La pala 2 está formada por una carcasa de la pala 4 que tiene dos medias carcasas. Las medias carcasas se moldean normalmente a partir de plástico reforzado con fibra de vidrio (conocido como "GFRP" o, simplemente "GRP") que comprende tejido de fibra de vidrio incorporado en una matriz de resina curada. La construcción precisa de la carcasa de pala 4 no es fundamental para la invención y así se omite una descripción más detallada para mayor claridad.

La pala comprende un extremo de raíz 6, en el que la pala 2 se unirá a un buje de rotor de una turbina eólica, un extremo de punta 8, un borde de ataque 10 y un borde de salida 12. Una primera superficie 14 de la pala 2 define una superficie con perfil aerodinámico que se extiende entre el borde de ataque 10 y el borde de salida 12. La pala 2 también incluye una segunda superficie que también se extiende entre el borde de ataque 10 y el borde de salida 12, que no se muestra en la vista en planta de la figura 1, pero que se indica con el número de referencia 16 en las figuras 3 y 4, por ejemplo.

Cuando la pala 2 se une a un buje de rotor de una turbina eólica, el flujo de aire alcanza la superficie 16 de la pala 2 y, por este motivo, la superficie 16 también se denomina "lado de presión" o "lado de barlovento" en la técnica. Por el contrario, la superficie 14 se denomina "lado de succión" o "lado de sotavento".

Volviendo al sistema de protección frente a rayos 3, este se basa en un concepto de "zonificación" en el que la pala 2 está acotada en una dirección longitudinal o "en el sentido de la envergadura" en regiones o "zonas" dependiendo de la probabilidad de recibir una descarga de rayos y la intensidad de la descarga en esa región. Un principio similar se describe en el documento WO2013/007267.

En esta realización, la pala 2 se divide en tres zonas para los fines de protección frente a rayos, estas se ilustran en la figura 1 como zonas A, B y C. La instalación de protección frente a rayos que se usa en cada una de las zonas se selecciona basándose en un juego de parámetros de descarga de rayos, tales como amplitud de corriente pico, energía específica, forma del impulso y carga total que se espera que resista la pala 2 en cada una de las zonas. A continuación se ofrece una breve explicación de las diferentes zonas, a modo de ejemplo.

La zona A se extiende desde el extremo de raíz 6 de la pala hasta aproximadamente el 60% de la longitud de pala en la dirección en el sentido de la envergadura. En esta zona, la pala 2 tiene un menor riesgo de una descarga de rayos y así se esperará que reciba una baja incidencia de rayos y bajas amplitudes de corriente, que son aceptables para el impacto estructural de pala. En esta realización, la pala 2 no está equipada con ninguna protección externa frente a rayos dentro de esta zona.

La zona B se extiende desde el extremo de la zona A hasta aproximadamente el 90% de la longitud de pala en una dirección en el sentido de la envergadura. En esta zona, la pala 2 tiene un riesgo moderado de descarga de rayos y se espera que resista uniones de descargas de rayos directas moderadamente frecuentes que tendrán una mayor corriente de choque, corriente pico y transferencia de carga total. Por consiguiente, la pala 2 está dotada de un primer subsistema de protección frente a rayos 20 en forma de una capa de protección de superficie.

Finalmente, la zona C se extiende desde el extremo de la zona B hasta el extremo de punta 8 de la pala 2. En esta zona, la pala 2 está sujeta a una alta probabilidad de descargas de rayos y se espera que resista amplitudes de corriente pico superiores a 200 kA y una transferencia de carga total superior a 300 culombios y, además, una gran incidencia de rayos. Para proporcionar el nivel requerido de protección para la pala, la zona C incluye dos subsistemas de protección frente a rayos adicionales. En primer lugar, se proporciona una red de receptores (a continuación en el presente documento "red de receptores") 22 y, en segundo lugar, se proporciona un conjunto de punta de pala 24. Tanto la red de receptores 22 como el conjunto de punta de pala 24 se conectan eléctricamente a un sistema de conducción de bajada 26, que comprende conductores de bajada 28, 30 primero y segundo, que discurren a lo largo de la longitud de la pala 2 desde el extremo de punta 8 hasta el extremo de raíz 6, estando dispuestos generalmente adyacentes al borde de ataque 10 y al borde de salida 12 de la pala 2, respectivamente. Los detalles de la red de receptores 22, el conjunto de punta de pala 24 y el sistema de conducción de bajada 26 se describirán más adelante.

Tal como se ha mencionado ya, la zona B incluye una capa de protección de superficie 20 que es una capa conductora formada sobre la superficie de, o que está integrada en, tanto la media carcasa superior como la media carcasa inferior de la pala 2. La capa conductora 20 puede ser una malla o tela metálica, pero preferiblemente una lámina metálica expandida que actúa para atraer las descargas de rayos sobre una gran área de la pala y que se conecta al sistema de conducción de bajada 26 de una manera que se describirá. El grosor de la capa conductora 20 es tal que el perfil aerodinámico de pala 2 no se ve afectado y así se prefiere que la capa conductora tenga entre 1 mm y 5 mm de grosor. La estructura precisa de la capa de protección de superficie 20 no es fundamental para la invención y así no se describirá con más detalle en el presente documento.

El conjunto de punta de pala 24 y la red de receptores 22 se describirán ahora con más detalle con referencia a las figuras 2 a 7. La figura 2 ilustra una porción ampliada de la pala 2 en la zona C y así muestra el conjunto de punta de pala 24 y la red de receptores 22 con más detalle. En este caso, se muestra que la pala 2 tiene el conjunto de punta

de pala 24 unido a la misma. Sin embargo, debe apreciarse que el conjunto de punta de pala 24 puede instalarse como una unidad en la pala 2 durante un procedimiento de fabricación.

El conjunto de punta de pala 24 comprende un módulo de punta de pala conductora 32 y una pieza aislante que, en esta realización, es una pieza de inserción no conductora 34 acoplada al módulo de punta de pala 32. El módulo de punta de pala 32 está formado preferiblemente a partir de metal macizo para proporcionar un receptor de rayos extremadamente robusto en la misma punta de la pala 2, que puede resistir un gran número de uniones de rayos directas sin experimentar daños y sin requerir mantenimiento y/o inspecciones frecuentes. El módulo de punta de pala 32 es preferiblemente cobre macizo o una aleación de cobre tal como bronce, y se cuela en una conformación tal como para proporcionar un perfil aerodinámico de punta para la pala 2, y particularmente las regiones de alta curvatura de los bordes de ataque y de salida que atraen particularmente la unión de descarga de rayos. Formar el módulo de punta de pala 32 de metal macizo consigue un alto punto de fusión, lo que es un factor importante a la hora de evitar daños durante las descargas de rayos, y también proporciona una buena conductividad eléctrica en el sistema de conducción de bajada. Se apreciará que también serán adecuados metales y aleaciones distintos de cobre.

Se prefiere que el módulo de punta de pala 32 sea lo suficientemente largo como para abarcar las regiones de alta curvatura de los bordes de ataque y de salida 10, 12 de la pala, aunque debido a que la punta de metal macizo tiene una masa relativamente alta, generalmente es un objetivo diseñar la punta para que sea lo más pequeña posible sin reducir la capacidad de atraer rayos a la punta. Generalmente, por tanto, el módulo de punta de pala 32 tiene una longitud que es inferior al 1% de la longitud total de pala y, más preferiblemente, está por debajo del 0,5% de la longitud total de pala. A modo de ejemplo, en una pala con una longitud de 60 m, la punta puede tener aproximadamente 10 cm de longitud.

El módulo de punta de pala 32 se une a la pieza de inserción 34 mediante una pieza de acoplamiento o "acoplador" 36 mostrado en este caso como una placa de unión. La placa 36 tiene una conformación rectangular y se sujeta mediante pernos 35 en uno de sus extremos a una cavidad conformada de manera correspondiente 37 proporcionada en una cara de unión 38 de la pieza de punta de pala 32. La placa 36 es conductora y es preferiblemente de metal macizo tal como acero inoxidable, aunque son aceptables otros metales (por ejemplo, cobre) o aleación metálicas.

La placa 36 proporciona medios mediante los cuales la pieza de inserción 34 puede unirse al módulo de punta de pala 32. En esta realización, la pieza de inserción 34 se moldea por inyección alrededor de la placa 36 que se sitúa en el molde, con o sin el módulo de punta de pala 32 unido a la misma, antes de comenzar el procedimiento de moldeo.

La pieza de inserción moldeada 34 proporciona una base maciza mediante la cual el conjunto de punta de pala 24 puede incorporarse en una pala 2 durante un procedimiento de fabricación. Por ejemplo, durante la configuración de la pala, pueden disponerse un revestimiento de pala adecuado y otros componentes estructurales tales como revestimientos de tejido de vidrio o materiales preimpregnados en un molde de pala truncada que no tiene una superficie de molde conformada para definir una punta de pala. El conjunto de punta de pala 24 puede disponerse entonces con respecto al molde de tal manera que la pieza de inserción 34 se encuentre adyacente a los componentes de revestimiento de pala preparados y el módulo de punta de pala esté ubicado contra el extremo truncado del molde. De modo convencional, la pieza de inserción 34 puede incorporarse entonces en la pala 2 durante un procedimiento de impregnación con resina de modo que, después del curado, el conjunto de punta de pala 24 forma una parte solidaria de la pala 2, proporcionando la pieza de inserción 34 una superficie de adhesión para contener todo el conjunto en las carcasas de pala.

En esta realización la pieza de inserción 34 es polimérico, y se prefiere que el material tenga una alta resistencia dieléctrica, por ejemplo, superior a 25 kV/mm que rodea las partes metálicas internas con un grosor mínimo de aproximadamente 10 mm. Un material adecuado sería el poliuretano.

Tal como puede apreciarse en la figura 2, la pieza de inserción 34 es comparativamente ancha y tiene una anchura mayor del 50% de la anchura de la sección correspondiente de la pala 2. El perfil de la pieza de inserción 34 corresponde generalmente al perfil aerodinámico de la pala 2.

Debido a que la placa 36 se une de manera desmontable al módulo de punta de pala 32, se permiten la retirada y sustitución del módulo de punta de pala 32 durante la vida de la pala 2. Sin embargo, la placa 36 podría formarse alternativamente como una parte solidaria del módulo de la punta de pala 32 durante la colada.

Para canalizar la energía de una descarga de rayos sobre el módulo de punta de pala 32 hasta el extremo de raíz de pala 6, el conjunto de punta de pala 24 se conecta al sistema de conducción de bajada 26. En una realización, tal como se muestra en la figura 7, un cable de conducción de inhibición de descarga corona individual del sistema de conducción de bajada 26 se conecta directamente a la placa 36 mediante un método de conexión adecuado tal como soldeo exotérmico. Por tanto, se proporciona un acoplamiento conductor robusto entre la placa 36 y el sistema de conducción de bajada 26. En una disposición de este tipo, se prefiere, aunque no es esencial, que el cable se suelde a la placa 36 antes de que se moldee la pieza de inserción 34 sobre la placa 36, en cuyo caso el cable forma

una unidad con el conjunto de punta de pala 24 para los fines del procedimiento de fabricación de pala.

Sin embargo, en la realización ilustrada, el sistema de conducción de bajada 26 se conecta al conjunto de punta de pala 24 de modo diferente. Tal como se muestra en la figura 2, el conjunto de punta de pala 24 también incluye una disposición receptora 40 que, en esta realización, tiene la forma de una base receptora de tipo bloque alargado 42 formada a partir de un material conductor, y preferiblemente un material metálico tal como latón. La base receptora 42 se extiende de manera transversal (es decir, en el sentido de la cuerda) al eje longitudinal del conjunto de punta de pala 24 y está separada (en una dirección en el sentido de la envergadura) del módulo de punta de pala 32 en el extremo más alejado de la pieza de inserción 34.

La base receptora 42 se conecta eléctricamente al módulo de punta de pala 32 mediante un enlace conductor 43 que, en esta realización, es un cable que está enfundado en un material de inhibición de descarga corona, con el fin de suprimir los precursores y de tipo corona que se inician desde el cable 43. En contraposición con la realización de la figura 7, en esta realización, ambos conductores de bajada primero y segundo 28, 30 del sistema de conducción de bajada 26 se conectan directamente a la base receptora 42. Como anteriormente, preferiblemente los conductores de bajada 28, 30 se sueldan a la base receptora 42 antes de la formación de la pieza de inserción 34 para encapsular los componentes en su interior de modo que la pieza de inserción 34 encapsula la placa 36 y al menos parte de la disposición receptora. Por tanto, se apreciará que la placa 36, el cable 43 y la base receptora 42 acoplarán eléctricamente la punta de metal y el sistema de conducción de bajada 26. En principio, debe observarse que cualquier número de componentes eléctricos podrían formar el acoplador entre la punta y el sistema de conducción de bajada.

La base receptora 42 forma un punto de recepción para un juego de elementos receptores 44 que perforan la carcasa de la pala 2 y se acoplan a la base receptora 42. Tal como se muestra de la mejor manera en la figura 3, los elementos receptores 44 adoptan la forma de pernos que tienen un vástago 44a que se extiende en la pala 2 y se recibe en casquillos 42a respectivos formados en la base receptora 42, y una cabeza 44b que se avellana en la carcasa de modo que una cara superior de la cabeza 44b se asienta a ras con la superficie circundante de la pala 2 para no afectar a la aerodinámica de la pala.

Para evitar "saltos de arco" potenciales entre la cabeza del perno 44b y cualquier componente conductor interno cercano del revestimiento de pala durante una descarga de rayos, la cabeza 44b está dotada de un collar protector aislante 46, que está formado preferiblemente de un plástico de ingeniería adecuado tal como PEEK (polieteretercetona). El collar protector proporciona adicionalmente protección frente al daño colateral por calor al revestimiento de pala durante una descarga de rayos a los elementos receptores.

La pieza aislante 34 está intercalada entre la parte interior de la superficie de sotavento 14 y la parte interior de la superficie de barlovento 16. Está ubicado adhesivo (no mostrado) entre la pieza aislante 34 y la parte interior de las superficies de sotavento y de barlovento 14, 16 para adherir la pieza aislante al interior de la pala. La pieza aislante 34 llena sustancialmente el volumen hueco entre la superficie de sotavento 14 y la superficie de barlovento 16 en la punta de la pala. La pieza aislante 34 se extiende en una dirección en el sentido de la cuerda desde el borde de ataque de la pala hacia el borde de salida de la pala, y en una dirección en el sentido de la envergadura desde la punta de pala conductora 8 hacia la raíz de pala. En este ejemplo, la pieza aislante 34 es un bloque individual que encierra el acoplador 36 y la base receptora 42. El uso de un bloque individual significa que la base receptora 42 y el acoplador 36 pueden proporcionarse como un módulo individual que permite una fácil instalación en la pala.

Los elementos receptores 44 pueden montarse en la pala 2 después de que se haya fabricado con el conjunto de punta de pala 24 en su posición. Tras completarse la pala 2, se crean aberturas adecuadas en la carcasa de pala 2 y se crean orificios roscados adecuados en la base receptora 42 para sujetar los elementos receptores 44 en su posición. Para impedir que se suelten los elementos receptores 44, pueden proporcionarse medios de bloqueo adecuados (no mostrados) que pueden adoptar la forma de un gránulo o pedazo de plástico recibido en la parte inferior del vástago 44a que se engancha con la base receptora 42.

En esta realización, se proporcionan dos elementos receptores 44, ambos en la superficie de sotavento 14 de la pala 2. Sin embargo, se apreciará que también pueden proporcionarse elementos receptores adicionales en el lado de sotavento de la pala 2, si se desea.

A partir de la descripción anterior, se entenderá que el conjunto de punta de pala 24 proporciona dos puntos receptores para las uniones de rayos: en primer lugar, el módulo de punta de pala de metal 32 y, en segundo lugar, la disposición receptora 40. La ventaja de esto es que una descarga de rayos se verá atraída hacia los elementos receptores 44 en lugar de unirse al sistema de conducción de bajada 26 u otras partes de metal internas del sistema. A modo de explicación adicional, durante las condiciones ambientales de alto campo eléctrico que preceden inmediatamente a una descarga de rayos, el campo eléctrico potenciado en la punta de la pala 2 inducirá la ionización de la atmósfera y la transferencia de carga desde el módulo de punta de pala 32, dando como resultado, por tanto en determinadas condiciones, una "carga espacial" que rodea el extremo de punta 8. La existencia de esta carga espacial puede modificar, en algunas circunstancias, el campo eléctrico alrededor de punta de pala desviando por tanto la descarga de retorno lejos del módulo de punta de pala conductora 32 de modo que el rayo se una a los componentes conductores dentro de la pala, por ejemplo, los componentes del sistema de conducción de bajada 26.

5 La disposición receptora 40 del conjunto de punta de pala 24 proporciona puntos de emisión de precursores intencionados adyacentes a la punta y así pueden servir para “interceptar” la descarga de rayos, uniéndose apropiadamente la descarga de rayos a los elementos receptores 44 y la base receptora 42 en lugar de unirse a otros componentes menos blindados de la pala 2. Esto reduce en gran medida el riesgo de daños en la pala en diversos ángulos de pala.

10 Volviendo ahora a la red de receptores de punta 22, tal como se ha mencionado ya anteriormente, el conjunto de punta de pala 24 se conecta al sistema de conducción de bajada 26 que comprende cables de conducción de bajada primero y segundo 28, 30 que discurren por la longitud en el sentido de la envergadura de la pala 2 hasta su extremo de raíz 6. El sistema de conducción de bajada 26 también se conecta a la red de receptores de punta 22 de la pala 2, lo que se describirá ahora con más detalle.

15 Tal como se muestra en la figura 2, la red de receptores de punta 22 comprende una pluralidad de componentes receptores 50 que se distribuyen adyacentes a los bordes de ataque y de salida 10, 12 en la superficie de sotavento 14 de la pala 2. En esta realización, se proporcionan ocho componentes receptores 50, y cada componente receptores 50 se acopla a un primer elemento receptor 52 proporcionado en la superficie de sotavento 14 de la pala y un segundo elemento receptor 54 proporcionado en la superficie de barlovento 16 de la pala 2. Obsérvese que los elementos receptores de barlovento 54 no se muestran en la figura 2, pero se muestran en la figura 4.

20 Con referencia ahora a la figura 4, que muestra la estructura de los componentes receptores 50 y los elementos receptores 52, 54 con más detalle, cada uno de los componentes receptores 50 incluye una base receptora de tipo bloque 56 y una pieza aislante 58 que encapsula la base receptora 56.

25 La base receptora 56 es conductora, y preferiblemente de latón. La pieza aislante 58 se moldea directamente en la base receptora 56 y sirve así para suprimir la iniciación de trazadores desde la base receptora 56 durante condiciones ambientales de alta carga, lo que impide una descarga de rayos directamente sobre la base receptora 56 en lugar de en un elemento receptor 52, 54. Cada base receptora 56 incluye un rebaje 60 correspondiente a través del cual se encaminan los conductores de bajada 28, 30 con el fin de conectar las bases receptoras 56 al interior del sistema de conducción de bajada 26. Por tanto, la encapsulación de las bases receptoras 56 también encapsula la junta entre el sistema de conducción de bajada y las bases receptoras 56. Las piezas aislantes 58 están formadas por un polímero adecuado que tiene una alta resistencia dieléctrica, y se prevé que las piezas aislantes serán de poliuretano, aunque se aceptan otros materiales aislantes.

30 Las piezas aislantes 58 se intercalan entre la parte interior de la superficie de sotavento 14 y la parte interior de la superficie de barlovento 16. Está ubicado adhesivo (no mostrado) entre las piezas aislantes 58 y la parte interior de las superficies de sotavento y de barlovento 14, 16 para adherir las piezas aislantes al interior de la pala. Debe apreciarse que la figura 4 muestra una sección transversal de las piezas aislantes 58 y que las bases receptoras 56 están completamente encapsuladas por las piezas aislantes 58. Las piezas aislantes 58 pueden tener una anchura en la dirección en el sentido de la envergadura de alrededor de 15 cm.

35 Aunque no se muestra en la figura 4, los componentes receptores 50 también pueden instalarse en ubicaciones adecuadas en el interior de la pala 2 separando elementos que separan y contienen cada uno de los componentes receptores 50 en una posición predeterminada con respecto a la carcasa de pala.

40 Tal como se ha mencionado, cada base receptora 56 se conecta a dos elementos receptores 52, 54: uno en cada una de las superficies de sotavento y de barlovento 14, 16 de la pala 2. Esta disposición reduce el número de bases receptoras requeridas, lo que reduce el coste y el peso de pala en su totalidad. Además, sólo es necesario instalar las bases receptoras en una de las medias carcasas de pala durante el ensamblaje de pala, lo que acelera el tiempo de fabricación y simplifica el procedimiento de fabricación. Los componentes receptores 50 se unen a la media carcasa de pala mediante adhesivo, tal como un adhesivo epoxídico.

45 Cada elemento receptor 52, 54 tiene la forma de un perno que tiene un vástago 61 y una cabeza 62. El vástago 61 se extiende en la pala 2 y se engancha en un casquillo 64 en la base receptora 56. La cabeza 62 se apoya contra y se avellana en el interior de la carcasa de pala de modo que una cara superior de la cabeza 62 esté a ras de la superficie circundante de la pala 2. Al igual que los elementos receptores 44 proporcionados en el conjunto de punta de pala 24, los elementos receptores 52, 54 de la red de receptores de punta 22 también están dotados de un collar polimérico 66 para impedir los saltos de arco de superficie durante una descarga de rayos. El collar protector proporciona adicionalmente protección frente al daño colateral por calor al revestimiento de pala durante una descarga de rayos al receptor.

50 Debido a que los componentes receptores 50 se instalan en la región de la pala 2 que tiene una profundidad relativamente poco pronunciada, preferiblemente los elementos receptores 52, 54 se unen a las bases receptoras 56 desplazados unos con respecto a otro o “alternos” en una dirección en el sentido de la envergadura de pala, tal como se muestra en la figura 4. Esto evita que los vástagos 60 de los elementos receptores opuestos 52, 54 entren en contacto entre sí cuando se instalan.

55 En la realización de la figura 4, el componente receptor 50 incluye una base receptora de una sola pieza 56 que se conecta a dos elementos receptores 52, 54 proporcionados en las superficies de sotavento y de barlovento 14, 16 de

la pala 2. Se prevén diferentes configuraciones de los componentes receptores, y se describirá ahora un ejemplo de este tipo con respecto a la figura 5.

La figura 5 es una sección transversal de la pala 2 en la figura 1 a lo largo de la línea C-C y, por tanto, ilustra una sección de la capa de protección de superficie 20 tal como se ha descrito anteriormente.

5 Tal como se ha comentado, la capa de protección de superficie 20 incluye una tela metálica conductora que proporciona un área de superficie relativamente grande para capturar las descargas de rayos, desde donde la energía puede canalizarse de manera segura al interior del sistema de conducción de bajada 26 sin provocar daños a la estructura de material compuesto no conductora de la pala 2. Obsérvese que la capa de protección de superficie 20 se proporciona en ambas superficies de sotavento y de barlovento 14, 16 de la pala 2.

10 Para conectar la capa de protección de superficie 20 al sistema de conducción de bajada 26, se proporciona un juego de componentes receptores 70. Hay cuatro componentes receptores en total, uno en cada esquina de la capa de protección de superficie 20, aunque solamente se muestra uno de los componentes receptores 70 en la figura 5.

15 En la figura 5, los componentes receptores 70 está colocado adyacente al borde de ataque 10 de la pala 2. El componente receptor 70 está conformado para llenar de manera más eficaz el volumen en el perfil relativamente profundo de esta región de la pala 2, en comparación con el perfil relativamente poco profundo en la región de la red de receptores de punta 22.

20 El componente receptor 70 comprende bases receptoras primera y segunda 72, 74 que están encapsuladas por una pieza aislante 76 que tiene forma generalmente anular. Más específicamente, la pieza aislante 76 en esta realización tiene forma de C, que está definida por porciones de brazo primera y segunda 76a, 76b que se extienden desde cada extremo de una porción de horquilla 76c. Cada una de las bases receptoras 72, 74 está encapsulada por una porción respectiva de las porciones de brazo 76a, 76b y, de esta manera, las bases receptoras 72, 74 están ubicadas en una posición predeterminada frente a una superficie de sotavento 14 y una superficie de barlovento 16 respectivas de la pala 2.

25 Un primer elemento receptor 80 acopla eléctricamente la capa de protección de superficie 20 en la superficie de barlovento 16 a la primera base receptora 72. De manera similar a las realizaciones que se han comentado anteriormente, el elemento receptor 80 tiene la forma de un perno que tiene un vástago 80a y una cabeza 80b: extendiéndose el vástago 80a a través de la pala 2 y enganchándose con la primera base receptora 72; estando dispuesta la cabeza 80b para encontrarse a ras de la superficie circundante de la capa de protección de superficie 20. Se proporciona una disposición idéntica para acoplar la capa de protección de superficie 20 en la superficie de sotavento 14 a la segunda base receptora 74.

30 Se proporciona un enlace conductor 82 para conectar eléctricamente la primera base receptora 72 a la segunda base receptora 74 y, en esta realización, el enlace conductor 82 es un cable trenzado de cobre recubierto de zinc. Aunque el cable trenzado no es esencial, es útil desde la perspectiva de la fabricación puesto que es flexible y así puede conformarse adecuadamente para que se extienda entre las bases receptoras primera y segunda 72, 74 antes de la encapsulación.

35 La pieza aislante 76 está intercalada entre la parte interior de la superficie de sotavento 14 y la parte un interior de la superficie de barlovento 16. Está ubicado adhesivo (no mostrado) entre la pieza aislante 76 y la parte interior de las superficies de sotavento y de barlovento 14, 16 para adherir la pieza aislante al interior de la pala. Debe apreciarse que la figura 5 muestra una sección transversal de la pieza aislante 76 y que la primera base receptora 72, la segunda base receptora 74 y el enlace conductor 82 están encapsulados completamente por la pieza aislante 76. La pieza aislante 76 pueden tener una anchura en la dirección en el sentido de la envergadura de alrededor de 15 cm.

40 Se realiza la conexión al sistema de conducción de bajada 26 soldando la primera base receptora 72 a un conductor de bajada correspondiente, que tal como se ilustra es el primer conductor de bajada 28 cerca del borde de ataque 10 de la pala 2. Para un ensamblaje eficiente, el enlace conductor 82 y el conductor de bajada 28 pueden disponerse en un patrón predeterminado con respecto a las bases receptoras primera y segunda 72, 74 y conectarse a las mismas mediante soldeo exotérmico para garantizar la integridad eléctrica de la conexión antes de colar la pieza aislante 76 alrededor de los componentes. De este modo, el componente receptor 70 puede instalarse como una unidad junto con el sistema de conducción de bajada 26. El soldeo es una opción para conectar los componentes eléctricos aunque se aceptan otras técnicas adecuadas tales como la sujeción mecánica.

45 50 En una variación de esto, se prevé que el sistema de conducción de bajada 26 que incluye los dos conductores de bajada primero y segundo 28, 30 puede estar aislado como una unidad con los componentes receptores 50 asociados con la red de receptores de punta 22 así como los componentes receptores 70 asociados con la capa de protección de superficie 20. La figura 6 ilustra esto, y puede observarse que los conductores de bajada primero y segundo 28, 30 y los componentes receptores 50 asociados con la red de receptores de punta 22 están encapsulados por un elemento aislante 90 que forma un alojamiento aislante unitario. El elemento aislante 90 puede ocupar el lugar de los elementos aislantes 58 de las bases receptoras 56, aunque actualmente se prevé que el elemento aislante 90 sea una medida aislante adicional además de las bases receptoras encapsuladas 56 y también el blindaje de reducción de descarga corona de los conductores de bajada 28, 30. En esta realización, por tanto, el

- 5 sistema eléctrico completo dentro de la pala 2 puede encapsularse completamente antes de la instalación y puede instalarse como una unidad individual, más bien como un mazo de cables, en una media carcasa de pala durante la fase de configuración de pala. La encapsulación del sistema de conducción de bajada 26 en un polímero eléctricamente aislante reduce la probabilidad de unión de descarga de rayos directamente en los conductores de bajada 28, 30 aumentando la ruptura dieléctrica del sistema
- Los conductores de bajada primero y segundo 28, 30 son en sí mismos cables aislados de cable de inhibición de descarga corona de alta tensión, aislados con un caucho de silicona o polímero reticulado. Estos cables aislados se encapsulan entonces en el elemento aislante alargado 90.
- 10 El elemento aislante 90 puede formarse a partir de poliuretano. En una realización particular, la rigidez del poliuretano puede variar a lo largo de la longitud de la pala de modo que el sistema de conducción de bajada 26 tiene más flexibilidad en algunas partes de la pala que en otras. Por ejemplo, es deseable que el elemento aislante 90 sea flexible en la región de punta de la pala en la que la pala desvía las cargas de viento más elevadas, mientras que hacia la raíz de la pala el elemento aislante 90 puede ser más rígido.
- 15 El experto apreciará que puedan realizarse variaciones en las realizaciones ilustradas sin apartarse del concepto inventivo, tal como se describe en las reivindicaciones. Algunas de las variaciones de las realizaciones ilustradas se han comentado anteriormente. Otras se explicarán a continuación.
- 20 La invención se describe en el contexto de una pala de turbina que tiene una denominada construcción de “carcasa estructural”, en la que se integran nervaduras o pultrusiones de carbono longitudinales en las mitades de carcasa superior e inferior durante la fase de configuración. Sin embargo, la invención también se aplica a palas construidas según una filosofía de diseño diferente tal como una construcción de larguero estructural.
- Se ha descrito que el conjunto de punta de pala 24 incluye un módulo de punta de pala 32 de metal macizo. Aunque se prefiere esto por motivos de conductividad y resistencia a descargas en las palas, también podrían formarse a partir de un núcleo no conductor que tiene una capa exterior conductora, aunque la robustez puede verse afectada adversamente.
- 25 En la disposición aislante descrita anteriormente, la pieza de inserción 34 se describe como una parte individual. Sin embargo, debe apreciarse que también podría fabricarse a partir de múltiples partes.
- 30 En las realizaciones anteriores, se ha descrito que la pala está dividida en tres zonas, A, B y C, para los fines de protección frente a rayos. Se apreciará que esto es meramente un ejemplo de cómo puede configurarse una pala para la protección frente a rayos y no pretende que esté limitado. Por ejemplo, una pala puede configurarse de modo que se omita la zona A. En efecto, por tanto, la pala se protege en toda su longitud en vez de dejar una zona relativamente desprotegida frente a las descargas de rayos.

REIVINDICACIONES

1. Conjunto de punta de pala (24) para una pala de turbina eólica (2), que comprende un módulo de punta de pala conductora (32), y un acoplador (36) que se extiende desde el módulo de punta de pala para unir el módulo de punta de pala a un conductor de bajada (28, 30), caracterizado porque:
 - 5 una disposición receptora de rayos (40) está separada del módulo de punta de pala conductora, y el acoplador acopla eléctricamente el módulo de punta de pala conductora a la disposición receptora, en la que una pieza aislante (34) encierra el acoplador y al menos parte de la disposición receptora.
 2. Conjunto de punta de pala según la reivindicación 1, en la que el acoplador (36) puede desmontarse del módulo de punta de pala (32).
 - 10 3. Conjunto de punta de pala según las reivindicaciones 1 ó 2, en el que el acoplador (36) puede recibirse en una cavidad (37) definida en el módulo de punta de pala (32).
 4. Conjunto de punta de pala según las reivindicaciones 1 a 3, en el que el acoplador (36) tiene la forma de una placa alargada.
 5. Conjunto de punta de pala según las reivindicaciones 1 a 4, en el que la pieza aislante (34) incluye un perfil aerodinámico en una sección en el sentido de la cuerda.
 - 15 6. Conjunto de punta de pala según las reivindicaciones 1 a 5, en el que el módulo de punta de pala (32) es una punta de metal macizo.
 7. Conjunto de punta de pala según la reivindicación 1, en el que la disposición receptora (40) incluye una base receptora conductora (42), a la que puede unirse un elemento receptor de rayos (44).
 - 20 8. Conjunto de punta de pala según la reivindicación 7, en el que la base receptora (42) tiene forma de placa.
 9. Conjunto de punta de pala según la reivindicación 8, en el que la base receptora (42) se extiende de manera transversal a un eje longitudinal del conjunto de punta de pala.
 10. Conjunto de punta de pala según la reivindicación 1, en el que la pieza aislante (34) se extiende entre la disposición receptora (40) y el módulo de punta de pala conductora (32).
 - 25 11. Conjunto de punta de pala según la reivindicación 1, en el que la disposición receptora (40) se encierra dentro de la pieza aislante (34) en una posición remota con respecto al módulo de punta de pala (32).
 12. Conjunto de punta de pala según la reivindicación 11, en el que la pieza aislante (34) es un bloque individual que encierra el acoplador (36) y la disposición receptora de rayos (40).
 - 30 13. Pala de turbina eólica (2) que comprende el conjunto de punta de pala (24) según cualquier reivindicación anterior, comprendiendo la pala de turbina eólica una carcasa de barlovento (16) y una carcasa de sotavento (14).
 14. Pala de turbina eólica según la reivindicación 13, en la que la pieza aislante (34) está intercalada entre la carcasa de barlovento (16) y la carcasa de sotavento (14).
 - 35 15. Pala de turbina eólica según las reivindicaciones 13 ó 14, en la que la pieza aislante (34) se extiende en una dirección en el sentido de la cuerda desde un borde de ataque (10) de la pala hacia un borde de salida (12) de la pala, y en una dirección en el sentido de la envergadura desde el módulo de punta de pala conductora (32) hacia una raíz de la pala.
 16. Método para ensamblar un conjunto de punta de pala (24) para una pala de turbina eólica (2), comprendiendo el método:
 - 40 proporcionar un módulo de punta de pala conductora (32);
 - dotar el módulo de punta de pala (32) de un acoplador (36) para acoplar eléctricamente el módulo de punta de pala a un conductor de bajada (28, 30) de un sistema de protección frente a rayos;
 - encerrar el acoplador con una pieza aislante (34);
 - disponer una base receptora (42) separada del módulo de punta de pala (32) y
 - 45 conectar la base receptora al acoplador (36) antes de encerrar la base receptora y el acoplador en la pieza aislante (34).
 17. Método según la reivindicación 16, que incluye unir un conductor de bajada (28, 30) al acoplador en una

junta antes de encerrar el acoplador (36) y la junta con la pieza aislante (34).

18. Método según la reivindicación 16, que incluye unir un conductor de bajada (28, 30) a la base receptora (42) antes de encerrar la base receptora y el acoplador (36) en la pieza aislante (34).

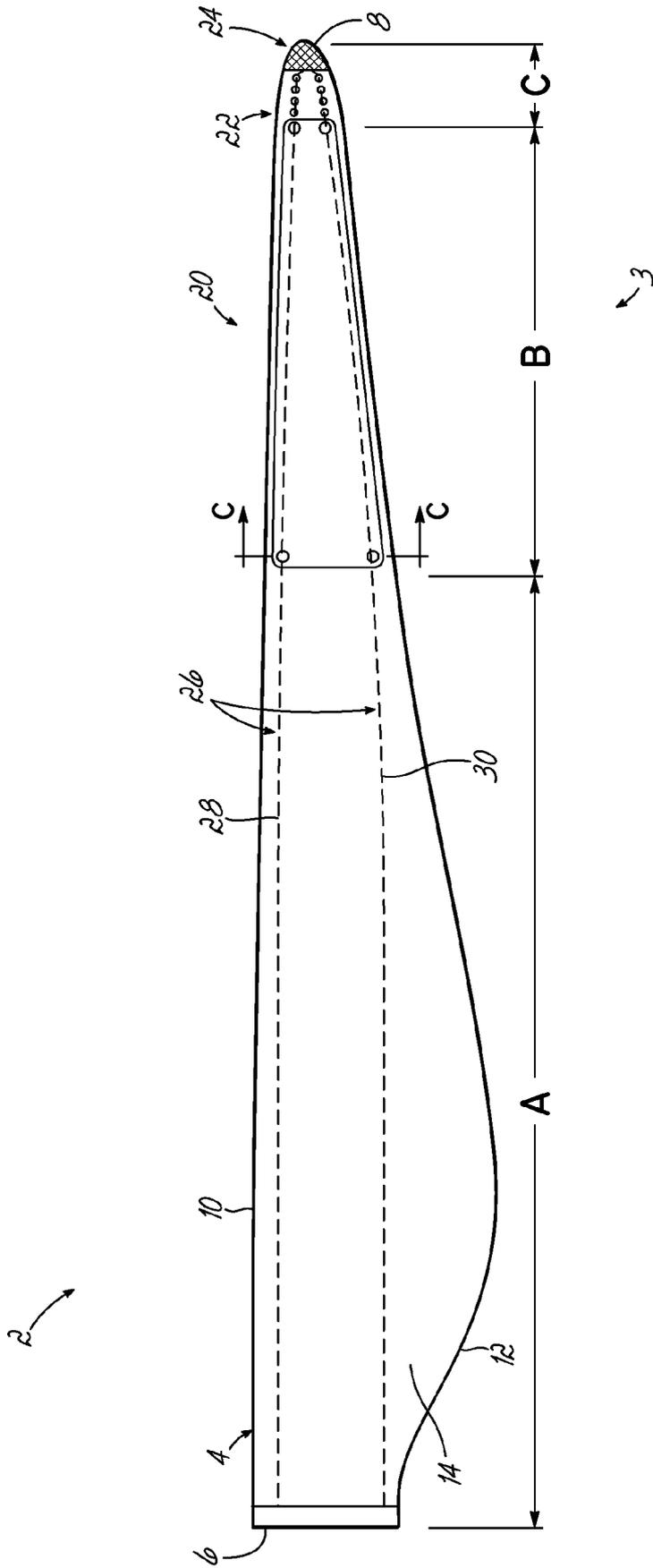


FIG. 1

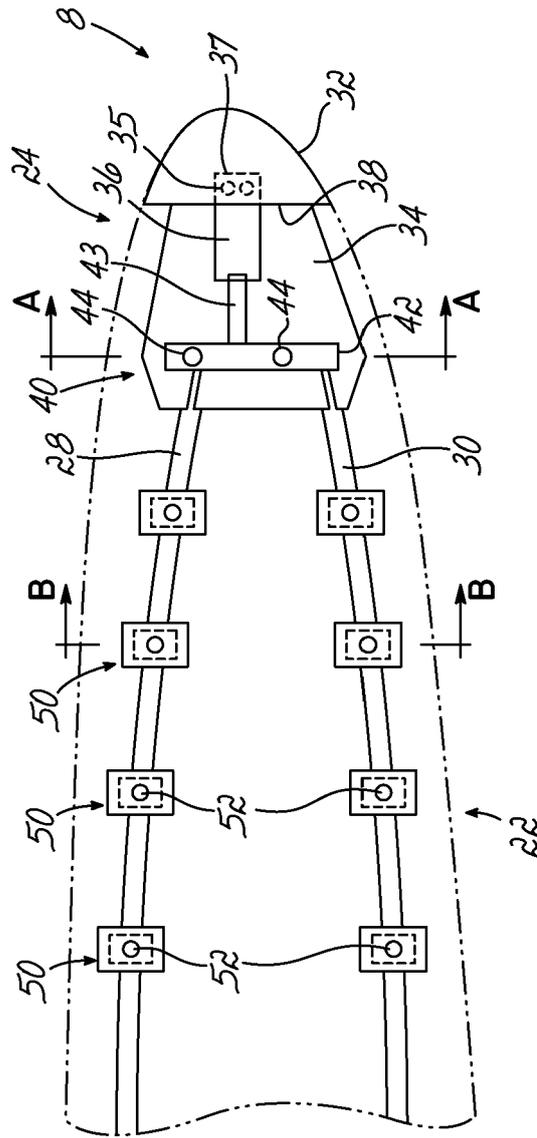


FIG. 2

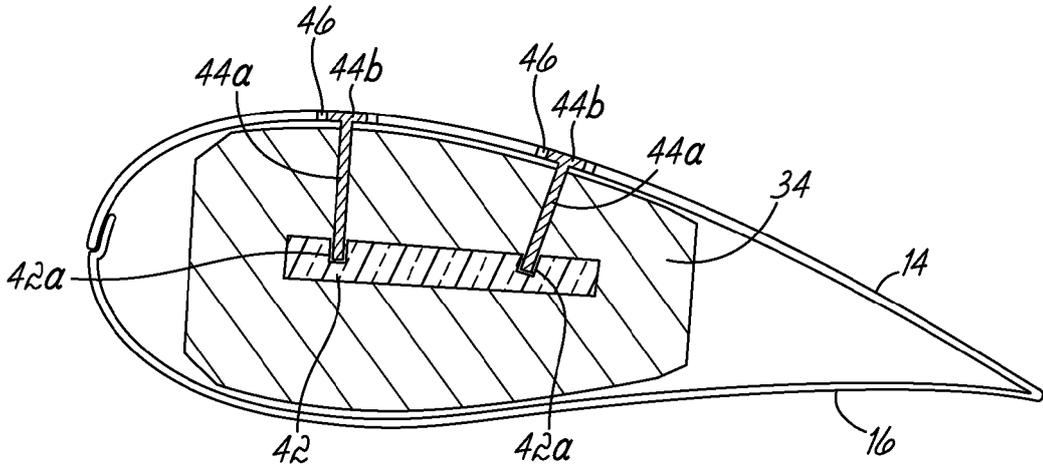


FIG. 3

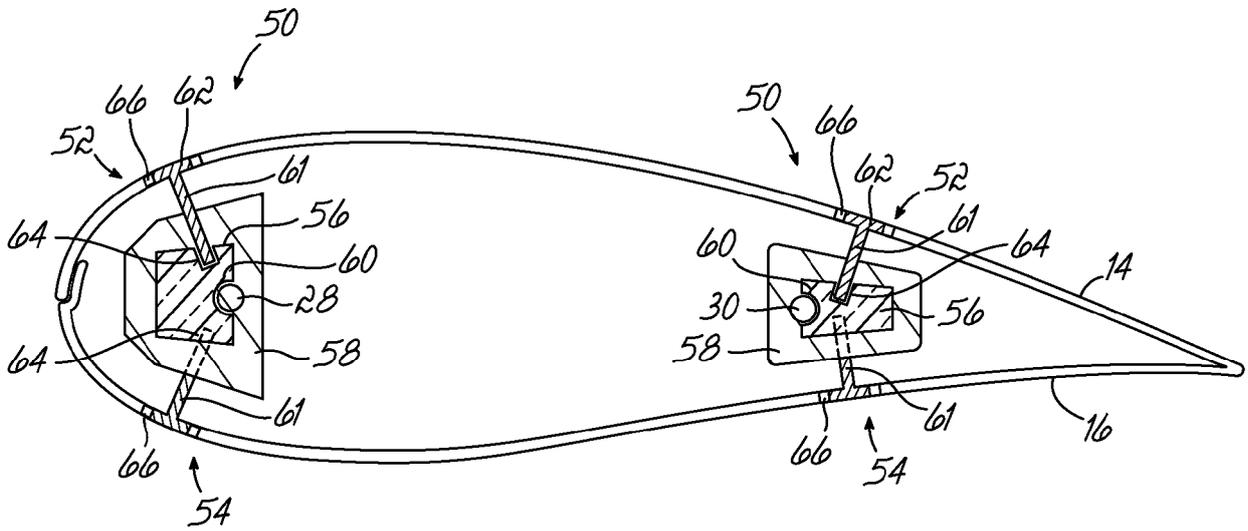


FIG. 4

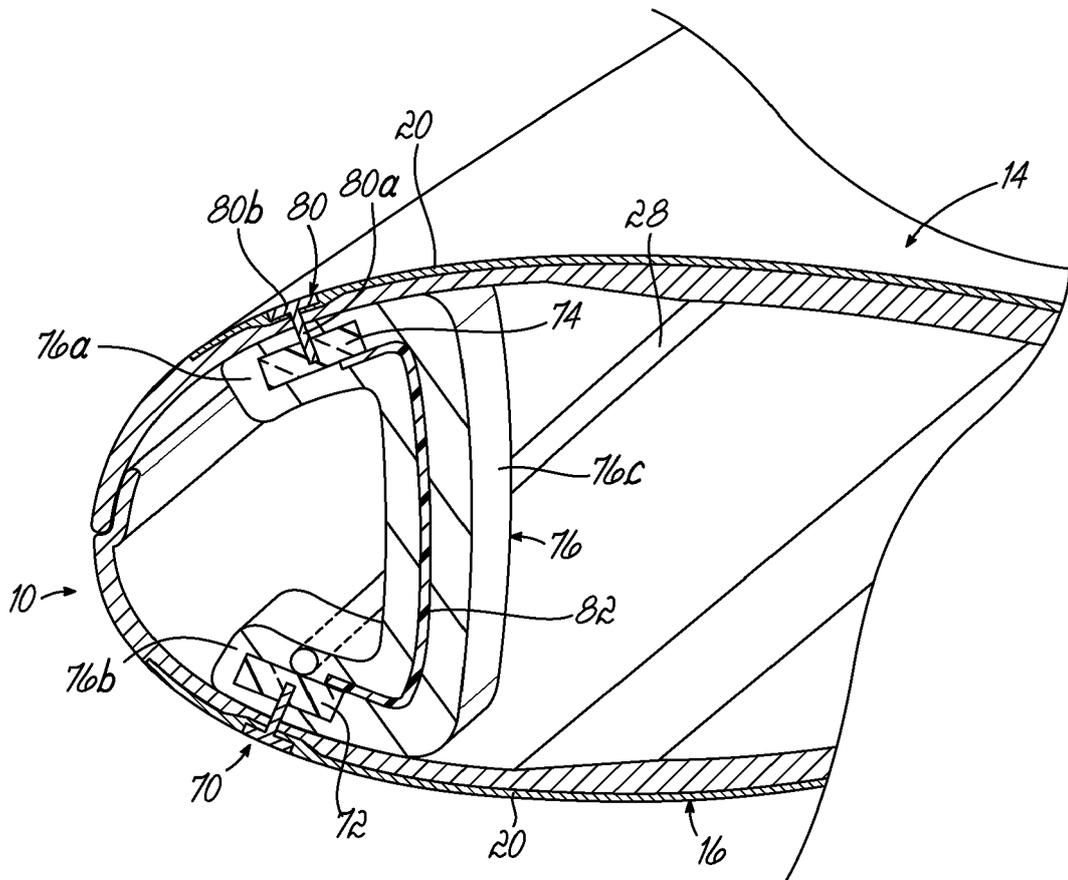


FIG. 5

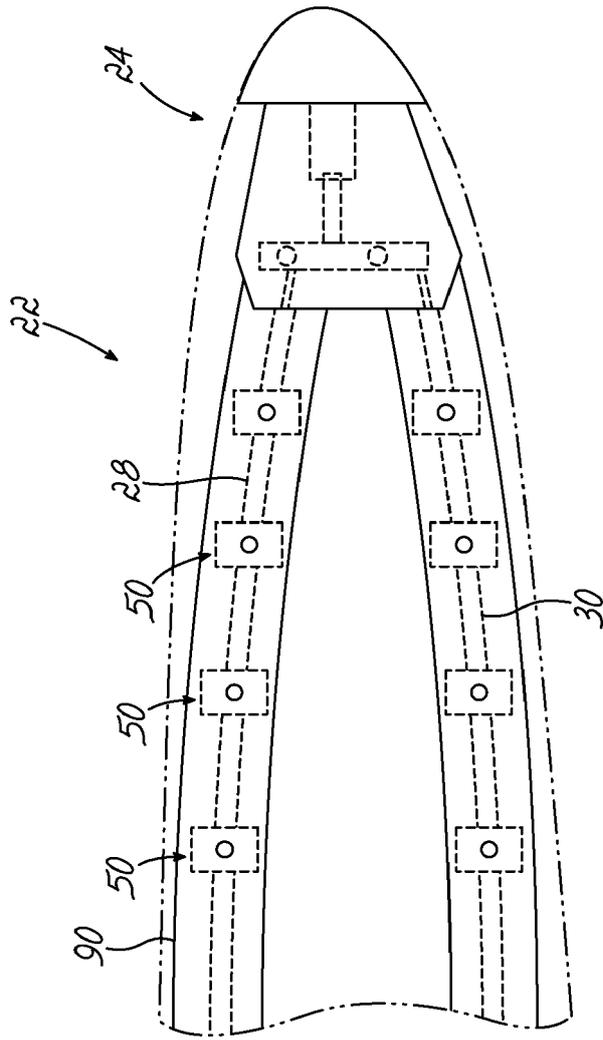


FIG. 6

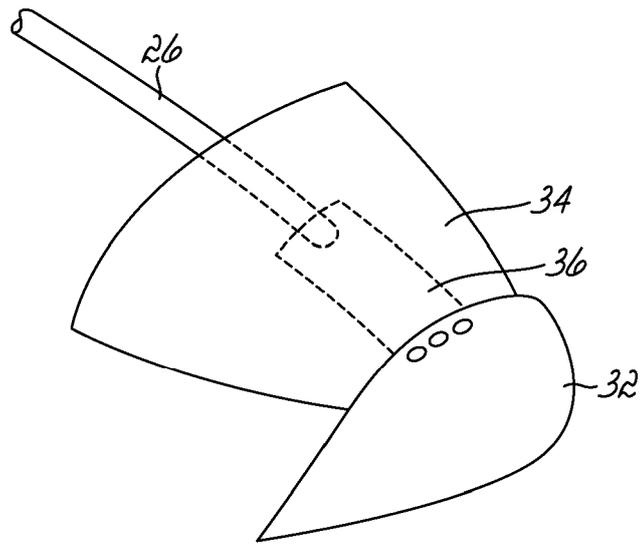


FIG. 7