

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 564 991**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.08.2011 E 11743424 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.12.2015 EP 2603694**

54 Título: **Pala de rotor para turbina eólica y método de fabricación de la misma**

30 Prioridad:

**02.09.2010 DK 201070383
11.08.2010 US 372600 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
30.03.2016

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**VUILLAUME, AMAURY;
PAYNE, CHRIS y
HAHN, FRANK HOELGAARD**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 564 991 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 y método de fabricación de la misma

Campo técnico

5 La invención se refiere de manera general a una pala de rotor para una turbina eólica y un método de fabricación de la misma, y más particularmente, a un larguero de una pala de rotor de este tipo que tiene características configuradas para mejorar su uso y funcionalidad.

Antecedentes

10 Una construcción típica para una pala de rotor de una turbina eólica incluye una carcasa exterior y un elemento interior portante de carga dirigido longitudinalmente denominado larguero. El larguero se extiende desde un extremo de raíz de la pala de rotor hacia un extremo de punta de la pala de rotor y está configurado para transferir cargas situadas sobre la pala de rotor al buje de la turbina eólica. Una disposición convencional para un larguero incluye una nervadura de ataque cerca del borde de ataque de la carcasa exterior, una nervadura de salida más próxima al borde de salida de la carcasa exterior, y cubiertas a sotavento y a barlovento acopladas a la nervadura de ataque y la nervadura de salida. Las nervaduras y las cubiertas definen en conjunto una sección transversal circular del larguero en el extremo de raíz de la pala de rotor, pero después cada una de las nervaduras y las cubiertas se aplana hacia el extremo de punta de la pala de rotor para dar una sección transversal más rectangular del larguero. El larguero define generalmente un centro de elasticidad para la pala de rotor.

20 A medida que aumenta el tamaño de las turbinas eólicas, también aumenta el tamaño correspondiente de las palas de rotor. A este respecto, aumenta la anchura o distancia entre el borde de salida y el borde de ataque de la carcasa exterior. Por tanto, las fuerzas aplicadas a la pala de rotor a lo largo de la anchura tienen un efecto más perjudicial sobre las palas de rotor debido a que el borde de salida y el borde de ataque están más alejados del centro de elasticidad del larguero portante de carga. Para abordar estos inconvenientes, los fabricantes de palas de rotor han añadido una nervadura de salida adicional al larguero. La nervadura de salida adicional se acopla a la cubierta a barlovento y la cubierta a sotavento en el extremo de raíz de la pala de rotor, y después se extiende alejándose de la cubierta a barlovento y la cubierta a sotavento hacia el borde de salida de la carcasa exterior. Como resultado, el larguero tiene más elementos portantes de carga más próximos al borde de salida de la carcasa exterior, mejorando de ese modo la resistencia de la pala de rotor ante fuerzas aplicadas a lo largo de la anchura de la pala de rotor.

El documento WO 2010/092168 muestra un ejemplo de la técnica anterior mencionada anteriormente.

30 No obstante, la incorporación de una nervadura de salida adicional en un larguero ha presentado su propio conjunto de problemas. Por ejemplo, la nervadura de salida adicional define una espina a lo largo de una línea central longitudinal de la nervadura de salida adicional, representando esa espina una trayectoria de carga para que el larguero transfiera cargas al buje. Es deseable mantener esta trayectoria de carga o espina tan recta como sea posible de modo que no se formen zonas debilitadas del larguero. Sin embargo, la nervadura de salida adicional también debe acoplarse a la cubierta a sotavento y la cubierta a barlovento por una longitud alargada de manera que se minimizan esfuerzos de carga en el larguero para evitar la rotura de la nervadura de salida adicional con respecto a las cubiertas. Tal como se muestra en la figura 2 de la presente solicitud, esta conexión alargada a la cubierta a sotavento y la cubierta a barlovento da como resultado que la nervadura de salida adicional forme una "deformación" hacia arriba hacia el borde de salida justo más allá del extremo de la conexión alargada. Por tanto, tal como se muestra claramente en esta figura, esta deformación se incorpora en la espina o trayectoria de carga de la nervadura de salida adicional, formando un punto de posible combado para el larguero. En efecto, esta deformación puede crear un punto de carga debilitado en el larguero y por tanto limitar la capacidad portante de carga del larguero.

45 Por tanto, aunque los largueros convencionales son generalmente satisfactorios para la finalidad a la que se destinan, sigue habiendo la necesidad de un larguero mejorado que aborde éste y otros inconvenientes en la construcción de pala de rotor convencional.

Sumario

50 Según una realización de la invención, una pala de rotor para una turbina eólica incluye una carcasa exterior y un larguero para transferir cargas desde la carcasa exterior. La carcasa exterior tiene un extremo de raíz, un extremo de punta y una parte intermedia entre el extremo de raíz y el extremo de punta. El larguero se extiende longitudinalmente dentro de la carcasa exterior desde el extremo de raíz hacia el extremo de punta. El larguero incluye al menos una nervadura que tiene una primera parte y una segunda parte. La primera parte define un radio de curvatura de sección transversal que generalmente disminuye desde el extremo de raíz hasta la parte intermedia. La segunda parte puede definir adicionalmente un radio de curvatura de sección transversal que generalmente aumenta desde la parte intermedia hacia el extremo de punta. La al menos una nervadura define una sección transversal parcialmente circular en el extremo de raíz y una sección transversal parcialmente elíptica a lo largo de la primera parte alejándose del extremo de raíz. La al menos una nervadura también define una espina longitudinal que biseca la nervadura y define una trayectoria de carga generalmente recta a lo largo de la primera parte de la

nervadura. A este respecto, la espina longitudinal tiene una curvatura longitudinal de aproximadamente cero a lo largo de una parte sustancial de la primera parte. Por tanto, el larguero mejora las características portantes de carga de la pala de rotor.

5 En esta invención, el larguero incluye una nervadura de ataque acoplada a una cubierta a barlovento y una cubierta a sotavento a lo largo de una longitud del larguero. Según la invención, la al menos una nervadura es una nervadura de salida que está acoplada a la cubierta a barlovento y la cubierta a sotavento a lo largo de la primera parte de la nervadura de salida. Según la invención, la nervadura de salida se separa después de la cubierta a barlovento y la cubierta a sotavento a lo largo de la segunda parte de la nervadura de salida. Puede colocarse al menos un elemento de separación entre la nervadura de salida y las cubiertas a sotavento y a barlovento a lo largo de esta
10 segunda parte de la nervadura de salida. El larguero también incluye una nervadura de salida secundaria que está separada de la nervadura de salida y acoplada a la cubierta a sotavento y la cubierta a barlovento a lo largo de la segunda parte de la nervadura de salida. Alternativamente, el larguero puede incluir una parte de raíz envolvente, siendo la al menos una nervadura una nervadura de salida acoplada a la parte de raíz envolvente a lo largo de la primera parte de la nervadura de salida.

15 En otra realización de la invención, una turbina eólica incluye una torre, un buje soportado por la torre y una pluralidad de palas de rotor que se extienden desde el buje. Cada una de las palas de rotor incluye una carcasa exterior y un larguero para transferir cargas desde la carcasa exterior. Tal como se describió anteriormente, el larguero incluye de nuevo al menos una nervadura que tiene una primera parte y una segunda parte. La primera parte define un radio de curvatura de sección transversal que generalmente disminuye desde el extremo de raíz hasta la parte intermedia. La segunda parte puede definir adicionalmente un radio de curvatura de sección
20 transversal que generalmente aumenta desde la parte intermedia hacia el extremo de punta.

En otra realización más de la invención, se proporciona un método para la fabricación de un larguero para soportar cargas en una pala de rotor según la reivindicación 11. La pala de rotor se extiende en una dirección longitudinal desde un extremo de raíz hacia un extremo de punta con una parte intermedia entre el extremo de raíz y el extremo
25 de punta. El método incluye acoplar una nervadura de ataque a al menos una cubierta. El método también incluye acoplar una primera parte de una nervadura de salida a la al menos una cubierta. La nervadura de salida incluye una primera parte que tiene un radio de curvatura de sección transversal que disminuye desde el extremo de raíz hasta la parte intermedia, y puede tener además una segunda parte que tiene un radio de curvatura de sección transversal que aumenta desde la parte intermedia hacia el extremo de punta.

30 **Breve descripción de los dibujos**

Los dibujos adjuntos, que se incorporan a y constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran una realización de la invención y, junto con una descripción general de la invención proporcionada anteriormente, y la descripción detallada proporcionada a continuación, sirven para explicar la invención.

35 La figura 1 es una vista en perspectiva de una turbina eólica con palas de rotor según una realización a modo de ejemplo de la invención;

la figura 2 es una vista en perspectiva de un larguero anterior configurado para su uso en las palas de rotor de la figura 1;

la figura 3 es una vista en perspectiva de un larguero de la pala de rotor de la figura 1 según una realización a modo de ejemplo de la invención;

40 la figura 4 es una vista frontal de sección transversal del larguero de la figura 3, y tomada generalmente a lo largo de la línea 4-4 tal como se muestra en la figura 5;

la figura 5 es una vista lateral en sección transversal del larguero de la figura 3 adyacente a un extremo de raíz de la pala de rotor, y tomada generalmente a lo largo de la línea 5-5 tal como se muestra en la figura 4;

45 la figura 6 es una vista lateral en sección transversal del larguero de la figura 3 adyacente a una parte intermedia de la pala de rotor, y tomada generalmente a lo largo de la línea 6-6 tal como se muestra en la figura 4;

la figura 7 es otra vista lateral en sección transversal del larguero de la figura 3 adyacente a una parte intermedia de la pala de rotor, y tomada generalmente a lo largo de la línea 7-7 tal como se muestra en la figura 4;

la figura 8 es otra vista lateral en sección transversal del larguero de la figura 3 adyacente a una parte intermedia de la pala de rotor, y tomada generalmente a lo largo de la línea 8-8 tal como se muestra en la figura 4;

50 la figura 9 es una vista lateral en sección transversal del larguero de la figura 3 adyacente a un extremo de punta de la pala de rotor, y tomada generalmente a lo largo de la línea 9-9 tal como se muestra en la figura 4;

la figura 10 es una vista en perspectiva de un larguero de la pala de rotor de la figura 1 según otra realización de la invención; y

la figura 11 es una vista en perspectiva de un larguero de la pala de rotor de la figura 1 según otra realización más de la invención.

Descripción detallada

5 Con referencia a las figuras, y más específicamente a la figura 1, una turbina eólica 10 a modo de ejemplo incluye una torre 12, una góndola 14 en la cúspide de la torre 12, y un rotor 16 acoplado de manera operativa a un generador 18 alojado en el interior de la góndola 14. La turbina eólica 10, que se representa como una turbina eólica de eje horizontal, tiene la capacidad de convertir la energía cinética del viento en energía eléctrica. Además del generador 18, la góndola 14 aloja diversos componentes necesarios para convertir la energía eólica en energía eléctrica y también diversos componentes necesarios para controlar y optimizar el rendimiento de la turbina eólica 10. La torre 12 soporta la carga presentada por la góndola 14, el rotor 16, y otros componentes de turbina eólica alojados en el interior de la góndola 14 y sirve para elevar la góndola 14 y el rotor 16 a una altura por encima del nivel del terreno o el nivel del mar, según sea el caso, a la que se encuentra normalmente viento con aire de movimiento más rápido caracterizado por corrientes de aire menos turbulentas y más regulares.

15 El rotor 16 incluye un buje central 20 y una pluralidad de palas de rotor 22 unidas a y que se extienden hacia fuera desde el buje central 20 en ubicaciones distribuidas alrededor de la circunferencia del buje central 20. En la realización representativa, el rotor 16 incluye tres palas 22. Las palas 22, que sobresalen radialmente hacia fuera desde el buje central 20, están configuradas para interactuar con el flujo de aire que pasa para producir una sustentación que hace que el buje central 20 dé vueltas alrededor de su eje longitudinal. La funcionalidad de las palas 22 resulta familiar para un experto habitual en la técnica. Por ejemplo, cada una de las palas 22 está conectada al buje central 20 a través de un mecanismo de regulación de paso que permite que la pala regule el paso bajo el control de un controlador de paso (no mostrado). El viento que supera un nivel mínimo activará el rotor 16 y le permitirá rotar en una dirección sustancialmente perpendicular al viento. El movimiento de rotación se convierte en potencia eléctrica mediante el generador 18 y se suministra habitualmente a la red de distribución tal como conoce un experto habitual en la técnica.

25 En el contexto de la descripción a continuación, el término “longitudinal” o “longitud” se refiere a la dirección que se extiende desde un buje o extremo de raíz 28 (es decir, adyacente al buje central 20) de la pala de rotor 22 hasta un extremo de punta 30 de la pala de rotor 22 (a lo largo de un eje longitudinal L). El término “cuerda” o “anchura” se refiere a la dirección que se extiende desde un borde de ataque de la pala de rotor 22 hasta un borde de salida de la pala de rotor 22. El término grosor se refiere a la dirección que se extiende entre un lado a barlovento de la pala de rotor 22 y un lado a sotavento de la pala de rotor 22.

30 Tal como se explicó anteriormente de manera breve, un larguero 200 anterior se ilustra en la figura 2 y está formado por una nervadura de ataque 202, cubierta a barlovento 204, cubierta a sotavento 206 y una nervadura de salida adicional 208 cada una acopladas entre sí en un extremo de raíz 210 del larguero 200. La nervadura de ataque 202, cubierta a barlovento 204, cubierta a sotavento 206 y nervadura de salida adicional 208 definen cada una, una sección transversal parcialmente circular en el extremo de raíz 210 que después se aplanan en una dirección hacia el extremo de punta (no mostrado en la figura 2) del larguero 200. A este respecto, el radio de curvatura de sección transversal “r” (es decir, el radio de curvatura definido por una sección transversal del larguero 200 en un plano transversal al eje longitudinal L) de cada una de las nervaduras 202, 208 y las cubiertas 204, 206 aumenta, por ejemplo, aumenta de manera continua, en una dirección desde el extremo de raíz 210 hacia el extremo de punta. A este respecto, y con referencia a la figura 2, el radio de curvatura de sección transversal r es igual a R, siendo R un valor establecido en el extremo de raíz 210, mientras que el radio de curvatura de sección transversal r es significativamente mayor que R alejándose del extremo de raíz 210 hacia el extremo de punta. La nervadura de ataque 202 está acoplada a la cubierta a barlovento 204 y la cubierta a sotavento 206 a lo largo de toda la longitud de la nervadura de ataque 202. Por el contrario, la nervadura de salida adicional 208 sólo está acoplada a la cubierta a barlovento 204 y la cubierta a sotavento 206 por una primera parte 212 adyacente al extremo de raíz 210. Una segunda parte 214 de la nervadura de salida adicional 208 se extiende alejándose de la cubierta a barlovento 204 y la cubierta a sotavento 206 hacia un borde de salida de una pala de rotor (no mostrado en la figura 2). El larguero 200 también incluye una nervadura de salida 216 directamente acoplada a la cubierta a barlovento 204 y la cubierta a sotavento 206 a lo largo de la segunda parte 214 de la nervadura de salida adicional 208.

45 Tal como se muestra en la figura 2, la segunda parte 214 incluye por tanto una zona deformada 218 en la que la nervadura de salida adicional 208 se separa de la cubierta a barlovento 204 y la cubierta a sotavento 206, estando definida la zona deformada 218 por un cambio de pendiente rápido a lo largo de una dirección longitudinal del larguero 200. La zona deformada 218 se ilustra adicionalmente mediante una espina 220 definida a lo largo de la mitad o bisección de la nervadura de salida adicional 208. La espina 220 generalmente define una trayectoria de carga principal para la nervadura de salida 208. En particular, en la configuración mostrada en la figura 2, esta trayectoria de carga principal tiene una curvatura significativa en la zona deformada 218. Por consiguiente, la nervadura de salida adicional 208 puede estar debilitada en la zona deformada 218 y el larguero 200 podría combarse posiblemente en la zona deformada 218 bajo carga. Sin embargo, la longitud de acoplamiento entre la primera parte 212 de la nervadura de salida adicional 208 y las cubiertas 204, 206 no puede reducirse para, en esencia, “enderezar” esta zona deformada 218 debido a que acortar esa zona de unión aumenta pronunciadamente los esfuerzos de carga en el larguero 200, que pueden dar como resultado, por ejemplo, un fallo prematuro.

En vista de estos problemas, y con referencia a las figuras 3-9, se muestra una pala de rotor 22 y un larguero 24 según una realización a modo de ejemplo de la invención. La pala de rotor 22 incluye una carcasa exterior 26 (mostrada en línea discontinua en las figuras 4-9) que tiene un extremo de raíz 28 configurado para acoplarse al buje central 20. La carcasa exterior 26 también incluye un extremo de punta 30 separado longitudinalmente del buje central 20 y una parte intermedia 32 entre el extremo de raíz 28 y el extremo de punta 30 (figura 1). La carcasa exterior 26 también incluye un borde de ataque 34 y un borde de salida 36 que definen una anchura de la pala de rotor 22, y un lado a barlovento 38 y un lado a sotavento 40 que definen un grosor de la pala de rotor 22. El borde de ataque 34, borde de salida 36, lado a barlovento 38 y lado a sotavento 40 de la carcasa exterior 26 definen en conjunto un perfil aerodinámico para la pala de rotor 22. Aunque se ilustran un perfil y forma particulares de la carcasa exterior 26 en las vistas en sección transversal de las figuras 4-9, se apreciará que pueden modificarse el perfil y forma específicos de la carcasa exterior 26 sin apartarse del alcance de esta invención.

En términos generales, el larguero 24 forma una estructura hueca que se extiende longitudinalmente, que se extiende desde el extremo de raíz 28 hacia el extremo de punta 30 de la carcasa exterior 26. El larguero 24 se usa para transferir cargas de tracción, compresión y torsión desde la carcasa exterior 26 al buje central 20. Por consiguiente, los elementos descritos a continuación del larguero 24 se colocan lo más cerca posible al borde de ataque 34, borde de salida 36, lado a barlovento 38 y lado a sotavento 40 de la carcasa exterior 26. En la realización a modo de ejemplo ilustrada, el larguero 24 está formado en cuatro cuadrantes por cuatro elementos independientes: una nervadura de ataque 42, una cubierta a barlovento 44, una cubierta a sotavento 46 y una nervadura de salida 48. Cada una de estas nervaduras 42, 48 y cubiertas 44, 46 está formada a partir de un material fibroso tal como fibra de carbono, fibra de vidrio o fibra de basalto. Se entenderá que pueden usarse otros materiales fibrosos o estructurales para formar los diversos componentes del larguero 24.

Tal como se muestra más claramente en las figuras 3 y 4, la nervadura de ataque 42 se extiende longitudinalmente desde el extremo de raíz 28 hacia el extremo de punta 30 en relación estrecha con el borde de ataque 34 de la carcasa exterior 26. La nervadura de ataque 42 incluye un borde a barlovento 50 y un borde a sotavento 52. La nervadura de ataque 42 define una sección transversal parcialmente circular en el extremo de raíz 28 y después se aplana hacia el extremo de punta 30, como es generalmente convencional. A este respecto, la nervadura de ataque 42 define un radio de curvatura de sección transversal r_{LW} (es decir, el radio de curvatura definido por una sección transversal de la nervadura de ataque 42 en un plano transversal al eje longitudinal L) que generalmente aumenta a lo largo de sustancialmente toda la longitud del larguero 24. Por ejemplo, el radio de curvatura de sección transversal r_{LW} de la nervadura de ataque 42 puede aumentar de manera continua desde un valor inicial R a lo largo de la longitud del larguero 24, especialmente adyacente al extremo de raíz 28.

La cubierta a barlovento 44 también se extiende longitudinalmente desde el extremo de raíz 28 hacia el extremo de punta 30. La cubierta a barlovento 44 puede estar ubicada en una relación estrecha con el lado a barlovento 38 de la carcasa exterior 26 de manera que la cubierta a barlovento 44 define parcialmente el perfil aerodinámico de la pala de rotor 22 en determinadas zonas. La cubierta a barlovento 44 incluye un primer borde 54 y un segundo borde 56. El primer borde 54 de la cubierta a barlovento 44 está conectado directamente al borde a barlovento 50 de la nervadura de ataque 42 a lo largo de sustancialmente toda la longitud de la cubierta a barlovento 44 y nervadura de ataque 42. Se entenderá que "conexión directa" en esta descripción se refiere a bordes o superficies en contacto que pueden unirse entre sí de manera mecánica o adhesiva mediante cualquier proceso convencional. La cubierta a barlovento 44 incluye además salientes de borde 58 formados en el primer borde 54 y el segundo borde 56. El saliente de borde 58 en el primer borde 54 está configurado para superponerse a una parte del interior de la nervadura de ataque 42 en la conexión a la cubierta a barlovento 44, aumentando así el área de superficie de la conexión entre estos elementos de larguero. Se apreciará que los salientes de borde 58 pueden no incluirse en algunas realizaciones alternativas del larguero 24. La cubierta a barlovento 44 define una sección transversal parcialmente circular en el extremo de raíz 28 y después se aplana hacia el extremo de punta 30, como es generalmente convencional. A este respecto, la cubierta a barlovento 44 define un radio de curvatura de sección transversal r_{WC} que generalmente aumenta a lo largo de sustancialmente toda la longitud del larguero 24. Por ejemplo, el radio de curvatura de sección transversal r_{WC} de la cubierta a barlovento 44 puede aumentar de manera continua desde un valor inicial R a lo largo de la longitud del larguero 24, especialmente adyacente al extremo de raíz 28.

De una manera similar a la cubierta a barlovento 44, la cubierta a sotavento 46 se extiende longitudinalmente desde el extremo de raíz 28 hacia el extremo de punta 30. La cubierta a sotavento 46 puede estar ubicada en relación estrecha con el lado a sotavento 40 de la carcasa exterior 26 de manera que la cubierta a sotavento 46 define parcialmente el perfil aerodinámico de la pala de rotor 22 en determinadas zonas. La cubierta a sotavento 46 incluye un primer borde 60 y un segundo borde 62. El primer borde 60 de la cubierta a sotavento 46 está conectado directamente al borde a sotavento 52 de la nervadura de ataque 42 a lo largo de sustancialmente toda la longitud de la cubierta a sotavento 46 y nervadura de ataque 42. La cubierta a sotavento 46 incluye además salientes de borde 64 formados en el primer borde 60 y el segundo borde 62. El saliente de borde 64 en el primer borde 60 está configurado para superponerse a una parte del interior de la nervadura de ataque 42 en la conexión a la cubierta a sotavento 46, aumentando así el área de superficie de conexión entre estos elementos de larguero. Se apreciará que los salientes de borde 64 pueden no incluirse en algunas realizaciones alternativas del larguero 24. La cubierta a sotavento 46 define una sección transversal parcialmente circular en el extremo de raíz 28 y después se aplana hacia el extremo de punta 30, como es generalmente convencional. A este respecto, la cubierta a sotavento 46

define un radio de curvatura de sección transversal r_{LC} que generalmente aumenta a lo largo de sustancialmente toda la longitud del larguero 24. Por ejemplo, el radio de curvatura de sección transversal r_{LC} de la cubierta a sotavento 46 puede aumentar de manera continua desde un valor inicial R a lo largo de la longitud del larguero 24, especialmente adyacente al extremo de raíz 28.

5 La nervadura de salida 48 se extiende longitudinalmente desde el extremo de raíz 28 hacia el extremo de punta 30 en relación estrecha con el borde de salida 36 de la carcasa exterior 26. La nervadura de salida 48 incluye un borde a barlovento 66 y un borde a sotavento 68. La nervadura de salida 48 está conectada directamente a la cubierta a barlovento 44 y la cubierta a sotavento 46 a lo largo de una primera parte 70 de la nervadura de salida 48, extendiéndose la primera parte 70 desde el extremo de raíz 28 hacia la parte intermedia 32 del larguero 24. A este
10 respecto, el borde a barlovento 66 está conectado directamente al segundo borde 56 y el correspondiente saliente de borde 58 de la cubierta a barlovento 44 a lo largo de la primera parte 70, mientras que el borde a sotavento 68 está conectado directamente al segundo borde 62 y correspondiente saliente de borde 64 de la cubierta a sotavento 46 a lo largo de la primera parte 70. La nervadura de salida 48 también incluye una segunda parte 72 separada de la cubierta a barlovento 44 y la cubierta a sotavento 46 de manera que la nervadura de salida 48 está colocada más
15 próxima al borde de salida 36 de la carcasa exterior 26. La segunda parte 72 se extiende desde la parte intermedia 32 del larguero 24 hacia el extremo de punta 30. Se entenderá que aunque la nervadura de salida 48 se muestra en la figura 4 terminando delante del extremo de punta 30 y separada de manera continua de la cubierta a barlovento 44 y la cubierta a sotavento 46 a lo largo de la segunda parte 72, otras realizaciones pueden incluir una reconexión de la nervadura de salida 48 a la cubierta a barlovento 44 y la cubierta a sotavento 46 adyacente al extremo de
20 punta 30.

Tal como se muestra más claramente en la figura 5, la nervadura de salida 48 define una sección transversal parcialmente circular que tiene un radio de curvatura de sección transversal r_{TW} igual a un valor de radio de curvatura inicial R en el extremo de raíz 28. El radio de curvatura de sección transversal r_{TW} de la nervadura de salida 48 generalmente disminuye a lo largo de la primera parte 70 (por ejemplo, disminuye de una manera continua, especialmente cerca del extremo de raíz 28), haciéndose así más convexa tal como se muestra en la figura 6. A este
25 respecto, la sección transversal convexa de la primera parte 70 de la nervadura de salida 48 pasa de parcialmente circular a parcialmente elíptica en la dirección del extremo de punta 30. Desde esta región parcialmente elíptica, el radio de curvatura de sección transversal r_{TW} de la nervadura de salida 48 después generalmente aumenta a lo largo de la segunda parte 72 (por ejemplo, aumenta de una manera continua, especialmente cerca de la región
30 parcialmente elíptica) hasta aplanar la nervadura de salida 48 desde la parte intermedia 32 hacia el extremo de punta 30 del larguero 24, tal como se ilustra en las figuras 7 y 8. Esta disminución y este aumento de radio de curvatura de sección transversal r_{TW} permiten que la nervadura de salida 48 permanezca directamente conectada a la cubierta a barlovento 44 y la cubierta a sotavento 46 a lo largo de la primera parte 70 al tiempo que también se reducen los problemas mencionados anteriormente de una trayectoria de carga deformada, como se describirá con
35 más detalle a continuación. Se entenderá que la sección transversal generalmente convexa de la primera parte 70 también puede definir formas diferentes no elípticas con una disminución de radio de curvatura de sección transversal r_{TW} a lo largo de la primera parte 70 en realizaciones alternativas.

Tal como se muestra más claramente en la figura 3, la nervadura de salida 48 define además una espina longitudinal 74 que generalmente biseca o discurre a lo largo del centro de la nervadura de salida 48. La espina 74 define
40 ampliamente una trayectoria de carga para el larguero 24 a lo largo de la longitud de la nervadura de salida 48. Tal como se comentó anteriormente, un larguero 200 convencional tiene una zona deformada en la trayectoria de carga que puede provocar el combado del larguero 200 bajo carga. Sin embargo, la espina 74 de la nervadura de salida 48 en la realización a modo de ejemplo no tiene tal zona deformada debido a que la espina 74 define una trayectoria de carga generalmente recta al menos a lo largo de la primera parte 70 de la nervadura de salida 48 y también en la
45 unión de la primera parte 70 y la segunda parte 72. Esta trayectoria de carga generalmente recta se muestra más claramente en la figura 4, donde la sección transversal generalmente se toma a través de la espina 74. A este respecto, la espina 74 tiene una curvatura longitudinal (por ejemplo, curvatura en una dirección desde el extremo de raíz 28 hacia el extremo de punta 30) relativamente pequeña (por ejemplo, aproximadamente cero) a lo largo de la primera parte 70 y en la unión de la primera parte 70 y la segunda parte 72. Por consiguiente, la nervadura de salida
50 48 no incluye una trayectoria de carga deformada problemática que pudiera conducir al combado del larguero 24 bajo una carga aplicada a la pala de rotor 22. Se entenderá que la curvatura longitudinal de la espina 74 puede no ser igual a cero para permitir un cierto contorno de la nervadura de salida 48, pero no existe una parte deformada que pueda identificarse rápidamente de pendiente de cambio rápido de la espina 74 según la realización a modo de ejemplo.

55 El larguero 24 también puede incluir una nervadura de salida secundaria 76 tal como se muestra en las figuras 3 y 4. La nervadura de salida secundaria 76 es generalmente plana e incluye un borde a barlovento 78 y un borde a sotavento 80. En la realización a modo de ejemplo, la nervadura de salida secundaria 76 está acoplada a la cubierta a barlovento 44 y la cubierta a sotavento 46 a lo largo de al menos una parte de la segunda parte de la nervadura de salida 48. Por tanto, el borde a barlovento 78 de la nervadura de salida secundaria 76 está conectado directamente al segundo borde 56 de la cubierta a barlovento 44 desde la parte intermedia 32 y hacia el extremo de punta 30 del larguero 24. Del mismo modo, el borde a sotavento 80 de la nervadura de salida secundaria 76 está conectado
60 directamente al segundo borde 62 de la cubierta a sotavento 46 desde la parte intermedia 32 y hacia el extremo de punta 30 del larguero 24. La nervadura de salida secundaria 76 proporciona otro elemento estructural para soportar

carga de la pala de rotor 22 y el larguero 24. La nervadura de salida secundaria 76, la nervadura de ataque 42, la cubierta a barlovento 44 y la cubierta a sotavento 46 definen en conjunto una sección transversal generalmente rectangular para el larguero 24 a lo largo de al menos una parte de la segunda parte 72 de la nervadura de salida 48. En la realización a modo de ejemplo, la nervadura de salida secundaria 76 tiene un extremo delantero 82 que termina bajo la segunda parte 72 de la nervadura de salida 48. Se entenderá que la nervadura de salida secundaria 76 podría extenderse de manera que el extremo delantero 82 esté colocado adyacente al extremo de raíz 28 del larguero 24 sin apartarse del alcance de esta invención. Tal realización alternativa se muestra en la figura 11 y se describe más completamente a continuación.

El larguero 24 también puede incluir uno o más elementos de separación 84 dispuestos entre la segunda parte 72 de la nervadura de salida 48 y el resto del larguero 24. A este respecto, los elementos de separación 84 entran en contacto con la nervadura de salida 48 y pueden entrar en contacto con una o más de la cubierta a barlovento 44, la cubierta a sotavento 46 y la nervadura de salida secundaria 76. Los elementos de separación 84 están formados a partir de paneles de carbono generalmente planos u otro material estructural en la realización a modo de ejemplo. Los elementos de separación 84 ayudan en la fabricación y pueden transferir adicionalmente cargas entre los elementos longitudinales del larguero 24 para garantizar que la nervadura de salida 48 permanece dispuesta en relación estrecha con el borde de salida 36 de la carcasa exterior 26. Se apreciará que el larguero 24 puede no incluir elementos de separación 84 en realizaciones alternativas no ilustradas.

La realización a modo de ejemplo del larguero 24 y la pala de rotor 22 muestra que la nervadura de ataque 42, cubierta a barlovento 44, cubierta a sotavento 46 y nervadura de salida 48 forman cuadrantes independientes de una parte de raíz 86 del larguero 24 a lo largo de la primera parte 70 de la nervadura de salida 48. Esta construcción permite moldear y ensamblar las diversas nervaduras 42, 48 y cubiertas 44, 46 para definir la parte de raíz 86 con un contorno externo generalmente regular. Este contorno externo regular es deseable en zonas en las que la carcasa exterior 26 está dispuesta adyacente al larguero 24, tal como la parte de raíz 86, debido a que la carcasa exterior 26 también debe definir un contorno regular para la eficiencia aerodinámica.

Se entenderá que la nervadura de salida 48 de la presente invención puede incorporarse en realizaciones alternativas en las que la parte de raíz 86 se forma envolviendo una lámina de material de refuerzo alrededor de un mandril, como se entiende bien en la técnica de palas de rotor. Por ejemplo, la figura 10 ilustra una realización alternativa que tiene un larguero 24 con una parte de raíz envuelta 186 formada envolviendo material de fibra de vidrio alrededor de un mandril. La nervadura de ataque 42, cubierta a barlovento 44, cubierta a sotavento 46 y nervadura de salida secundaria 76 mencionadas anteriormente se extienden en esta realización desde la parte de raíz envuelta 186 hacia el extremo de punta 30. La primera parte 70 de la nervadura de salida 48 está acoplada de manera adhesiva o mecánica con la parte de raíz envuelta 186 en esta realización tal como se muestra en la figura 10.

La figura 11 ilustra otra realización alternativa del larguero 24. En esta realización, el larguero 24 está formado por la nervadura de ataque 42, cubierta a barlovento 44, cubierta a sotavento 46 y nervadura de salida secundaria 76, mencionadas anteriormente, de las cuales cada una se extiende desde el extremo de raíz 28 hacia el extremo de punta 30. En esta realización, la nervadura de salida 48 se acopla de manera adhesiva o mecánica a la nervadura de salida secundaria 76 a lo largo de la primera parte 70 de la nervadura de salida 48 tal como se muestra en la figura 11. Se entenderá que configuraciones de larguero adicionales que tienen la nervadura de salida 48 también se encuentran dentro del alcance de la presente invención.

En resumen, el larguero 24 de la presente invención incluye al menos una nervadura que tiene un radio de curvatura de sección transversal que generalmente disminuye a lo largo de una primera parte y después puede generalmente aumentar a lo largo de una segunda parte. A este respecto, en una realización a modo de ejemplo, la nervadura comienza en una forma parcialmente circular en el extremo de raíz 28 del larguero 24 y después pasa a ser más convexa (por ejemplo, más elíptica) en la primera parte antes de aplanarse en la segunda parte. Por tanto esta nervadura puede tener una zona de unión larga con otros elementos del larguero 24 para aumentar la resistencia a esfuerzos del larguero 24, mientras se evita una trayectoria de carga deformada o de pendiente rápida o curvada a lo largo de la nervadura que puede formar posiblemente un punto de combado para el larguero 24 bajo carga. El larguero 24 mejora la capacidad de carga y vida útil de una pala de rotor 22, mejorando de ese modo la eficiencia en el funcionamiento de una turbina eólica 10.

Aunque la presente invención se ha ilustrado mediante una descripción de diversas realizaciones preferidas y aunque estas realizaciones se han descrito con algo de detalle, no es la intención de los inventores restringir o limitar en modo alguno el alcance de las reivindicaciones adjuntas a tal detalle. Los expertos en la técnica concebirán fácilmente ventajas y modificaciones adicionales. Por ejemplo, la nervadura que tiene un radio de curvatura generalmente decreciente seguido por un radio de curvatura creciente se describe como una nervadura de salida 48 en la realización a modo de ejemplo, pero esta nervadura puede proporcionarse como una nervadura de ataque adicional o cubierta a sotavento o a barlovento en otras realizaciones. Por tanto, las diversas características de la invención pueden usarse por sí solas o en cualquier combinación dependiendo de las necesidades y preferencias del usuario.

REIVINDICACIONES

1. Pala de rotor (22) para una turbina eólica, que comprende:
 - una carcasa exterior (26) que tiene un extremo de raíz (28), un extremo de punta (30) y una parte intermedia (32) entre el extremo de raíz y el extremo de punta; y
 - 5 un larguero (24) para transferir cargas desde la carcasa exterior y que se extiende longitudinalmente dentro de la carcasa exterior desde el extremo de raíz hacia el extremo de punta, incluyendo el larguero al menos una nervadura de salida (48) que tiene una primera parte (70) con un radio de curvatura de sección transversal que disminuye desde el extremo de raíz hasta la parte intermedia (32), y una nervadura de ataque (42) acoplada a una cubierta a barlovento (44) y una cubierta a sotavento (46) a lo largo de una longitud del larguero (24),
 - 10 en la que la nervadura de salida (48) está acoplada a la cubierta a barlovento (44) y la cubierta a sotavento (46) a lo largo de la primera parte (70) de la nervadura de salida (48) y está separada de la cubierta a barlovento (44) y la cubierta a sotavento (46) a lo largo de una segunda parte (72) de la nervadura de salida (48).
- 15 2. Pala de rotor según la reivindicación 1, en la que la al menos una nervadura define una sección transversal parcialmente circular en el extremo de raíz y una sección transversal parcialmente elíptica a lo largo de la primera parte alejándose del extremo de raíz.
3. Pala de rotor según las reivindicaciones 1 ó 2, en la que la al menos una nervadura define una espina longitudinal que biseca la al menos una nervadura, definiendo la espina longitudinal una trayectoria de carga generalmente recta a lo largo de la primera parte de la al menos una nervadura.
- 20 4. Pala de rotor según la reivindicación 3, en la que la espina longitudinal tiene una curvatura longitudinal de aproximadamente cero a lo largo de una parte sustancial de la primera parte de la al menos una nervadura.
5. Pala de rotor según las reivindicaciones 1-4, en la que el larguero comprende además una nervadura de salida secundaria separada de la nervadura de salida y acoplada a la cubierta a sotavento y la cubierta a barlovento a lo largo de la segunda parte de la nervadura de salida.
- 25 6. Pala de rotor según las reivindicaciones 1-5, en la que el larguero comprende además al menos un elemento de separación dispuesto entre la nervadura de salida y las cubiertas a sotavento y a barlovento a lo largo de la segunda parte de la nervadura de salida.
7. Pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en la que el larguero comprende además una parte de raíz envolvente, y la al menos una nervadura es una nervadura de salida acoplada a la parte de raíz envolvente a lo largo de la primera parte de la nervadura de salida.
- 30 8. Pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en la que el larguero comprende además una nervadura de ataque acoplada a una cubierta a barlovento y una cubierta a sotavento a lo largo de una longitud del larguero y una primera nervadura de salida acoplada a la cubierta a barlovento y la cubierta a sotavento a lo largo de la longitud del larguero, y la al menos una nervadura es una segunda nervadura de salida acoplada a la primera nervadura de salida a lo largo de la primera parte de la segunda nervadura de salida.
- 35 9. Pala de rotor según cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en la que el larguero comprende además una segunda parte con un radio de curvatura de sección transversal que aumenta desde la parte intermedia hacia el extremo de punta.
- 40 10. Turbina eólica que comprende:
 - una torre;
 - un buje soportado por la torre; y
 - una pluralidad de palas de rotor según cualquiera de las reivindicaciones 1-9.
- 45 11. Método para la fabricación de una pala de rotor que se extiende en una dirección longitudinal desde un extremo de raíz hasta un extremo de punta con una parte intermedia entre el extremo de raíz y el extremo de punta, comprendiendo el método:
 - 50 formar una nervadura de salida que tiene una primera parte y una segunda parte, estando la primera parte definida por un radio de curvatura de sección transversal que generalmente disminuye desde un valor inicial hasta un valor intermedio a lo largo de la longitud de la primera parte;

acoplar una nervadura de ataque a al menos una cubierta, extendiéndose cada una de la nervadura de ataque y la al menos una cubierta desde el extremo de raíz hasta el extremo de punta; y

- 5 acoplar la nervadura de salida a la al menos una cubierta de manera que la primera parte se engancha con la al menos una cubierta desde el extremo de raíz hasta la parte intermedia y la segunda parte se separa de la al menos una cubierta desde la parte intermedia hacia el extremo de punta.
12. Método según la reivindicación 11, en el que la nervadura de salida define una sección transversal parcialmente circular en el extremo de raíz y una sección transversal parcialmente elíptica a lo largo de la primera parte alejándose del extremo de raíz.
- 10 13. Método según las reivindicaciones 11 ó 12, en el que la nervadura de salida define una espina longitudinal que biseca la nervadura de salida, definiendo la espina longitudinal una trayectoria de carga generalmente recta a lo largo de la primera parte de la nervadura de salida.

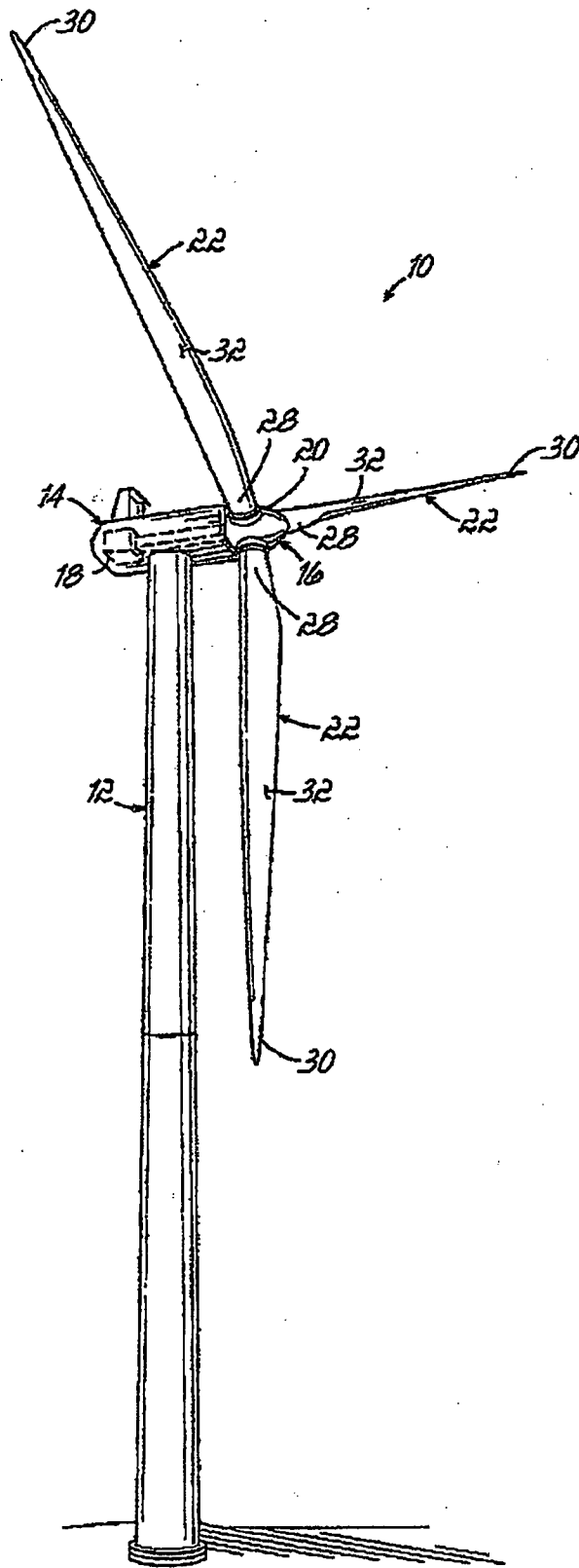


FIG. 1

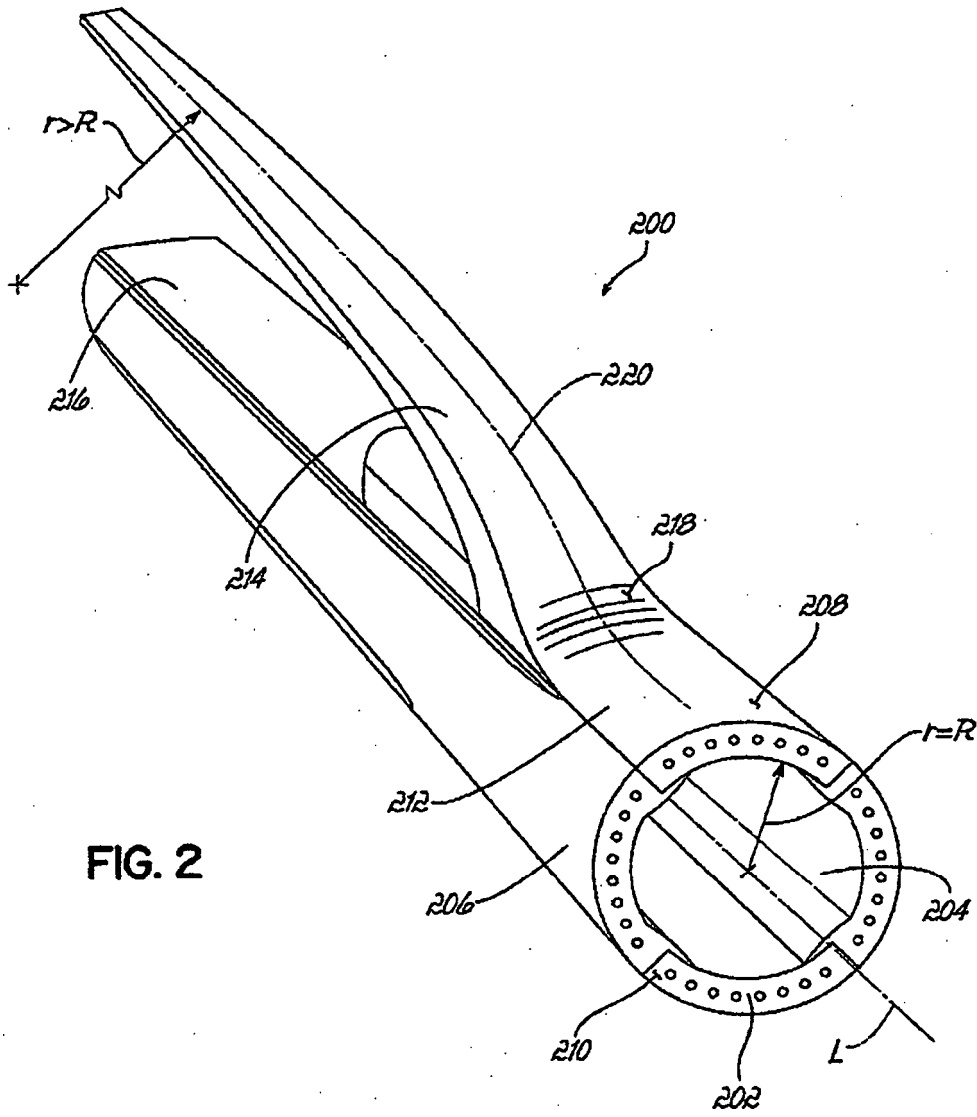


FIG. 2

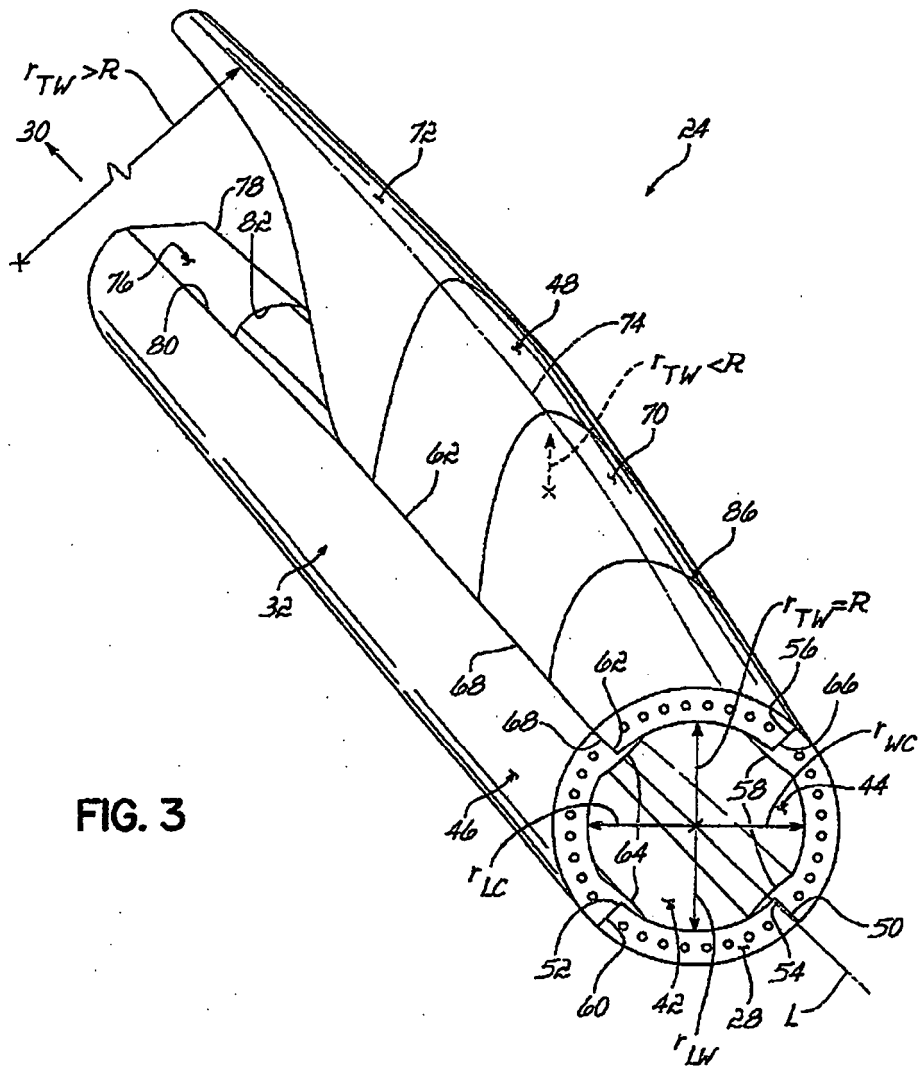


FIG. 3

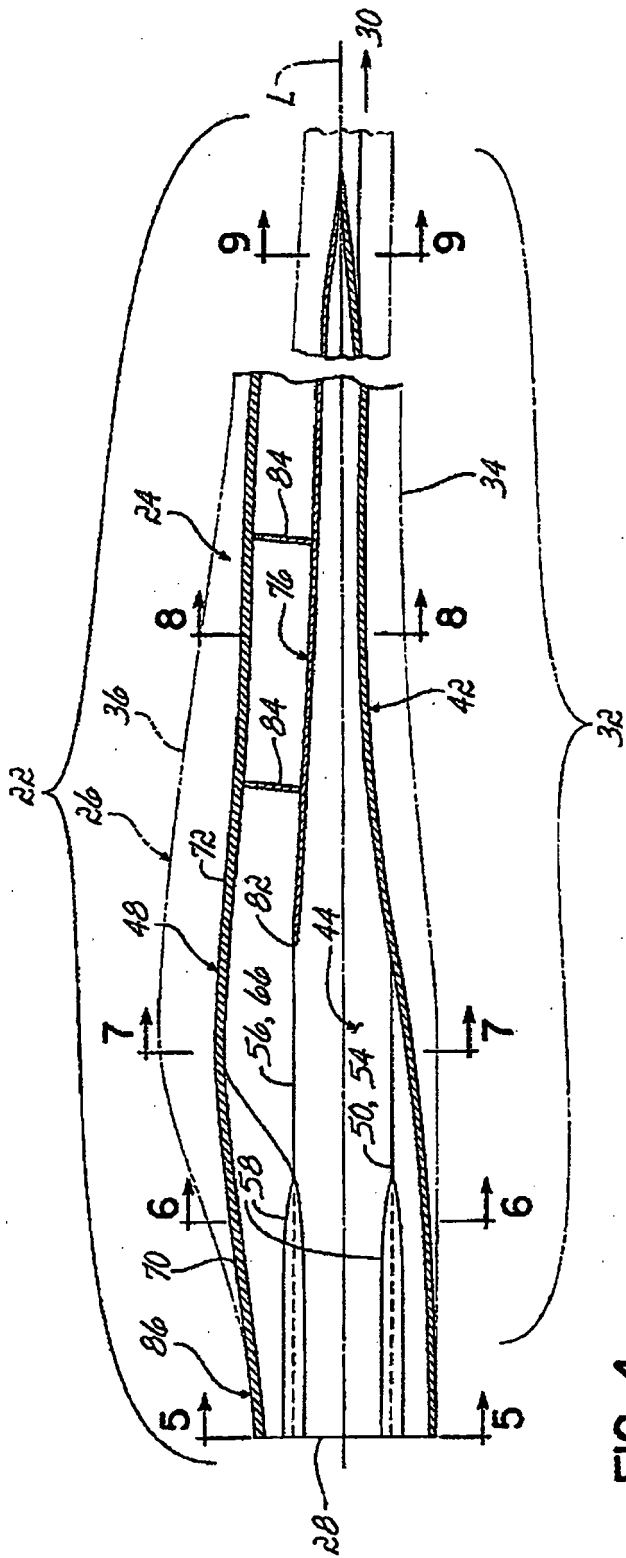
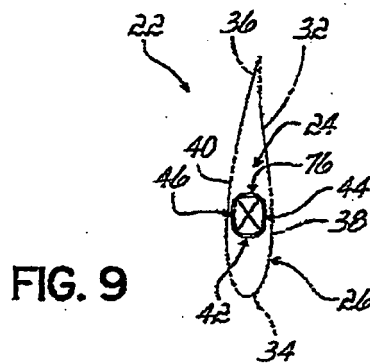
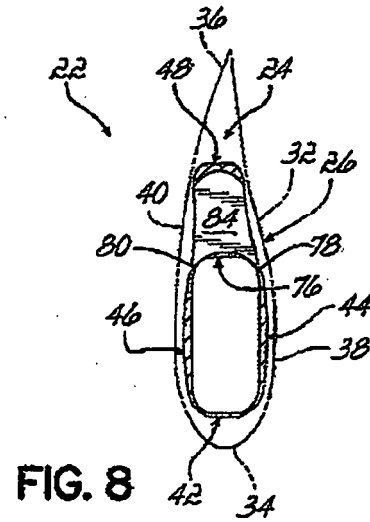
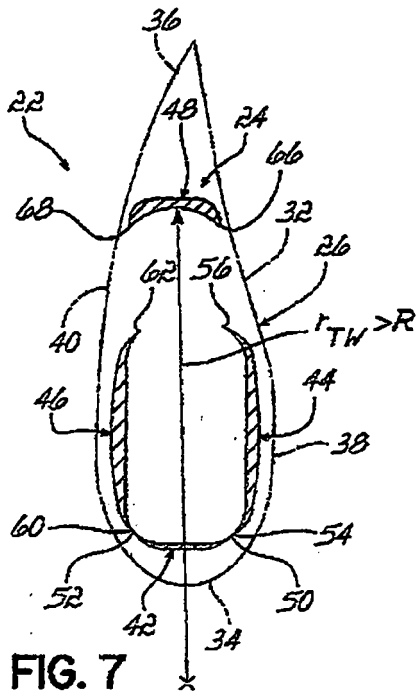
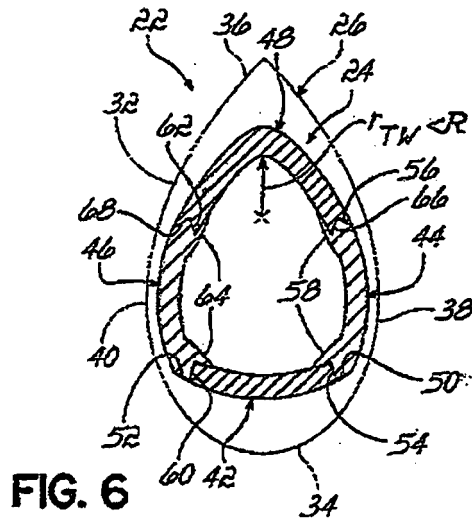
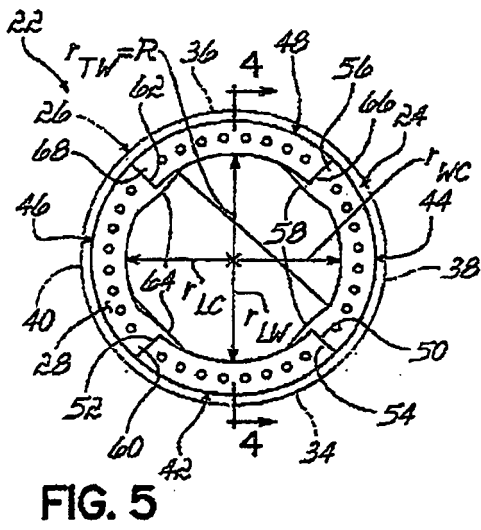


FIG. 4



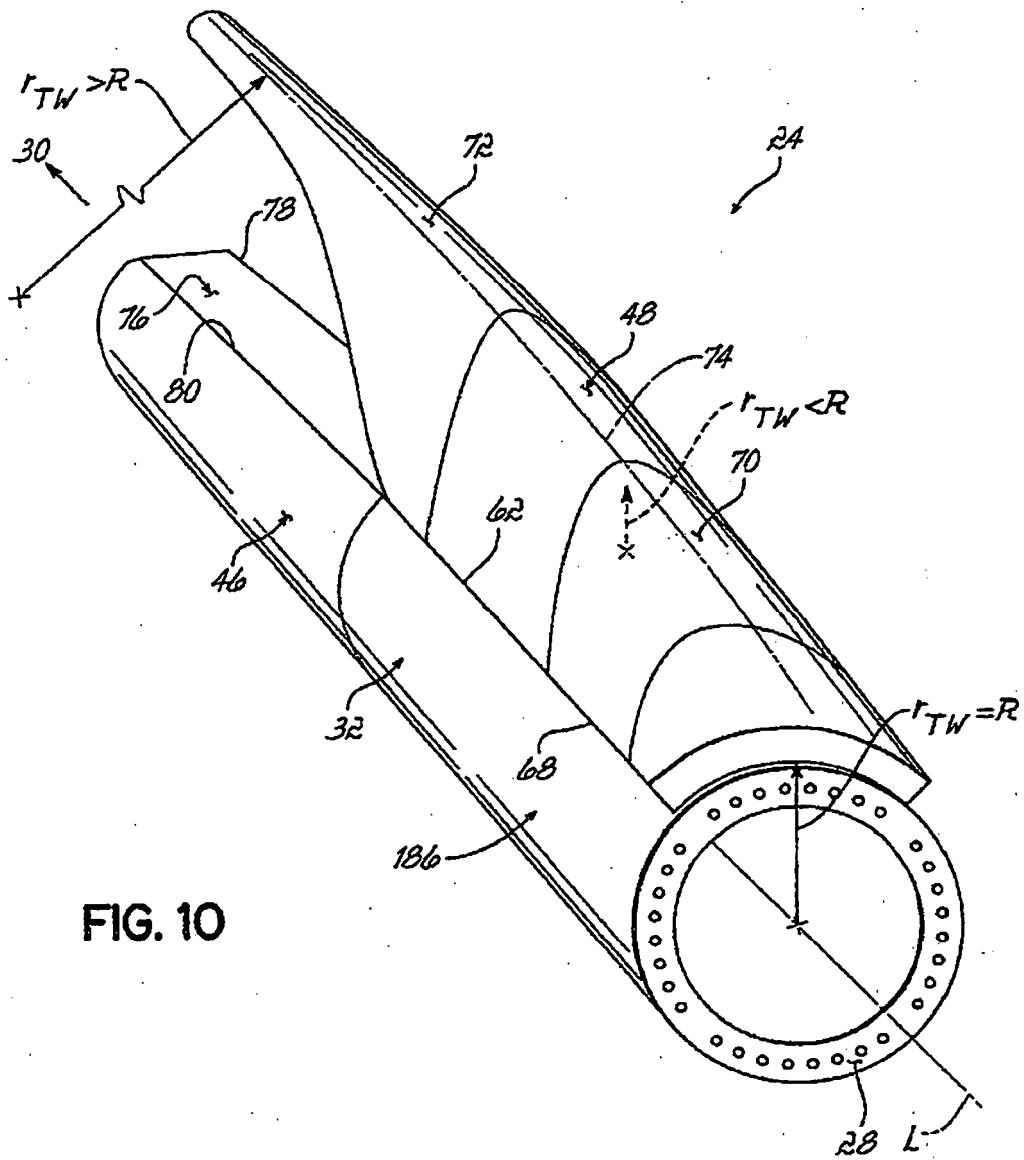


FIG. 10

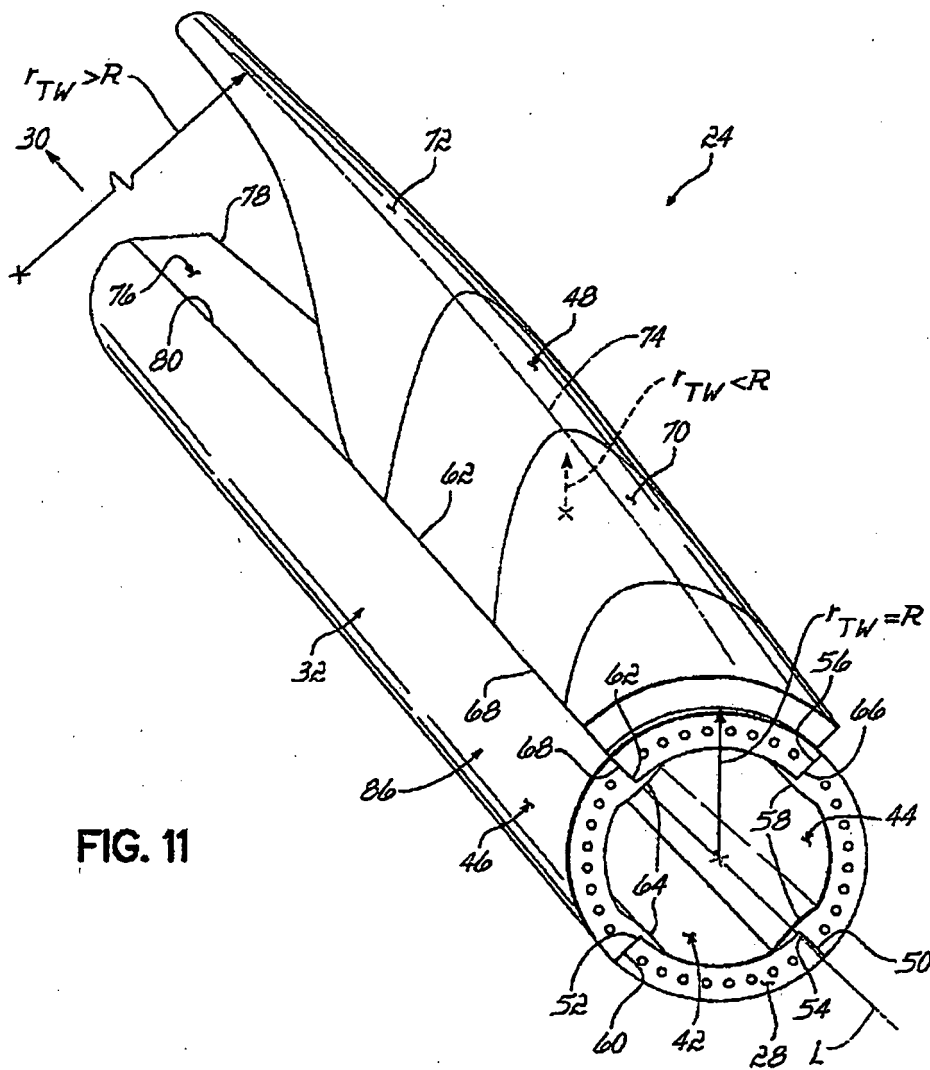


FIG. 11