(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 748 702**

(51) Int. Cl.:

F03D 1/06 (2006.01)
F03D 13/00 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.09.2015** **PCT/SE2015/050992**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **31.03.2016** **WO16048221**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.09.2015** **E 15844905 (8)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2019** **EP 3198139**

(54) Título: **Pala de rotor para turbina eólica**

(30) Prioridad:

25.09.2014 SE 1451129

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
17.03.2020

(73) Titular/es:

WINFOOR AB (100.0%)
Aldermansgatan 2
227 64 Lund, SE

(72) Inventor/es:

BERTHILSSON, RIKARD

(74) Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 748 702 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 rotor para turbina eólica

Campo técnico

La presente invención se relaciona con una pala de rotor, la cual puede usarse en una turbina eólica.

Antecedentes de la invención

Existe un creciente interés en las tecnologías de energía renovable en todo el mundo. Por ejemplo, las preocupaciones sobre el cambio climático están impulsando la producción de energía hacia tecnologías de energía renovable. Por lo tanto, la energía eólica es una fuente de energía importante y la cantidad de energía producida anualmente a través de la energía eólica está creciendo rápidamente.

La energía eólica es la conversión de la energía del viento en formas más útiles, tales como la electricidad. En este sentido, se utiliza una turbina eólica, la cual es un dispositivo que convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica. Una turbina eólica comprende un rotor que tiene un repartidor central, al cual están unidas una o más palas. El rotor está dispuesto a girar ya que las palas están sujetas a una masa de aire que pasa por la turbina eólica debido a un viento que sopla. La rotación del rotor genera así energía mecánica que puede convertirse en energía eléctrica en la turbina eólica.

Existen dos tipos principales de turbinas eólicas, las turbinas eólicas de eje horizontal (HAWT), en donde las palas giran alrededor de un eje horizontal, y las turbinas eólicas de eje vertical (VAWT), en donde las palas giran alrededor de un eje vertical. El tipo de turbina eólica más común para la producción de energía a gran escala es la HAWT y la discusión a continuación se dirige principalmente a las HAWTs.

Las palas están formadas con una sección transversal en forma de perfil aerodinámico. Esto implica que las palas están formadas de tal manera que la superficie en el lado del borde de ataque en la dirección de rotación de la pala hace que el aire que pasa por la superficie tome un camino más largo que el aire que pasa por la superficie en el lado del borde de salida. Por lo tanto, el aire que pasa sobre la superficie en el lado del borde de ataque viajará más rápido que el aire que pasa sobre la superficie en el lado del borde de salida. Por lo tanto, se forma una diferencia de presión, lo que resulta en una fuerza sobre la pala. Esta fuerza induce un torque alrededor de un eje del rotor lo cual hace que el rotor gire.

La velocidad de flujo relativa, que incluye velocidad y dirección, entre una pala en movimiento y el aire se denomina velocidad de flujo aparente. Cuando el aire pasa por la superficie de una pala en forma de perfil aerodinámico, ejerce una fuerza sobre ella que depende de la velocidad aparente del flujo y de la forma del perfil aerodinámico. La fuerza de sustentación es el componente de la fuerza que es perpendicular a la dirección de flujo aparente que se aproxima. Esto contrasta con la fuerza de resistencia, la cual es el componente de la fuerza paralela a la dirección aparente del flujo. Contrariamente a la fuerza de sustentación, la fuerza de resistencia tiende a contrarrestar el movimiento de la pala y se puede demostrar mediante un análisis matemático que con el fin de optimizar la eficiencia energética de la turbina, la pala debe diseñarse de manera que maximice la relación entre la fuerza de sustentación y la fuerza de resistencia.

La capacidad de producción de energía de una turbina eólica se ve afectada principalmente por la longitud de las palas. La potencia generada por una turbina eólica es proporcional al área barrida por las palas, la cual es proporcional al cuadrado de la longitud de las palas. Por lo tanto, una mayor longitud de las palas permite una mayor producción de energía de la turbina eólica.

Sin embargo, las palas también deben diseñarse teniendo en cuenta las cargas encontradas por las palas durante el funcionamiento de la turbina eólica. Las cargas aerodinámicas se forman a través de la velocidad aparente del flujo del aire. Las cargas aerodinámicas provocan un momento de flexión en la pala, el cual es el más cercana al repartidor. A la vez que las cargas aerodinámicas pueden variar debido a la velocidad del viento, las cargas aerodinámicas ejercidas sobre las palas también son proporcionales al cuadrado de la longitud de las palas.

Las palas también se someten a cargas de gravedad debido a la masa de la pala, y cuando la pala gira un círculo completo, la pala pasará por un ciclo de fatiga. Las cargas de gravedad son proporcionales al cubo de la longitud de la pala. Por lo tanto, aunque las cargas aerodinámicas dominan las palas de pequeño tamaño, las cargas de gravedad se volverán dominantes a medida que aumenta la longitud de las palas.

Por lo tanto, a medida que aumenta la longitud de las palas para aumentar la capacidad de producción de energía de las turbinas eólicas, las palas deben diseñarse prestando especial atención a las cargas de gravedad ejercidas sobre las palas. De lo contrario, existe el riesgo de falla por fatiga debido a la gran masa de la pala. Además, la pala larga provocará problemas relacionados con deformaciones, grietas y torsión de las palas. Por lo tanto, el diseño de la pala se vuelve difícil a medida que aumenta la longitud de la pala.

La masa de la pala y las cargas de gravedad asociadas, así como las cargas aerodinámicas, pueden obligar al diseño de la forma de la pala a comprometer la resistencia y la aerodinámica. En particular, cerca al repartidor, la pala puede necesitar un diseño el cual esté optimizado para proporcionar resistencia en lugar de características del perfil aerodinámico, lo cual implica que las propiedades aerodinámicas de la pala no serán óptimas.

Además, cuando se va a instalar la turbina eólica, las partes de la turbina eólica deben transportarse al sitio de la turbina eólica. La turbina eólica consta de partes muy grandes, tales como las palas largas, lo cual hace que el transporte de las partes al sitio sea una tarea difícil. Por ejemplo, las partes de la turbina eólica pueden ser mucho más largas que la longitud permitida en general de los vehículos, lo cual implica que se necesitan vehículos especiales para el transporte de las partes en tierra. Además, la masa de las partes de la turbina eólica también puede definir requisitos especiales para permitir el transporte de las partes al sitio. En conjunto, los problemas asociados con el transporte de palas largas limitarán el tamaño económicamente factible, al menos para las turbinas eólicas terrestres. Además, la instalación de las piezas en el sitio es engorrosa debido a la masa y la longitud de las piezas.

Además, el coste de la pala, por supuesto, aumenta con la masa de la pala. Dado que la masa de la pala es proporcional al cubo de la longitud de la pala, los costes de fabricación de una pala aumentan más rápidamente con la longitud de la pala que la capacidad de producción de energía de la turbina eólica.

Finalmente, una gran masa de la pala puede causar problemas con la torre y los cimientos de la turbina eólica, ya que la masa de la pala ejerce grandes cargas en estas partes de la turbina eólica. Además, el aumento de la masa de la pala provoca un aumento de las cargas en el repartidor del rotor mediante el aumento de la inercia rotacional.

A partir de lo anterior, está claro que cualquier modificación de las palas de las turbinas eólicas, de modo que la masa de las palas disminuya, mejoraría significativamente los problemas que se enfrentan en el diseño de las palas.

En el documento US 7,517,198, se divulga una pala de turbina eólica ligera. La pala de la turbina comprende una estructura de armadura de soporte compuesta ligera. La estructura de armadura de soporte está cubierta por un conjunto de revestimientos que forman la forma básica de la pala. Una serie de cuadernas separadas lateralmente forman una columna vertebral de la pala y definen la forma general del perfil aerodinámico. Sin embargo, la pala debe ser delgada para mantener bajas las cargas aerodinámicas. Esto implica que es difícil obtener una estructura fuerte. Por lo tanto, las cuadernas más cercanas al repartidor tienen una forma circular que proporciona resistencia a la estructura en lugar de buenas propiedades aerodinámicas.

En el documento EP 1 887 219, se divulga una estructura de pala especial. La estructura de la pala hace uso del hecho de que el momento de inercia de una pala puede aumentarse diseñando una sección de perfil de la pala de manera que se aumente la superficie de la sección y la distancia de la sección a una línea neutra. Además, la tensión que soporta un material de una sección en la estructura depende inversamente del momento de inercia, por lo que al aumentar el momento de inercia disminuye la tensión del material. Por lo tanto, dividiendo la pala en subpalas y separando las subpalas, el momento de inercia puede incrementarse sin aumentar el peso del material. Sin embargo, para lograr el mayor momento de inercia, las subpalas deben unirse firmemente. Por lo tanto, los enlaces están separados a lo largo de las subpalas. Aunque esta estructura permite disminuir la tensión que soporta un material de una sección en la estructura, el peso de la pala en principio no se reduce. Por lo tanto, aún puede ser necesario disminuir el peso de las palas. Además, las subpalas están sujetas a momentos de flexión, lo cual implica que las subpalas más cercanas al repartidor deben diseñarse para proporcionar resistencia a la subpala en lugar de propiedades aerodinámicas.

El documento US 1.820.529 divulga una pala de hélice provista de una pluralidad de perfiles aerodinámicos, que se fusionan en un vértice. Cada perfil aerodinámico se inclina hacia afuera hacia un extremo de soporte donde está rígidamente fijado a un eje de pala común. Una pluralidad de salientes está ubicada para ser sujetada entre la pluralidad de perfiles aerodinámicos, sustancialmente paralela al eje de la pala. Además, una estructura de amarre oblicua está rígidamente asegurada para reforzar en cruz un perfil aerodinámico con respecto a los demás de una pala dada a lo largo de su longitud.

Se pueden encontrar ejemplos adicionales de palas de turbina eólica de la técnica anterior en los documentos WO 2014 056507 y US 4 081 221.

Resumen de la invención

Es un objeto de la invención proporcionar un diseño de una pala para un rotor de una turbina eólica que permita la fabricación de palas de rotor que sean largas y fuertes, a la vez que sean ligeras. Es un objeto adicional de la invención proporcionar una pala liviana sin afectar sustancialmente la eficiencia de la turbina eólica.

Estos y otros objetos de la invención se cumplen al menos en parte mediante la invención tal como se define en las reivindicaciones independientes. Las realizaciones preferidas se exponen en las reivindicaciones dependientes.

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona una pala para un rotor de una turbina eólica, comprendiendo dicha pala: una estructura tridimensional en forma de armadura que tiene miembros de puntal que forman la estructura en forma de armadura, en donde una pluralidad de los miembros de puntal en la estructura en forma de armadura tiene una sección transversal en forma de perfil aerodinámico.

Como se usa en este documento, una “estructura en forma de armadura” debe interpretarse como un marco tridimensional de miembros. El armazón constituye así una estructura tridimensional que forma la forma general de la pala. Una armadura es una estructura que está formada por miembros rectos (puntales) que están conectados en las uniones para formar unidades de triángulos. La estructura debe tener suficientes miembros para hacerla estable y rígida contra las fuerzas que actúan en las uniones. Además, los miembros deben poder girar libremente alrededor de las uniones. En una armadura, los momentos (torques) no pueden transferirse dentro de la armadura y, por lo tanto, los miembros están sujetos solo a fuerzas axiales (fuerzas de tracción y compresión). Dentro del contexto de esta aplicación, la “estructura en forma de armadura” debe interpretarse como una armadura, pero no necesariamente con uniones que no pueden transferir ningún momento. Por ejemplo, al menos tres miembros pueden estar conectados en una unión, pero no todos los miembros necesitan estar conectados exactamente en un solo punto. En cambio, uno o dos de los miembros pueden estar conectados cerca de la unión, pero no en una posición exacta que conecte a todos los miembros en la unión. Una armadura bidimensional es aquella en donde todos los miembros y uniones se encuentran dentro de un plano bidimensional, a la vez que una armadura tridimensional tiene miembros y uniones que se extienden en tres dimensiones. De hecho, una armadura tridimensional es la unión de unidades de tetraedro de tal manera que, para miembros rígidos, forma una configuración rígida contra las fuerzas que actúan en las uniones en cualquier dirección. Este no es el caso para una armadura bidimensional. Por lo tanto, la “estructura tridimensional en forma de armadura” debe interpretarse como una “estructura en forma de armadura” que comprende unidades de tetraedro. Un miembro individual en la estructura puede ser parte de una pluralidad, tal como dos o más, de unidades de tetraedro.

Es una idea de la invención que la pala para un rotor de una turbina eólica puede estar formada por una estructura en forma de armadura. Gracias a la estructura en forma de armadura, los miembros de puntal en general solo se someterán a fuerzas de tracción o compresión. Por lo tanto, la estructura en forma de armadura puede formar una estructura fuerte y estable, aunque los miembros de puntal individuales de la estructura en forma de armadura pueden ser relativamente delgados y livianos. Por lo tanto, por medios de la invención, es posible formar una pala para un rotor de una turbina eólica que es considerablemente más larga, más fuerte y ligera que una pala que tiene una forma unitaria.

La pala de acuerdo con la invención puede formarse como una estructura en voladizo. Por lo tanto, la pala está dispuesta para anclarse solo en una porción de raíz más cercana a un centro de la turbina eólica. Por lo tanto, la pala deberá resistir las fuerzas ejercidas sobre la estructura en voladizo. Gracias a la estructura en forma de armadura de la pala, se proporciona una estructura fuerte y estable.

Además, la estructura en forma de armadura de acuerdo con la invención está provista de una pluralidad de miembros de puntal que tienen una sección transversal en forma de perfil aerodinámico. Esto implica que los miembros de puntal que forman parte de la estructura en forma de armadura están conformados para causar una fuerza de sustentación sobre la pala cuando un viento pasa por la pala. Por lo tanto, la estructura en forma de armadura no solo proporciona una estructura ligera y estable de la pala, sino que también proporciona a la pala características para hacer que la pala gire a medida que la pala se somete a un viento que sopla.

Los miembros de puntal que tienen una sección transversal en forma de perfil aerodinámico están soportados por la estructura en forma de armadura. Por lo tanto, el diseño de los miembros de puntal no necesita estar particularmente limitado por los requisitos de que el miembro de puntal tenga una rigidez que resista las cargas aerodinámicas y las cargas de gravedad ejercidas sobre la pala. Esto implica que la forma de los miembros de puntal puede optimizarse a las propiedades aerodinámicas, incluso para las partes de los miembros de puntal más cercanas al repartidor del rotor.

La pluralidad de miembros de puntal que tienen una sección transversal en forma de perfil aerodinámico puede estar dispuesta de manera que la forma de perfil aerodinámico de los miembros de puntal tenga un ángulo sustancialmente similar en relación con una dirección de la sección transversal de la pala. Esto implica que la forma del perfil aerodinámico de la pluralidad de miembros de puntal cooperará de modo que el viento que actúa sobre la pala pueda generar una gran fuerza de sustentación común. Además, la pala puede girarse en relación con una dirección del viento de tal manera que las formas de perfil aerodinámico de los miembros de puntal estén dispuestas con un ángulo de ataque común contra la dirección del viento. Por lo tanto, la fuerza de sustentación generada comúnmente por la pluralidad de miembros de puntal puede controlarse y optimizarse fácilmente controlando la relación de la pala con la dirección del viento. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el aire que pasa por un miembro de puntal afectará el flujo de aire alrededor del miembro de puntal. Por lo tanto, si los miembros de puntal están dispuestos en estrecha relación entre sí, el ángulo de ataque de las formas de perfil aerodinámico de los miembros de puntal adyacentes puede necesitar ser ligeramente diferente para tener en cuenta el efecto de los miembros de puntal en el flujo de aire y optimizar la fuerza de sustentación común generada por la pluralidad de miembros de puntal.

La estructura en forma de armadura implica que la forma de la pala no está completamente optimizada a partir de un punto de vista aerodinámico. Dado que la estructura comprende una pluralidad de miembros, el aire que pasa sobre la pluralidad de miembros contribuirá a aumentar la fuerza de resistencia sobre la pala. Sin embargo, una relación de sustentación a resistencia de la pala todavía puede ser relativamente buena y no diferir sustancialmente de una pala que tiene una forma unitaria. Por lo tanto, a la vez que la eficiencia de la pala puede no ser tan buena como una pala igualmente larga que tiene una forma unitaria, el peso ligero de la estructura en forma de armadura puede permitir la construcción de una turbina eólica de dimensiones mucho más grandes para proporcionar una gran capacidad de producción de energía de la turbina eólica. Además, la estructura en forma de armadura ligera permite que se use una cantidad relativamente pequeña de material en la fabricación de la turbina eólica, en donde no solo las palas sino también una torre y base de la turbina eólica pueden necesitar menos material debido al menor peso de las palas Por lo tanto, disminuirá el coste del material de la turbina eólica.

Puede ser particularmente ventajoso usar una pala que comprenda una estructura en forma de armadura en una turbina eólica de alta mar, ya que el transporte de partes de la turbina eólica a un sitio de alta mar puede ser relativamente fácil usando barcos. Por lo tanto, el tamaño de las turbinas eólicas de alta mar se puede aumentar gracias al uso de palas livianas. Sin embargo, las palas que comprenden una estructura en forma de armadura también pueden usarse ventajosamente en turbinas eólicas terrestres, en donde el peso liviano de las palas puede facilitar el transporte y también permitir la instalación de turbinas eólicas en sitios de difícil acceso.

La estructura en forma de armadura de la pala puede proporcionar una desviación relativamente pequeña de una punta de la pala gracias a una gran rigidez a la flexión de la pala. En vientos fuertes, la desviación de la punta puede ser tan grande que la pala puede golpear la torre al girar. Por lo tanto, al proporcionar una pala con gran rigidez a la flexión, la turbina eólica puede funcionar con vientos fuertes, lo que aumenta el porcentaje de tiempo que la turbina eólica está operativa y, por lo tanto, aumenta la eficiencia general de la turbina eólica.

La pala que comprende una estructura en forma de armadura puede estar dispuesta para ser compatible con los diseños HAWT existentes y específicamente para ajustarse al núcleo de las HAWTs existentes. Esto implica que la pala puede usarse con HAWTs existentes y que puede no ser necesario instalar turbinas eólicas completamente nuevas para hacer uso de las palas de acuerdo con la invención.

Además, debe tenerse en cuenta que una pala de acuerdo con la invención también se puede usar con una VAWT, proporcionando a la pala de una VAWT una estructura en forma de armadura para proporcionar una pala ligera a una VAWT.

La pala puede ser entregada en partes a un sitio donde se instalará una turbina eólica. Por ejemplo, la pala puede ser entregada como miembros individuales separados de la estructura en forma de armadura. Alternativamente, la pala puede entregarse como secciones de miembros ensamblados de la estructura en forma de armadura. Debe tenerse en cuenta que la pala puede dividirse de diversas maneras diferentes para el transporte con el fin de adaptarse al método de transporte y la cantidad de trabajo de instalación que puede ser apropiado en el sitio.

Además, una pala de acuerdo con la invención no necesita basarse enteramente en una estructura uniforme de armadura. Por ejemplo, las cargas por gravedad en la punta de la pala no son tan grandes como más cerca del repartidor. Esto implica que la estructura en forma de armadura puede no necesitar ser diseñada en la punta de la pala para soportar cargas tan grandes. Por lo tanto, la estructura de tipo armadura en la punta de la pala puede comprender menos miembros que la estructura de tipo armadura más cerca del repartidor. Debe tenerse en cuenta que la estructura en forma de armadura puede variar entre diferentes partes de la pala también por otras razones.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona una sección de una pala para un rotor de una turbina eólica, comprendiendo dicha sección: un primer y un segundo conector, cada uno de los cuales se extiende en una dirección transversal de la pala; un primer y un segundo miembro de puntal longitudinal, cada uno de los cuales se extiende sustancialmente a lo largo de una dirección longitudinal de la pala y está conectado al primer y segundo conectores; y un miembro de puntal diagonal que se extiende a partir de un punto de conexión entre el primer miembro de puntal longitudinal y el primer conector hasta un punto de conexión entre el segundo miembro de puntal longitudinal y el segundo conector; en donde al menos un miembro de puntal longitudinal o un miembro de puntal diagonal tiene una sección transversal en forma de perfil aerodinámico.

Una sección de una pala de acuerdo con el segundo aspecto de la invención puede ser adecuada para el transporte a un sitio donde se va a instalar la turbina eólica. Por lo tanto, diversas de dichas secciones pueden estar conectadas en el sitio para formar la pala completa. Las secciones se pueden conectar a través de un conector de una primera sección que se une a un conector de una segunda sección.

Las dimensiones de las secciones pueden estar disminuyendo gradualmente de modo que se pueda formar una pala que tenga una porción de punta que tenga una sección transversal más pequeña que una porción de raíz más cercana al repartidor. Por lo tanto, el primer conector de la sección puede ser más grande que el segundo conector para proporcionar una pala que se estrecha gradualmente hacia la punta.

Además, la estructura en forma de armadura de las secciones no necesita ser idéntica para diferentes secciones. Por ejemplo, la estructura en forma de armadura de una sección cercana a la punta puede comprender menos miembros que la estructura en forma de armadura de una sección más cercana al repartidor, ya que la sección cercana a la punta se somete a cargas de gravedad más pequeñas.

Un miembro de puntal diagonal, un miembro de puntal longitudinal y un conector juntos forman una forma triangular a través de cómo están conectados en la sección. Esto implica que la sección proporciona una estructura en forma de armadura y, por lo tanto, proporcionará una estructura fuerte y estable a la pala como se discutió anteriormente con respecto al primer aspecto de la invención. Se puede proporcionar una sección con una pluralidad de miembros de puntal diagonal que se extienden a partir de un punto de conexión entre un miembro de puntal longitudinal y el primer conector hasta un punto de conexión entre otro miembro de puntal longitudinal y el segundo conector. El número de miembros de puntal diagonal puede variar de diversas maneras para formar diferentes tipos de estructuras en forma de armadura. El número de miembros de puntal diagonal asociados con pares de miembros de puntal longitudinal en la estructura en forma de armadura también puede variar en la estructura en forma de armadura. Los miembros de puntal diagonal se pueden unir a los conectores en los puntos de conexión. Alternativamente, los miembros de puntal diagonal pueden estar unidos a los miembros de puntal longitudinal en los puntos de conexión. Como una alternativa adicional, los miembros de puntal diagonal, los miembros de puntal longitudinal y los conectores se pueden conectar mediante uniones de pasador en los puntos de conexión con el fin de formar una verdadera estructura de armadura.

Se puede unir un miembro de puntal diagonal en el punto de conexión actual entre el miembro de puntal longitudinal y el conector. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el miembro de puntal diagonal se puede unir alternativamente al conector o al miembro de puntal longitudinal en la proximidad del punto de conexión. Por lo tanto, el miembro de puntal diagonal, el miembro de puntal longitudinal y el conector pueden formar una forma la cual es casi triangular. Esto puede ser suficiente para formar una estructura en forma de armadura que proporcione una estructura fuerte y estable a la pala.

El primer y segundo miembros de puntal longitudinal pueden tener una sección transversal en forma de perfil aerodinámico. Dado que los miembros de puntal longitudinal se extienden en la dirección longitudinal de la pala, una sección transversal en forma de perfil aerodinámico de los miembros de puntal longitudinal actuará para generar una fuerza de sustentación en la dirección de rotación de la pala a medida que la pala está sujeta al viento.

Los miembros de puntal diagonal pueden tener de forma alternativa o adicional una sección transversal en forma de perfil aerodinámico. Los miembros de puntal diagonal se extienden en la dirección longitudinal de la pala, aunque no sean paralelos a la dirección longitudinal. Esto implica que una sección transversal en forma de perfil aerodinámico del miembro de puntal diagonal puede actuar para generar una fuerza de sustentación en la dirección de rotación de la pala. Además, una sección transversal en forma de perfil aerodinámico de un miembro de puntal diagonal puede ser ventajosa para impedir que surja el aleteo o vibraciones en el miembro de puntal diagonal.

Los miembros de puntal que tienen una sección transversal en forma de perfil aerodinámico pueden estar dispuestos para tener una dimensión relativamente grande de la sección transversal con el fin de aumentar la superficie que está sujeta a un viento que sopla y proporcionar una gran fuerza de sustentación. El grosor de un miembro de puntal debería ser suficiente para proporcionar un soporte adecuado de la estructura de la pala. Sin embargo, con el fin de que el miembro de puntal proporcione una fuerza de sustentación deseada cuando esté sujeto a un viento que sopla, las dimensiones de la sección transversal del miembro de puntal pueden necesitar ser aumentadas. Por lo tanto, dichos miembros de puntal pueden diseñarse para tener una sección transversal deseada con el fin de proporcionar las propiedades aerodinámicas deseadas cuando están sujetas a un viento que sopla. En una realización, los miembros de puntal pueden ser al menos parcialmente huecos para que las dimensiones exteriores deseadas de los miembros de puntal a partir de un punto de vista aerodinámico se puedan lograr a la vez que se restringe la cantidad de material para la fabricación del miembro de puntal.

De acuerdo con una realización, se proporcionan tres miembros de puntal longitudinal que tienen una sección transversal en forma de perfil aerodinámico que está adaptada para generar una fuerza de sustentación deseada cuando está sujeta a un viento que sopla. Por lo tanto, las dimensiones de la sección transversal de los miembros de puntal longitudinal son relativamente grandes. En este caso, los miembros de puntal longitudinal pueden formar subpalas que son las principales responsables de impulsar la rotación de la pala cuando está sujeta a un viento que sopla.

De acuerdo con un tercer aspecto de la invención, se proporciona una subpala para una pala para un rotor de una turbina eólica, en donde la subpala es alargada y tiene una sección transversal en forma de perfil aerodinámico, las proporciones de la sección transversal en forma de perfil aerodinámico de la subpala alargada son constantes en prácticamente toda la longitud de la subpala alargada, en donde la subpala está fabricada con un ángulo de rotación de la sección transversal en forma de perfil aerodinámico alrededor de un eje longitudinal de la subpala que es constante y la subpala está configurada para permitir girar la sección transversal en forma de perfil aerodinámico alrededor del eje longitudinal de manera diferente a lo largo del eje longitudinal para proporcionar una torsión de la subpala a lo largo de su eje longitudinal.

La subpala de acuerdo con la invención es adecuada para su uso en una pala para un rotor de una turbina eólica de acuerdo con el primer aspecto de la invención. La subpala puede transportarse como una parte separada a un sitio donde se instalará la turbina eólica.

La subpala puede estar provista de proporciones constantes de la sección transversal en forma de perfil aerodinámico a lo largo de sustancialmente toda la longitud de la subpala. El diseño de la subpala no necesita adaptarse en gran medida a los requisitos de resistencia de la pala en la porción de la raíz, de modo que el diseño de la subpala, incluso en la porción de la raíz, pueda estar provisto de una sección transversal en forma de perfil aerodinámico. Cuando la subpala está hecha parte de una pala de acuerdo con el primer aspecto de la invención, la estructura en forma de armadura de la pala puede contribuir a la resistencia de la pala de tal manera que el diseño de la subpala puede dirigirse principalmente a lograr buenas propiedades aerodinámicas de la subpala.

La subpala puede fabricarse como un elemento recto y alargado, es decir, un ángulo de rotación de la sección transversal en forma de perfil aerodinámico alrededor de un eje longitudinal de la subpala es constante a lo largo de la longitud de la subpala. Esto puede facilitar la fabricación de la subpala.

Dado que la punta de la pala se mueve más rápido a través del aire que la raíz de la pala, el ángulo aparente del viento difiere entre la punta de la pala y la raíz de la pala. Por lo tanto, en una turbina eólica instalada, puede desearse que la subpala esté torcida, es decir, el ángulo de rotación de la sección transversal en forma de perfil aerodinámico alrededor del eje longitudinal de la subpala difiere a lo largo de la longitud de la subpala, de modo que el ángulo de ataque de la subpala al ángulo aparente del viento es constante a lo largo del eje longitudinal de la subpala. Sin embargo, la subpala puede adaptarse para formar parte de una estructura de la pala. Por lo tanto, una torsión de la subpala se puede lograr forzando la torsión en la pala durante el montaje de la pala. Por ejemplo, los conectores de la pala pueden estar dispuestos para controlar el ángulo de rotación de la sección transversal en forma de perfil aerodinámico de la subpala de tal manera que se logra una torsión de la subpala cuando la subpala está montada en los conectores.

De acuerdo con un cuarto aspecto de la invención, se proporciona un conector para conectar subpalas de una pala para un rotor de una turbina eólica, comprendiendo dicho conector: una pluralidad de estructuras en forma de placa, cada una con un orificio pasante para recibir una subpala; en donde la pluralidad de estructuras en forma de placa están conectadas entre sí para conectar las subpalas de la pala.

Es ventajoso que las estructuras en forma de placa tengan la menor superficie posible. Esto se debe a razones de seguridad, reducción de masa, facilidad de transporte y eficiencia aerodinámica, y se vuelve cada vez más importante cuanto más grande es la estructura. La superficie en forma de placa se puede minimizar al permitir que una forma del conector se acerque a un triángulo formado por tres puntales que están conectados a las subpalas.

El conector es adecuado para su uso en una pala de acuerdo con el primer aspecto de la invención. Una pala puede comprender una pluralidad de conectores, los cuales se pueden montar en diferentes posiciones a lo largo de la longitud de la pala. Los conectores pueden fabricarse y entregarse por separado en un sitio donde se instalará la turbina eólica para el montaje de la pala en el sitio.

Un conector puede comprender un orificio pasante para controlar la posición de una subpala en relación con el conector. De acuerdo con una realización, el orificio pasante está en ángulo en la estructura en forma de placa con el fin de controlar un ángulo de rotación de la sección transversal en forma de perfil aerodinámico alrededor de un eje longitudinal de la subpala. Por lo tanto, se puede disponer una serie de conectores para que se coloquen a lo largo de la pala para controlar o provocar una torsión de las subpalas.

Las estructuras en forma de placa del conector pueden estar construidas por una parte interna y una parte externa, de modo tal que la parte externa se pueda unir a la parte interna una vez que la parte interna se haya posicionado correctamente en relación con las subpalas. Esto implica que las subpalas pueden no necesitar ser guiadas a través del conector durante el montaje de la pala. Más bien, las estructuras en forma de placa del conector pueden ensamblarse, cuando el conector está en su posición correcta alrededor de las subpalas.

Dado que el conector tiene estructuras en forma de placa alrededor de las subpalas, cuyas estructuras están conectadas entre sí, el conector puede formarse como una pluralidad de placas que tienen partes de unión entre ellas y el conector puede tener un orificio entre las partes de unión. Esto implica que el conector puede fabricarse con una pequeña cantidad de material.

El conector también puede funcionar como una aleta. Esto implica que el conector puede actuar para disminuir el flujo de aire a lo largo de una dirección longitudinal de la pala. Por lo tanto, el flujo de aire sobre la punta de la pala puede disminuir, lo cual puede impedir la pérdida de eficiencia de la pala en la punta de la pala.

De acuerdo con un quinto aspecto de la invención, se proporciona un método para el ensamblaje de una pala para un rotor de una turbina eólica, dicho método se realiza en un sitio de la turbina eólica y comprende: suministrar una pluralidad de conectores al sitio, cada conector comprende una pluralidad de estructuras en forma de placa, cada una

con un orificio pasante, en donde la pluralidad de estructuras en forma de placa están conectadas entre sí; suministrar una pluralidad de subpalas alargadas que tienen una sección transversal en forma de perfil aerodinámico; insertar cada subpala a través de un orificio pasante de cada conector, en donde los orificios pasantes tienen un ángulo diferente en los conectores de manera que se controle una torsión de la sección transversal en forma de perfil aerodinámico de la subpala a lo largo de una dirección longitudinal de la subpala.

De acuerdo con el método, se puede ensamblar una pala que proporcione subpalas que pueden presentar propiedades aerodinámicas para la pala y los conectores que se unen a las subpalas para formar una pala común. El método es especialmente adecuado para el montaje de palas en un sitio donde se instalará una turbina eólica. Por lo tanto, las partes de la pala pueden transportarse al sitio por separado.

El método puede comprender además unir miembros de puntal diagonal para extenderse a partir de un punto de conexión entre una primera subpala y un primer conector a un punto de conexión entre una segunda subpala y un segundo conector. Esto implica que las subpalas, los conectores y los miembros de puntal diagonal pueden formar una estructura en forma de armadura para formar una pala fuerte. Los miembros de puntal diagonal también pueden transportarse por separado al sitio y pueden montarse en la pala en el sitio.

De acuerdo con una realización del primer aspecto de la invención, la estructura en forma de armadura comprende una pluralidad de miembros de puntal longitudinal que se extienden sustancialmente a lo largo de una dirección longitudinal de la pala, en donde los miembros de puntal longitudinal tienen una sección transversal en forma de perfil aerodinámico. Dado que los miembros de puntal longitudinal se extienden en la dirección longitudinal de la pala, una sección transversal en forma de perfil aerodinámico de los miembros de puntal longitudinal actuará para generar una fuerza de sustentación en la dirección de rotación de la pala, ya que la pala está sujeta a un viento que sopla.

De acuerdo con otra realización, la estructura en forma de armadura comprende además al menos un conector, en donde el al menos un conector está dispuesto para extenderse en una dirección transversal de la pala y está conectado a una pluralidad de miembros de puntal longitudinal que se extienden sustancialmente a lo largo de una dirección longitudinal de la pala. El conector puede unir los miembros de puntal longitudinal entre sí. El conector también puede estar dispuesto para controlar el posicionamiento de los miembros de puntal longitudinal en relación entre sí y la orientación de la sección transversal en forma de perfil aerodinámico de los miembros de puntal longitudinal en la pala de forma que se asegure que la pala exhiba buenas propiedades aerodinámicas.

De acuerdo con otra realización, la estructura en forma de armadura comprende además una pluralidad de miembros de puntal diagonal, en donde un miembro de puntal diagonal se extiende a partir de un punto de conexión entre un primer miembro de puntal longitudinal y un primer conector hasta un punto de conexión entre un segundo miembro de puntal longitudinal y un segundo conector. Un miembro de puntal diagonal, un miembro de puntal longitudinal y un conector pueden formar juntos una forma triangular a través de cómo están conectados. Esto implica que el miembro de puntal diagonal, los miembros de puntal longitudinal y los conectores pueden formar una serie de triángulos para implementar una estructura en forma de armadura. En conjunto, los triángulos forman una estructura que es la unión de unidades de tetraedro.

De acuerdo con otra realización, el al menos un conector comprende una estructura en forma de placa que tiene un orificio pasante para recibir un miembro de puntal longitudinal. El orificio pasante puede actuar así para controlar el posicionamiento del miembro de puntal longitudinal en la pala.

De acuerdo con una realización, el orificio pasante está en ángulo en la estructura en forma de placa para controlar una torsión del miembro de puntal longitudinal a lo largo de la dirección longitudinal de la pala. La orientación o el ángulo del orificio pasante pueden controlar la orientación del miembro de puntal longitudinal en relación con un conector. Una serie de conectores puede tener orificios pasantes con ángulos diferentes de manera que cuando un miembro de puntal longitudinal esté dispuesto para pasar a través de la serie de conectores, se pueda lograr una torsión del miembro de puntal longitudinal.

De acuerdo con una realización, las proporciones de la sección transversal en forma de perfil aerodinámico de los miembros de puntal longitudinal son constantes en prácticamente toda la longitud de los miembros de puntal longitudinal. En particular, los miembros de puntal longitudinal pueden tener una sección transversal en forma de perfil aerodinámico en la porción de raíz del miembro de puntal longitudinal de modo que la porción de raíz del miembro de puntal longitudinal pueda contribuir a impulsar la rotación de la pala.

De acuerdo con una realización, los miembros de puntal longitudinal están separados a lo largo de una dirección longitudinal completa de la pala. Esto implica que los flujos alrededor de los elementos de puntal longitudinal individuales interferirán entre sí y, por lo tanto, afectarán negativamente la eficiencia aerodinámica de la pala. En particular, los miembros de puntal longitudinal se pueden separar en una punta de la pala, donde se extrae la mayor parte de la energía del viento.

En una realización, los miembros de puntal longitudinal pueden estar separados por una distancia mínima, la cual está relacionada con una longitud de cuerda de los miembros de puntal longitudinal. Por ejemplo, la distancia mínima puede

establecerse como un factor multiplicado por la longitud de la cuerda, en donde el factor puede ser 1. Sin embargo, en una realización, el factor puede ser al menos 2, lo cual puede proporcionar una separación de los miembros de puntal longitudinal de manera que la pala tiene una buena eficiencia aerodinámica.

De acuerdo con un sexto aspecto de la invención, se proporciona una turbina eólica, que comprende al menos una pala de acuerdo con el primer aspecto de la invención. De este modo, la turbina eólica puede hacer uso de las propiedades de peso ligero de una o más palas para que se pueda formar una turbina eólica a gran escala o que el coste de fabricación de la turbina eólica se pueda reducir mediante la pequeña cantidad de material necesario.

Breve descripción de los dibujos

Estos y otros aspectos de la presente invención se describirán ahora con más detalle, con referencia a los dibujos adjuntos que muestran las realizaciones de la invención.

La Figura 1 es una vista esquemática de una turbina eólica de eje horizontal.

La Figura 2 es una vista en perspectiva de la pala de acuerdo con una realización de la invención.

La Figura 3 es una vista esquemática de una sección transversal de una subpala de la pala en la Figura 2.

La Figura 4 es una vista en perspectiva de un conector de la pala de la Figura 2.

La Figura 5 es una vista en perspectiva de una sección de la pala de la Figura 2.

La Figura 6 es una vista esquemática de un conector de raíz para la pala de la Figura 2.

La Figura 7 es un diagrama de flujo de un método para ensamblar una pala de acuerdo con una realización de la invención.

Descripción detallada

La presente invención se describirá ahora más completamente a continuación con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales se muestran las realizaciones preferidas actualmente de la invención. Sin embargo, esta invención puede realizarse de diversas formas diferentes y no debe interpretarse como limitada a las realizaciones definidas en este documento; más bien, estas realizaciones se proporcionan para minuciosidad e integridad, y transmiten completamente el alcance de la invención a la persona experta.

Con referencia ahora a la Figura 1, se muestra una turbina 100 eólica de eje horizontal. La turbina 100 eólica comprende un rotor 102. El rotor 102 tiene palas 104 y un repartidor 106 central al cual están unidas las palas 104 de manera que las palas 104 forman estructuras en voladizo que están ancladas solo al repartidor 106 central. El rotor 102 captura energía de una masa de aire que pasa el rotor 102 debido a un viento que sopla. La energía se captura a través del viento que obliga a las palas 104 a hacer girar el rotor 102. El rotor 102 se conecta luego en la turbina 100 eólica a un generador (no se muestra) para convertir la energía capturada en energía eléctrica.

El rotor 102 puede comprender tres palas 104 como se muestra en la Figura 1. Sin embargo, el rotor 102 puede estar provisto alternativamente de otro número de palas 104, tales como una, dos o incluso más de tres palas 104.

La turbina 100 eólica puede controlarse activamente para que el rotor 102 gire orientado en la dirección del viento. Esto implica que la turbina 100 eólica puede capturar de la manera más eficiente posible la energía en el viento que sopla.

La pala 104 está conformada de manera que el aire que pasa por la pala 104 creará una fuerza de sustentación sobre la pala 104 en la dirección de rotación de la pala 104. A este respecto, la pala 104 puede comprender una forma de perfil aerodinámico, lo cual implica que la presión diferirá en diferentes lados de la forma de perfil aerodinámico generando la fuerza de sustentación. La pala 104 puede estar dispuesta de manera que la forma del perfil aerodinámico esté inclinada en relación con la dirección del viento. El ángulo de inclinación se llama ángulo de ataque. El ángulo de ataque puede afectar la fuerza de sustentación de la pala 104 y en un ángulo crítico de ataque se genera una fuerza de sustentación máxima por la forma del perfil aerodinámico.

Con referencia ahora a la Figura 2, se describirá adicionalmente una pala 104 de acuerdo con la invención. La pala 104 comprende una estructura en forma de armadura que tiene miembros que forman una serie de triángulos. La estructura en forma de armadura implica que los miembros individuales están principalmente sujetos a fuerzas de tracción y compresión, lo cual significa que los miembros pueden adelgazarse a la vez que se mantiene una estructura en general fuerte.

La estructura en forma de armadura puede comprender miembros 108 de puntal longitudinal, que se extienden en una dirección longitudinal de la pala 104, conectores 110 que se extienden en una dirección en sección transversal de la pala 104 y miembros 112 de puntal diagonal que se extienden diagonalmente a través de la pala 104 entre dos conectores 110. Los miembros están unidos entre sí de tal manera que forman triángulos, los cuales están definidos por un miembro 108 de puntal longitudinal, un miembro 112 de puntal diagonal y un conector 110. En conjunto, los triángulos forman una estructura que es la unión de unidades de tetraedro.

Dado que los miembros de la estructura en forma de armadura pueden ser muy delgados, el peso total de la pala 104 es bajo. Una pala 104 ligera tiene diversas ventajas. Por ejemplo, se requiere una pequeña cantidad de material para la fabricación de la pala 104, lo que hace que el coste de la pala 104 sea bajo. El peso ligero de la pala 104 implica que las cargas por gravedad son limitadas, lo cual también limita los problemas debidos a la fatiga asociada de la pala 104.

Además, la estructura en forma de armadura proporciona una gran rigidez a la flexión de la pala 104. Por lo tanto, los problemas debidos a la deformación de la pala 104 y las cargas de torsión en la pala 104 son limitados. Además, la rigidez a la flexión puede limitar la desviación de una punta de la pala 104, de modo que la turbina 100 eólica pueda funcionar con vientos fuertes sin riesgo de que la punta de la pala 104 golpee la torre. Por lo tanto, se puede aumentar el porcentaje de tiempo que la turbina 100 eólica está operativa y, por lo tanto, se puede aumentar la eficiencia global de la turbina 100 eólica.

Además, una pala 104 ligera limita las fuerzas sobre otras estructuras de la turbina 100 eólica, tales como una torre y una base de la turbina 100 eólica. Por lo tanto, la torre y la base también pueden ser relativamente livianas, ya que necesitan solo soportar una pala 104 ligera, disminuyendo los costes de fabricación de estas partes de la turbina 100 eólica.

La estructura en forma de armadura es especialmente adecuada para el transporte en partes, de modo que la pala 104 puede transportarse en partes a un sitio donde la turbina 100 eólica se instalará y ensamblará en el sitio. Además, el peso ligero de la pala 104 hace que la pala 104 o las partes de la pala 104 sean más fáciles de transportar a un sitio donde se va a instalar la turbina 100 eólica y se facilita también la instalación de la turbina 100 eólica.

El peso liviano y la rigidez a la flexión de la pala 104 pueden permitir así instalar turbinas 100 eólicas a gran escala, lo que de otra manera podría no ser posible debido a las fuerzas en las partes de la turbina 100 eólica. Esto puede ser especialmente adecuado para la turbinas 100 eólicas en alta mar. Las turbinas 100 eólicas en alta mar son a menudo de mayor escala que las turbinas 100 eólicas en tierra, ya que puede ser más fácil transportar grandes partes a sitios en alta mar utilizando barcos y la turbina 100 eólica puede colocarse de manera remota de forma que ese ruido creado por la turbina 100 eólica puede no afectar o molestar a las personas.

El peso liviano de la pala 104 y la capacidad de transportar la pala 104 en partes también pueden facilitar el transporte de la pala 104, de modo que las turbinas 100 eólicas pueden instalarse en sitios que de otro modo serían difíciles de acceder.

Sin embargo, la utilidad de una pala 104 ligera no se limita a las turbinas 100 eólicas a gran escala. Dado que los costes de fabricación de la pala 104 pueden ser relativamente bajos, una turbina 100 eólica que usa la pala 104 ligera puede ser más barata que fabricar e instalar, independientemente del tamaño de la turbina 100 eólica.

La estructura en forma de armadura implica que el aire puede pasar sobre una pluralidad de miembros en la pala 104. El aire que pasa sobre la pluralidad de miembros contribuirá a aumentar la fuerza de resistencia sobre la pala 104 disminuyendo la eficiencia de capturar la energía eólica. Sin embargo, como se muestra adicionalmente en el ejemplo a continuación, la relación de sustentación a resistencia de la pala 104 todavía puede ser relativamente buena y no diferir sustancialmente de una pala 104 que tiene una forma unitaria. Además, como la estructura en forma de armadura de la pala 104 puede permitir la instalación de una turbina 100 eólica a mayor escala de lo que es posible, la capacidad de producción de energía de la turbina 100 eólica aún puede aumentar significativamente.

Al menos algunos de los miembros de la estructura en forma de armadura pueden tener una sección transversal en forma de perfil aerodinámico para generar una fuerza de sustentación. En una realización, como se muestra en la Figura 2, los miembros 108 de puntal longitudinal pueden estar dispuestos para tener una sección transversal en forma de perfil aerodinámico y pueden estar diseñados y dimensionados con base en las propiedades aerodinámicas deseadas. Los miembros 108 de puntal longitudinal pueden tener, por lo tanto, dimensiones mucho más grandes que las requeridas para proporcionar un soporte adecuado de la estructura en forma de armadura. Más bien, los miembros 108 de puntal longitudinal pueden dimensionarse para proporcionar una gran sección transversal de modo que se pueda generar una fuerza de sustentación elevada. Como tal, los miembros 108 de puntal longitudinal pueden formar subpalas.

Los miembros 112 de puntal diagonal pueden estar dispuestos para proporcionar principalmente soporte en la estructura en forma de armadura. Los miembros 112 de puntal diagonal pueden, por lo tanto, estar dispuestos para soportar cargas de tensión y compresión. Los miembros 112 de puntal diagonal pueden estar dispuestos para que

sean partes sólidas, lo cual implica que la superficie de sección transversal de los miembros 112 de puntal diagonal se mantiene pequeña con el fin de limitar la fuerza de resistencia creada por la presencia de los miembros 112 de puntal diagonal.

Los miembros 112 de puntal diagonal pueden tener además una sección transversal en forma de perfil aerodinámico con el fin de limitar aún más la fuerza de resistencia creada por el miembro 112 de puntal diagonal. Por lo tanto, el miembro 112 de puntal diagonal también puede contribuir a la fuerza de sustentación creada por la pala 104. Sin embargo, el miembro 112 de puntal diagonal debe estar limitado en el tamaño de la sección transversal para limitar la fuerza de sustentación sobre el miembro 112 de puntal diagonal. Si la fuerza de sustentación se hace demasiado grande, existe el riesgo de que el miembro 112 de puntal diagonal se doblará.

Los miembros 112 de puntal diagonal pueden estar provistos de una sección transversal aerodinamizada. Esto implica que la sección transversal tiene una forma simétrica con una forma redondeada en un borde de ataque orientado al viento y una forma puntiaguda en un borde de salida. Los miembros 112 de puntal diagonal pueden orientarse adicionalmente de modo que un ángulo de ataque de la sección transversal en relación con la dirección del viento sea distinto de cero, lo cual implica que se genera una fuerza de sustentación. La fuerza de sustentación generada sobre los miembros 112 de puntal diagonal puede actuar para mantener el miembro 112 de puntal diagonal en tensión. Esto puede actuar para impedir la aparición de aleteo o vibraciones en los miembros 112 de puntal diagonal cuando la pala 104 está sujeta a un viento que sopla.

Debe tenerse en cuenta que el tamaño y la forma de la sección transversal de los miembros 112 de puntal diagonal, así como el ángulo de ataque, pueden variar para encontrar un diseño óptimo con respecto a la resistencia de la estructura, el efecto sobre la relación de sustentación a resistencia de la pala 104 y e impedir de vibraciones en los miembros 112 de puntal diagonal.

El miembro 112 de puntal diagonal puede estar dispuesto además para ser torcido, es decir, un ángulo de rotación de la sección transversal alrededor de un eje longitudinal del miembro 112 de puntal diagonal difiere a lo largo de la longitud del miembro 112 de puntal diagonal. El miembro 112 de puntal diagonal se tuerce para adaptarse al hecho de que la velocidad de una porción del miembro 112 de puntal diagonal más cerca de la punta de la pala 104 es más rápida que la velocidad más cercana a la raíz de la pala 104. A través del miembro 112 de puntal diagonal que está torcido, el ángulo de ataque del miembro 112 de puntal diagonal al ángulo aparente del viento puede ser constante a lo largo del eje longitudinal del miembro 112 de puntal diagonal.

Una subpala 108 puede estar dispuesta para extenderse a través de un orificio 114 en el conector 110. La disposición de los orificios 114 en el conector 110 puede proporcionar así la posición relativa de las subpalas 108 entre sí. El orificio 114 puede constituir así un punto de conexión entre la subpala 108 y el conector 110. La subpala 108 puede estar unida al conector 110 con el fin de fijar la posición de la subpala 108 en relación con el conector 110.

Los miembros 112 de puntal diagonal pueden estar dispuestos para extenderse entre un primer punto de conexión entre una primera subpala y un primer conector y un segundo punto de conexión entre una segunda subpala y un segundo conector. Los miembros 112 de puntal diagonal pueden estar unidos a los conectores 110 en los puntos de conexión. La unión puede por ejemplo, ser mediante pernos o soldando los miembros de puntal diagonal a los puntos de conexión. Los miembros 112 de puntal diagonal están dispuestos en la proximidad del orificio 114 en el punto de conexión de manera que las subpalas 108 y los miembros 112 de puntal diagonal están unidos al conector 110 en posiciones cercanas entre sí. Esto implica que los triángulos de la estructura en forma de armadura se forman en la pala 104.

Los miembros 112 de puntal diagonal pueden estar unidos alternativamente a las subpalas 108 en los puntos de conexión. Los miembros 112 de puntal diagonal pueden además estar unidos a las subpalas 108 con una unión de pasador. En una realización especial, los conectores 110 pueden dividirse en partes que se extienden entre las subpalas 108, en donde las partes del conector y los miembros 112 de puntal diagonal están unidos a las subpalas 108 en uniones de pasador comunes para formar una estructura de armadura verdadera.

La disposición de los miembros 112 de puntal diagonal en la estructura se puede variar de diversas maneras. Los miembros 112 de puntal diagonal pueden estar dispuestos de acuerdo con una estructura de armadura conocida.

Como alternativa, como se muestra en la Figura 2, los miembros 112 de puntal diagonal están dispuestos entre cada par de puntos de conexión en dos conectores 110 adyacentes. Esto implica que hay un par de miembros 112 de puntal diagonal asociados con cada par de miembros 108 de puntal longitudinal que se extienden entre dos conectores 110 adyacentes. Por lo tanto, un miembro 112 de puntal diagonal en un par de miembros 112 de puntal diagonal estará en tensión a la vez que el otro miembro 112 de puntal diagonal en el par está comprimido. Los miembros 112 de puntal diagonal pueden entonces no estar dimensionados para resistir completamente las fuerzas de compresión. La resistencia general de la pala 104 aún puede ser aún suficiente, ya que el miembro 112 de puntal diagonal que está sujeto a fuerzas de tracción mantendrá la estructura general de la pala 104. Esta disposición de los miembros 112 de puntal diagonal puede permitir que los miembros 112 de puntal diagonal sean muy delgados y/o los conectores 110 deben estar dispuestos a una gran distancia entre sí en la dirección longitudinal de la pala 104.

En una realización alternativa, los miembros 112 de puntal diagonal pueden estar dispuestos con una sección transversal en forma de perfil aerodinámico y pueden estar diseñados y dimensionados con base en las propiedades aerodinámicas deseadas. Por lo tanto, los miembros 112 de puntal diagonal pueden estar diseñados para generar una fuerza de sustentación cuando la pala 104 está sujeta a un viento que sopla. A este respecto, la sección transversal de los miembros 112 de puntal diagonal puede ser mucho más grande de lo necesario para proporcionar soporte a la estructura en forma de armadura y más bien estar dimensionada para proporcionar una fuerza de sustentación elevada a la pala 104. En dicho caso, los miembros 108 de puntal longitudinal pueden proporcionar principalmente soporte a la estructura en forma de armadura o, alternativamente, los miembros 108 de puntal longitudinal también pueden dimensionarse para contribuir sustancialmente a la fuerza de sustentación de la pala 104. Donde los miembros 108 de puntal longitudinal proporcionan principalmente soporte a la estructura en forma de armadura, los miembros 108 de puntal longitudinal están sujetos a fuerzas de tracción y compresión. Por lo tanto, los miembros 108 de puntal longitudinal necesitarán ser dimensionados para resistir la deformación por estas fuerzas. La estructura en forma de armadura puede en una realización comprender solo un miembro 112 de puntal diagonal asociado con cada par de miembros 108 de puntal longitudinal. Esto implica que el perfil aerodinámico del miembro 112 de puntal diagonal adyacente pueden estar dispuestas suficientemente separadas entre sí para que el efecto sobre el flujo de aire de una superficie de sustentación no afecte sustancialmente la fuerza de sustentación generada por los miembros 112 de puntal diagonal adyacentes. Con esta disposición de los miembros 112 de puntal diagonal, la distancia entre los conectores 110 adyacentes puede necesitar ser relativamente corta para que la resistencia general de la pala 104 sea suficiente.

La estructura en forma de armadura de la pala 104 no necesita ser idéntica en toda la longitud de la pala 104. Más bien, una configuración de la estructura en forma de armadura puede variar entre diferentes partes de la pala.

En una realización, la estructura en forma de armadura puede estar dispuesta de acuerdo con diferentes configuraciones en una porción de punta de la pala 104 y una porción de raíz de la pala 104. Las cargas de gravedad ejercidas en la pala 104 son mucho mayores en la porción de raíz de la pala 104. Por lo tanto, la configuración de la estructura en forma de armadura puede diseñarse teniendo esto en cuenta.

Por ejemplo, una pala 104 puede estar diseñada con una estructura en forma de armadura como se muestra en la Figura 2 que tiene un par de miembros 112 de puntal diagonal asociados con cada par de miembros 108 de puntal longitudinal que se extiende entre dos conectores 110. Sin embargo, en la porción de punta de la pala 104, la estructura en forma de armadura puede configurarse para incluir solo un miembro 112 de puntal diagonal asociado con cada par de miembros 108 de puntal longitudinal. Esto implica que la fuerza de resistencia creada por los miembros 112 de puntal diagonal es limitada, dado que el número de miembros 112 de puntal diagonal disminuye. Además, la velocidad de la pala 104 es mayor en la punta de la pala 104, lo que implica que los miembros en la punta de la pala 104 contribuyen más a la fuerza de resistencia. Por lo tanto, disminuir el número de miembros en la punta de la pala 104 puede tener un gran efecto en la relación de sustentación a resistencia de la pala 104. La porción de la punta de la pala 104 puede comprender preferiblemente solo los miembros 112 de puntal diagonal los cuales se someten a las fuerzas de tracción de las fuerzas aerodinámicas, de modo que se puedan impedir las vibraciones y el aleteo de los miembros 112 de puntal diagonal.

De acuerdo con otra realización, la porción de raíz de la pala 104 puede diseñarse con una configuración especial de la estructura en forma de armadura para manejar las grandes cargas de gravedad que se ejercen sobre la porción de raíz de la pala 104.

Con referencia ahora a la Figura 3, que muestra una sección transversal de una subpala 108, la subpala 108 de la pala 104 se describirá adicionalmente. La subpala 108 puede tener una sección transversal en forma de perfil aerodinámico para generar una fuerza de sustentación cuando está sujeta a un viento que sopla. La forma del perfil aerodinámico comprende un borde 116 de ataque, el cual es un punto en la parte delantera del perfil aerodinámico que tiene la curvatura máxima, y un borde 118 de salida, que es un punto en la parte posterior del perfil aerodinámico que tiene la curvatura máxima. Una línea 120 de cuerda está definida por una línea recta que conecta el borde 116 de ataque y el borde 118 de salida. El ángulo de ataque de la subpala 108 está definido por un ángulo de la línea 120 de cuerda en relación con la dirección del viento.

La subpala 108 puede estar dispuesta para tener una forma de perfil aerodinámico constante de la sección transversal a lo largo de la subpala 108. Esto implica que una forma de perfil aerodinámico elegida con base en las propiedades aerodinámicas deseadas de la subpala 108 puede usarse en toda la longitud de la subpala 108 o al menos en sustancialmente toda la longitud de la subpala 108. En particular, gracias a que la subpala 108 es parte de la estructura en forma de armadura, la subpala 108 no necesita estar diseñada en una porción de raíz más cercana al repartidor 106 para manejar cargas debido a un gran peso de la pala. La subpala 108 está dispuesta para ser más delgada en una porción de punta de la pala 104 que en la porción de raíz. Sin embargo, las proporciones de la sección transversal en forma de perfil aerodinámico de la subpala 108 pueden ser constantes para tener una forma de perfil aerodinámico constante a lo largo de la longitud de la subpala 108.

La subpala 108 puede estar dispuesta para tener diferentes formas de superficie de sustentación a lo largo de la longitud de la subpala 108. Sin embargo, gracias a que la subpala 108 forma parte de la estructura en forma de armadura, el diseño de la sub- la pala 108 en la porción de raíz todavía puede basarse en proporcionar las propiedades aerodinámicas deseadas.

La subpala 108 puede ser hueca con el fin de proporcionar una superficie grande a la vez que se requiere una masa pequeña. De este modo, la superficie de la subpala 108 puede estar formada por una carcasa 122 externa. La carcasa 122 puede estar dispuesta para ser muy delgada, con un espesor de típicamente unos pocos milímetros.

La subpala 108 puede comprender además una estructura 124 de soporte dentro de la carcasa 122. La estructura 124 de soporte puede impedir la deformación de la carcasa 122 delgada debido a, por ejemplo, cargas aerodinámicas. Por ejemplo, la estructura 124 de soporte puede proporcionarse como una o más vigas en I en la carcasa 122, que tienen bridas, también llamadas tapas, que soportan lados opuestos de la carcasa 122 y una red que conecta las tapas. La estructura 124 de soporte puede proporcionarse alternativamente como un larguero de caja que tiene tapas que soportan lados opuestos de la carcasa 122 y redes de corte que conectan los extremos de las tapas entre sí. Las tapas pueden estar dispuestas en la carcasa 122 para separarse lo más posible.

La subpala 108 se puede fabricar como una parte superior e inferior, las cuales se pueden intercalar junto con la estructura 124 de soporte dispuesta entre ellas para formar la subpala 108.

La subpala 108 puede estar torcida de modo que un ángulo de rotación de la sección transversal en forma de perfil aerodinámico alrededor del eje longitudinal de la subpala difiera a lo largo de la longitud de la subpala 108. La subpala 108 puede estar torcida para adaptar las propiedades aerodinámicas de la subpala 108 al hecho de que la velocidad de la porción de punta de la subpala 108 es mucho mayor que la velocidad de la porción de raíz de la subpala 108 durante la rotación de la subpala 108. Mediante la torsión de la subpala 108, el ángulo de ataque de la subpala 108 al ángulo aparente del viento puede ser constante a lo largo del eje longitudinal de la subpala 108.

La subpala 108 puede estar torcida en la fabricación de la subpala 108. Sin embargo, dado que la subpala 108 está dispuesta en relación con los conectores 110 en la pala 104, la disposición de la subpala 108 en los conectores 110 puede actuar para proporcionar la torsión de la subpala 108. En dicho caso, la subpala 108 puede fabricarse como un elemento recto. Por ejemplo, la subpala 108 puede ser producida por fibra de vidrio con la mayoría de las fibras alineadas a lo largo de la subpala 108.

La estructura en forma de armadura puede comprender tres subpalas 108 como se muestra en la Figura 2. Sin embargo, la estructura en forma de armadura puede estar dispuesta para comprender cuatro o más subpalas 108. Una subpala 108 puede bloquear parcialmente el viento para otra subpala 108. Por lo tanto, si bien sería posible proporcionar a la estructura en forma de armadura un gran número de subpalas 108, se puede desear mantener el número de subpalas 108 bastante bajo, tal como 3-5.

Con el fin de limitar la interferencia de una subpala 108 con el viento que pasa por las otras subpalas, las subpalas 108 pueden estar sustancialmente separadas entre sí. De acuerdo con una realización, las subpalas 108 están separadas por tres veces la longitud de una cuerda de la sección transversal en forma de perfil aerodinámico de la subpala 108. Por razones de eficiencia aerodinámica, las palas deberían estar separadas por una distancia mínima. Esto es particularmente importante cerca de la punta, ya que es donde se extrae la mayor parte de la energía del aire. La distancia mínima puede estar relacionada con la longitud de la cuerda, de modo que la distancia mínima puede ser, por ejemplo, dos longitudes de cuerda. Tener las palas unidas en la punta, como por ejemplo cuando se forma la estructura como un pilón triangular, no es bueno para la eficiencia aerodinámica, ya que el flujo alrededor de los perfiles individuales interferirá entre sí cuando la distancia de separación sea baja. El resultado sería una reducción significativa en la producción de energía para una estructura de este tipo en comparación con una donde no se viola el criterio de distancia mínima.

Con referencia ahora a la Figura 4, se describirá adicionalmente un conector 110 de la pala 104. El conector 110 puede ser una estructura relativamente delgada, la cual está dispuesta para extenderse en una sección transversal de la pala 104. La estructura delgada del conector 110 puede garantizar así que el conector 110 tenga una pequeña superficie orientada hacia la dirección del viento para limitar una fuerza de resistencia sobre la pala 104 causada por el conector 110. El conector 110 puede tener además una forma aerodinamizada con la superficie orientada hacia la dirección del viento redondeada de modo que la fuerza de resistencia sobre la pala 104 esté más limitada.

El conector 110 estará sujeto a fuerzas de compresión en la estructura en forma de armadura. Por lo tanto, la estructura del conector 110 necesita ser suficientemente gruesa y fuerte para resistir la flexión de las fuerzas de compresión.

El conector 110 comprende una pluralidad de estructuras 126 en forma de placa. Una estructura 126 en forma de placa proporciona un punto de conexión entre un miembro 108 de puntal longitudinal y un miembro 112 de puntal diagonal. Además, el conector 110 comprende partes 128 de unión que se extienden entre las estructuras 126 en forma de placa. En una realización, las estructuras 126 en forma de placa y las partes 128 de unión están formadas

en un solo cuerpo. Sin embargo, diferentes partes del conector 110 pueden estar unidas entre sí para formar un cuerpo unitario.

El conector 110 puede proporcionar una pluralidad de puntos de conexión. Por ejemplo, en la estructura en forma de armadura como se muestra en la Figura 2, el conector 110 tiene dos puntos de conexión dispuestos a cada lado de cada estructura 126 en forma de placa. Por lo tanto, el conector 110 forma parte de la estructura en forma de armadura de la pala 104.

Dado que el conector 110 está dispuesto para tener partes 128 de unión entre las estructuras 126 en forma de placa, puede estar dispuesto un orificio 130 grande en la estructura del conector 110 entre las partes 128 de unión. Esto implica que puede reducirse la cantidad de material necesario para fabricar el conector 110 y, por lo tanto, el peso del conector 110. Además, la superficie total del conector 110 puede estar limitada por la disposición de un orificio en la estructura del conector 110, el cual puede limitar una fuerza de resistencia sobre la pala 104 causada por el conector 110.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el conector 110 puede formarse alternativamente como una estructura única en forma de placa que presenta una pluralidad de puntos de conexión entre los miembros 108 de puntal longitudinal y los miembros 112 de puntal diagonal.

La estructura 126 en forma de placa del conector 110 puede estar provista de un orificio 132 pasante para recibir una subpala 108. El orificio 132 pasante puede definir así un punto de conexión en la estructura 126 en forma de placa y un miembro 112 de puntal diagonal puede estar unido a la estructura 126 en forma de placa en la vecindad del orificio 132 pasante.

El orificio 132 pasante puede tener forma de perfil aerodinámico para adaptarse a la forma de la subpala 108. De este modo, la subpala 108 puede estar dispuesta en el orificio 132 pasante que tiene un ajuste perfecto entre la forma exterior de la sección transversal de la subpala 108 y la forma de una pared en la estructura 126 en forma de placa que define el orificio 132 pasante.

El orificio 132 pasante puede estar además en ángulo en la estructura 126 en forma de placa para ajustarse a un ángulo de rotación de la sección transversal en forma de perfil aerodinámico alrededor de un eje longitudinal de la subpala 108. Los orificios 132 pueden tener un ángulo diferente en diferentes conectores 110 en la pala 104 para ajustar una torsión de las subpalas 108. Como se describió anteriormente, las subpalas 108 pueden fabricarse como elementos rectos. En dicho caso, el ángulo de los orificios 132 pasantes puede actuar para controlar la torsión de las subpalas 108.

De acuerdo con una realización, una porción 134 externa de la estructura 126 en forma de placa puede estar unida a una porción 136 interna de la estructura 126 en forma de placa durante el ensamblaje de la pala 104. Una separación de la porción 134 externa y el la porción 136 interna se indica mediante la línea 138 discontinua en la Figura 4. Las paredes de la porción 134 externa y la porción 136 interna pueden definir en parte el orificio 132 pasante. Esto implica que, durante el ensamblaje de la pala 104, la porción 136 de la estructura 126 en forma de placa puede estar dispuesta primero en relación con la subpala 108. Luego, cuando la subpala 108 está posicionada adecuadamente en relación con la estructura 126 en forma de placa, la porción 134 externa puede estar unida a la porción 136 interna de modo que la porción 134 externa y la porción 136 interna abarcan una sección transversal de la subpala 108. De acuerdo con esta disposición, la subpala 108 no necesita ser guiada a través del orificio 132 pasante para el montaje de la subpala 108 en relación con el conector 110.

La pala 104 puede comprender una pluralidad de conectores 110. La pala 104 puede estrecharse gradualmente hacia la porción de punta. En consecuencia, el tamaño de los conectores 110 puede diferir dependiendo de su posición longitudinal en la pala 104. Un conector 110 que tiene un tamaño grande también puede ser más grueso que un conector de tamaño pequeño para soportar la estructura más grande y las cargas más grandes del conector 110

De acuerdo con una realización, los conectores 110 pueden estar igualmente separados en la dirección longitudinal de la pala 104. Sin embargo, un conector 110 puede estar dispuesto alternativamente a una distancia del conector adyacente de tal manera que es constante una relación entre la distancia al conector adyacente y un espacio entre las subpalas 108 en el conector 110. Esto implica que la distancia entre los conectores 110 puede ser mayor en la porción de raíz de la pala 104, donde el espacio entre las subpalas 108 es mayor. De acuerdo con dicha disposición, un ángulo de los miembros 112 de puntal diagonal con respecto a las subpalas 108 es igual en toda la pala 104.

Las palas 104 pueden ensamblarse en el sitio donde se instalará la turbina 100 eólica. Esto implica que las palas 104 pueden transportarse al sitio en piezas, las cuales se ensamblan en el sitio para formar la pala 104. Se pueden contemplar diversas formas diferentes de dividir la pala 104 para el transporte.

Por ejemplo, cada miembro individual de la estructura en forma de armadura puede transportarse como una parte separada. Por lo tanto, las subpalas 108, los conectores 110 y los miembros 112 de puntal diagonal pueden transportarse cada uno por separado.

Las subpalas 108 pueden entregarse como elementos rectos. Las subpalas 108 pueden guiarse a través de los conectores 110 durante el montaje de la pala 104, por lo que la disposición de los orificios 132 pasantes en los conectores 110 puede forzar una torsión de la subpala 108.

Las subpalas 108 son muy largas, ya que se extienden a lo largo de toda la longitud de la pala 104. Por lo tanto, para facilitar el transporte de la pala 104, las subpalas 108 pueden separarse en diversas partes. En una realización, las subpalas 108 están formadas como miembros 108 de puntal longitudinal, los cuales se extienden cada uno entre dos conectores 110 adyacentes en la pala 104. Por lo tanto, un miembro 108 de puntal longitudinal puede estar unido a un conector 110 en el punto de conexión del conector 110. El conector 110 no necesita comprender un orificio 132 pasante. Más bien, dos miembros 108 de puntal longitudinal están unidos a cada lado del conector 110. Alternativamente, la subpala 108 puede ensamblarse a partir de diversas partes en el sitio con el fin de facilitar el transporte de la subpala 108 al sitio. La subpala 108 puede entonces ensamblarse a los conectores 110 guiando la subpala a través de los orificios 132 pasantes.

De acuerdo con otra realización, las secciones de la pala 104 se ensamblan previamente y se transportan en el estado pre ensamblado. Luego, las secciones de la pala 104 se pueden unir entre sí en el sitio para el ensamblaje final de la pala 104. Se puede formar una sección 200 como se ilustra en la Figura 5. La sección 200 comprende un primer conector 110a y un segundo conector 110b, el primer y segundo conectores 110a, 110b son conectores adyacentes en la pala 104. La sección 200 comprende además los miembros 108 de puntal longitudinal y los miembros 112 de puntal diagonal entre los conectores 110a, 110b. Por lo tanto, los miembros 108 de puntal longitudinal y los miembros 112 de puntal diagonal están montados en los conectores 110 antes del transporte al sitio. En el sitio, las secciones 200 pueden estar unidas entre sí para el ensamblaje final de la pala 104.

Las secciones 200 pueden estar unidas entre sí a través de conectores 110 de las secciones 200 unidas entre sí. Por lo tanto, los conectores 110 de la pala 104 ensamblada pueden estar formados conjuntamente por dos secciones 200 unidas entre sí. Por ejemplo, cada sección 200 puede proporcionar la mitad del grosor del conector 110 en el cual las secciones 200 están unidas entre sí.

Haciendo referencia ahora a la Figura 6, se describirá un conector 140 de raíz. El conector 140 de raíz está dispuesto para montarse en la porción de raíz de la pala 104. El conector 140 de raíz comprende una parte 142 de conexión del repartidor, que está adaptada para unirse al repartidor 106 central del rotor 102. La parte 142 de conexión del repartidor por lo tanto, puede dimensionarse y conformarse para adaptarse a medidas específicas del repartidor 106 central. Por lo tanto, el conector 140 de raíz puede asegurar que la pala 104 pueda montarse en turbinas 100 eólicas que ya están en uso. La pala 104 no impondrá al menos requisitos específicos en el repartidor 106 central.

La parte 142 de conexión del repartidor puede comprender una estructura en forma de placa, la cual proporciona una forma circunferencial que se ajusta al repartidor 106 central. La parte 142 de conexión del repartidor puede estar unida al repartidor 106 central, por ejemplo, a través de pernos o soldaduras en la circunferencia de la estructura en forma de placa. La estructura en forma de placa puede comprender un orificio central para disminuir la cantidad de material necesario para la fabricación del conector 140 de raíz.

El conector 140 de raíz puede comprender además una parte 144 de conexión de la pala. La parte 144 de conexión de la pala puede tener la forma de un conector 110, como se describió anteriormente. Por lo tanto, el conector 110 que está más cerca de la porción de raíz de la pala 104 puede estar formado conjuntamente por la parte 144 de conexión de la pala del conector 140 de raíz y por un conector 110 de una sección 200 más cercana a la porción de raíz de la pala 104. Alternativamente, las subpalas 108 y los miembros 112 de puntal diagonal más cercanos a la porción de raíz de la pala 104 pueden estar unidos directamente a la parte 144 de conexión de la pala. La sección transversal de la subpala 108 puede ser circular en lugar de una superficie aerodinámica en el extremo para facilitar la fijación a la pala de la parte 144 de conexión.

La parte 142 de conexión del repartidor puede tener un tamaño más pequeño en una sección transversal de la pala 104 que la parte 144 de conexión de la pala. Esto implica que las subpalas 108 pueden estar más separadas entre sí en la porción de raíz del pala 104 de lo contrario permitido por el tamaño del repartidor 106 central. El conector 140 de raíz puede comprender así una estructura que une la parte 142 de conexión del repartidor más pequeña a la parte 144 de conexión de la pala más grande.

En una realización, el conector 140 de raíz comprende una estructura en forma de armadura para unir la parte 142 de conexión del repartidor a la parte 144 de conexión de la pala. El conector 140 de raíz puede comprender miembros 146 de puntal longitudinal que se extienden teniendo un ángulo constante alrededor de un eje longitudinal de la pala 104. Los miembros 146 de puntal longitudinal se extienden radialmente hacia afuera a partir de la parte 142 de conexión del repartidor a la parte 144 de conexión de la pala para adaptarse al tamaño más grande de la parte 144 de conexión de la pala. El conector 140 de raíz puede comprender además miembros 148 de puntal diagonal que se extienden a partir de la parte 142 de conexión del repartidor en un punto de conexión de un primer miembro 146 de puntal longitudinal a la parte 144 de conexión de la pala en un punto de conexión de un segundo miembro 146 de puntal longitudinal.

Los miembros 146 de puntal longitudinal y/o los miembros 148 de puntal diagonal pueden tener una sección transversal en forma de perfil aerodinámico para contribuir a una fuerza de sustentación de la pala 104 cuando están sujetos a un viento que sopla.

En una realización, la parte 144 de conexión de la pala del conector 140 de raíz está formada por los miembros 146 de puntal longitudinal y los miembros 148 de puntal diagonal. Los miembros 146 de puntal longitudinal y los miembros 148 de puntal diagonal pueden estar directamente unidos al conector 110 de la pala 104 que está más cerca de la porción de raíz de la pala 104.

El conector 140 de raíz puede ser entregado al sitio en el cual se instalará la turbina 100 eólica en un estado ensamblado. Sin embargo, el conector 140 de raíz puede suministrarse alternativamente como partes separadas, las cuales pueden ensamblarse en el sitio y unirse a las otras partes de la pala 104.

A continuación se describirá un ejemplo de un diseño de la pala 104 con el fin de indicar el peso de una implementación actual de la pala 104. La pala de ejemplo comprende subpalas de 60 m de largo que están diseñadas con perfiles aerodinámicos NREL S831, como se define por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable, que tiene una cuerda variable a lo largo de la longitud. La variación de la cuerda es lineal, siendo 2 m en el conector de raíz y 0.75 m en la punta de la pala. Las subpalas tienen un espesor de carcasa constante de 2 mm. Las subpalas tienen un larguero de 4 mm de espesor dentro de la carcasa. La subpala está formada por un compuesto epoxi de E-vidrio que tiene una densidad de 1870 kg/m^3, un módulo de Young de 38 GPa, una relación de Poisson de 0.3 y una resistencia a la tracción de 1.8 GPa.

La pala está diseñada usando tres subpalas, que tienen seis conectores separados a lo largo de la dirección longitudinal de la pala. Las tres subpalas están separadas por 3 longitudes de cuerdas. Los conectores se separan de manera tal que una relación entre la distancia al conector adyacente y un espacio entre las subpalas en el conector 110 se mantiene constante y se define en 3. Los conectores están provistos de un orificio entre las partes de unión. Los dos conectores más cercanos a la porción de raíz de la pala tienen 3 cm de espesor y los otros conectores tienen 2 cm de espesor. Los conectores son huecos con un espesor de carcasa de 3 mm. Los conectores también están formados por un Compuesto Epoxi E-Vidrio como se definió anteriormente.

La pala comprende además miembros de puntal diagonal dispuestos entre cada par de puntos de conexión entre las subpalas y los conectores. Los miembros de puntal diagonal están diseñados con una forma aerodinámica simétrica NACA 0024, de acuerdo con lo definido por el Comité Asesor Nacional de Aeronáutica. Cada grupo de miembros de puntal diagonal entre dos conectores adyacentes tiene la misma longitud de cuerda. La longitud de la cuerda es más grande cerca de la porción de raíz de la pala. La longitud de la cuerda de un grupo de miembros de puntal diagonal es el 5% de la longitud de la cuerda de las subpalas en la sección anterior más cercana a la porción de raíz de la pala. Por lo tanto, la longitud de la cuerda para los miembros de puntal diagonal variará de aproximadamente 0.10 m a 0.045 m. Los miembros de puntal diagonal están formados por una fibra de carbono que tiene una densidad de 1490 kg/m^3, el módulo de Young de 176 GPa, la relación de Poisson de 0.3 y la resistencia a la tracción de 2.05 GPa.

Con el ejemplo anterior, el peso total de la pala se convierte en aproximadamente 3720.8 kg. Esto se puede comparar con una pala de 60 m de largo que tiene forma unitaria. Por ejemplo, la pala de turbina eólica LM 61.5 P2 producida por LM Wind Power Blades de Kolding, Dinamarca, tiene una longitud de 61.5 m y pesa 19100 kg. Por lo tanto, el peso de la pala de acuerdo con la invención puede ser inferior al 20% de una pala convencional.

Además, la pala de acuerdo con el ejemplo anterior puede proporcionar una relación de sustentación a resistencia, medida como un coeficiente de sustentación dividido por un coeficiente de resistencia, de aproximadamente 100. Esto implica que las propiedades aerodinámicas de la pala no difieren sustancialmente de una pala que tiene forma unitaria, la cual típicamente proporciona una relación de sustentación a resistencia de 100-150. Además, la eficiencia de la pala no depende en gran medida de la relación de sustentación a resistencia. Por el contrario, una disminución de la relación de sustentación a resistencia de 150 a 100 solo puede disminuir la eficiencia general de la pala en aproximadamente un 2%.

Con referencia ahora a la Figura 7, se describirá un método para el montaje de una pala 104. El método 700 comprende entregar, etapa 702, partes de la pala 104 en un estado desmontado al sitio en el cual se instalará la turbina 100 eólica. El método 700 comprende además el montaje, etapa 704, de las partes de la pala 104 en el sitio a una pala 104 totalmente ensamblada. La pala 104 puede ensamblarse a su estado completamente ensamblado montando las partes de la pala 104 en el repartidor 106 central, el cual puede o no estar ya montado en la torre de la turbina 100 eólica. Alternativamente, la pala 104 puede estar unida al repartidor 106 central una vez que la pala 104 se ha ensamblado completamente.

La pala 104 puede dividirse de manera diferente como se describió anteriormente, y por lo tanto puede entregarse en secciones 200, las cuales pueden unirse entre sí en el sitio.

Alternativamente, la pala 104 puede entregarse como subpalas 108 separadas de los conectores 110. La etapa 704 de montaje puede comprender así insertar cada subpala 108 a través de un orificio 132 pasante de cada conector 110. Los orificios 132 pasantes pueden ajustarse entonces a la forma de la sección transversal de la subpala 108 en la posición longitudinal del conector 110 en la pala 104. Los orificios 132 pasantes pueden tener un ángulo diferente en los conectores 110 para controlar una torsión de la sección transversal en forma de perfil aerodinámico de la subpala 108 a lo largo de una dirección longitudinal de la subpala 108.

Un experto en la técnica se da cuenta de que la presente invención de ninguna manera se limita a las realizaciones preferidas descritas anteriormente. Por el contrario, son posibles diversas modificaciones y variaciones dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

Por ejemplo, una pala que tiene una estructura en forma de armadura puede usarse en una turbina eólica de eje vertical (VAWT). Entonces, una forma externa de la estructura en forma de armadura de la pala puede imitar la forma de las palas VAWT usadas actualmente. Esto implica que la pala puede usarse para reemplazar las palas en plantas VAWT ya existentes.

Además, la pala no necesita estar necesariamente formada en su totalidad por una estructura en forma de armadura. Por ejemplo, las porciones de punta de las subpalas pueden extenderse más allí del conector el cual está más alejado del repartidor. Alternativa o adicionalmente, el conector de raíz puede formarse como un cuerpo unitario. El conector de raíz se somete a grandes cargas de gravedad y, por lo tanto, puede ser ventajoso proporcionar el conector de raíz como un cuerpo unitario. Además, proporcionar el conector de raíz como un cuerpo unitario puede facilitar la unión de la pala al repartidor de la turbina eólica.

REIVINDICACIONES

1. Una pala para un rotor de una turbina eólica, comprendiendo dicha pala (104):
una estructura tridimensional en forma de armadura que tiene miembros (108; 110; 112) de puntal que forman la estructura en forma de armadura, en donde una pluralidad de los miembros (108; 110; 112) de puntal en la estructura en forma de armadura tienen una sección transversal en forma de perfil aerodinámico
en donde la estructura en forma de armadura comprende una pluralidad de miembros (108) de puntal longitudinal que se extienden sustancialmente a lo largo de una dirección longitudinal de la pala (104), en donde los miembros (108) de puntal tienen una sección transversal en forma de perfil aerodinámico,
en donde los miembros (108) de puntal longitudinal están separados a lo largo de una dirección longitudinal completa de la pala (104),
en donde la estructura en forma de armadura comprende además al menos un conector (110), en donde el al menos un conector (110) está dispuesto para extenderse en una dirección en sección transversal de la pala (104) y está conectado a una pluralidad de miembros (108) de puntal longitudinal que se extienden sustancialmente a lo largo de una dirección longitudinal de la pala (104), y
en donde el al menos un conector (110) está dispuesto para controlar un posicionamiento de los miembros (108) de puntal longitudinal en relación entre sí y una orientación variable de una sección transversal en forma de perfil aerodinámico de los miembros (108) de puntal longitudinal a lo largo de una dirección longitudinal de la pala.

2. La pala de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la estructura en forma de armadura comprende además una pluralidad de miembros (112) de puntal diagonal, en donde un miembro (112) de puntal diagonal se extiende a partir de un punto de conexión entre un primer miembro (108) de puntal longitudinal y un primer conector (110) a un punto de conexión entre un segundo miembro (108) de puntal longitudinal y un segundo conector (110).

3. La pala de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde el al menos un conector (110) comprende una estructura (126) en forma de placa que tiene un orificio (132) pasante para recibir un miembro (108) de puntal longitudinal.

4. La pala de acuerdo con la reivindicación 3, en donde el orificio (132) pasante está en ángulo en la estructura (126) en forma de placa para controlar una torsión del miembro (108) de puntal longitudinal a lo largo de la dirección longitudinal de la pala (104).

5. La pala de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las proporciones de la sección transversal en forma de perfil aerodinámico de los miembros (108) de puntal longitudinal son constantes en prácticamente toda la longitud de los miembros (108) de puntal longitudinal.

6. Una turbina eólica, que comprende al menos una pala (104) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

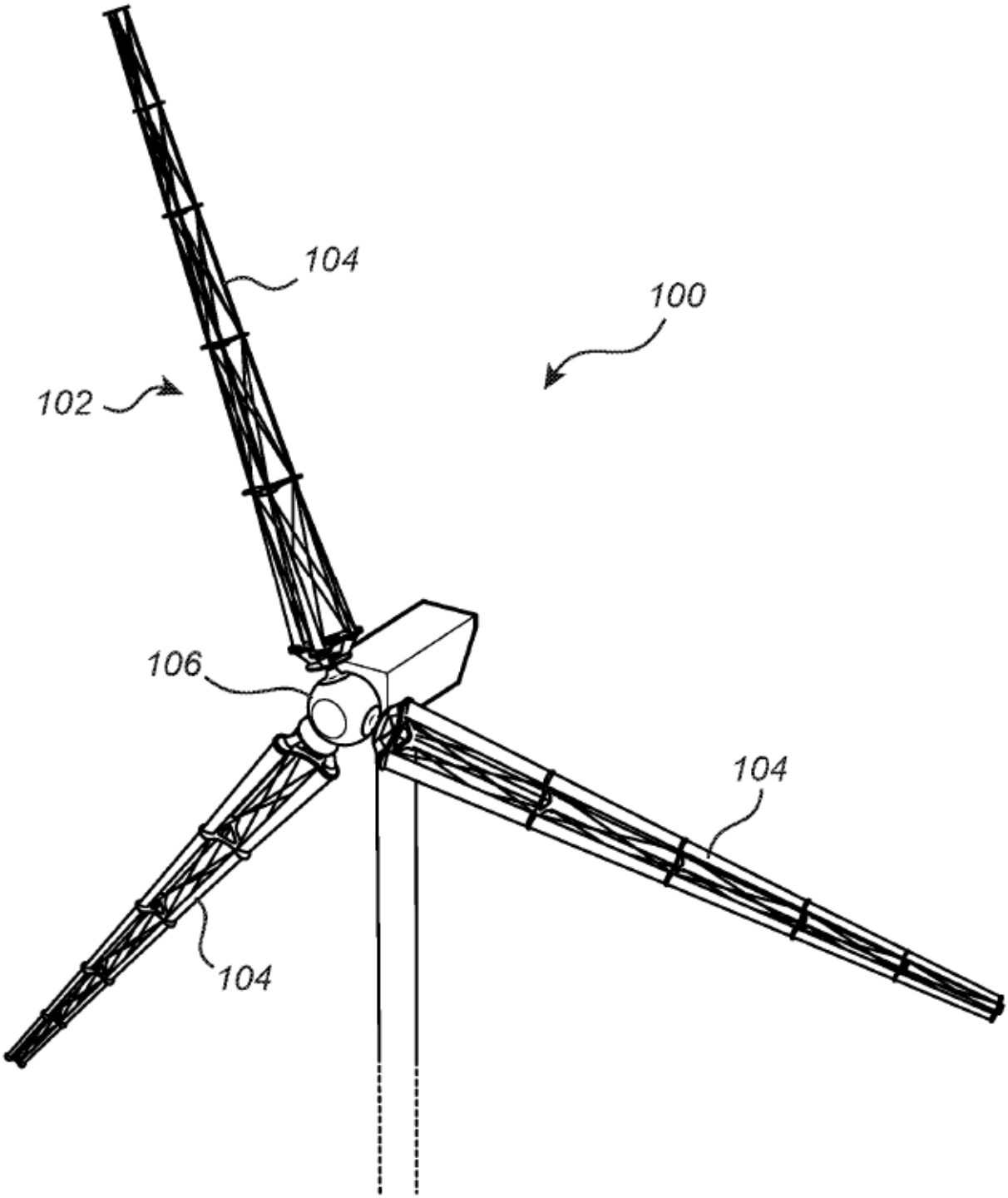

Fig. 1

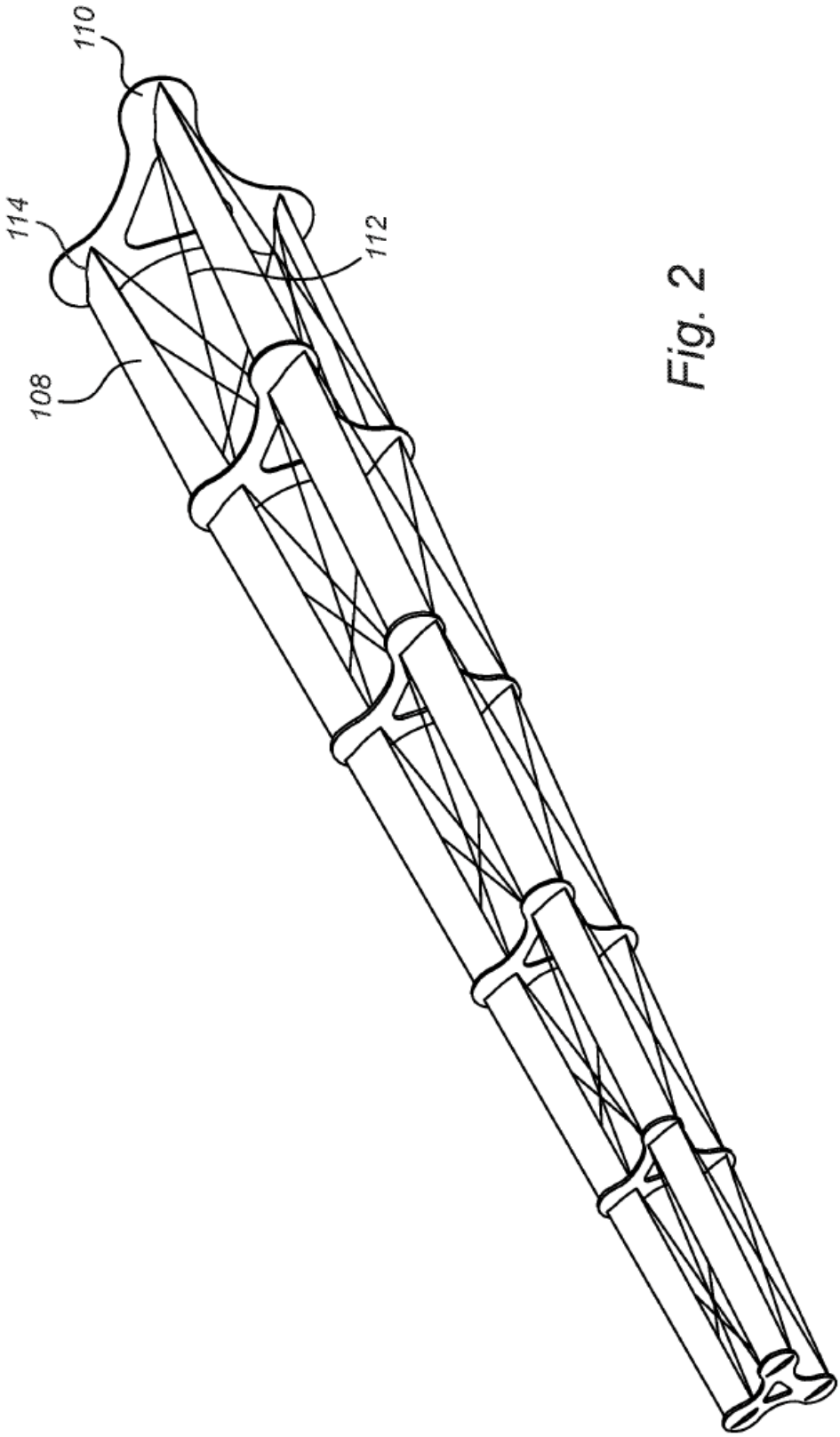

Fig. 2

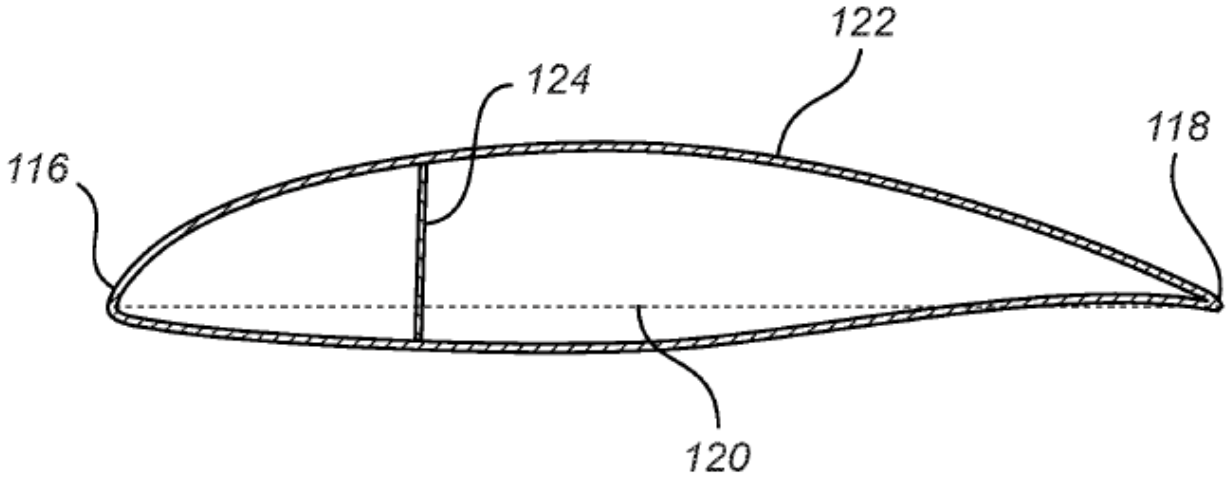

Fig. 3

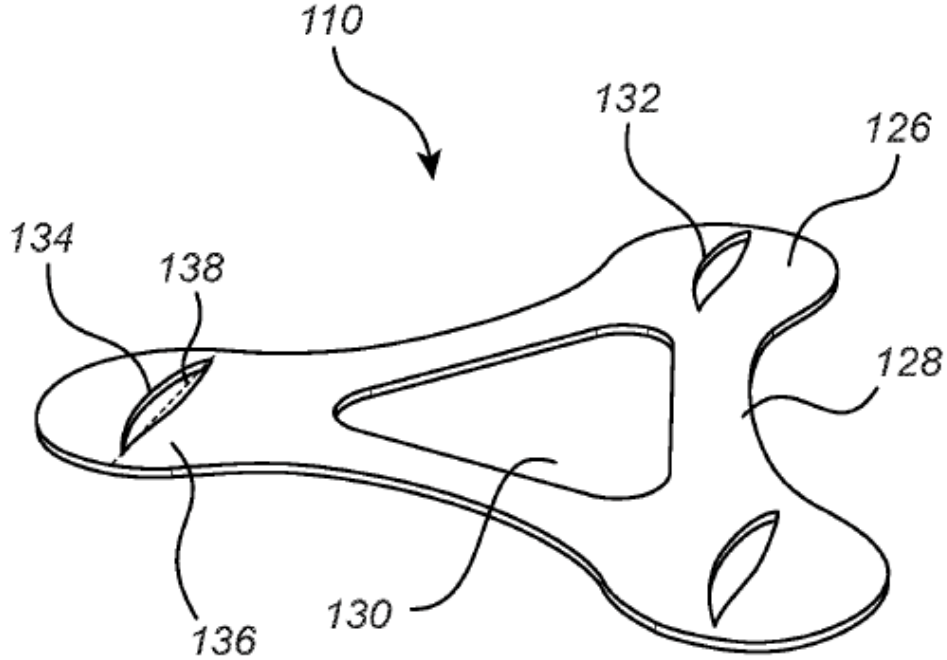

Fig. 4

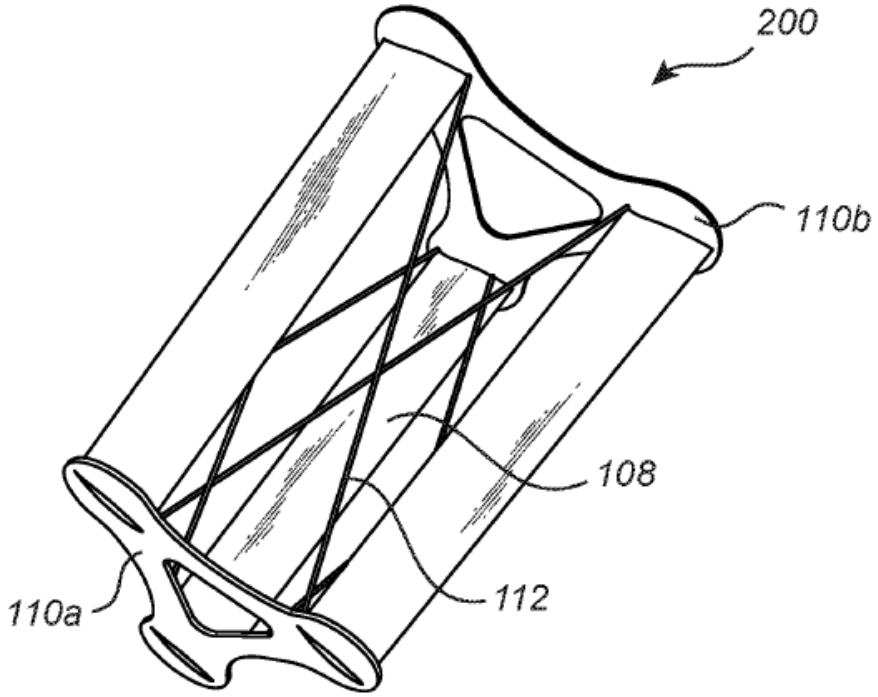

Fig. 5

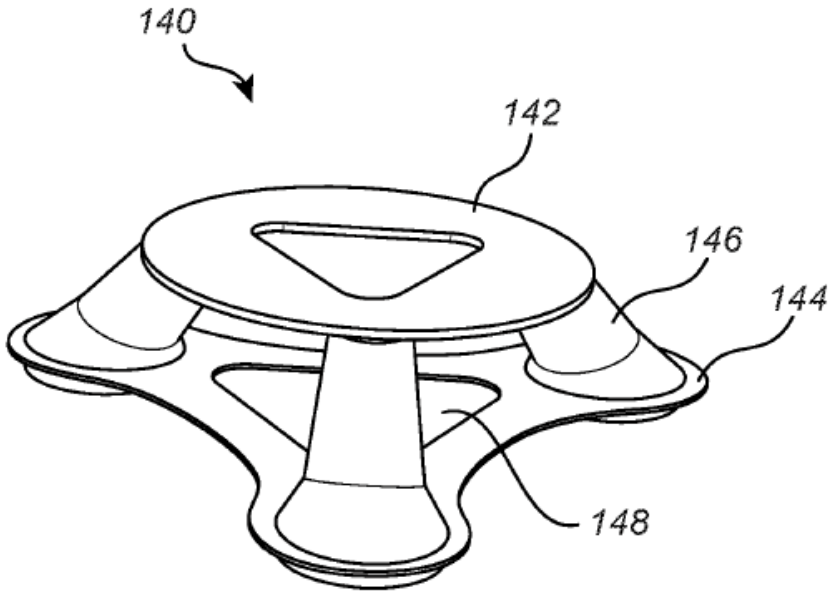

Fig. 6

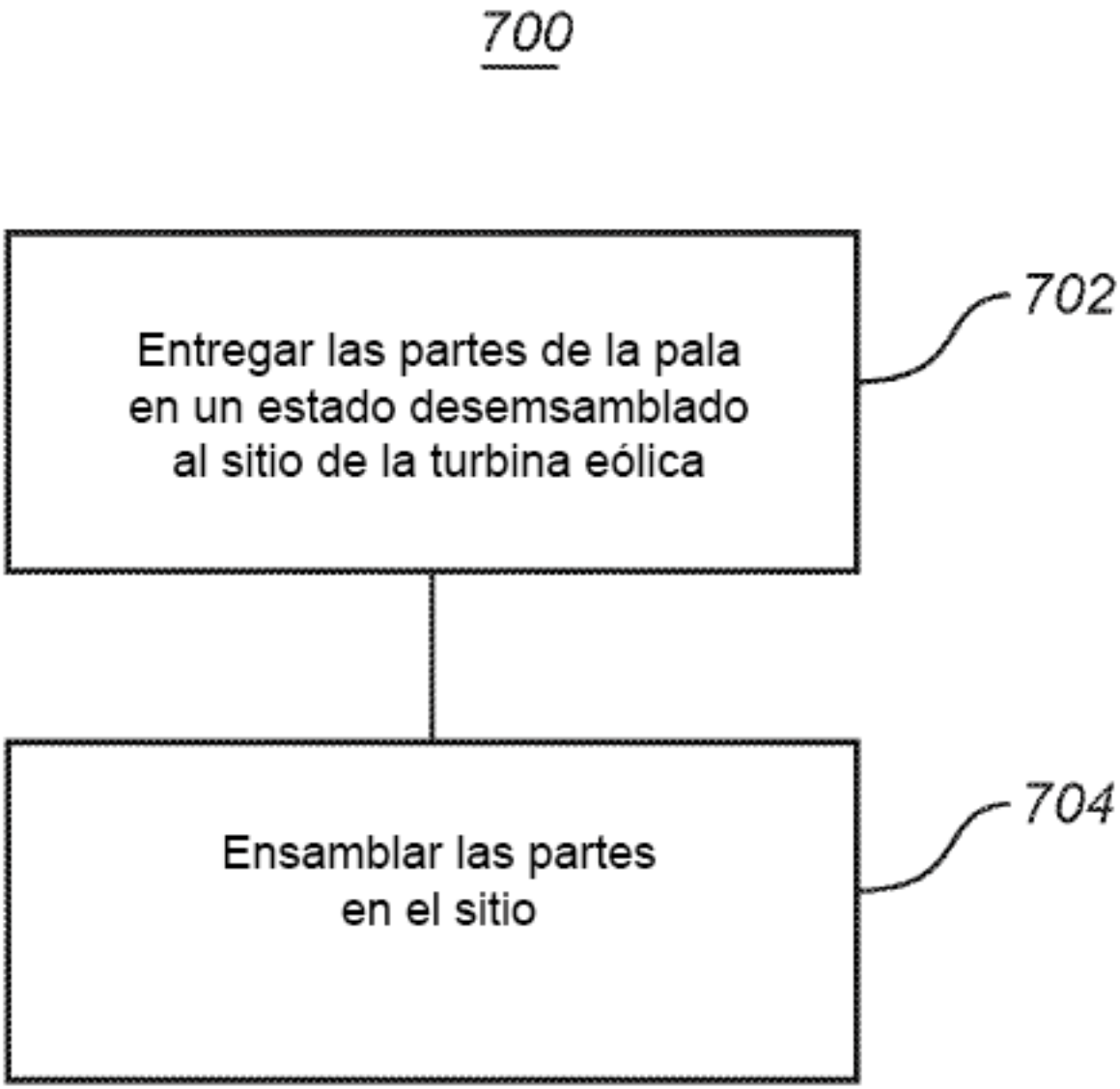
700
Entregar las partes de la pala en un estado desemsamblado al sitio de la turbina eólica
702
Ensamblar las partes en el sitio
704

Fig. 7