

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 562 267**

51 Int. Cl.:

F03D 1/00 (2006.01)

F03D 1/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.09.2011** **E 11758112 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.10.2015** **EP 2616672**

54 Título: **Un aparato y un procedimiento para montar palas de turbina eólica en una torre de turbina eólica**

30 Prioridad:

15.09.2010 GB 201015433

15.09.2010 US 383120 P

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

03.03.2016

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)

Hedeager 42

8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

BITSCH, MICHAEL LUNDGAARD y

BAUN, TORBEN FRIIS

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 562 267 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

Un aparato y un procedimiento para montar palas de turbina eólica en una torre de turbina eólica

La invención se refiere a un aparato y a un procedimiento para montar palas de turbina eólica en una torre de turbina eólica, y en particular para turbinas eólicas que están destinadas a entornos marítimos.

- 5 La figura 1 ilustra una turbina eólica 1 marítima de eje horizontal, que comprende una torre 2 de la turbina eólica sobre la cual se monta una góndola 3 de la turbina eólica, y un rotor 4, que comprende al menos una pala 5 de la turbina eólica. La al menos una pala de turbina eólica se monta en un buje 6 del rotor conectado a la góndola 3 mediante un árbol de baja velocidad (no mostrado) que se extiende desde la parte delantera de la góndola. La torre 2 de la turbina eólica está instalada en un emplazamiento marítimo sobre una cimentación 7 de la torre, tal como un pilar único hundido en el lecho marítimo. La torre de turbina eólica puede tener una plataforma dispuesta justo por encima del nivel del mar para el acceso de un ingeniero aunque esto no se muestra en el diagrama.

- 10 Debido al coste de instalación y mantenimiento de turbinas eólicas en el mar, y la cantidad de energía eólica disponible potencialmente disponible para su captura en emplazamientos marítimos, las dimensiones de las turbinas eólicas marítimas son típicamente tan grandes como sea posible, por ejemplo diámetros de rotor de 100 a 150 m no son inusuales. Aunque instalar grandes turbinas eólicas marítimas puede maximizar el retorno en términos de los ingresos y la potencia generada por la turbina, grandes estructuras pueden ser más difíciles de instalar y reparar que en el caso de modelos más pequeños y ligeros.

- 15 La construcción de una turbina eólica marítima comenzaría típicamente, por ejemplo, en unas instalaciones costeras en donde se puede disponer fácilmente una gran grúa para izar los componentes de la turbina eólica a su posición de montaje. La grúa puede ser necesaria, por ejemplo, para cinco o más operaciones de izado, una para cada una de la torre y la góndola, y subsecuentemente una para cada una de las tres palas de la turbina eólica. Una vez que la turbina eólica se ha montado se transporta a continuación mediante una barcaza al emplazamiento de instalación marítimo, donde una grúa en la barcaza de transporte iza la torre a su posición sobre la cimentación 7 de la torre.

- 20 Son posibles variaciones de esta técnica de construcción, tal como el montaje en la costa de tan solo algunos de los componentes de la turbina eólica, con un montaje final que tiene lugar en el emplazamiento marítimo por medio de una grúa de barcaza. Una técnica es unir dos de las palas al buje del rotor de la góndola en una configuración de orejas de conejo, y unir una pala individual a la torre por medio de una fijación temporal. En el emplazamiento marítimo, la góndola y la torre se conectan entonces entre sí, y la pala unida a la torre se conecta al buje del rotor en la posición correcta.

- 25 En muchos casos, la góndola de la turbina eólica está provista asimismo de una grúa para izar componentes a su posición. Debido a limitaciones estructurales que surgen de su posición en la góndola, la grúa de la góndola no es capaz típicamente de izar cargas de la misma magnitud que la grúa de la barcaza o de la costa.

- 30 La góndola sobre la grúa de la torre se puede utilizar durante la construcción de la turbina eólica, e igualmente durante operaciones de mantenimiento. Ocasionalmente, durante tales operaciones es necesario separar una pala de la turbina eólica del buje del rotor, de modo que la pala o el buje puedan ser inspeccionados, y reparados si es necesario. Son conocidos igualmente medios para unir temporalmente la pala de la turbina eólica a la torre para mantenimiento.

- 35 Todas estas técnicas de construcción implican unas cargas considerables en términos de tiempo y coste. Además, separar la pala de la turbina eólica y volverla unir al buje tras una operación de mantenimiento puede ser difícil. Hemos apreciado por ello que sería deseable un procedimiento mejorado para construir una turbina eólica e instalarla, así como una técnica mejorada para separar y unir palas de turbina eólica al buje.

- 40 El documento EP1882854 describe unir una pala a un buje donde la raíz de la pala es recibida en un tubo de soporte en el buje y fijada usando piezas de retención en forma de tuercas y pernos.

El documento EP2003333 da a conocer igualmente el aseguramiento de superficies de acoplamiento en la raíz de la pala y el rodamiento del buje mediante el uso de pernos de pala recibidos en orificios de perno del rodamiento del buje.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

- 45 Ejemplos de la invención se describirán a continuación a modo de ejemplo con referencia los dibujos en los cuales:

la figura 1 es una ilustración esquemática de una turbina eólica marítima;

la figura 2 es una ilustración esquemática de acuerdo con un primer ejemplo de una góndola de turbina eólica marítima y una sección superior de la torre con puntos de unión para una o más palas de la turbina eólica;

la figura 3 es una ilustración esquemática de acuerdo con un primer ejemplo de la turbina eólica de una sección más larga de la torre mostrada en la figura 2, con puntos de unión para una o más palas de la turbina eólica;

la figura 4 es una vista en alzado superior de la torre mostrada en la figura 2 y 4;

la figura 5 es una vista ampliada de los puntos de unión para las palas de la turbina eólica;

5 la figura 6 es una vista ampliada de los puntos de unión para las puntas de las palas de la turbina eólica;

la figura 7 es una ilustración esquemática que muestra la colocación de los brazos de guía de la pala;

la figura 8 es una ilustración esquemática que muestra un procedimiento para unir una pala al buje del rotor, donde la pala está en una posición inicial;

10 la figura 9 es una ilustración esquemática que muestra un procedimiento para unir una pala al buje del rotor, donde la pala está en una segunda posición;

la figura 10 es una ilustración esquemática que muestra un procedimiento para unir una pala al buje del rotor, donde la pala está en una tercera posición;

la figura 11 es una ilustración esquemática que muestra un procedimiento para unir una pala al buje del rotor, donde la pala está en una posición final;

15 la figura 12 es una ilustración esquemática de un modo de realización alternativo de brazos de guía de pala en una posición inicial;

la figura 13 es una ilustración esquemática de un modo de realización alternativo de brazos de guía de pala en una posición final;

la figura 14 es una ilustración esquemática de barras de guía de unión de la pala;

20 la figura 15 es una ilustración esquemática del buje del rotor mostrando las barras y el receptáculo de unión de la pala;

la figura 16 es una vista ampliada de las barras de guía de unión de la pala mostradas en la figura 14;

la figura 17 es una ilustración esquemática del buje del rotor mostrando las barras de unión de la pala para un conjunto de rodamiento de tres anillos;

la figura 18 es una vista ampliada del receptáculo para las barras de guía de unión de la pala mostradas en la figura 17;

25 la figura 19 es un modo de realización alternativo del receptáculo para las barras de guía de unión de la pala;

la figura 20 es una ilustración esquemática del receptáculo en posición; y

la figura 21 es una ilustración esquemática del buje del rotor para un conjunto de rodamiento de dos anillos.

SUMARIO DE LA INVENCION

30 La invención se define en las reivindicaciones independientes a las cuales se debe hacer referencia. Elementos ventajosos se exponen en las reivindicaciones adjuntas.

En un primer aspecto, la invención proporciona un aparato de conexión de pala para conectar una pala de una turbina eólica a un buje del rotor de una turbina eólica, comprendiendo el aparato de conexión: una primera y una segunda superficie de acoplamiento, donde la primera superficie de acoplamiento está situada en la raíz de la pala de la turbina eólica y la segunda superficie de acoplamiento está situada en el buje del rotor de la turbina eólica para acoplarse con la primera superficie de acoplamiento; una pluralidad de fijaciones para conectar de modo liberable y seguro la primera superficie de acoplamiento con la segunda, comprendiendo las fijaciones una parte macho dispuesta en una de las superficies de acoplamiento para su conexión con una parte hembra correspondiente dispuesta en la otra superficie de acoplamiento; primer y segundo elementos de guía situados en la pala de la turbina eólica y el buje del rotor, respectivamente, y dispuestos para cooperar cuando se ponen en contacto entre sí; donde, cuando la primera y segunda superficies de acoplamiento se acercan una a la otra para su conexión, el primer y segundo elementos de guía se acoplan uno a otro con antelación al contacto entre la primera y segunda superficies de acoplamiento, y se garantiza que las partes macho y hembra de las fijaciones están alineadas para su conexión.

De este modo, las fijaciones se pueden insertar en sus respectivos orificios de punto de conexión sin la preocupación de

que no estén debidamente alineadas y se dañen.

5 La primera y segunda superficies de acoplamiento se pueden proporcionar como bridas sustancialmente circulares que tienen una circunferencia alrededor de la cual está dispuesta, en ubicaciones discretas, la pluralidad de fijaciones, en cuyo caso la cooperación entre el primer y segundo elementos de guía cuando la primera y segunda superficies de acoplamiento se acercan entre sí causa que las bridas circulares se sometan a un giro coaxial una respecto a la otra de modo que las fijaciones se alineen adecuadamente.

Además, el primer elemento de guía es de forma alargada y se extiende desde cualquiera de la pala de la turbina eólica o el buje del rotor hacia el segundo elemento de guía en una cantidad que es mayor que la longitud de la parte macho de las fijaciones. De este modo, el elemento de guía se puede acoplar más fácilmente en el alojamiento antes de la fijación.

10 En un modo de realización, el primer elemento de guía es una clavija asegurada al buje del rotor en un rodamiento de la raíz de la pala. El primer elemento de guía puede ser además ahusado.

15 En un modo de realización, uno o el otro del buje del rotor o la pala tiene al menos un anillo de rodamiento de la raíz de la pala externo y un anillo del rodamiento de la raíz de la pala interno, y el primer elemento de guía se asegura al rodamiento de la raíz de la pala interno, y está inclinado para extenderse hacia el segundo elemento de guía mientras permanece dentro de la circunferencia definida por el anillo del rodamiento de la raíz de la pala interno.

El segundo elemento de guía puede proporcionar una cavidad para recibir el primer elemento de guía. La cavidad puede comprender: una abertura para recibir el primer elemento de guía en una posición parcialmente insertada; y resaltos ahusados para soportar el primer elemento de guía en una posición completamente insertada.

20 En un modo de realización, los resaltos ahusados están curvados para promover que el primer elemento de guía adopte una posición en el centro de la cavidad.

La cavidad está dispuesta en un alojamiento del elemento de guía, alojamiento que comprende: una parte de labio para cooperar con las fijaciones macho en la primera o la segunda superficie de acoplamiento; un cordón para asegurar la parte de labio y el alojamiento a la parte macho de las fijaciones y sostener el alojamiento en su sitio. El alojamiento del elemento de guía se puede separar a continuación cortando el cordón una vez que la pala se ha unido al buje.

25 El segundo elemento de guía se sitúa dentro de la brida circular de la raíz de la pala, o dentro de la brida circular de la parte de conexión de la pala en el buje.

En un modo de realización, el aparato de conexión comprende al menos tres parejas de primer y segundo elementos de guía. Al disponer estos alrededor de la circunferencia de la raíz de la pala o buje, se puede proporcionar una fuerza rotacional a la pala de modo que se alinee rotacionalmente para conectarse correctamente con el buje.

30 En un modo de realización adicional, la invención proporciona un sistema de guía de conexión de la pala de turbina eólica y el buje del rotor, que comprende: primer y segundo elementos de guía para su montaje sobre uno respectivo de una pala de la turbina eólica o el buje del rotor, para facilitar la conexión de la pala de la turbina eólica al buje mediante fijaciones que tienen partes de fijación macho y hembra; en el que el primer elemento de guía tiene una forma alargada; y el segundo elemento de guía proporciona una cavidad con una abertura para recibir el primer elemento de guía en una posición parcialmente insertada, y un perfil de la cavidad para soportar el primer elemento de guía en una parte completamente insertada; en el que el perfil de la cavidad promueve el primer elemento de guía hacia una posición en la cavidad, tal que la pala de la turbina eólica se alinee correctamente para la unión de las partes de fijación macho con las partes de fijación hembra.

Se contempla igualmente un procedimiento correspondiente.

40 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS MODOS DE REALIZACIÓN PREFERIDOS

45 La invención se refiere a un aparato y a un procedimiento para montar palas de turbina eólica en una torre de turbina eólica. Se proporciona un número de barras de guía 94 en la proximidad de la raíz de la pala y el buje para su conexión a secciones de alojamiento 96 correspondientes. Las barras de guía 94 y secciones de alojamiento 96 se disponen en uno respectivamente de una pala de la turbina eólica y un buje de la turbina eólica para facilitar la conexión de uno al otro. Las barras de guía 94 y los alojamientos 96 se pueden proporcionar sobre los mismos o sobre diferentes de la pala o el buje. Las barras de guía y alojamientos permiten que la pala se coloque en el buje en la orientación rotacional correcta para facilitar la conexión de las fijaciones necesarias. Como las fijaciones se proporcionan frecuentemente conectadas parcialmente de antemano a uno del buje o de la pala, garantizar correctamente el alineamiento de la pala y el buje antes de que se acerquen entre sí evita daños a las fijaciones en su instalación.

50 Las figuras 2, 3 y 4 ilustran una turbina eólica 20 de acuerdo con un ejemplo de la invención, en la que la torre de la

turbina eólica está provista de brazos de guía para mover las palas de la turbina eólica entre una posición de funcionamiento, en la que están conectadas al buje del rotor, y una posición de almacenamiento en la que están separadas del buje del rotor y almacenadas contra la torre de la turbina eólica.

La figura 2 es una vista en alzado lateral de la sección superior de la torre 22 de la turbina eólica que tiene una góndola 24 y un buje 26 del rotor. La góndola 24 se puede montar en la parte superior de la torre 22 mediante un actuador de guiñada 25, que permite que la góndola y el buje 26 del rotor presenten un ángulo a favor o en contra de la dirección del viento prevalente.

La turbina eólica 20 tiene tres palas 28a, 28b y 28c de la turbina eólica, que se muestran en la figura 2 separadas del buje 26 del rotor y en su posición de almacenamiento contra la torre 22. En su posición de almacenamiento, las palas 28 están soportadas en una relación sustancialmente paralela con la torre 22. No es estrictamente paralela ya que es conveniente que las puntas queden aseguradas contra la torre 22 de la pala en una posición más baja. Aunque las palas 28 no son en sí mismas estrictamente rectas se apreciará que esto es conveniente para referirse a su orientación con respecto al eje longitudinal 27.

Cuando las palas 28 se observan en su posición de almacenamiento, se pueden observar en mayor detalle los conjuntos de rodamientos de la raíz de la pala 30a, 30b y 30c del buje del rotor, en los cuales las palas 28a, 28b y 28c se puede montar en el buje 28 del rotor. Se apreciará que los conjuntos de rodamientos de la raíz de la pala 30a, 30b y 30c, y por lo tanto las palas en su posición de fijación, se montan en el buje del rotor de modo que estén separados angularmente por igual alrededor del eje de giro del buje. En el ejemplo de la figura 2, asumiendo un eje Z vertical, y ejes X e Y a la derecha dispuestos en el plano horizontal, el eje de giro es a lo largo de la dirección X, y el primer conjunto de rodamiento de la pala 30a se muestra orientado en la dirección negativa de Z, con los segundos conjuntos 30b y 30c mostrados descansando sustancialmente a lo largo del eje Y. Esto significa que el conjunto de rodamiento de la raíz de la pala 30c está orientado hacia la página y no se puede ver.

Cada una de las palas 28a, 28b y 28c está soportada por un conjunto de brazos 50a, 50b y 50c, que comprende un brazo superior 52a, 52b y 52c y un brazo inferior 54a, 54b y 54c. Como se muestra en la figura 3 los conjuntos de brazos 50a, 50b y 50c se sitúan hacia la parte superior de la torre 22, y las puntas 32a y 32b de la pala están aseguradas igualmente así más hacia abajo de la longitud de la torre mediante secciones de apoyo 56a, 56b y 56c de la punta de la pala (no mostradas). Los conjuntos de brazos 50a, 50b y 50c, y las secciones de apoyo 56a, 56b y 56c de la punta de la pala se sitúan separados angularmente por igual alrededor de la circunferencia de la torre 22. La figura 4 muestra esta disposición en más detalle como una vista en sección transversal a través de la torre 22 y las tres palas 28a, 28b y 28c. En esta vista, solo se pueden ver los brazos superior 52 e inferior 54. La disposición de las palas contra la torre como se muestra en la figura 4 se puede utilizar ventajosamente durante el transporte de la torre 22 hasta el emplazamiento de instalación marítimo.

La estructura de los brazos superiores 52a, 52b y 52c e inferiores 54a, 54b y 54c se muestra en mayor detalle en la figura 5 a la cual se hará referencia a continuación. Por conveniencia en la discusión que sigue se describirá a continuación la interacción de un conjunto de brazo individual y su interacción con una pala individual, de modo que no sea necesario enumerar en cada caso los sufijos a, b y c del número de referencia.

El brazo superior 52 tiene una forma sustancialmente triangular o de espaldera, con lados opuestos 520 y 522 que se encuentran en una punta o vértice 524. La punta del brazo triangular 52 está provista de un conector 526 para realizar una conexión mecánica segura y liberable a la pala 28. Esto se explicará a continuación en más detalle.

Como se muestra en la figura 5, cada lado opuesto 520 y 522 del brazo 52 está conectado a la torre 22 mediante un pivote 528 y 530, que permite que el brazo 52 se mueva entre posiciones inferior y superior. Como se apreciará de la figura 5, el vértice 524 del brazo 52 está dispuesto realmente como una barra y cada uno de los lados opuestos 520 y 522 está compuesto de hecho de armazones triangulares, que tienen una base en común con la barra que forma el vértice 524, y un vértice respectivo situado en los pivotes 528 y 530. La forma triangular adicional de los lados opuestos se adopta en este ejemplo ya que forma un armazón fuerte para el brazo 52, que en uso puede ser capaz de soportar al menos algo del peso de la pala. La base de la forma triangular o de espaldera se omite para adaptarse a la curva de la torre 22.

Como se muestra en la figura 5, el brazo inferior 54 tiene una construcción distinta del brazo superior 52, lo más notoriamente en que es un brazo articulado que tiene una articulación o codo 540 intermedio. En este ejemplo, el brazo inferior 54 es asimismo no triangular, sino que en su lugar comprende secciones de armazón 542 y 544 primera y segunda conectadas entre sí en la articulación 540. La primera sección de armazón 542 está conectada a la torre 22 en una bisagra 546 que permite que se disponga sustancialmente hacia abajo contra la torre 22 cuando el brazos se almacena. Por esta razón, la bisagra 546 está soportada en un manguito 548 de modo que la bisagra esté soportada ligeramente alejada de la torre, y la curvatura de la torre no impida que la primera sección de bastidor 542 cuelgue

verticalmente hacia abajo.

Un segundo manguito 550 se dispone en la torre 22 por debajo del primero, para recibir el otro extremo de la primera sección de armazón 542 y para soportar de modo estable la sección de armazón en una posición de descanso, cuando las palas 22 están almacenadas. La primera sección de armazón 542 se extiende ligeramente por debajo del segundo manguito 550 de modo que la articulación 540 dispuesta en el extremo de la primera sección de armazón 542 se pueda mover sin obstáculos.

La segunda sección de armazón 544 se conecta con la primera mediante la articulación 540 y se dispone para girar en la misma dirección que la primera sección de armazón 542. El movimiento de la segunda sección de armazón alrededor de la articulación 540 puede estar limitado, de modo que el ángulo entre la primera y la segunda sección de armazón no sea superior a 180°. De este modo, el brazo inferior 54 y el movimiento de las secciones de armazón primera y segunda alrededor de la articulación o codo 540 es similar al movimiento articulado del brazo humano. En la posición de almacenamiento de la pala, la primera sección de armazón 542 del brazo inferior 52 cuelga hacia abajo, mientras que la segunda sección de armazón 544 se extiende desde la torre en un ángulo de aproximadamente 90° respecto a la primera sección de armazón 542.

La conexión entre la segunda sección de armazón 544 y la pala 28 de la turbina eólica se puede realizar del mismo modo que para el brazo superior 52, utilizando un conector 552 (que puede ser de la misma construcción que el anterior 526). Esto se describirá a continuación en mayor detalle.

La conexión entre los brazos superior 52 e inferior 54 y las palas 28 de la turbina eólica se puede realizar mediante cualquier conexión mecánica adecuada. Se apreciará, no obstante, que cualquier conexión debe ser capaz de soportar el peso de las palas 28 y debe ser fácil de unir y separar en funcionamiento. Además, la presencia de una ubicación de conexión no debe afectar de modo indebido a las propiedades aerodinámicas de la pala durante su uso en el buje del rotor.

Esto se consigue proporcionando compartimentos en la superficie de la pala de la turbina eólica para recibir el aparato conector 526 y 552 de cada brazo 52 y 54. Los compartimentos de la pala tienen una tapa que se puede abrir para alojar el aparato conector o cerrar cuando las palas están en uso para garantizar una superficie aerodinámica suave para la pala. La tapa del compartimento puede ser operada así utilizando un circuito eléctrico o un sistema de señalización óptico que permite un control remoto.

En este ejemplo, los compartimentos comprenden un conector complementario correspondiente para el aparato conector 526 y 552 de modo que se pueda formar una conexión fuerte y segura. Los conectores complementarios correspondientes se unen preferiblemente a una estructura de soporte dentro de la pala, tal como el larguero principal o pasan alternativamente a través de la pala para unirse con un conector emparejado correspondiente en la superficie opuesta de la pala.

Un aparato conector adecuado es conocido, y se describe, por ejemplo, en el documento US2007/0258823, a nombre del solicitante.

A continuación, se discutirán en mayor detalle las secciones de apoyo 56 de la punta de la pala y con referencia a la figura 6. A diferencia de los conjuntos de brazos 50, las secciones de apoyo 56 de la punta de la pala no necesitan soportar mucho, o nada, del peso de las palas 28. De este modo, las secciones de apoyo 56 de la punta de la pala pueden estar provistas, en un modo de realización, simplemente con resaltos o soportes laterales para recibir la punta de la pala y restringir cualquier movimiento lateral que pueda tener lugar, ya que tensiones y deformaciones inducidas por el viento pueden provocar que la pala se deforme o retuerza. En modos de realización alternativos, se podrían proporcionar medios de conexión para unir la punta de la pala 32 a la sección de apoyo 56 de la punta de la pala de modo que la conexión sea más segura. Los medios de conexión pueden incluir el aparato conector utilizado para los brazos anteriormente, u otro aparato conector tal como una banda magnética, o cable para asegurar la punta en su sitio.

Un modo de realización adicional para la sección de apoyo 56 de la punta de la pala comprende un elemento inflable para su unión a la punta de la pala y a la torre. Un elemento inflable adecuado es un anillo inflable que puede ser ensartado sobre el extremo de la pala de la turbina eólica. Es ventajoso si el elemento inflable es separable de modo liberable de la torre de la turbina eólica, de modo que cuando sea necesario se pueda liberar de la torre y ensartarlo sobre la pala de la turbina eólica separada. Cuando la pala se baja a su posición de almacenamiento por medio de los brazos superior e inferior, el elemento inflable se puede volver a unir a la torre para sostener la punta de la pala en su sitio. La conexión entre el elemento inflable y la torre puede ser por medio de un cable de seguridad, cordón o perno que pasa a través de una sección de pared reforzada del elemento y un punto de acoplamiento adecuado en la torre. Preferiblemente, la conexión se puede liberar remotamente de modo que un ingeniero de la góndola pueda liberar la conexión sin tener que descender hasta la posición de la torre donde se sitúa el elemento inflable. A este respecto es particularmente útil una conexión magnética o electromagnética, si se desea, el elemento inflable se puede desinflar una vez retirado de la torre de

modo que se pueda ajustar sobre la punta de la pala más fácilmente, y volver a inflar subsiguientemente.

El elemento inflable puede ser de cualquier forma adecuada para amortiguar y soportar la punta de la pala cuando la pala está en la posición de almacenamiento. En particular, puede ser un anillo anular, o un disco u otra forma continua con un recorte para recibir la punta de la pala. El recorte puede estar conformado asimismo de modo que su perfil se corresponda más estrechamente con la punta.

En un modo de realización alternativo, el elemento inflable podría tener forma de C, o cualquier perfil en el que se acceda a un recorte interno más ancho para recibir la punta de la pala a través de una parte de abertura más estrecha a través de la cual la punta de la pala debe pasar en primer lugar para llegar al recorte interno. El elemento inflable no necesita separarse de la torre durante su uso, sino que podría permanecer inflado en su lugar o inflado parcialmente para recibir la punta cuando la pala se mueve a la posición de almacenamiento por los brazos de soporte.

Se podrían utilizar igualmente elementos inflables longitudinales situados a cada lado de la posición de descanso de la punta de la pala en la posición de almacenamiento para apuntalar la pala y evitar movimientos laterales.

Hemos apreciado que la colocación de los brazos superior 52 e inferior 54 cuando están conectados a las palas 28 de la turbina eólica es de considerable importancia, ya que teniendo cuidado los brazos se pueden utilizar no solo para soportar las palas en su posición de almacenamiento, sino asimismo para actuar como guías para facilitar la conexión de las palas 28 al buje 26 del rotor.

En referencia a continuación a la figura 7, los puntos de conexión para el aparato conector 526 y 552 de los brazos en las palas 28 se sitúan con respecto al centro de gravedad de las palas. En la figura 7, el centro de gravedad de la pala se ilustra esquemáticamente como posición CoG 70. En este ejemplo las posiciones de conexión para los brazos superior e inferior se sitúan de modo equidistante respecto a la posición CoG 70, ya que esto distribuye la carga debida al peso de las palas de modo sustancialmente igual sobre los brazos superior e inferior, y significa que el manejo de la pala 28 cuando está siendo unida o separada de los brazos es más estable. Se apreciará que si uno de los brazos está más alejado de la posición CoG 70 que el otro, la pala podría girar alrededor de uno de los brazos durante su manejo.

Las longitudes de los brazos superior 52 e inferior 54 se seleccionan igualmente para contribuir al manejo estable de la pala durante la conexión y desconexión de la pala al buje 26 del rotor. En primer lugar, con el fin de permitir que el montaje de la pala 28 sobre el buje 26 del rotor sea tan directo como sea posible, los brazos se disponen para ser sustancialmente perpendiculares al eje longitudinal 27 de la pala 28 en sus puntos de conexión cuando los brazos están completamente extendidos desde la torre 22.

El brazo inferior 54 completamente extendido en el que las secciones de armazón 542 y 544 primera y segunda se encuentran a lo largo de una línea recta, es más largo que el brazo superior 52, de modo que la punta 32 de la pala presente un ángulo más alejado de la torre 22 que la raíz de la pala. Esto garantiza que la pala 28 está cerca de la orientación de funcionamiento que adoptará cuando se una al conjunto de rodamiento de la raíz de la pala 30 lo que facilita tanto la conexión de la pala 28 al conjunto de rodamiento de la raíz de la pala, y hace más estable el manejo de la pala 28 en posiciones intermedias. Como se muestra en la figura 7, los brazos superior e inferior 52 y 54 cuando están completamente extendidos se disponen para soportar la pala 28 de modo que su eje longitudinal (indicado por la línea discontinua 27 en la figura 7) esté alineado con el centro del conjunto de rodamiento de la raíz de la pala y de este modo el borde de la raíz de la pala se encuentra aproximadamente paralelo al rodamiento de la raíz de la pala para facilitar la unión.

Al separar las palas 28 del rodamiento de la raíz de la pala, y de modo que la pala 28 pueda ser girada a la posición de almacenamiento en la que está sustancialmente en paralelo con la torre, el brazo superior 52 de esta disposición se debe extender desde la torre 22 en una cantidad mayor que el brazo inferior 54, cuando los brazos están completamente recogidos. Esto se consigue construyendo el segundo brazo como unas secciones de armazón primera 542 y segunda 544 articuladas que pivotan en el codo 540. Así pues, en su posición completamente recogida, el brazo inferior 54 se extiende desde la torre sustancialmente tan solo en la longitud de la segunda sección de armazón 544.

En este ejemplo, aunque las posiciones de conexión se disponen equidistantes de la posición CoG 70, en modos de realización alternativos la posición de los brazos se puede ajustar para darle a la pala 28 una desviación de giro cuando está suspendida en los brazos 52 y 54.

El procedimiento para unir una pala 28 al buje 30 de la pala del rotor utilizando el aparato discutido anteriormente se describirá a continuación con referencia a las figuras 8 a 11.

La figura 8 ilustra una posición inicial, en la que la pala 28 está en su posición de almacenamiento contra la torre. En esta posición, el brazo superior 52 se extiende desde la torre 22 con un ángulo agudo, y la segunda sección de armazón 544 se extiende desde la torre perpendicularmente, mientras que está soportada en el manguito 550. La primera sección de

armazón 542 del brazo inferior 54 es paralela a la torre 22.

Un cable 80 se conecta a un punto adecuado en la pala 28, tal como en la raíz de la pala, y se suspende de un torno o polea 82 dispuesto en o sobre el buje 26. El cable 80 pasa sobre el torno o polea 82. En la figura 8, el torno o polea 82 se muestra dentro del buje 26, aunque se puede instalar en otras posiciones, tales como sobre la parte delantera con la parte superior del buje 26. La posición ilustrada es preferible ya que hace más sencillo el mantenimiento del alineamiento de la pala 28 con el conjunto de rodamiento de la raíz de la pala.

En modos de realización en los que se utiliza un torno, un motor (no mostrado) proporciona la fuerza motriz al torno 82 para soportar la pala 28 cuando se separa del conjunto de rodamiento de la raíz de la pala, e izar la pala hacia el buje 26. Cuando se utiliza una polea 82, la polea proporciona meramente un pivote para el cable 80, y el cable se realimenta de nuevo a la góndola 24 donde se puede situar más fácilmente un motor o torno. No es necesario utilizar un torno, y se podría utilizar en su lugar un contrapeso. En el ejemplo mostrado en la figura 8, por ejemplo, el cable se suministra a través de la góndola 24, sobre un pivote 84 en la parte posterior de la góndola, y hacia abajo hasta un contrapeso de la pala (no mostrado). Son posibles un número de distintas disposiciones para el torno o polea 82, y serán aparentes para el experto en la técnica. En particular, el torno se puede situar dentro del buje del rotor para facilitar el acceso por un ingeniero, o por fuera del buje, posición que es preferida por la orientación resultante de la pala. El motor se podría situar en la góndola del generador de la turbina eólica, o en otra posición en la torre, incluyendo el interior o el exterior en la base de la torre.

El cable 80 puede proporcionar o no toda la fuerza de izado para elevar la pala de la turbina eólica, y los propios brazos 52 y 54 pueden comprender ventajosamente medios de accionamiento eléctricos o hidráulicos para moverlos entre sus posiciones extendida y de almacenamiento mientras soportan la pala de la turbina eólica. Un sistema de control situado en la turbina eólica, tal como en la góndola o en la torre, se puede utilizar para accionar los brazos como se desee. Ventajosamente, la torre proporciona una escotilla de acceso para que un ingeniero de mantenimiento acceda a las bisagras de los brazos y lleve a cabo un mantenimiento si se desea. En un modo de realización, los brazos 52 y 54 podrían proporcionar toda la fuerza necesaria para soportar el peso de la pala de la turbina eólica, siendo utilizado el cable 80 como una guía adicional.

En la figura 9, el torno 82 tira del cable 80 para elevar la pala 28 hacia la raíz 30 de la pala. A medida que la pala 28 asciende, los brazos superior 52 e inferior 54 ascienden igualmente y comienzan así a extenderse alejándose de la torre 22. Como se indicó anteriormente, los brazos 52 y 54 pueden proporcionar asimismo una fuerza para izar la pala a su posición, permitiendo que el cable 80 realice más bien una función de guiado en la colocación de la pala en el buje.

En la figura 10, la pala 28 se muestra más próxima al conjunto de rodamiento de la raíz de la pala y los brazos están más completamente extendidos. A medida que se extienden los brazos, soportan la pala 28 alejándola de la torre y así provocan un ángulo en la pala 28 de modo que la llanta de la raíz de la pala en la pala se alinea con la llanta del conjunto de rodamiento de la raíz de la pala en el buje 26.

A medida que el torno 82 continúa tirando de la pala 28 hacia el buje 26, la pala 28 alcanza finalmente una posición en la que la llanta 90 de la raíz de la pala se acopla con la llanta 92 del rodamiento de la raíz de la pala. En esta posición, los brazos superior 52 e inferior 54 se extienden completamente y sostienen la pala 28 establemente en su sitio en el rodamiento de la raíz de la pala. En esta posición, un ingeniero de mantenimiento en el buje 26 puede realizar las conexiones mecánicas necesarias para fijar la pala 28 en su posición, mientras la pala está soportada. Las figuras 8 a 11 ilustran además un aparato unido al conjunto de rodamiento de la raíz de la pala (y visible sobre la llanta 92) que coopera con un aparato complementario dentro de la raíz de la pala y garantiza que la pala 28 se coloca correctamente cuando es recibida en el buje 28. Esto se describirá más adelante con referencia a las figuras 14 a 18.

Una vez que la pala 28 está asegurada en su sitio contra el conjunto de rodamiento de la raíz de la pala del buje 26 del rotor, los brazos 52 y 54 se separan de la pala 28 y se bajan hasta una posición de almacenamiento contra la torre. Debido a esto, los brazos están provistos además ventajosamente de un sistema de control que permite interrumpir la conexión con las palas 28, y mover los brazos entre su posición completamente extendida y su posición completamente almacenada. En modos de realización en los que los brazos 52 y 54 no están motorizados, se puede utilizar el cable 80 para bajar los brazos de modo seguro a su posición de almacenamiento.

Una vez que se ha unido una pala 28, la góndola 24 se puede girar de modo que el buje 26 se sitúe ahora directamente sobre la siguiente pala 28 para su unión. El buje 26 se gira de modo que el rodamiento de la raíz de la pala se oriente hacia la siguiente pala 28 almacenada y el proceso ilustrado en las figuras 8 a 11 se repite.

Separar las palas implica un proceso similar. El buje 26 se gira a una posición en la que una de las palas 28 está colgando directamente hacia abajo, y la góndola 24 se gira hasta que la pala 28 se alinea con un conjunto de brazos 50 disponible en la torre 22. Los brazos 52 y 54 se llevan entonces a su posición extendida en la que se pueden acoplar con la pala 28 del rotor, mientras el cable 80 se une a un punto de conexión adecuado en la pala, tal como en la raíz de la pala

del rotor. Bien los brazos o el cable o ambos soportan entonces el peso de la pala cuando se separa del buje 26.

La conexión de los brazos 52 y 54 con el uno o más puntos de conexión en la pala del rotor se puede conseguir de diversas maneras. En un modo de realización, los brazos 52 y 54 están motorizados y se pueden activar desde la góndola por un ingeniero de mantenimiento. Suponiendo que la pala del rotor presenta un ángulo hacia abajo, hacia la posición de las seis en punto, los brazos se pueden activar de modo que se muevan de su posición de almacenamiento a una posición lista para acoplarse con la pala del rotor. Los puntos de conexión se sitúan en las palas en posiciones que corresponden a las posiciones adoptadas por los brazos cuando se activan. Así pues, una vez que la pala está en la posición de las seis en punto, el ingeniero de mantenimiento sabe que el aparato conector del brazo 526 y 552 está situado cerca de las conexiones complementarias del conector adecuadas en la pala. El ingeniero de mantenimiento puede activar a continuación los brazos para acoplarse con la pala y realizar la conexión.

En un ejemplo, los compartimentos en la pala son ahusados, con una gran abertura cerca de la superficie de la pala y estrechándose a medida que se extienden hacia el interior de la pala. La gran abertura proporciona tolerancia para que el aparato conector 526 y 552 en los brazos 52 y 54 sea recibido en la pala en la proximidad de los conectores complementarios, sin que haya una necesidad inicial de un alineamiento perfecto de las partes de conexión. En uso normal, la abertura del compartimento ahusado está tapada por la vaina externa de la pala.

Una vez que el aparato conector se sitúa dentro del compartimento ahusado, la parte ahusada guía el aparato conector 526 y 552 hasta los conectores complementarios internos a la pala. Durante este proceso, la pala se puede mover naturalmente ligeramente bajo la acción de los brazos 52 y 54 con el fin de adaptarse al aparato conector 526 y 552. El aparato conector complementario en la pala puede comprender por tanto un mecanismo de cerrojo de modo que una vez que el aparato conector ha adoptado la posición correcta para acoplarse, se bloquea en su sitio. Tal cerrojo se puede acoplar mecánicamente o eléctricamente. Es preferible que el cerrojo sea liberable electrónicamente, de modo que la operación de liberación se pueda llevar a cabo remotamente.

No es necesario que el compartimento sea tan solo ahusado con el fin de guiar el aparato conector 526 y 552 hacia el conector complementario correspondiente, y se podrían utilizar igualmente otras formas tales como curvas estrechadas o superficies escalonadas.

Si se desea, el aparato conector 526 y 552 dispuesto en cada brazo 52 y 54 puede ser transportado en un rodamiento movable, accionable remotamente por el ingeniero de mantenimiento en la góndola o en la torre y que permite un cierto grado de movimiento del aparato conector 526 y 552 con los brazos 52 y 54. Esto permite que el ingeniero de mantenimiento guíe el aparato conector hacia la pala utilizando el movimiento tosco de los brazos 52 y 54, el movimiento más preciso de los rodamientos móviles.

La pala 28 se separa a continuación del conjunto de rodamiento de la raíz de la pala de modo que su peso recaiga en el cable 80 y, en menor medida, en los brazos 52 y 54. El cable 80 se suelta entonces lentamente del torno 82 y la pala 28 se baja hacia su posición de almacenamiento. Los brazos 52 y 54 se pliegan gradualmente hacia la torre y se bloquean en su sitio por un sistema mecánico o eléctrico una vez que las palas se han bajado completamente.

El aparato descrito anteriormente se puede utilizar igualmente en operaciones de mantenimiento tales como cuando se llevan a cabo trabajos en la raíz de la pala o el anillo de conexión de la pala en el buje. Una operación de mantenimiento particular que se podría llevar a cabo es, por ejemplo, la sustitución del anillo de rodamiento de la pala desde su posición de fijación en la raíz de la pala. En este caso, mientras que la pala está soportada sobre los brazos ya sea en la posición extendida o en su posición de almacenamiento, el anillo del rodamiento de la pala se puede reparar o separar de la pala y sustituir. Si esta operación se lleva a cabo en la posición extendida entonces puede ser útil que los brazos se puedan bloquear en posición para proporcionar un soporte adicional. De otro modo, la pala puede estar soportada simplemente en el cable, o por los brazos motorizados.

En el ejemplo descrito anteriormente, los brazos superior 52 e inferior 54 proporcionan principalmente soporte para la pala 28, de la que se había tirado hacia el buje 26 por el torno 82. En ejemplos alternativos el torno 82 se puede eliminar, y utilizar los propios brazos para proporcionar la fuerza motriz para separar y unir las palas. Tal ejemplo se describirá a continuación con referencia a las figuras 12 y 13.

Como antes, se proporciona un conjunto de brazos 50 en la torre 22 para soportar las palas 28, que comprende un brazo superior 52 y uno inferior 54. Los brazos en este ejemplo están provistos de un sistema de alimentación hidráulico o eléctrico para soportar el peso de la pala 28 en ascensión. Además, se adapta ligeramente la articulación de los brazos.

El brazo inferior 54 se monta en un rodamiento 548 alejado ligeramente de la torre 22, y comprende unas secciones primera 542 y segunda 544, girando la primera sección alrededor del manguito 548 y girando la segunda sección 544 alrededor de la primera 542. Cuando se conecta a la pala 28, la segunda sección 544 del brazo 54 se encuentra a lo largo del borde de la pala, proporcionando así un soporte aumentado para el peso de la pala. Preferiblemente, la segunda

sección 544 se extiende a lo largo de la pala 28 y se une en la posición en la que el brazo superior 52 se conecta a la pala.

Las figuras 14 y 15 ilustran un aparato para guiar la pala 28 a una posición correcta para su conexión con la llanta 92 del rodamiento de la raíz de la pala. En la figura 14, el conjunto de rodamiento de la raíz de la pala se ilustra desde el lado, y se puede observar que soporta una o más barras o clavijas de guía 94 en la llanta 92. Estas están fabricadas preferiblemente de un material metálico similar a la llanta 92 del rodamiento, de modo que son duraderas y resistirán cualquier fuerza de compresión o cizalla cuando entren en contacto con la pala 28 a medida que se aproxima al buje 26.

Como se muestra en la figura 15, las barras de guía 94 cooperan con una sección 96 complementaria en forma de alojamiento dispuesta en la raíz de la pala 28. A los efectos de la discusión, la raíz de la pala se puede considerar como una sección sustancialmente cilíndrica que tiene una brida de terminación 98 sustancialmente circular para acoplarse con el conjunto de rodamiento de la raíz de la pala en el buje 26. Una pluralidad de pernos 100 metálicos se extiende desde la brida 98 y deben asegurarse en orificios correspondientes en el conjunto de rodamiento de la raíz de la pala. En algunos diseños de rodamientos de turbinas eólicas, puede haber 180 pernos que alinean correctamente con 180 orificios correspondientes en el conjunto de rodamiento, y con una holgura de tan solo unos 3 mm entre el perno y el orificio en el que este es recibido. Se apreciará que incluso una pequeña discrepancia de alineamiento entre la brida 98, los pernos 100 y los orificios correspondientes en el conjunto de rodamiento de la raíz de la pala, impedirá que la pala 28 se acople con el conjunto de rodamiento, en el peor caso pueden dar como resultado daños a los pernos o al propio conjunto de rodamiento. El problema de alineamiento se ve agravado por el peso de las palas, que en el ejemplo descrito aquí puede ser del orden de 30 t o más. Las barras de guía 94 y la sección 96 a modo de alojamiento se proporcionan en la raíz de la pala y el conjunto de rodamiento 30 de modo que cuando las barras de guía 94 son recibidas en el alojamiento 96, la pala quedará correctamente alineada, evitando daños y ahorrando tiempo durante el montaje.

La sección 96 a modo de alojamiento se sitúa por lo tanto en el interior de la raíz de la pala contiguamente a la brida 98. En el ejemplo mostrado, la sección 96 a modo de alojamiento es un surco ahusado 960, definido por resaltos 962, con una abertura 964 más ancha para recibir la barra de guía 94. A medida que la distancia entre la brida 98 y el conjunto de rodamiento de la raíz de la pala 30 y la brida 98 se acercan entre sí, la barra de guía 94 puede colocarse así en primer lugar en la abertura 964 más ancha con cierta tolerancia. A medida que la holgura entre la brida 98 y el conjunto de rodamiento 30 se reduce, la barra de guía 94 se acopla con los resaltos 962 y se mueve hacia el centro del surco ahusado 960 hasta que queda completamente recibida entre ambos resaltos 962. Debido a esto, la barra de guía 94 tiene igualmente una forma ahusada para cooperar con los resaltos 962 y el surco ahusado 960. Las barras de guía 94 y la sección 96 a modo de alojamiento actúan así conjuntamente para girar la pala 28 hasta la posición correcta para su unión contra el conjunto de rodamiento de la pala 30.

Las barras de guía 94 se ilustran en más detalle en las figuras 16 y 17. La figura 16 muestra dos vistas de la forma de las barras de guía 94 aisladamente. Como se puede observar en el diagrama, las barras de guía tienen esencialmente una forma de L con una parte de conector 940, para su acoplamiento con la sección 96 a modo de alojamiento, y una sección de brida 942 más corta para su acoplamiento con el conjunto de rodamiento de la raíz de la pala 30. La parte de conector 940 está ahusada pero tiene asimismo una ligera curva intermedia de su longitud (esto se puede observar más fácilmente en la figura 14) que facilita su conexión con la sección 96 a modo de alojamiento.

La conexión de la barra de guía 94 al conjunto de rodamiento 30 se realiza utilizando pernos o tornillos que pasan a través de orificios 944 en la sección de brida 942. La figura 17 ilustra el conjunto de rodamiento de la raíz de la pala 30 y muestra la posición de unión para las barras de guía 94. En este ejemplo, el conjunto de rodamiento de la raíz de la pala 30 comprende tres anillos de rodamiento separados, un anillo externo 302, un anillo intermedio 304, y un anillo interno 306. Los pernos 100 de la brida 98 de la raíz de la pala son recibidos en los orificios del anillo intermedio 304. Las barras de guía 94 se unen así al anillo interno 306 del rodamiento, de modo que, en uso, se asientan dentro y se extienden hacia el interior de la brida 98 de la raíz de la pala. En uso, el anillo intermedio 304 móvil se puede girar con precisión para alinear los orificios del mismo con los pernos 100. Alternativamente, el anillo intermedio 304 móvil se puede situar contra el rodamiento interno o externo de modo que los orificios del rodamiento intermedio 304 estén en un alineamiento conocido con las barras de guía en el anillo interno 306 fijo. Mover la brida 98 de la raíz de la pala hasta su posición de modo que los alojamientos 96 se acoplen con las barras de guía 94 garantiza que los pernos 100 se sitúan igualmente de modo aproximado para acoplarse con sus orificios respectivos. Acercar entre sí los alojamientos 96 y las barras de guía 94 garantiza entonces, por la acción de las barras de guía 94 que actúan sobre los alojamientos 96, que la brida 98 de la raíz de la pala puede adoptar la posición rotacional correcta para que los pernos 100 se acoplen correctamente con los orificios.

En la figura 17, aunque solo se muestran tres barras de guía 94, en una relación angular igual entre sí, se apreciará que se podría utilizar un mayor número de barras de guía 94 si se desea, con un espaciado igual o de otro modo.

La figura 21 ilustra otro modo de realización de la posición de unión para las barras de guía 94. En este ejemplo, el conjunto de rodamiento de la raíz de la pala 30 comprende dos anillos de rodamiento separados, un anillo externo 302',

que se une sobre el buje, y un anillo interno 306', que es giratorio con relación al anillo externo 302' y cuyos orificios reciben los pernos 100 de la brida 98 de la raíz de la pala. Las barras de guía 94 se unen al anillo interno 306' giratorio con relación al anillo externo 302', y la relación de posición entre las barras de guía 94 y los orificios en el anillo interno 306' y aquella entre las secciones 96 a modo de alojamiento y los pernos 100 están predefinidas ya que el alineamiento entre las barras de guía 94 y las secciones 96 a modo de alojamiento garantizarán el alineamiento entre los orificios y los pernos 100. Cuando las barras de guía 94 y las secciones 96 a modo de alojamiento que reciben las barras de guía 94 no están en alineamiento exacto, la posición de las barras de guía 94, y por lo tanto la posición de los orificios en el anillo interno, se puede ajustar de modo preciso girando el anillo interno 306' sobre el que se unen las barras de guía. En este ejemplo, las barras de guía 94 se unen a la superficie interior del rodamiento interno 306' en lugar de a través de los orificios de unión en la superficie anular del anillo de rodamiento. Debido a esto, las barras de guía 94 pueden tener una forma aplanada que permite utilizar orificios 944 para soportar fijaciones que fijan la barra 94 a la superficie interna del anillo de rodamiento, en lugar de la forma de L de la figura 16. Alternativamente, si el anillo interno se asegura sobre el buje y el anillo externo se asegura sobre la pala, las barras de guía 94 se pueden unir sobre el anillo externo para facilitar el ajuste de la posición de las barras de guía 94. En este caso, las barras de guía 94 se pueden montar externamente al anillo de rodamiento.

En la figura 15, la sección 96 a modo de alojamiento se muestra como una pieza adicional para su unión al interior de la raíz de la pala. La sección a modo de alojamiento se puede fabricar así de un material adecuado, como metal, o plástico endurecido, y asegurar en su sitio con pernos o un adhesivo. Esta disposición es ventajosa ya que se convierte en relativamente sencillo unir el alojamiento en su posición. En modos de realización alternativos, no obstante, la sección 96 a modo de alojamiento podría ser integral con la raíz de la pala, como si el surco 960 se realizara en la propia raíz de la pala. Además, aunque se prefiere el surco ahusado por facilidad de uso, se podrían utilizar otras formas para el alojamiento, tales como un simple orificio, una pared o conjunto de espiga para cooperar con la barra de guía 94.

Un ejemplo alternativo de la sección 86 a modo de alojamiento se describirá a continuación con referencia a las figuras 18 a 20. Como se muestra en la figura 18, la sección 96 a modo de alojamiento está provista del surco 960 ahusado, resalto 962 y abertura 964 de la figura 15. Sin embargo, en la abertura 964, la sección a modo de alojamiento está provista de un labio 968 que se extiende hacia fuera desde la abertura. La anchura del labio 968 es mayor que la anchura del resto de la sección 96 a modo de alojamiento, y sobre el borde del labio opuesto a la abertura 964, se dispone un número de cavidades 970. Una ligadura o cable 972 se asegura en su sitio alrededor del labio 968. Esto se puede ver más fácilmente en la figura 19.

En uso, el alojamiento 96 se mantiene en su sitio en el interior de la raíz de la pala uniéndolo el cable 972 alrededor de un número de los pernos 100 en la brida 98. En esta disposición, el labio 968 se extiende ligeramente hacia fuera desde la brida 98, mientras que la mayor anchura del labio 968 significa que los pernos 100 son recibidos a las cavidades 970. La tensión del cable 972 mantiene la sección 96 en su sitio sin necesidad de adhesivo. De este modo, cuando los pernos 100 se roscan en los orificios en el conjunto de rodamiento de la raíz de la pala 30 y la brida 98 de la pala y el conjunto de rodamiento de la raíz de la pala 30 se juntan entre sí, el labio 968 se asentará entre la brida 98 y el rodamiento 30. El cable 972 se puede cortar entonces y separar el alojamiento 96 en el interior de la brida 98 de la raíz de la pala. Un ingeniero de mantenimiento que trabaje en el buje 26 puede recuperar entonces el alojamiento 96 para un uso posterior.

En ejemplos alternativos, es posible que las barras de guía se sitúen sobre la brida 98 de la raíz de la pala, y la sección 96 a modo de alojamiento se sitúe en el rodamiento de la raíz de la pala 30. Además, los medios de guía descritos anteriormente en las figuras 15, 16, 17 y 21 se pueden utilizar con palas sin ajuste de paso, donde la pala se monta directamente sobre el buje sin el uso de un rodamiento movable.

Como se indicó anteriormente, la disposición de las palas contra la torre, como se muestra en la figura 4, se puede utilizar ventajosamente durante el transporte de la torre 22 hasta el emplazamiento de instalación marítimo. En particular, la capacidad de almacenar palas contra la torre o transporte simplifica enormemente la instalación. La torre se puede montar en tierra, en una ubicación tal como un dique seco, por ejemplo, y unir las tres palas 28 de la turbina eólica a la torre por medio de los brazos de soporte 52 y 54 respectivos. Esto reduce enormemente la necesidad de operaciones de grúas grandes, ya que la torre y las palas se puede montar horizontalmente y la unidad combinada de la torre y palas se puede izar subsiguientemente a una posición vertical utilizando una grúa en la costa. De modo ordinario, se requerirían cuatro operaciones de izado separadas para esta operación, una para la torre y una operación de izado subsiguiente para cada pala. La góndola se puede unir finalmente a la torre utilizando una operación de izado subsiguiente, y la torre semimontada se transporta a continuación mediante un barco o barcaza hasta una instalación. Durante la instalación, las palas de la turbina eólica se pueden izar hasta su posición utilizando el torno 82 o una grúa en la torre 12 de la turbina eólica, o utilizando una grúa en la embarcación.

Los brazos de soporte se pueden retener sobre el exterior de la torre para su uso en cualquier operación posterior de mantenimiento o reparación, para asegurar de modo útil las palas de la turbina eólica contra la torre 22, cuando se requiere desmontar las palas de la turbina eólica del buje del rotor. Estrictamente, solo se necesita retener en la torre un

conjunto de brazos de soporte para soportar una pala de la turbina eólica durante el mantenimiento, lo que permite que los otros dos conjuntos de brazos de soporte se retiren si se desea.

Aunque se han descrito ejemplos de la invención que implican turbinas eólicas marítimas de eje horizontal, se apreciará que la invención se podría utilizar con turbinas eólicas terrestres, o con turbinas eólicas de eje vertical cuando sea adecuado.

5

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de conexión de palas para conectar una pala (28) de turbina eólica a un buje (26) del rotor de una turbina eólica, comprendiendo el aparato de conexión:

una primera y una segunda superficie de acoplamiento, donde la primera superficie de acoplamiento (90) está situada en la raíz de la pala de la turbina eólica y la segunda superficie de acoplamiento (92) está situada en el buje (26) del rotor de la turbina eólica para acoplarse con la primera superficie de acoplamiento;

una pluralidad de fijaciones (100) para conectar de modo liberable y seguro la primera superficie de acoplamiento (90) con la segunda, comprendiendo las fijaciones una parte macho dispuesta en una de las superficies de acoplamiento para su conexión con una parte hembra correspondiente dispuesta en la otra superficie de acoplamiento (92);

caracterizado porque

primer y segundo elementos de guía (94, 96) están situados en la pala (28) de la turbina eólica y el buje (26) del rotor, respectivamente, o el buje (26) del rotor y la pala (28) de la turbina eólica, respectivamente, y dispuestos para cooperar cuando se ponen en contacto entre sí;

en el que cuando la primera y segunda superficies de acoplamiento (90, 92) se acercan una a la otra para su conexión, el primer y segundo elementos de guía (96, 94) se acoplan entre sí con antelación al contacto entre la primera y segunda superficies de acoplamiento, y garantizan que las partes macho (100) y hembra de las fijaciones están alineadas para su conexión.

2. El aparato de conexión de la reivindicación 1, en el que la primera y segunda superficies de acoplamiento (90, 92) son bridas (98) sustancialmente circulares que tienen una circunferencia alrededor de la cual está dispuesta en ubicaciones discretas la pluralidad de fijaciones (100), y en el que la cooperación entre el primer y segundo elementos de guía (94, 96) a medida que la primera y segunda superficies de acoplamiento se acercan una a la otra causa que las bridas circulares se sometan a un giro coaxial una respecto a la otra de modo que las fijaciones (100) se alinean adecuadamente.

3. El aparato de conexión de la reivindicación 1 o 2, en el que el primer elemento de guía (94) es de forma alargada y se extiende desde cualquiera de la pala (28) de la turbina eólica o el buje (26) del rotor hacia el segundo elemento de guía (96) en una cantidad que es mayor que la longitud de la parte macho (100) de las fijaciones.

4. El aparato de conexión de la reivindicación 3, en el que el primer elemento de guía (94) es una clavija asegurada al buje (26) del rotor en un rodamiento de la raíz de la pala.

5. El aparato de conexión de la reivindicación 4, en el que el primer elemento de guía (94) es ahusado.

6. El aparato de conexión de la reivindicación 3, 4 o 5, en el que uno o el otro del buje (26) del rotor o de la pala (28) tiene al menos un anillo de rodamiento de la raíz de la pala externo (302, 302') y un anillo de rodamiento de la raíz de la pala interno (306, 306'), y el primer elemento de guía (94) está asegurado al rodamiento de la raíz de la pala interno (306, 306'), e inclinado para extenderse hacia el segundo elemento de guía (96) a la vez que permanece dentro de la circunferencia definida por el anillo de rodamiento de la raíz de la pala interno (306, 306').

7. El aparato de conexión de las reivindicaciones 3, 4 o 5, en el que el buje (26) del rotor tiene un anillo de rodamiento de la raíz de la pala fijo asegurado sobre el mismo (302) y un anillo de rodamiento de la raíz de la pala giratorio (306) que es giratorio con relación al anillo de rodamiento de la raíz de la pala fijo, y el primer elemento de guía (94) está asegurado al anillo de rodamiento de la raíz de la pala giratorio.

8. El aparato de conexión de cualquiera de las reivindicaciones 3, 4, 5, 6 o 7, en el que el segundo elemento de guía (96) proporciona una cavidad (960) para recibir el primer elemento de guía.

9. El aparato de conexión de la reivindicación 8, en el que la cavidad comprende:

una abertura (964) para recibir el primer elemento de guía (94) en una posición parcialmente insertada; y

resaltos (962) ahusados para soportar el primer elemento de guía en una posición completamente insertada.

10. El aparato de conexión de la reivindicación 9, en el que los resaltos (962) ahusados están curvados para promover que el primer elemento de guía (94) adopte una posición en el centro de la cavidad (960).

11. El aparato de conexión de cualquiera de las reivindicaciones 8, 9 o 10, en el que la cavidad (960) está

dispuesta en un alojamiento del elemento de guía, comprendiendo el alojamiento:

una parte de labio (968) para cooperar con las fijaciones macho (100) sobre la primera o la segunda superficie de acoplamiento;

5 un cordón (972) para asegurar la parte de labio (968) y alojar la parte macho de las fijaciones (100) para sostener el alojamiento en su sitio.

12. El aparato de conexión de cualquier reivindicación anterior, en el que el segundo elemento de guía (96) está situado dentro de la brida circular de la raíz de la pala, o dentro de la brida circular de la parte de conexión de la pala en el buje.

10 13. El aparato de conexión de cualquier reivindicación anterior, que comprende al menos tres parejas de primeros (94) y segundos (96) elementos de guía.

14. Un procedimiento de montaje de una pala de turbina eólica en un buje del rotor de la turbina eólica, que comprende:

unir un primer elemento de guía (94) a uno de la pala (28) de la turbina eólica o el buje del rotor, y un segundo elemento de guía (96) al otro de la pala (28) o buje (26) del rotor;

15 alinear de modo aproximado el primer y segundo elementos de guía (94, 96) entre sí mientras las superficies de acoplamiento (90, 92) en la pala y el buje están separadas una de otra;

mover la pala (28) hacia el buje (26) para disminuir la separación entre la pala y el buje y para acoplar el primer elemento de guía con el segundo;

disminuir la separación aún más hasta que la pala y el buje están en contacto una con el otro;

20 fijar la pala y el buje entre sí de modo seguro utilizando una pluralidad de fijaciones que tienen partes de fijación macho (100) y hembra;

en el que el primer y segundo elementos de guía (94, 96) están dispuestos para cooperar cuando las superficies de acoplamiento situadas en la pala y el buje se ponen en contacto una con otra y antes de que las fijaciones (100) para conectar las superficies de acoplamiento se acoplen.

25 15. El procedimiento de la reivindicación 14 que comprende:

unir el primer elemento de guía (94) a la sección de rodamiento de la raíz de la pala del buje del rotor; y

unir el segundo elemento de guía (96) a la sección de raíz de la pala de la turbina eólica.

16. El procedimiento de la reivindicación 14 o 15, en el que el segundo elemento de guía (96) comprende un cordón (972) para asegurar el elemento de guía a las partes macho (100) de las fijaciones; y el procedimiento comprende:

30 utilizando el cordón (972), unir al segundo elemento de guía (96) a la parte macho de las fijaciones mientras las superficies de acoplamiento de la pala y el buje están separadas;

mover la pala hacia el buje para disminuir la separación entre la pala y el buje y para acoplar el primer elemento de guía (94) con el segundo (96), hasta que el segundo elemento de guía está emparedado entre las superficies de acoplamiento (90, 92) de la pala y el buje, y las fijaciones están alineadas;

35 retirar el cordón (972) y liberar el segundo elemento de guía.

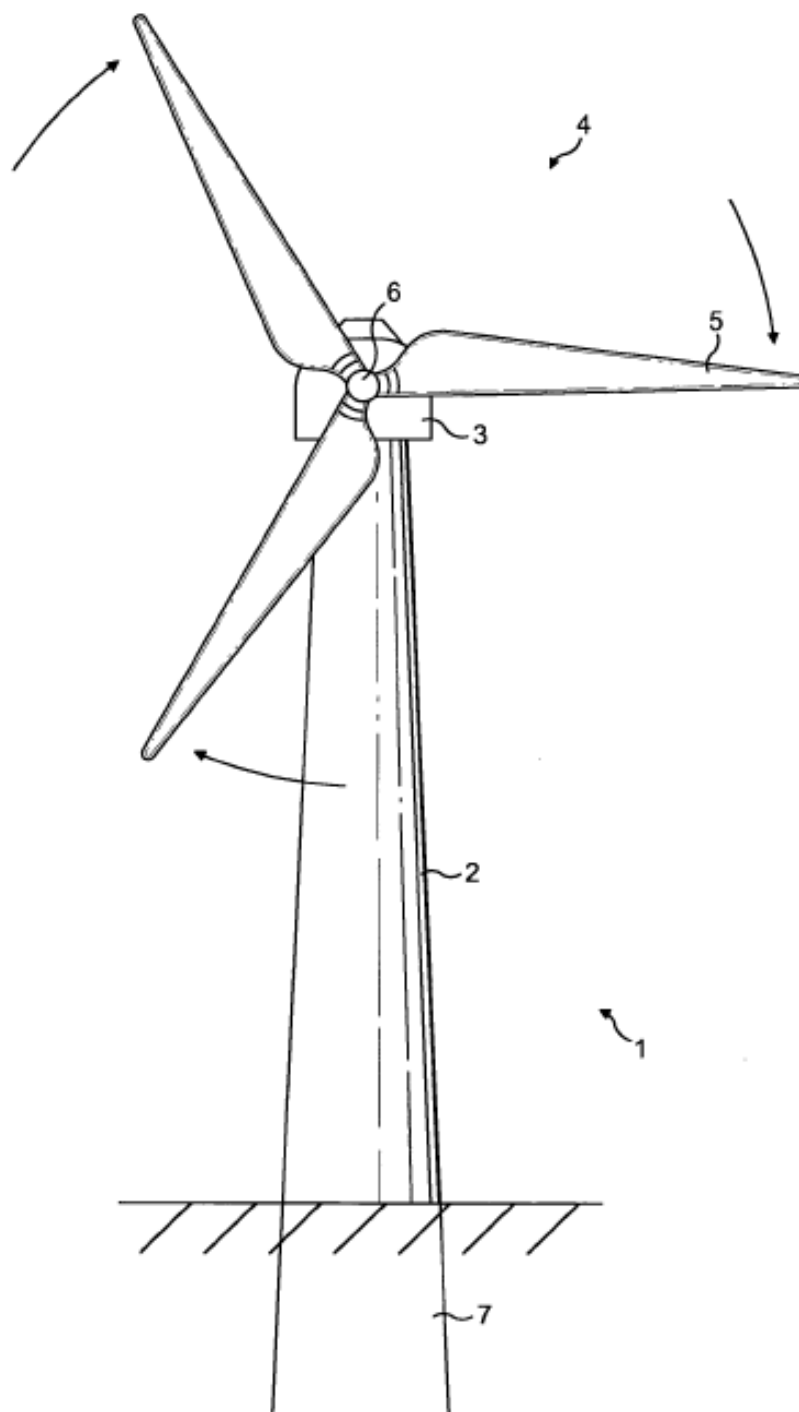
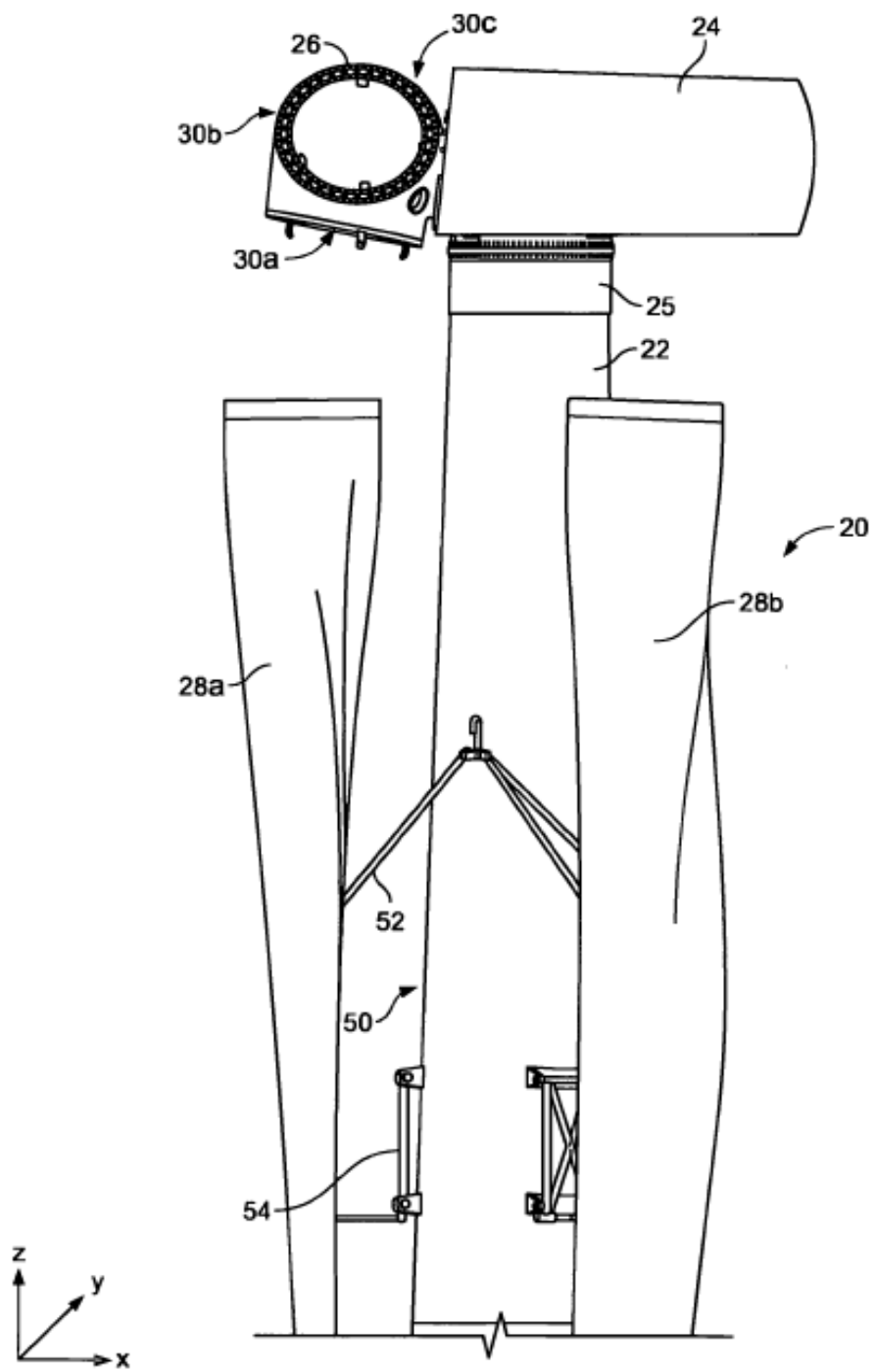


FIG. 1



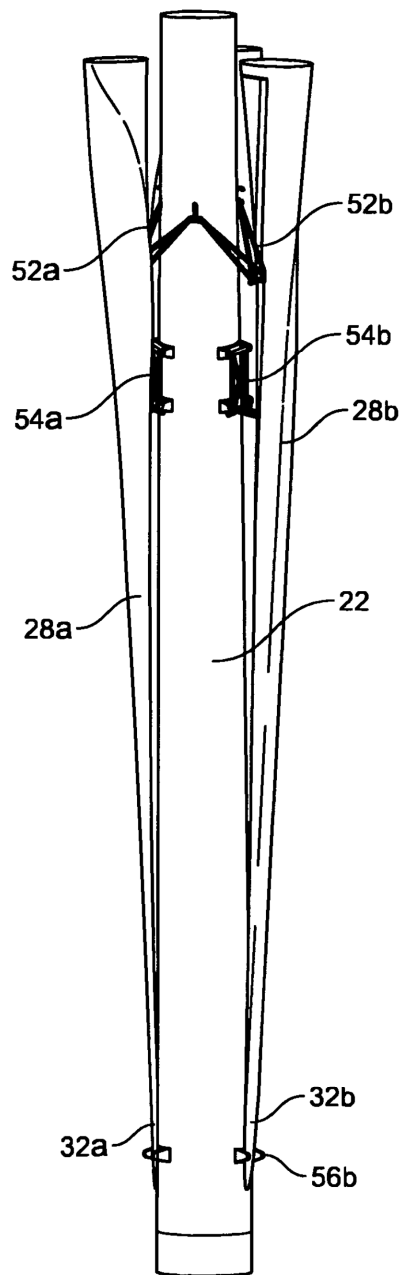


FIG. 3

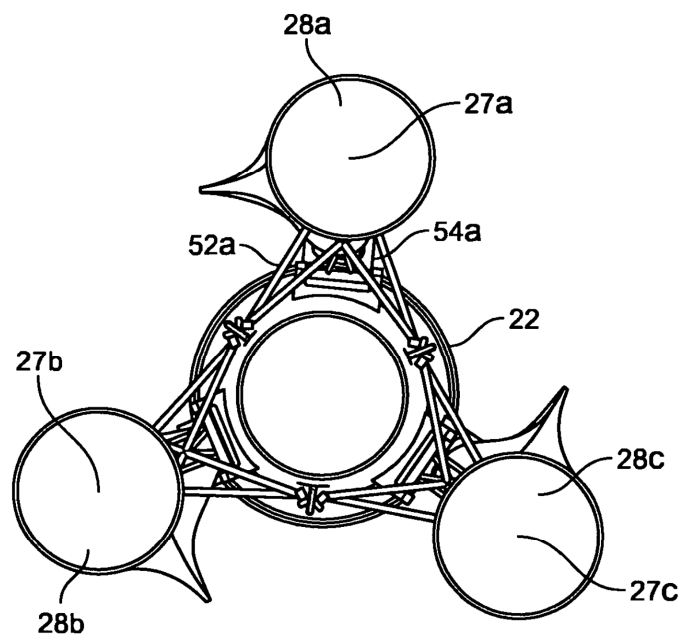


FIG. 4

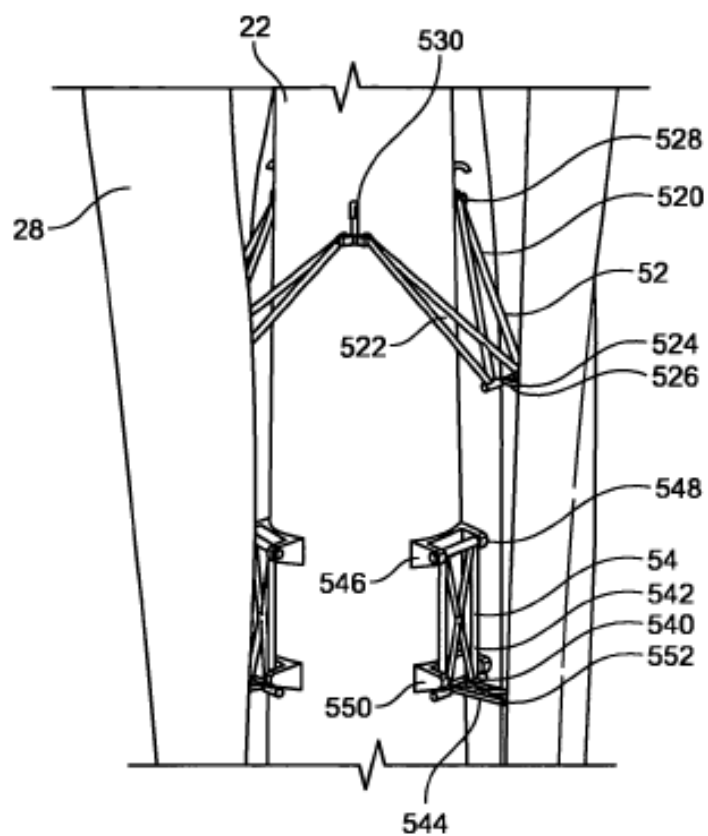


FIG. 5

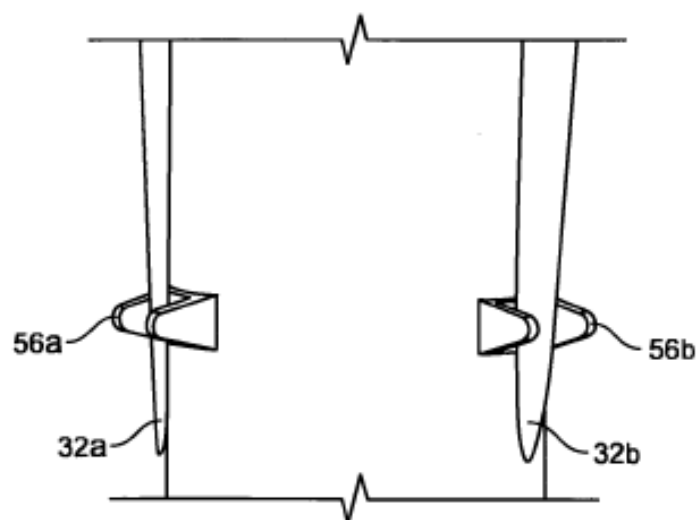


FIG. 6

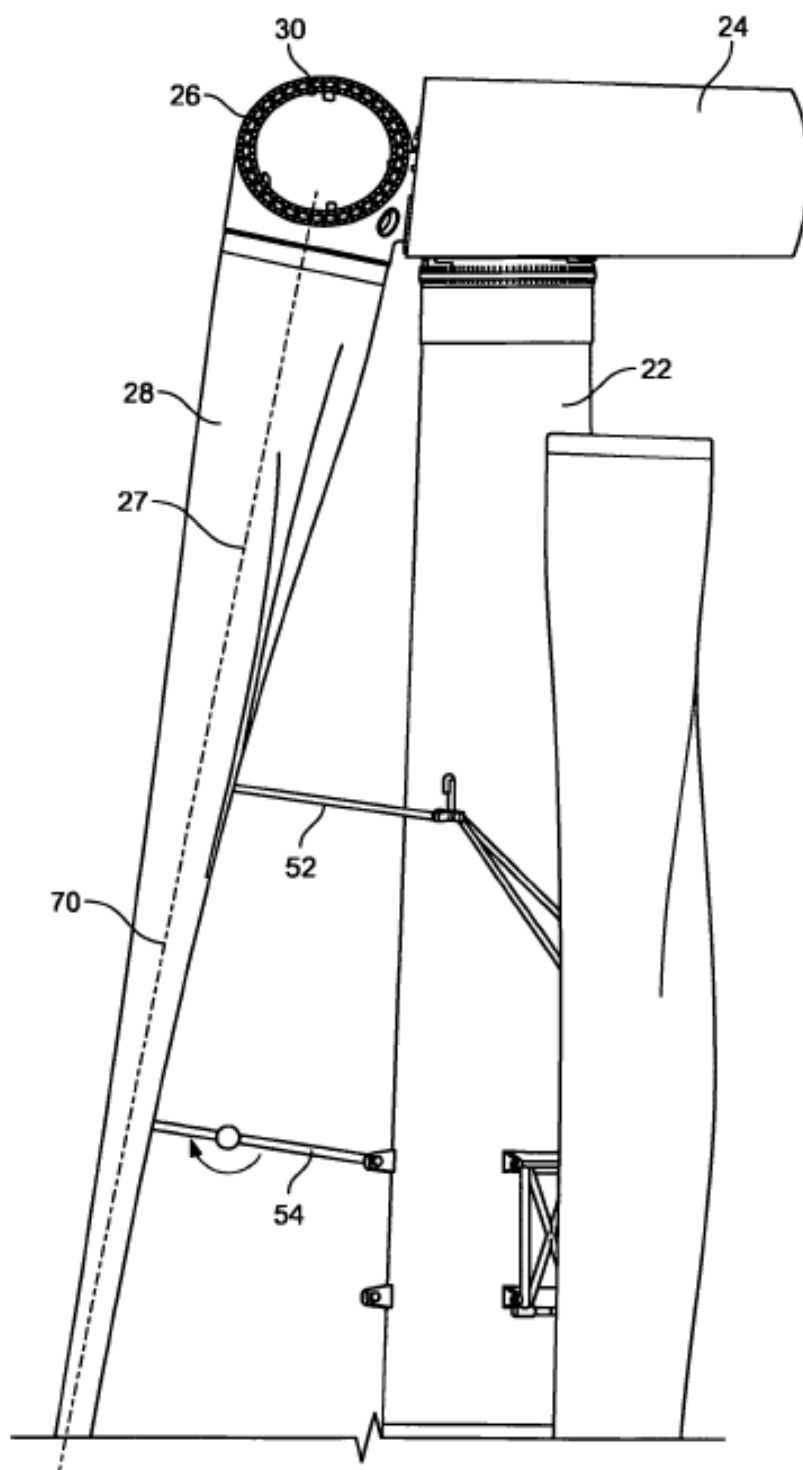


FIG. 7

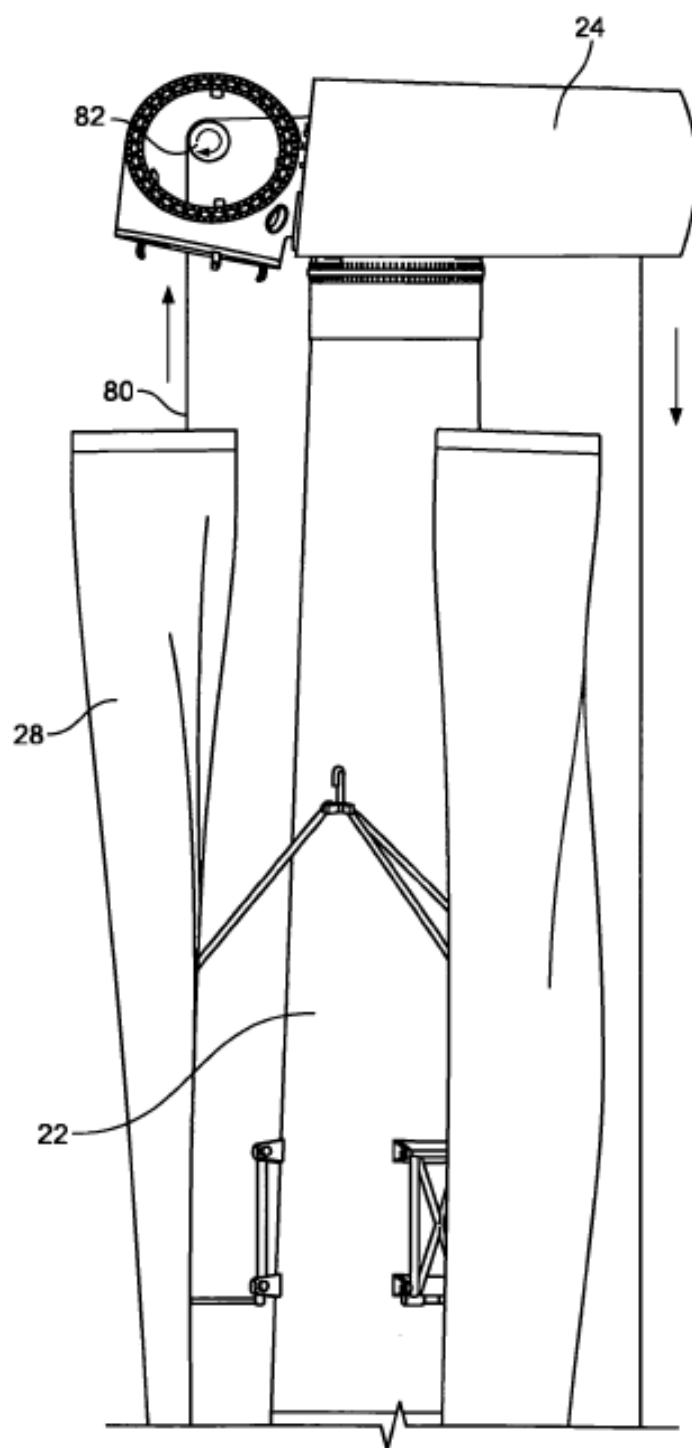


FIG. 8

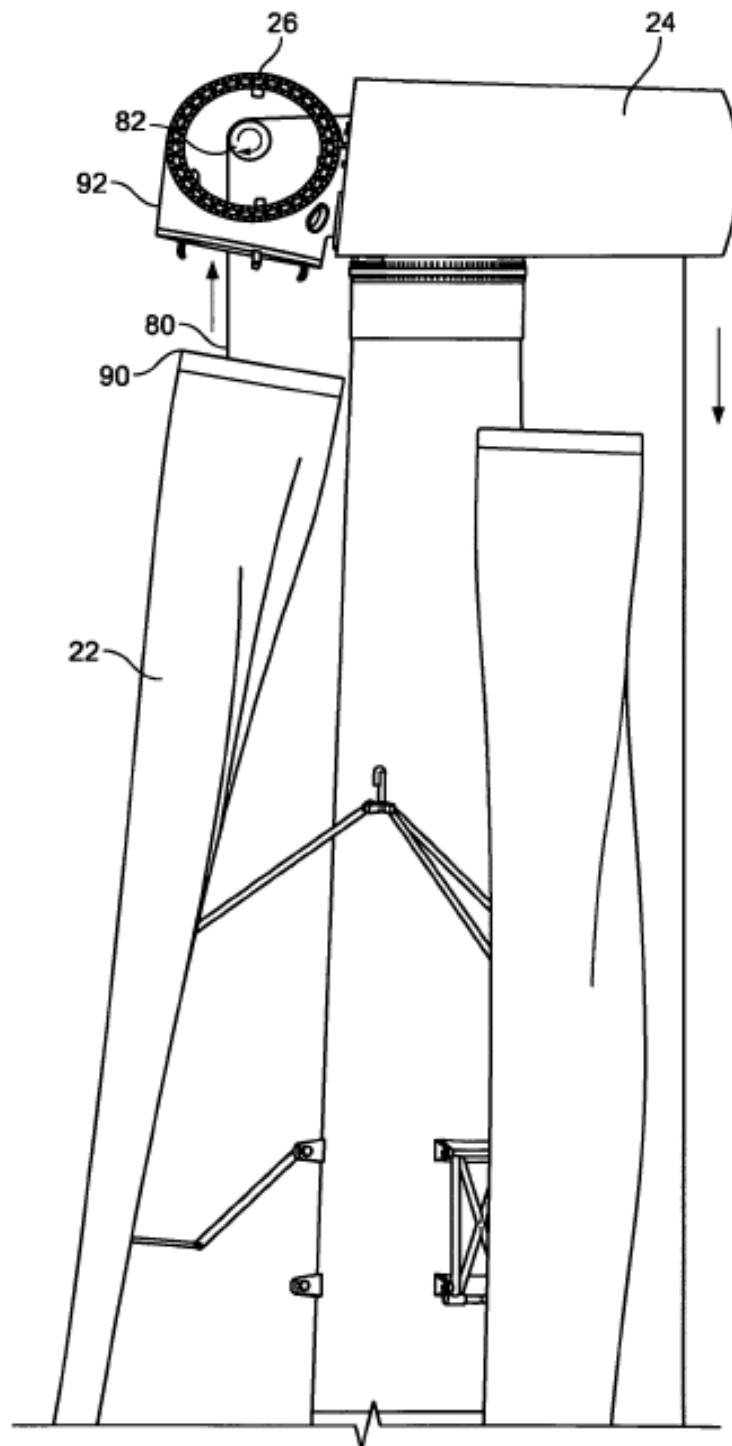


FIG. 9

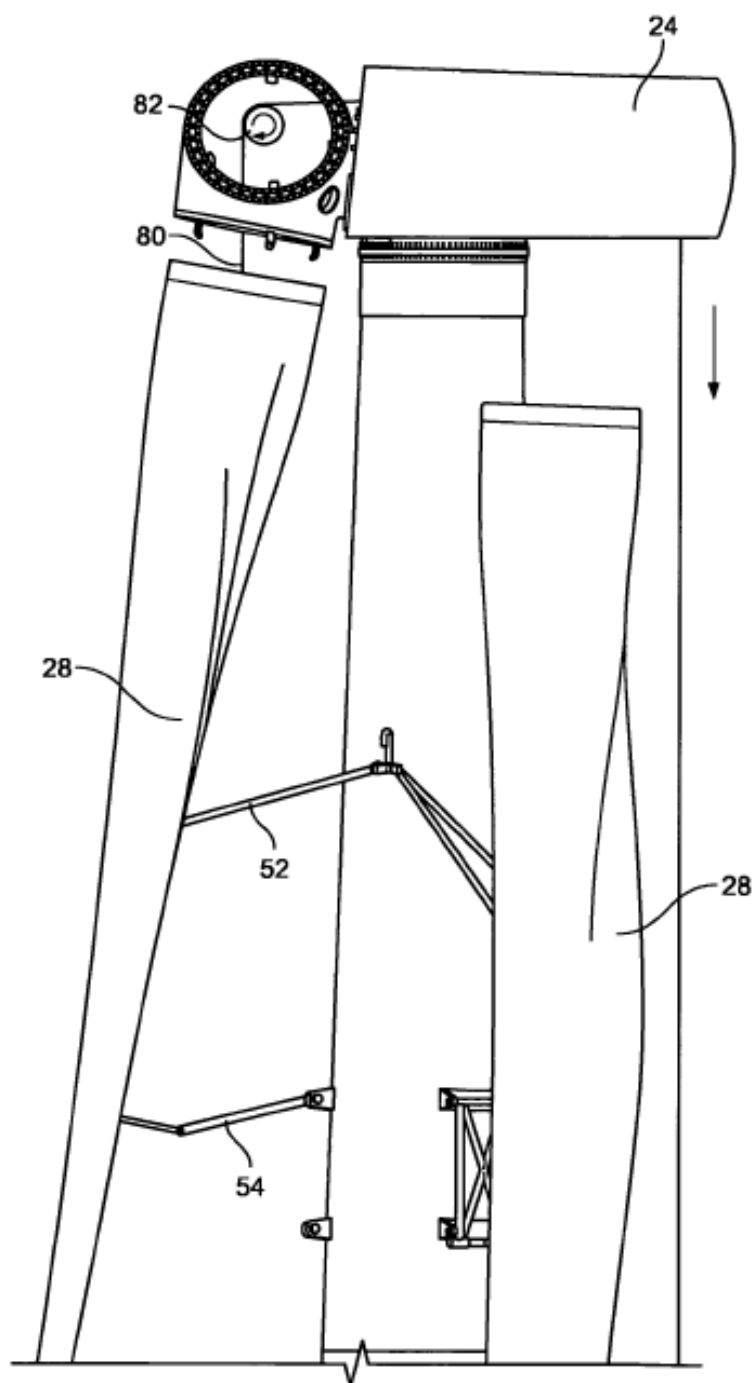


FIG. 10

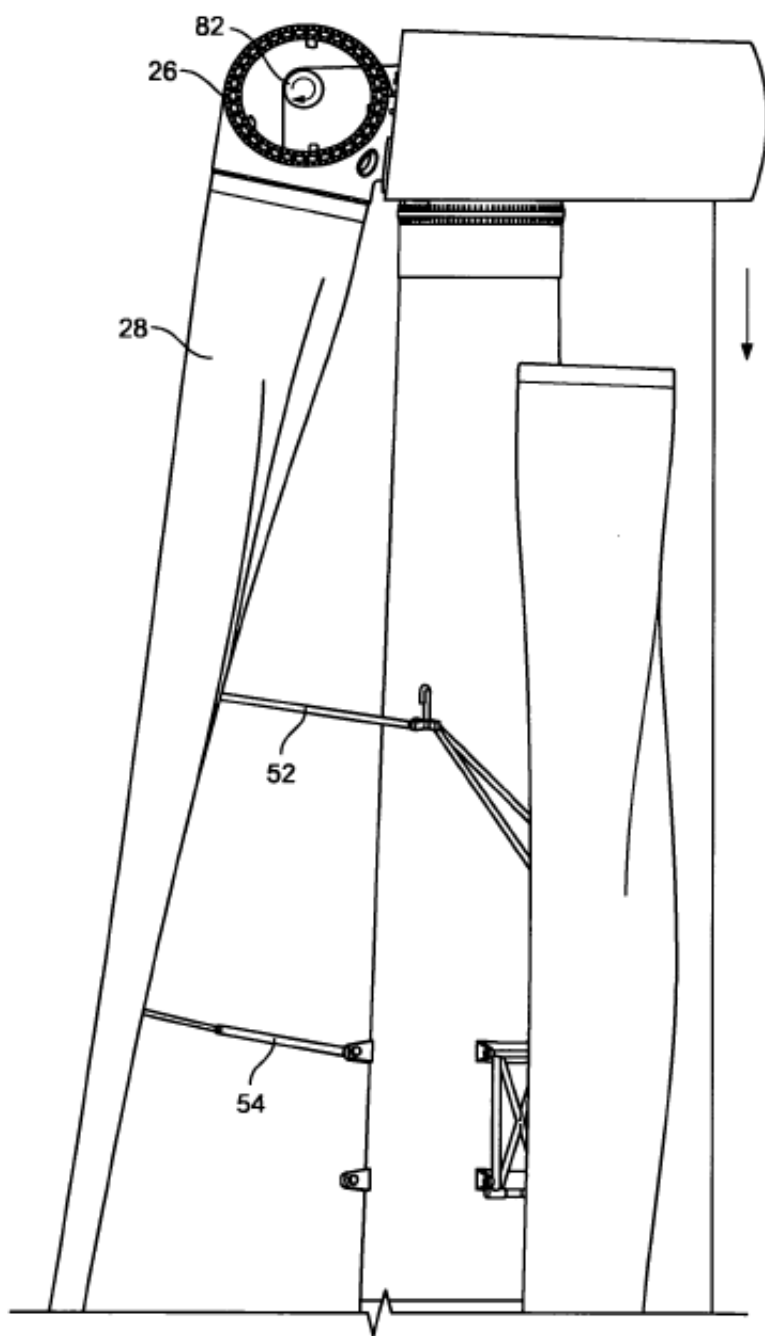


FIG. 11

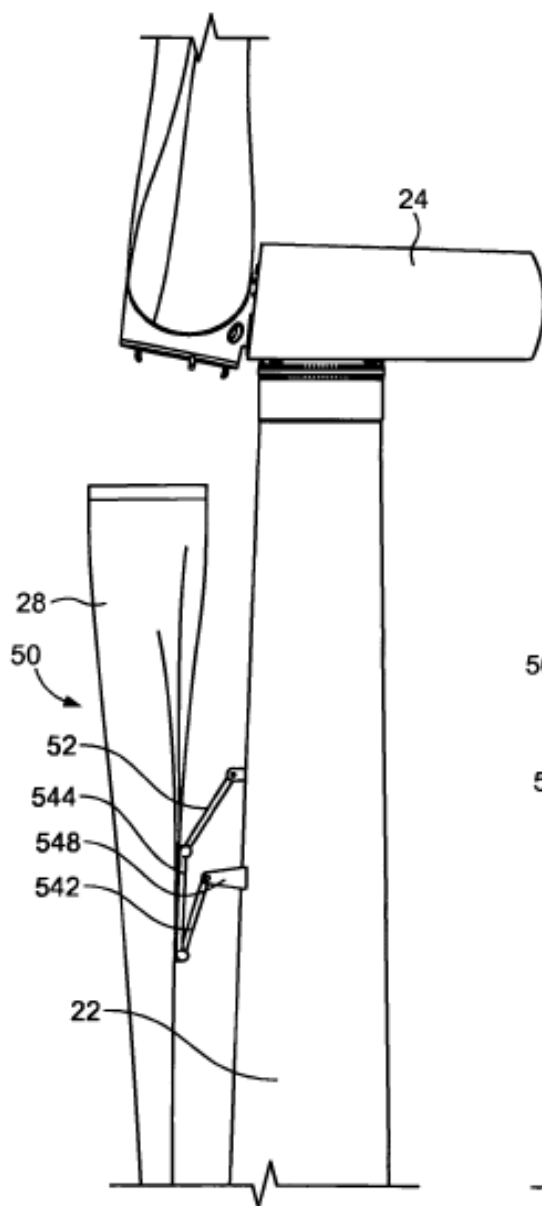


FIG. 12

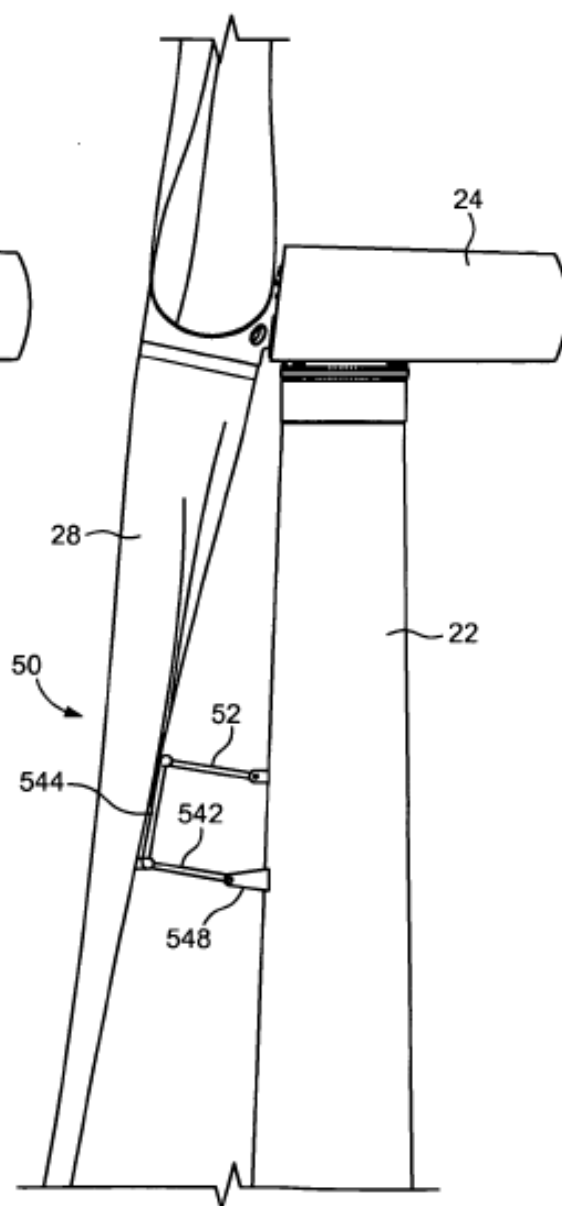


FIG. 13

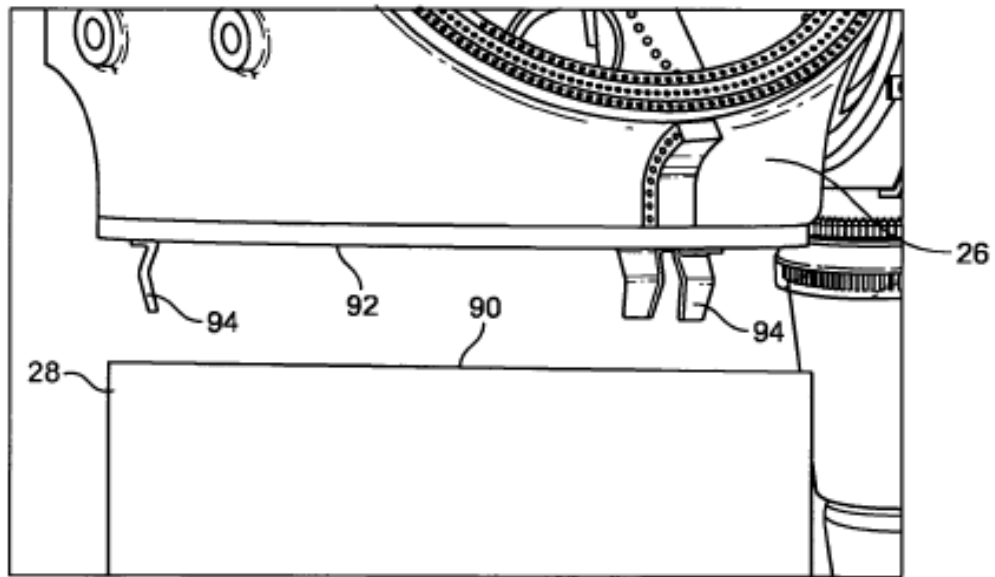


FIG. 14

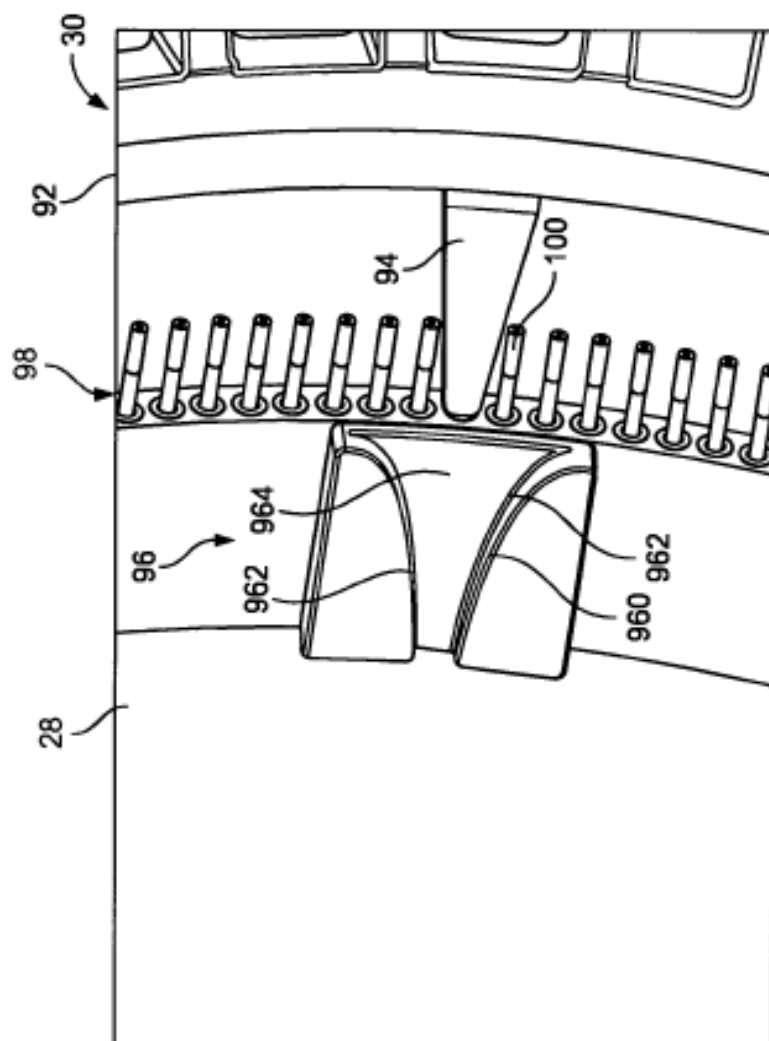


FIG. 15

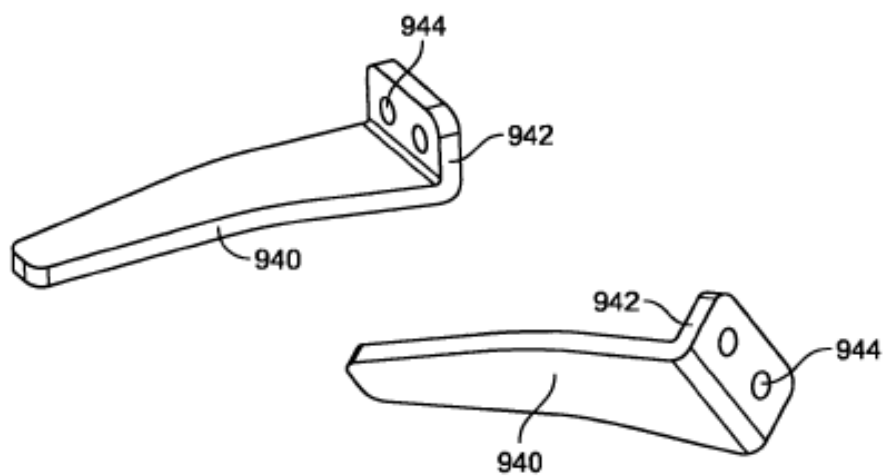


FIG. 16

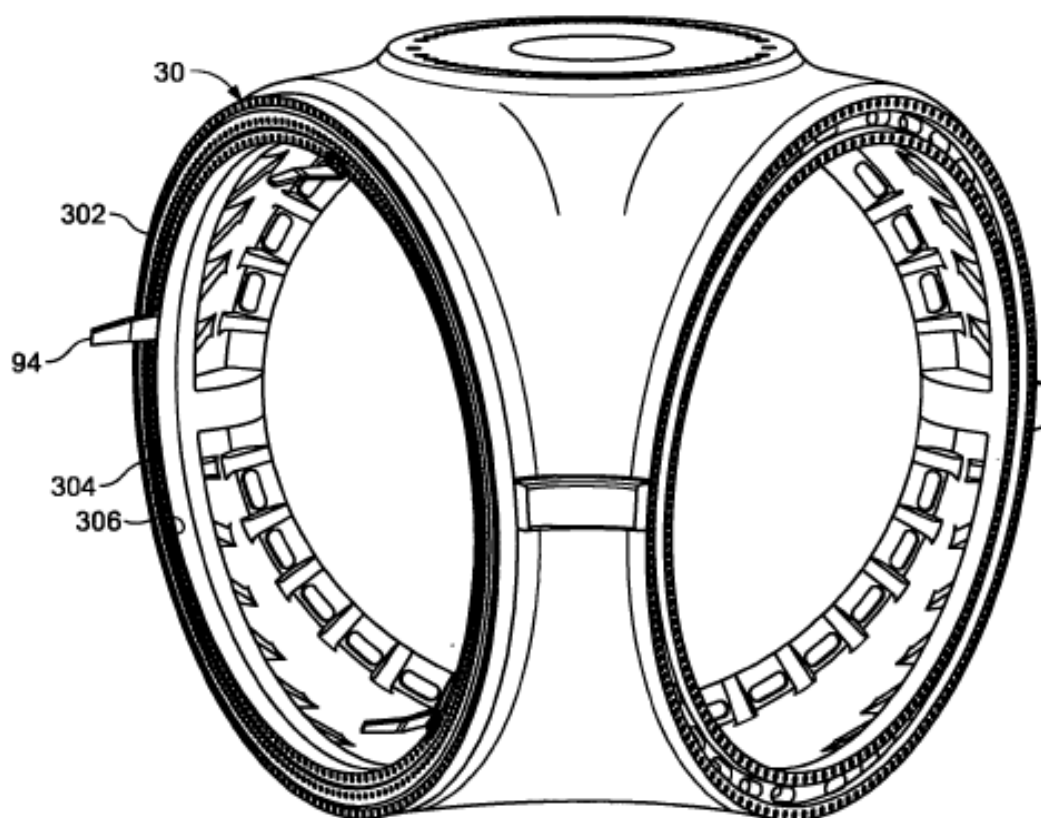


FIG. 17

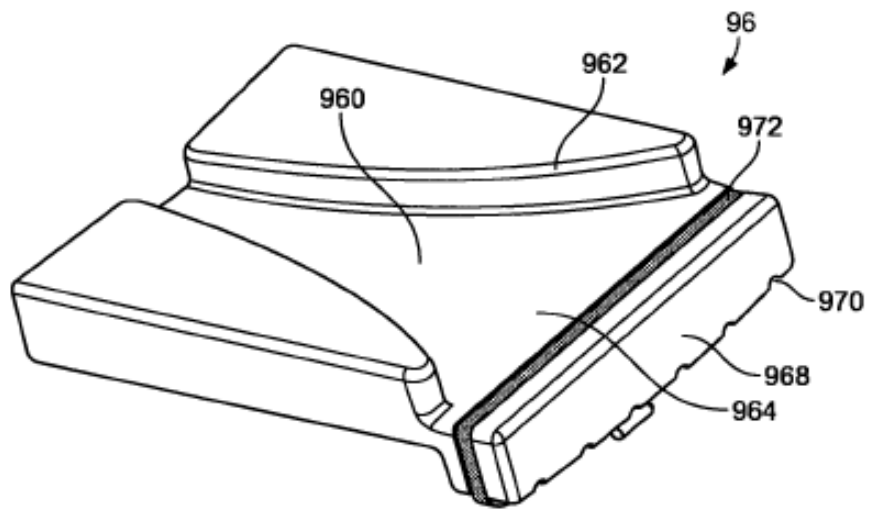


FIG. 18

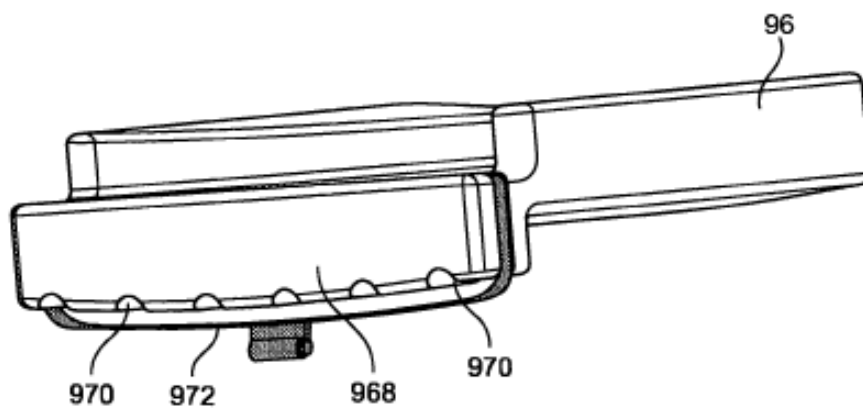


FIG. 19

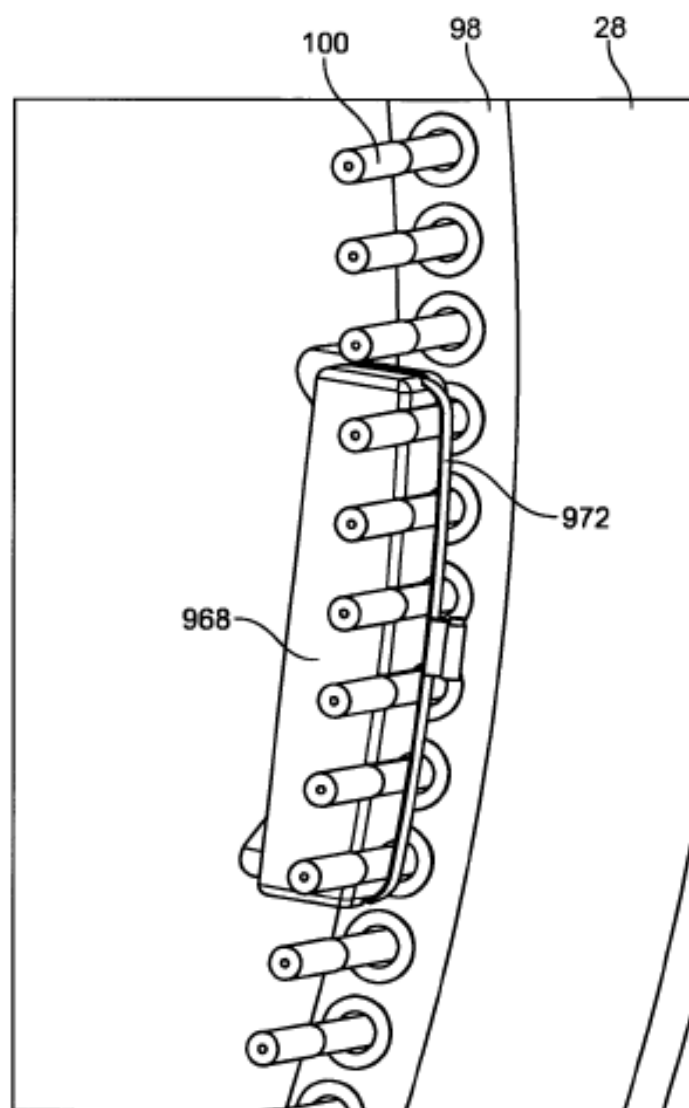


FIG. 20

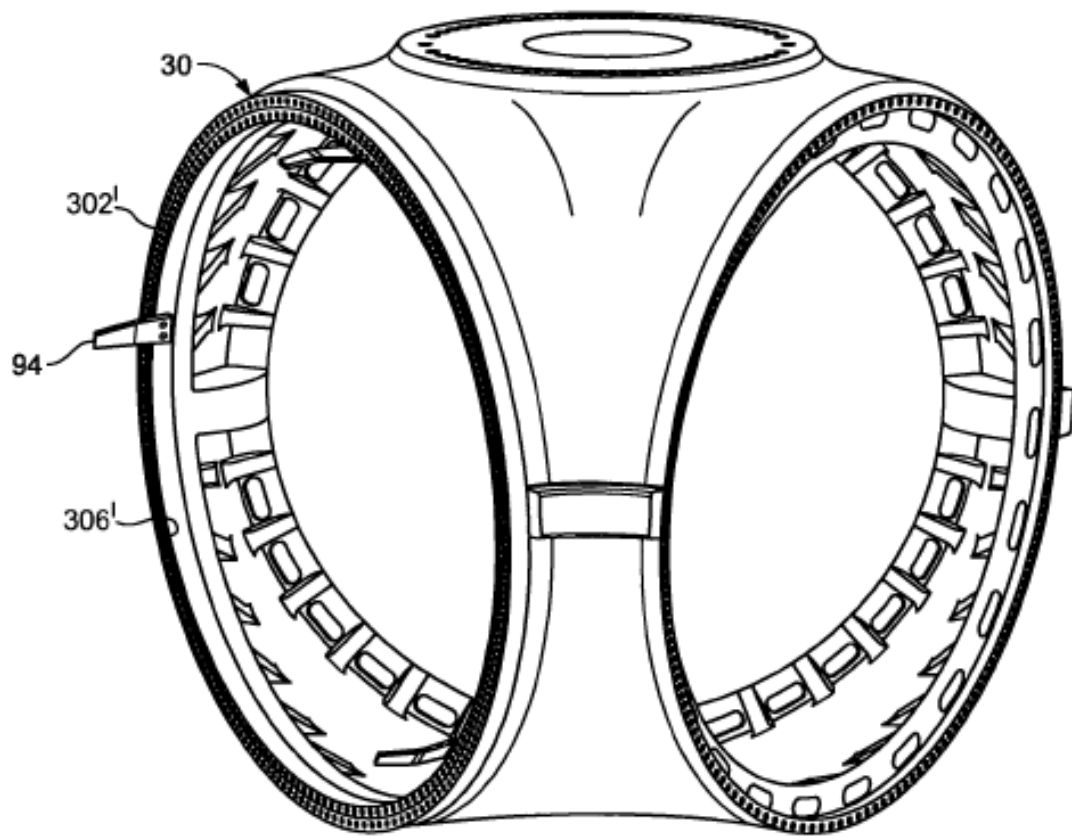


FIG. 21