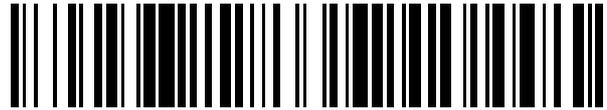


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 772 673**

51 Int. Cl.:

F03D 1/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.05.2016 E 16168432 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2019 EP 3091223**

54 Título: **Sistema de suspensión de arriba de la torre para una pala de rotor de turbina eólica**

30 Prioridad:

07.05.2015 US 201514706409

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

08.07.2020

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**NEUMANN, ULRICH WERNER;
PFEIFFER, GAYLON MITCHELL;
COSTAIN, KEVIN y
WILLMAN, STEPHANIE**

74 Agente/Representante:

FORTEA LAGUNA, Juan José

ES 2 772 673 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

Sistema de suspensión de arriba de la torre para una pala de rotor de turbina eólica

5 **[0001]** La presente divulgación se refiere, en general, a turbinas eólicas y, más en particular, a un sistema de suspensión de arriba de la torre para una pala de rotor de turbina eólica.

10 **[0002]** La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más ecológicas disponibles actualmente, y las turbinas eólicas han atraído cada vez más atención en este sentido. Como se muestra en la FIG. 1, una turbina eólica moderna 10 incluye típicamente una torre 12 que se extiende desde una superficie de soporte 14, una góndola 16 montada encima de la torre 12, un generador y una caja de engranajes (no mostrada) dentro de la góndola 16, y un rotor 18 montado en la góndola 16. El rotor 18 incluye un buje giratorio 20 que tiene una o más palas de rotor 22 montadas en el mismo. Cada una de las palas de rotor 22 está típicamente montada en el buje por medio de un cojinete de pitch. Los cojinetes de pitch están configurados para cambiar el ángulo de pitch de cada una de las palas para capturar la energía cinética del viento usando principios aerodinámicos conocidos. Las palas de rotor 22 transmiten la energía cinética del viento en forma de energía de rotación para girar un árbol que acopla las palas de rotor 22 a la caja de engranajes o, si no se usa la caja de engranajes, directamente al generador. A continuación, el generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica que se puede distribuir en una red de suministro.

20 **[0003]** Diversas operaciones de mantenimiento y/o reparación de la turbina eólica 10 pueden requerir la extracción de una o más de las palas de rotor 22 desde el buje 20. Por ejemplo, para reemplazar uno de los cojinetes de pitch existentes, la pala de rotor correspondiente se gira a la posición de las seis en punto de modo que la punta de la pala apunte hacia el suelo. A continuación, se retiran los pernos de la pala que sujetan la pala al buje y la pala 22 se baja a una distancia vertical inicial desde el buje. La pala de rotor 22 puede suspenderse, a continuación, desde el buje 20 por medio de un sistema de suspensión 15, como se muestra en la FIG. 2. Como se muestra, el sistema de suspensión 15 incluye, en general, dos correas de soporte sin fin 17 colocadas sobre las palas superiores en forma de orejas de conejo 22. Para mantener estas correas de soporte 17 en la posición apropiada, se instalan un conjunto de varillas de compresión 19 y ojales de guía 21 y se extienden entre el buje 20 y las correas 17.

25 **[0004]** Para instalar el sistema de suspensión 15, se requiere una grúa significativamente grande para elevar y colocar el sistema 15 sobre las palas 22. Dichas grúas son caras y deben transportarse al emplazamiento de la turbina eólica, lo que representa gran parte de los costes asociados al mantenimiento y/o reparaciones de la arriba de la torre de la turbina eólica.

30 **[0005]** Varios de dichos sistemas conocidos se muestran, por ejemplo, en los documentos US20100139062, US2014255186 y US2007290426.

35 **[0006]** En consecuencia, un sistema de suspensión para suspender una pala de rotor que no requiere el uso de una grúa significativamente grande sería conveniente en la tecnología.

40 **[0007]** Diversos aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden resultar claros a partir de la descripción o pueden aprenderse llevando a la práctica la invención.

45 **[0008]** En un aspecto, la presente divulgación se refiere a un procedimiento para suspender una pala de rotor desde un buje de una turbina eólica, por ejemplo, para terminar el trabajo de mantenimiento y/o servicio de la arriba de la torre. El procedimiento incluye retirar al menos un conjunto de unión de raíz de al menos un raíz de pala de una pala de rotor contigua. Otra etapa incluye proporcionar al menos un paso desde una superficie exterior de la raíz de la pala de rotor contigua hasta el conjunto de unión de raíz retirado. Otra etapa adicional incluye insertar un cable a través del al menos un paso, de modo que el cable se enganche en una superficie interior de la pala de rotor contigua y se extienda desde dentro de la pala de rotor contigua hasta la pala de rotor. El procedimiento incluye además asegurar el cable desde la pala de rotor contigua hasta la pala de rotor bajada en una ubicación de unión. A continuación, el procedimiento incluye bajar la pala de rotor a una distancia vertical adicional desde el buje hasta que la pala de rotor sea soportada por el, al menos, un cable.

50 **[0009]** En un modo de realización, el procedimiento incluye colocar la pala de rotor para que esté suspendida en una posición sustancialmente a las seis en punto y bajar la pala de rotor a una distancia vertical inicial desde un buje de la turbina eólica antes de retirar el al menos un conjunto de unión de raíz.

55 **[0010]** En otro modo de realización, el conjunto de unión de raíz incluye un perno de pala configurado con una tuerca cilíndrica en una configuración, en general, de perno en T. Por lo tanto, en determinados modos de realización, el procedimiento puede incluir retirar al menos dos conjuntos de unión de raíz de al menos dos raíces de pala de palas de rotor contiguas para formar dos agujeros de perno y dos agujeros de tuerca cilíndrica en cada una de las palas de rotor contiguas. En determinados modos de realización, el procedimiento puede incluir además instalar una o más guías de cable dentro de al menos uno de los agujeros de perno o los agujeros de tuerca cilíndrica para proteger el cable cuando se inserta a través de los mismos.

5 **[0011]** En modos de realización adicionales, la etapa de proporcionar al menos un paso desde la superficie exterior de la raíz de la pala de rotor contigua hasta el conjunto de unión de raíz incluye, además, mecanizar un agujero desde la superficie exterior de la pala de rotor contigua hasta el agujero de tuerca cilíndrica. En otros modos de realización, el procedimiento puede incluir proporcionar al menos dos pasos desde la superficie exterior de cada una de las raíces de pala de las palas de rotor contiguas hasta los agujeros de tuerca cilíndrica de cada uno de los conjuntos de unión de raíz retirados. Por tanto, en determinados modos de realización, el procedimiento incluye insertar un cable a través del al menos un paso, de modo que el cable se enganche en una superficie interior de la pala de rotor contigua y se extienda desde dentro de la pala de rotor contigua hasta la pala de rotor, y asegurar el primer cable a un primer lado de la pala de rotor, e insertar un segundo cable a través de los dos pasos de la otra pala de rotor contigua desde el interior del buje y unir el segundo cable a un lado opuesto de la pala de rotor.

15 **[0012]** En otros modos de realización, el procedimiento incluye instalar los elementos de unión en la pala de rotor después de que la pala se coloque en la posición de las seis en punto. Además, en modos de realización particulares, la ubicación de unión puede incluir al menos dos elementos o puntos de unión. Más específicamente, en determinados modos de realización, cada uno de los elementos de unión puede incluir uno o más de o una combinación de lo siguiente: un ojal, una arandela, un anillo metálico (por ejemplo, un anillo en D), una pasteca, un cierre de gancho y bucle o similar.

20 **[0013]** En otro aspecto, la presente divulgación se refiere a un procedimiento para suspender una pala de rotor desde un buje de una turbina eólica. El procedimiento incluye colocar la pala de rotor en una posición sustancialmente de las seis en punto. Otra etapa incluye bajar la pala de rotor a una distancia vertical inicial desde un buje de la turbina eólica. El procedimiento también incluye retirar al menos una tuerca cilíndrica de las palas de rotor contiguas para formar al menos dos agujeros de tuerca cilíndrica. Además, el procedimiento incluye proporcionar una abertura desde una superficie exterior de cada una de las palas de rotor contiguas hasta los agujeros de tuerca cilíndrica de las mismas. Otra etapa más incluye hacer pasar un cable a través de las aberturas de cada una de las palas de rotor contiguas desde dentro de las palas de rotor contiguas. El procedimiento también incluye asegurar cada uno de los cables a lados opuestos de la pala de rotor. Por tanto, el procedimiento incluye además bajar la pala de rotor a una distancia vertical adicional desde el buje hasta que la pala de rotor sea soportada por los cables.

30 **[0014]** Aún en otro aspecto, la presente divulgación se refiere a un sistema de suspensión de arriba de la torre para una pala de rotor de una turbina eólica. El sistema de suspensión incluye al menos un elemento de unión configurado en una primera ubicación en la raíz de la pala de rotor y un primer cable configurado para extenderse desde dentro de una primera pala de rotor contigua hasta el primer elemento de unión. Además, el primer cable está configurado para suspender la pala de rotor a una distancia vertical desde un buje de la turbina eólica.

35 **[0015]** En un modo de realización, el sistema de suspensión también incluye un segundo elemento de unión configurado en una segunda ubicación en la raíz de la pala de rotor, en el que la segunda ubicación es, en general, opuesta a la primera ubicación. Por tanto, en otros modos de realización, el sistema de suspensión también puede incluir un segundo cable configurado para extenderse desde dentro de una segunda pala de rotor contigua hasta el segundo elemento de unión.

45 **[0016]** En determinados modos de realización, el sistema de suspensión puede incluir además un dispositivo de mecanizado configurado para formar al menos un paso o abertura desde una superficie exterior de las raíces de pala de las primera y segunda palas de rotor contiguas hasta uno o más conjuntos de unión de raíz de las primera y segunda palas de rotor contiguas. Por ejemplo, en modos de realización particulares, cada uno de los conjuntos de unión de raíz puede incluir una configuración de perno en T formada por al menos un agujero de perno y al menos un agujero de tuerca cilíndrica configurados para recibir un perno de pala y una tuerca cilíndrica, creando de este modo un agujero para que pasen los primer y segundo cables cuando se retiran el perno de pala y la tuerca cilíndrica. Por tanto, en otros modos de realización, las primera y segunda palas de rotor contiguas pueden incluir cada una al menos dos pasos que se extienden desde una superficie exterior de las mismas hasta los agujeros de tuerca cilíndrica de cada uno de los conjuntos de unión de raíz. En consecuencia, los modos de realización particulares del sistema de suspensión pueden incluir el primer cable que se extiende desde dentro de la primera pala de rotor contigua y a través de un agujero de tuerca cilíndrica de la misma hasta el primer elemento de unión y el segundo cable que se extiende desde dentro de la segunda pala de rotor contigua y a través de un agujero de tuerca cilíndrica de la misma hasta el segundo elemento de unión.

50 **[0017]** En otros modos de realización, el sistema de suspensión también puede incluir una o más guías de cable configuradas dentro de al menos uno de los agujeros de perno o los agujeros de tuerca cilíndrica para proteger el al menos un cable que se inserta a través de los mismos. Además, debería entenderse que el sistema de suspensión puede configurarse con cualquiera de las características adicionales como se describe en el presente documento.

55 **[0018]** Diversas características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran modos de realización de la invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención. En los dibujos:

- la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de una turbina eólica de acuerdo con una construcción convencional;
- 5 la FIG. 2 ilustra una vista en perspectiva del buje de la turbina eólica de la FIG. 1, que ilustra en particular un sistema de suspensión de pala de rotor de acuerdo con una construcción convencional;
- la FIG. 3 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de una pala de rotor de una turbina eólica de acuerdo con una construcción convencional;
- 10 la FIG. 4 ilustra otra vista en perspectiva de la turbina eólica mostrada en la FIG. 1, que ilustra, en particular, la pala de rotor bajada a una distancia vertical inicial desde el buje;
- la FIG. 5 ilustra una vista en perspectiva parcial en primer plano de la pala de rotor y el buje mostrados en la FIG. 4, que ilustra, en particular, un modo de realización de un sistema de descenso que incluye cables de soporte asegurados a la pala de rotor y que se extienden a través de un cojinete de pitch de la turbina eólica y los dispositivos de traslación de cable correspondientes situados dentro del buje;
- 15 la FIG. 6 ilustra una vista en sección transversal de la pala de rotor y el cojinete de pitch mostrados en la FIG. 5 antes de que la pala de rotor se baje del buje, que ilustra, en particular, un par de cables de soporte y dispositivos de traslación de cable del sistema de descenso mostrado en la FIG. 5;
- 20 la FIG. 7 ilustra una vista de arriba hacia abajo del cojinete de pitch mostrado en las FIGS. 5 y 6, que ilustra, en particular, el posicionamiento circunferencial de los dispositivos de traslación de cable alrededor del cojinete de pitch con respecto a una línea de referencia de torre que se extiende radialmente desde el centro de la torre de turbina eólica a través del centro del cojinete de pitch;
- 25 la FIG. 8 ilustra una vista en sección transversal similar a la mostrada en la FIG. 6, que ilustra, en particular, una variación del sistema de descenso de pala en el que cada par de cables de soporte asegurado a la pala de rotor incluye un cable de soporte en asociación operativa con un dispositivo de traslación de cable correspondiente y otro cable de soporte que se extiende a través del cojinete de pitch sin ser recibido dentro de un dispositivo de traslación de cable;
- 30 la FIG. 9 ilustra una vista en perspectiva parcial en primer plano de la pala de rotor y el buje mostrados en la FIG. 4, que ilustra, en particular, otro modo de realización de un sistema de descenso que incluye cables de soporte asegurados a la pala de rotor y dispositivos de traslación de cable correspondientes situados dentro del buje;
- 35 la FIG. 10 ilustra una vista en perspectiva parcial en primer plano de la interfaz entre la pala de rotor y el cojinete de pitch mostrados en la FIG. 9 antes de bajar la pala de rotor desde el buje, que ilustra, en particular, un cable de soporte acoplado entre una tuerca de soporte instalada dentro de la raíz de pala y un dispositivo de traslación de cable correspondiente situado dentro del buje;
- 40 la FIG. 11 ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento para la suspensión de una pala de rotor desde un buje de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;
- 45 la FIG. 12 ilustra una vista frontal de un modo de realización de una turbina eólica, que ilustra, en particular, un sistema de suspensión que suspende una pala de rotor desde un buje de la turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;
- 50 la FIG. 13 ilustra una vista lateral detallada de la turbina eólica de la FIG. 12, que ilustra, en particular, un sistema de suspensión que suspende la pala de rotor desde el buje de la turbina eólica; y
- la FIG. 14 ilustra una vista lateral detallada opuesta de la turbina eólica de la FIG. 12, que ilustra, en particular, un sistema de suspensión que suspende la pala de rotor desde el buje de la turbina eólica.
- 55 **[0019]** A continuación, se hará referencia con detalle a modos de realización de la invención, de los cuales se ilustran uno o más ejemplos en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no de limitación de la invención. De hecho, resultará evidente para los expertos en la técnica que pueden realizarse diversas modificaciones y variaciones en la presente invención sin apartarse del alcance de la invención. Por ejemplo, características ilustradas o descritas como parte de un modo de realización se pueden usar con otro modo de
- 60 realización para producir otro modo de realización más. Por tanto, se pretende que la presente invención cubra dichas modificaciones y variaciones de modo que entren dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.
- [0020]** En general, la presente materia objeto se refiere a diversos sistemas y procedimientos para suspender una pala de rotor de una turbina eólica para realizar tareas de servicio y/o mantenimiento en diversos componentes de
- 65 turbina eólica de arriba de la torre. Específicamente, como resultará evidente a partir de la descripción proporcionada a continuación, los sistemas y procedimientos divulgados pueden permitir que el mantenimiento se realice en la arriba

de la torre de la turbina eólica sin el uso de una grúa grande y costosa, reduciendo de este modo significativamente los costes asociados. Con referencia ahora a los dibujos, las FIGS. 1 y 3 ilustran vistas en perspectiva de un modo de realización de una turbina eólica 10 y una pala de rotor correspondiente 22 que puede utilizar el sistema de suspensión de acuerdo con la presente divulgación. Como se mencionó, la turbina eólica 10 incluye, en general, una torre 12 que se extiende desde una superficie de soporte 14 (por ejemplo, el suelo, una plataforma de hormigón o cualquier otra superficie de soporte adecuada). Además, la turbina eólica 10 también puede incluir una góndola 16 montada en la torre 12 y un rotor 18 acoplado a la góndola 16. El rotor 18 incluye un buje giratorio 20 y al menos una pala de rotor 22 acoplada a y que se extiende hacia fuera desde el buje 20. Por ejemplo, en el modo de realización ilustrado, el rotor 18 incluye tres palas de rotor 22. Sin embargo, en un modo de realización alternativo, el rotor 18 puede incluir un número mayor o menor que tres palas de rotor 22. Cada pala de rotor 22 puede estar espaciada sobre el buje 20 para facilitar la rotación del rotor 18 para permitir que la energía cinética del viento se convierta en energía mecánica útil y, posteriormente, en energía eléctrica. Por ejemplo, el buje 20 puede estar acoplado de forma giratoria a un generador eléctrico (no mostrado) situado dentro de la góndola 16 para permitir que se produzca energía eléctrica.

[0021] Con referencia, en particular, a la FIG. 3, una vista en perspectiva de una de las palas de rotor 22 mostradas en la FIG. 1, se ilustra de acuerdo con aspectos de la presente divulgación. Como se muestra, la pala de rotor 22 incluye un raíz de pala 24 configurado para montar la pala de rotor 22 en el buje 20 de una turbina eólica 10 (FIG. 1) y una punta de pala 26 dispuesta de manera opuesta a la raíz de pala 24. Un cuerpo 28 de la pala de rotor 22 puede extenderse longitudinalmente entre la raíz de pala 24 y la punta de pala 26 y en general, puede servir como cubierta exterior de la pala de rotor 22. Como se entiende en general, el cuerpo 28 puede definir un perfil aerodinámico (por ejemplo, definiendo una sección transversal en forma de alerón, tal como una sección transversal simétrica o combada en forma de alerón) para permitir que la pala de rotor 22 capture energía cinética del viento usando principios aerodinámicos conocidos. Por tanto, el cuerpo 28 puede incluir, en general, un lado de presión 30 y un lado de succión 32 que se extienden entre un borde delantero 34 y un borde trasero 36. Adicionalmente, la pala de rotor 22 puede tener una envergadura 38 que define la longitud total del cuerpo 28 entre la raíz de pala 24 y la punta de pala 26 y una cuerda 40 que define la longitud total del cuerpo 28 entre el borde delantero 34 y el borde trasero 36. Como se entiende en general, la cuerda 40 puede variar en longitud con respecto a la envergadura 38 a medida que el cuerpo 29 se extiende desde la raíz de pala 24 hasta la punta de pala 26.

[0022] Además, como se muestra en la FIG. 3, la pala de rotor 22 también puede incluir una pluralidad de pernos en T o conjuntos de unión de raíz 42 para acoplar la raíz de pala 22 al buje 20 de la turbina eólica 10. En general, cada conjunto de unión de raíz 42 puede incluir una tuerca cilíndrica 44 montada dentro de una porción de la raíz de pala 24 y un perno de raíz 46 acoplado a y que se extiende desde la tuerca cilíndrica 44 para proyectarse hacia afuera desde un extremo de raíz 48 de la raíz de pala 24. Al proyectarse hacia afuera desde el extremo de raíz 48, los pernos de raíz 46 pueden usarse, en general, para acoplar la raíz de pala 24 al buje 20 por medio de un cojinete de pitch 150 (FIG. 6) de la turbina eólica 10. Por ejemplo, el cojinete de pitch 150 puede definir una pluralidad de agujeros de perno 151 (FIGS. 7-8) configurados para recibir los pernos de raíz 48. Adicionalmente, como se describirá a continuación, una porción de dichos pernos de raíz 46 también se puede utilizar cuando la pala de rotor 22 se retira del y/o se instala en el buje 20.

[0023] Con referencia ahora a la FIG. 4, la pala de rotor 22 puede rotarse inicialmente a una posición verticalmente hacia abajo (por ejemplo, una posición de las seis en punto) de modo que la pala 22 tenga una orientación generalmente vertical con respecto a la superficie de soporte 14 de la turbina eólica 10. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 4, la pala de rotor 22 se extiende verticalmente hacia abajo desde el buje 20 de modo que la punta de pala 26 apunte hacia la superficie de soporte 14. Se debe apreciar que, debido a un ángulo de inclinación y/o ángulo cónico de la turbina eólica 10, la pala de rotor 22 puede estar ligeramente inclinada en sentido opuesto a la torre 12 cuando se mueve a la posición verticalmente hacia abajo.

[0024] Además, la pala de rotor 22 puede bajarse inicialmente desde el buje 22 a una distancia vertical inicial 146. Por tanto, el descenso inicial de la pala de rotor 22 simplemente proporciona espacio para las tareas de servicio y/o mantenimiento dentro y alrededor del buje 20 y/o la pala de rotor retirada 22. La distancia vertical inicial 146 puede corresponder, en general, a cualquier distancia adecuada que permita la instalación del equipo de servicio apropiado y/o para que el personal realice las reparaciones. Por ejemplo, en un modo de realización, la distancia vertical inicial 146 puede variar, en general, de aproximadamente 2 pies (0,6 m) a aproximadamente 15 pies (4,57 m), tal como de aproximadamente 3 pies (0,91 m) a aproximadamente 10 pies (3,05 m) o de aproximadamente 5 pies (1,52 m) a aproximadamente 10 pies (3,05 m) y cualquier otro subintervalo entre dichos valores.

[0025] Con referencia ahora a las FIGS. 5-7, un modo de realización de componentes adecuados que pueden incluirse dentro de un sistema de descenso para bajar inicialmente la pala de rotor 22 desde el buje 20 se ilustra de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto. Específicamente, la FIG. 5 ilustra una vista en perspectiva parcial del buje 20, la pala de rotor 22 y el cojinete de pitch 150 de la turbina eólica 10 después de que la pala 22 se ha bajado del buje 20 a la distancia vertical inicial 146. La FIG. 6 ilustra una vista en sección transversal parcial de la interfaz entre la pala de rotor 22 y el cojinete de pitch 150 antes de que se baje la pala 22 en relación con el buje 20. Adicionalmente, la FIG. 7 ilustra una vista superior del cojinete de pitch 150 de la turbina eólica 10, que ilustra, en particular, el posicionamiento circunferencial relativo de los componentes del sistema utilizados para bajar inicialmente la pala de rotor 22 en relación con el buje 20.

5 **[0026]** Se debe apreciar que, con fines ilustrativos, solo se muestra el anillo interno del cojinete de pitch 150. Como se entiende en general, el cojinete de pitch 150 también puede incluir un anillo externo configurado para acoplarse al buje 20. Como tal, cuando el anillo interno se gira con respecto al anillo externo del cojinete de pitch 150, la pala de rotor 22 puede girar alrededor de su eje de pitch.

10 **[0027]** Como se muestra en particular en las FIGS. 5 y 6, para permitir que la pala de rotor 22 se baje inicialmente, varios de los pernos de raíz 46 que se extienden a través de los agujeros de perno 151 definidos en el cojinete de pitch 150 pueden retirarse y reemplazarse con cables de soporte adecuados 152. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 5, en un modo de realización, ocho de los pernos de raíz 46 se han retirado y reemplazado con los correspondientes cables de soporte 152. Al hacerlo, el resto de los pernos de raíz 46 pueden mantenerse inicialmente en contacto con el cojinete de pitch 150 (por ejemplo, por medio de tuercas de unión adecuadas (no mostradas)) para permitir que la pala de rotor 22 continúe siendo soportada por el buje 20 hasta que la pala de rotor 22 esté lista para bajarse.

15 **[0028]** En general, los cables de soporte 152 pueden corresponder a cualquier cable adecuado que sea capaz de soportar el peso de la pala de rotor 22 a medida que se baja con respecto al buje 20. Por ejemplo, en varios modos de realización, cada cable de soporte 152 puede corresponder a un cable de acero o cualquier otro cable metálico adecuado que tenga una capacidad de carga nominal suficiente para manejar el peso de la pala de rotor 22. En otro modo de realización, cada cable de soporte 152 puede corresponder a una cadena metálica o cualquier otro objeto alargado adecuado similar a un cable. Además, se debe apreciar que cada cable de soporte 152 puede configurarse, en general, para definir cualquier longitud adecuada que permita que los cables se utilicen para bajar la pala de rotor 22 alejándola del buje 20 a la distancia vertical inicial 146.

20 **[0029]** Además, los cables de soporte 152 pueden configurarse, en general, para acoplarse a la pala de rotor 22 usando cualquier medio de unión adecuado. Por ejemplo, como se muestra en el modo de realización ilustrado, un extremo de raíz 154 (FIG. 6) de cada cable 152 puede acoplarse a un travesaño de cable roscado 156 configurado para enroscarse en una de las tuercas cilíndricas 44 que se extiende dentro de la raíz de pala 24. En dicho modo de realización, se puede formar una conexión estampada u otra conexión adecuada entre el extremo de raíz 154 de cada cable 152 y cada travesaño de cable 156 para acoplar firmemente los cables 152 a los travesaños correspondientes 156. En otros modos de realización, los cables de soporte 152 se pueden acoplar a la raíz de pala 24 usando cualquier otro medio adecuado, tal como acoplando cada cable de soporte 152 a un accesorio de montaje adecuado configurado para asegurarse a la raíz de pala 24.

25 **[0030]** Se debe apreciar que, en modos de realización en los que los cables de soporte 152 están acoplados a la raíz de pala 24 por medio de los travesaños de cable roscados 156, cada travesaño de cable 156 puede configurarse, en general, para definir cualquier longitud adecuada 157. Como se muestra en la FIG. 6, en un modo de realización, la longitud 157 de cada travesaño de cable 156 puede ser sustancialmente igual a una longitud correspondiente 159 de los pernos de raíz 46. De forma alternativa, como se muestra en el modo de realización de la FIG. 8, la longitud 157 de cada travesaño de cable 156 puede ser menor que la longitud 159 de los pernos de raíz 46.

30 **[0031]** Como se muestra en las FIGS. 5 y 6, cada cable de soporte 152 puede configurarse para estar en asociación operativa con un dispositivo de traslación de cable adecuado 158 situado dentro del buje 20. En general, cada dispositivo de traslación de cable 158 puede corresponder a cualquier dispositivo adecuado que permita que la pala de rotor 22 se mueva de manera segura con respecto al buje 20 usando los cables de soporte 152. Por ejemplo, en varios modos de realización, cada dispositivo de traslación de cable 152 puede corresponder a un actuador accionado por fluido (por ejemplo, un actuador hidráulico o neumático) configurado para estar en asociación operativa con un cable de soporte correspondiente 152 para permitir que se baje y/o se eleve la pala de rotor 22 en relación con el buje 20.

35 **[0032]** Específicamente, en un modo de realización particular de la presente divulgación, cada dispositivo de traslación de cable 158 puede configurarse como un cilindro hueco de elevación/descenso o como un gato de un solo filamento diseñado para bajar y/o elevar gradualmente la pala de rotor 22. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 6, cada dispositivo 158 puede incluir un cilindro 160 configurado para acoplarse al cojinete de pitch 150 (por ejemplo, por medio de pernos adecuados y/u otros elementos de fijación mecánicos (no mostrados)) y un pistón hueco 162 configurado para recibir uno de los cables de soporte 152. El pistón 162 puede configurarse, en general, para ser accionado y retraído en relación con el cilindro 160 suministrando/expulsando un fluido presurizado hacia/desde el cilindro 160 (por ejemplo, por medio de un orificio de fluidos 164). Además, cada dispositivo de traslación de cable 158 puede incluir un mecanismo de sujeción superior 166 situado directamente sobre el pistón 162 y un mecanismo de sujeción inferior 168 situado directamente debajo del pistón 162. Como se entiende en general, los mecanismos de sujeción superior e inferior 166, 168 pueden configurarse para sujetar de forma alternativa el cable de soporte 152 a medida que el pistón 162 es accionado y retraído, permitiendo de este modo que cada dispositivo de traslación 152 baje o eleve la pala de rotor 22 en incrementos cortos con cada accionamiento/retracción del pistón 162.

40 **[0033]** Adicionalmente, en varios modos de realización, un bloque de parada 170 puede configurarse para instalarse alrededor de cada cable de soporte 152 directamente encima de su dispositivo de traslación de cable correspondiente

158. En general, cada bloque de parada 170 puede configurarse para servir como una característica de seguridad incorporada que proporciona una parada mecánica para cada cable de soporte 152 en caso de fallo de uno de los dispositivos de traslación de cable 158. Por ejemplo, como se muestra en particular en la FIG. 6, cada cable de soporte 152 puede incluir una pluralidad de lengüetas 172 espaciadas gradualmente a lo largo de la longitud del cable. En dicho modo de realización, se puede definir una abertura o ranura (no mostrada) a través de cada bloque de parada 170 que es dimensionalmente más grande que el cable 152, permitiendo de este modo que el cable 152 pase a través del bloque de parada 170 a medida que se baja en relación con el dispositivo de traslación 158. Sin embargo, dado su mayor tamaño, las lengüetas 172 pueden no ser capaces de pasar a través de la abertura o ranura definida en cada bloque de parada 170. En consecuencia, en caso de fallo de uno de los dispositivos de traslación de cable 158, la lengüeta 172 situada directamente por encima del bloque de parada correspondiente 170 puede entrar en contacto y engancharse con una superficie superior del bloque 170, evitando de este modo el movimiento adicional del cable de soporte 152 en relación con el dispositivo de traslación 158. Por el contrario, durante el funcionamiento normal, los bloques de parada 170 pueden reposicionarse continuamente a lo largo del cable de soporte 152 a medida que cada lengüeta 172 se baja hacia y/o de forma contigua a su bloque de parada correspondiente 170. Por ejemplo, como se indica mediante las líneas discontinuas en la FIG. 6, cuando una de las lengüetas 172 se baja hacia abajo y/o de forma contigua a uno de los bloques de parada 170, el bloque de parada 170 puede retirarse del cable de soporte 152 y reposicionarse por encima de dicha lengüeta 172 para permitir que el cable de soporte 152 continúe siendo bajado a través del dispositivo de traslación 158.

[0034] Se debe apreciar que, en general, cada cable de soporte 152 y dispositivo de traslación correspondiente 158 puede configurarse para instalarse en cualquier ubicación adecuada alrededor de la circunferencia de la raíz de pala 24 y el cojinete de pitch 150. Sin embargo, en varios modos de realización, los cables/dispositivos 152, 158 pueden agruparse en pares separados alrededor de la raíz de pala 24 y el cojinete de pitch 150. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 7, en un modo de realización, cada par de los dispositivos de traslación de cable 158 puede configurarse para colocarse alrededor del cojinete de pitch 150 en ubicaciones circunferenciales generalmente contiguas a una línea de referencia 174 orientada perpendicularmente a una línea de referencia de torre 176 que se extiende radialmente desde el centro de la torre de la turbina eólica 12 a través del centro del cojinete de pitch 150. Específicamente, como se muestra, cada par de los dispositivos de traslación de cable 158 puede, en general, estar separado circunferencialmente de la línea de referencia 174 en un ángulo 178 igual a menos de aproximadamente 45 grados, tal como menos de aproximadamente 40 grados o menos de aproximadamente 35 grados. Por supuesto, en dicho modo de realización, los cables de soporte 152 se pueden asegurar de forma similar a la raíz de pala 24 en una ubicación circunferencial correspondiente con respecto a la línea de referencia 174. Dicho posicionamiento de los cables/dispositivos 152, 158 contiguos a la línea de referencia 174 puede, en determinadas configuraciones de pala de rotor, permitir que la pala de rotor 22 esté ligeramente inclinada en sentido opuesto a la torre 12 a medida que se baja la pala 22 en relación con el buje 20 debido a la ubicación del centro de gravedad de la pala.

[0035] Como se indicó anteriormente, en un modo de realización, se pueden instalar ocho cables de soporte 152 y los correspondientes dispositivos de traslación 158 para ayudar a bajar la pala de rotor 22 en relación con el buje 20. Sin embargo, en otros modos de realización, se puede utilizar cualquier otro número adecuado de cables de soporte 152 y dispositivos de traslación 158 para bajar la pala de rotor 22 en relación con el buje 20. Por ejemplo, en un modo de realización, la pala de rotor 22 puede bajarse usando solo cuatro cables/dispositivos 152, 158 o usando solo dos cables/dispositivos 152, 158.

[0036] Adicionalmente, en otros modos de realización, solo una porción de los cables de soporte 152 acoplados a la pala de rotor 22 puede configurarse para estar en asociación operativa con los dispositivos de traslación de cable correspondientes 158. Por ejemplo, la FIG. 8 ilustra un modo de realización alternativo al modo de realización mostrado en la FIG. 6. Como se muestra en la FIG. 8, para cada par de cables de soporte 152 que se extienden desde la raíz de pala 24, uno de los cables 152 puede configurarse para estar en asociación operativa con un dispositivo de traslación correspondiente 158 situado dentro del buje 20. En dicho modo de realización, cada cable de soporte 152 no asociado con un dispositivo de traslación 158 se puede usar simplemente para proporcionar soporte adicional para la pala de rotor 22 a medida que se baja. Además, dichos cables de soporte 152 también pueden configurarse para ser utilizados en relación con los bloques de parada 170 descritos anteriormente. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 8, el bloque de parada 170 puede colocarse directamente sobre el cojinete de pitch 150 para permitir que el bloque de parada 170 se enganche entre una de las lengüetas de cable 172 y el cojinete de pitch 150 en caso de fallo de uno o más de los dispositivos de traslación 158 instalado(s) en cualquiera de los otros cables de soporte 152.

[0037] Se debe apreciar que, en otros modos de realización de la presente materia objeto, la pala de rotor 22 puede configurarse para bajarse inicialmente del buje 20 usando cualquier otro medio de descenso adecuado conocido en la técnica. Por ejemplo, como alternativa a los dispositivos de traslación de cable accionados por fluido 158 descritos anteriormente, los dispositivos de traslación de cable pueden corresponder a cabrestantes situados dentro del buje 20. En dicho modo de realización, los cables de soporte 152 pueden desenrollarse de cada cabrestante asociado para bajar inicialmente la pala de rotor 22 desde el buje 20. En otro modo de realización, los cables de soporte 152 pueden reemplazarse con varillas roscadas alargadas. En dicho modo de realización, las varillas roscadas pueden recibirse dentro de un dispositivo de traslación adecuado (por ejemplo, un gato de tornillo) configurado para permitir que las varillas se muevan con respecto al dispositivo, permitiendo de este modo que la pala de rotor 22 se baje con respecto al buje 20.

[0038] Con referencia ahora a las FIGS. 9 y 10, otro modo de realización de componentes adecuados que pueden incluirse dentro de un sistema de descenso para bajar inicialmente la pala de rotor 22 desde el buje 20 a una distancia vertical inicial 146 se ilustra de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto. Específicamente, la FIG. 9 ilustra una vista en perspectiva parcial del buje 20, la pala de rotor 22 y el cojinete de pitch 150 de la turbina eólica 10 después de que la pala 22 se haya bajado desde el buje 20 a la distancia vertical inicial 146. La FIG. 10 ilustra una vista en perspectiva parcial del interior del buje 20 en la interfaz entre la pala de rotor 22 y el cojinete de pitch 150 antes de que se baje la pala 22 en relación con el buje 20.

[0039] Como se muestra en particular en las FIGS. 9 y 10, para permitir que la pala de rotor 22 se baje inicialmente, varios de los pernos de raíz 46 que se extienden a través de los agujeros de perno 151 definidos en el cojinete de pitch 150 pueden retirarse. Las tuercas cilíndricas existentes 44 asociadas con dichos pernos 46 pueden reemplazarse entonces por tuercas de soporte de forma cilíndrica 300, donde cada tuerca de soporte 300 está configurada para permitir que un cable de soporte correspondiente 302 se acople a la raíz de pala 24. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 9, en un modo de realización, cuatro de las tuercas cilíndricas existentes 44 pueden retirarse y reemplazarse con tuercas de soporte adecuadas 300. Al hacerlo, el resto de los pernos de raíz 46 pueden mantenerse inicialmente en contacto con el cojinete de pitch 150 (por ejemplo, por medio de tuercas de unión adecuadas 304 (FIG. 10) para permitir que la pala de rotor 22 continúe siendo soportada por el buje 20 hasta que la pala de rotor 22 esté lista para bajarse.

[0040] Como se indicó anteriormente, en un modo de realización, se pueden instalar cuatro tuercas de soporte 300 a través de la raíz de pala 24 en lugar de las tuercas cilíndricas existentes 44 para permitir que cuatro cables de soporte correspondientes 302 se acoplen a la pala de rotor 22. Sin embargo, en otros modos de realización, cualquier otro número adecuado de tuercas de soporte 300 puede asegurarse dentro de la raíz de pala 24 para proporcionar un medio para acoplar un número correspondiente de cables de soporte 302 a la pala de rotor 22, tal como instalando menos de cuatro tuercas de soporte 300 dentro de la raíz de pala 24 (por ejemplo, dos o tres tuercas de soporte) o más de cuatro tuercas de soporte 300 dentro de la raíz de pala 24 (por ejemplo, cinco, seis o más tuercas de soporte).

[0041] Adicionalmente, se debe apreciar que las tuercas de soporte 300 pueden configurarse para mantenerse en posición con respecto a la pala de rotor 22 usando cualquier medio de unión adecuado. Por ejemplo, en un modo de realización, una vez que se inserta una tuerca de soporte dada 300 dentro de la raíz de pala 24, se puede insertar un perno de raíz correspondiente 46 a través del cojinete de pitch 150 y atornillarse en la abertura que se extiende verticalmente 306 de la tuerca de soporte 300 para asegurar la tuerca 300 dentro de la raíz de pala 24. De forma alternativa, como se muestra en la FIG. 10, un pasador de alineación 312 puede configurarse para insertarse a través del cojinete de pitch 150 y atornillarse en la abertura que se extiende verticalmente 306 de cada tuerca de soporte 300. En dicho modo de realización, cada pasador de alineación 312 puede configurarse, en general, para su fijación dentro de la tuerca de soporte correspondiente 300 de una manera similar a los pernos de raíz existentes 46 y, por tanto, pueden incluir un extremo roscado 314 para engancharse a la abertura roscada 306 de la tuerca de soporte 300. Sin embargo, como se muestra en la FIG. 10, cada pasador de alineación 312 puede definir una altura o longitud vertical 316 que es mayor que la longitud 159 (FIG. 6) de los pernos de raíz 46. En consecuencia, los pasadores de alineación 312 también se pueden utilizar para alinear la pala de rotor con el cojinete de pitch a medida que la pala de rotor (o una pala de rotor diferente con los pasadores de alineación instalados en la misma) se levantan sobre el buje.

[0042] Con referencia todavía a las FIGS. 9 y 10, cada cable de soporte 302 puede configurarse para extenderse desde una de las tuercas de soporte 300 hasta un dispositivo de traslación de cable correspondiente 318 situado dentro del buje 20. Como se muestra en la FIG. 10, en un modo de realización, el dispositivo de traslación de cable 318 puede corresponder a polipastos de cable (incluidos polipastos de cadena) configurados para ser montados y/o soportados por cualquier componente de turbina eólica adecuado situado dentro del buje 20 (por ejemplo, el (los) refuerzo(s) de buje, viga(s) y/o cualquier otro componente o componentes adecuado(s)). Como se entiende en general, los polipastos de cable pueden configurarse para permitir que cables adecuados pasen a través de los mismos de manera controlada. Por tanto, en la presente solicitud, dichos polipastos de cable pueden utilizarse para bajar de manera segura y eficaz la pala de rotor 22 en relación con el buje 20.

[0043] También se debe apreciar que, de forma similar a los cables de soporte 152 descritos anteriormente, cada cable de soporte 302 puede corresponder, en general, a cualquier objeto alargado adecuado similar a un cable que tenga una capacidad de carga nominal suficiente para manejar el peso de la pala de rotor 22. Por ejemplo, como se muestra en el modo de realización ilustrado, los cables de soporte 302 están configurados como cadenas de metal. Sin embargo, en otros modos de realización, los cables de soporte 302 pueden corresponder a cables de acero o cualquier otro cable metálico adecuado. Además, se debe apreciar que cada cable de soporte 302 puede, en general, configurarse para definir cualquier longitud adecuada que permita que los cables 302 se utilicen para bajar la pala de rotor 22 alejándola del buje 20 a la distancia vertical inicial 146.

[0044] Con referencia ahora a las FIGS. 11-14, se ilustran diversos modos de realización del sistema de suspensión 100 de acuerdo con la presente divulgación. Más específicamente, la FIG. 12 ilustra un sistema de suspensión de arriba de la torre 100 asegurado a la pala de rotor 22/23 para suspender la pala de rotor 23 después de que la pala 23 se ha bajado inicialmente del buje 20. Como se muestra, el sistema de suspensión 100 de la presente divulgación

suspende la pala de rotor 23 a una determinada distancia del buje 20 con el propósito de realizar las tareas de mantenimiento y/o servicio en diversos componentes de turbina eólica. Por ejemplo, como se muestra en general en las FIGS. 12-14, el sistema de suspensión 100 incluye un primer cable 102 o correa que se extiende desde dentro de una primera pala de rotor contigua 25 hasta una primera ubicación 105 en la pala de rotor bajada 23 y un segundo cable 110 o correa que se extiende desde dentro de una segunda pala de rotor contigua 27 hasta una segunda ubicación 109 en la pala de rotor bajada 23. En determinados modos de realización, la segunda ubicación 109 es, en general, opuesta a la primera ubicación 105 para proporcionar soporte simétrico a la pala de rotor suspendida 23.

[0045] Además, cada ubicación de unión 105, 109 en la pala de rotor bajada 23 puede incluir al menos un elemento de unión 104, 108. Más específicamente, como se muestra, las primera y segunda ubicaciones 105, 109 incluyen cada una dos elementos de unión 104, 108 o puntos. Debe entenderse que otros modos de realización pueden incluir más de dos o menos de dos elementos de unión 104, 108. En determinados modos de realización, los elementos de unión 104, 108 o puntos pueden incluir cualquier herramienta adecuada ahora conocida o desarrollada posteriormente en la técnica, que incluye pero sin limitarse a, un ojal o arandela, uno o más anillos metálicos (por ejemplo, un anillo en D), una pasteca, un cierre de gancho y bucle o similar. Por ejemplo, como se muestra en general en las FIGS. 13 y 14, cada extremo de los cables 102, 110 incluye una configuración de bucle unida a la pala de rotor 22 por medio de un anillo metálico. Más específicamente, cada uno de los anillos metálicos está asegurado a un perno de unión que está asegurado a la raíz de la pala de rotor 23.

[0046] Con referencia en particular a la FIG. 11, se ilustra un diagrama de flujo de un modo de realización de un procedimiento 200 para suspender una pala de rotor 22 desde un buje 20 de una turbina eólica 10 por medio del sistema de suspensión 100. Como se muestra en 202, el procedimiento 200 incluye colocar la pala de rotor 23 para que esté suspendida en una posición sustancialmente a las seis en punto como se muestra en la FIG. 12. En 204, el procedimiento 200 incluye bajar la pala de rotor 23 a una distancia vertical inicial 146 desde el buje 20 de la turbina eólica 10. En 206, el procedimiento 200 incluye retirar al menos un conjunto de unión de raíz 42 de las palas de rotor contiguas 25, 27 para formar al menos un agujero en el conjunto de unión de raíz en cada una de las palas de rotor contiguas 25, 27. Por ejemplo, como se mencionó, los conjuntos de unión de raíz 42 de cada pala de rotor 22 pueden incluir una configuración de perno en T que tiene al menos una funda de pala 46 configurada con una tuerca cilíndrica 44. Por tanto, la extracción de los conjuntos de unión de raíz 42 forma los correspondientes agujeros de perno y agujeros de tuerca cilíndrica.

[0047] De este modo, en 208, el procedimiento 200 incluye además proporcionar o formar un paso 106 o abertura desde una superficie exterior de cada una de las palas de rotor contiguas 25, 27 hasta los agujeros de tuerca cilíndrica de las mismas como se muestra en las FIGS. 13 y 14. Por ejemplo, en determinados modos de realización, el procedimiento 200 puede incluir mecanizar, por medio de un dispositivo de mecanizado, una superficie exterior de las palas de rotor contiguas 25, 27 para formar uno o más pasos 106, 112 desde la superficie exterior de las raíces de pala de las primera y segunda palas de rotor contiguas 25, 27 hasta los agujeros de tuerca cilíndrica de las primera y segunda palas de rotor contiguas. Más específicamente, como se muestra en las FIGS. 13 y 14, la cubierta o aro que cubre el extremo exterior de la tuerca cilíndrica retirada puede mecanizarse o perforarse, por ejemplo, usando una sierra o cualquier otro dispositivo de mecanizado adecuado, para crear una abertura hacia el exterior de la raíz de pala de las palas de rotor contiguas 25, 27. Por tanto, en 210, el procedimiento 200 también puede incluir guiar un primer cable 102 a través del (de los) primer(os) paso(s) 106 de una de las palas de rotor contiguas 25 desde dentro de la pala de rotor contigua 25 y guiar un segundo cable 110 a través del segundo paso 112(s) de otra pala de rotor contigua 27 desde dentro de la pala de rotor contigua 27. Más específicamente, como se muestra en las FIGS. 13 y 14, cada una de las palas de rotor contiguas 25, 27 tiene dos pasos 106, 112 e incluye un cable 102, 110 guiado desde el interior de las palas de rotor 25, 27 y que se extiende desde ambos pasos 106, 112 hasta la pala de rotor bajada 23. En determinados modos de realización, el procedimiento 200 también puede incluir instalar una o más guías de cable dentro de los agujeros de perno y/o los agujeros de tuerca cilíndrica para proteger los cables 102, 110 (es decir, para evitar el roce de los cables 102, 110).

[0048] Con referencia todavía a la FIG. 11, en 212, el procedimiento 200 incluye asegurar cada uno de los cables 102, 110 a lados opuestos de la pala de rotor bajada 23. Por tanto, los cables opuestos 102, 110 proporcionan una suspensión simétrica y segura de la pala de rotor 23 durante las tareas de servicio. Además, como se muestra en 214, el procedimiento 200 incluye bajar la pala de rotor 23 a una distancia vertical adicional desde el buje 20 hasta que la pala de rotor 23 sea soportada por los cables 102, 110.

[0049] Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la invención, incluido el modo preferente, y también para permitir que cualquier experto en la técnica ponga en práctica la invención, incluidos la fabricación y el uso de cualquier dispositivo o sistema y la realización de cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención se define mediante las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos concebidos por los expertos en la técnica.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un procedimiento (200) para suspender una pala de rotor (24) desde un buje (20) de una turbina eólica (10),
comprendiendo el procedimiento:
- retirar (206) al menos un conjunto de unión de raíz (42) de al menos una raíz de una pala de rotor contigua;
- proporcionar (208) al menos un paso (106) desde una superficie exterior de la raíz de la pala de rotor contigua
10 (24) hasta el agujero del conjunto de unión de raíz;
- insertar (210) un cable (102) a través del al menos un paso (106), de modo que el cable se enganche en una
superficie interior de la pala de rotor contigua (24) y se extienda desde dentro de la pala de rotor contigua hasta
la pala de rotor;
- 15 asegurar (212) el cable a la pala de rotor en una ubicación de unión; y,
- bajar (214) la pala de rotor a una distancia vertical desde el buje hasta que la pala de rotor sea soportada por
el al menos un cable.
- 20 2. El procedimiento (200) según la reivindicación 1, que comprende además:
- colocar la pala de rotor (24) en una posición sustancialmente a las seis en punto, y
- bajar la pala de rotor a una distancia vertical inicial desde un buje (20) de la turbina eólica antes de retirar el al
25 menos un conjunto de unión de raíz (42).
3. El procedimiento (200) según cualquier reivindicación precedente, en el que el conjunto de unión de raíz (42)
comprende un perno de pala configurado con una tuerca cilíndrica en una configuración, en general, de perno en T.
- 30 4. El procedimiento (200) según cualquier reivindicación precedente, que comprende además retirar al menos dos
conjuntos de unión de raíz (42) de al menos dos raíces de palas de rotor contiguas para formar dos agujeros de perno
y dos agujeros de tuerca cilíndrica en cada una de las palas de rotor contiguas.
- 35 5. El procedimiento (200) según cualquier reivindicación precedente, que comprende además instalar una o más
guías de cable dentro de al menos uno de los agujeros de perno o de los agujeros de tuerca cilíndrica para proteger
el cable.
- 40 6. El procedimiento (200) según cualquier reivindicación precedente, en el que proporcionar al menos un paso desde
la superficie exterior de la raíz de la pala de rotor contigua al agujero del conjunto de unión de raíz comprende además,
mecanizar un agujero desde la superficie exterior de la pala de rotor contigua al agujero de la tuerca cilíndrica.
- 45 7. El procedimiento (200) según cualquier reivindicación precedente, que comprende además formar al menos dos
pasos desde la superficie exterior de cada uno de las raíces de pala de las palas de rotor contiguas hasta los agujeros
de tuerca cilíndrica de cada uno de los conjuntos de unión de raíz retirados.
- 50 8. El procedimiento (200) según la reivindicación 7, que comprende además insertar un primer cable a través de los
dos pasos de una de las palas de rotor contiguas desde el interior del buje y asegurar el primer cable a una primera
ubicación de unión de la pala de rotor, e insertar un segundo cable a través de los dos pasos de la otra pala de rotor
contigua desde el interior del buje y unir el segundo cable a una segunda ubicación de unión de la pala de rotor.
- 55 9. El procedimiento (200) según cualquier reivindicación precedente, en el que las primera y segunda ubicaciones
de unión comprenden cada una al menos dos elementos de unión.
10. El procedimiento (200) según cualquier reivindicación precedente, en el que cada uno de los elementos de unión
comprende además uno cualquiera de o una combinación de lo siguiente: un ojal, una arandela, un anillo metálico,
una pasteca o un cierre de gancho y bucle.
- 60 11. Un procedimiento (200) para suspender una pala de rotor desde un buje de una turbina eólica, comprendiendo el
procedimiento:
- colocar la pala de rotor en una posición sustancialmente a las seis en punto;
- bajar la pala de rotor a una distancia vertical inicial desde un buje de la turbina eólica;
- 65 retirar al menos una tuerca cilíndrica de las palas de rotor contiguas para formar al menos dos agujeros de
tuerca cilíndrica;

proporcionar una abertura en una superficie exterior de cada una de las palas de rotor contiguas que se corresponden con los agujeros de tuerca cilíndrica de las mismas;

5 guiar un cable a través de la al menos una abertura, de modo que el cable se enganche en una superficie interior de la pala de rotor contigua y se extienda desde dentro de la pala de rotor contigua hasta la pala de rotor;

10 asegurar cada uno de los cables a lados opuestos de la pala de rotor; y,

bajar la pala de rotor a una distancia vertical adicional desde el buje hasta que la pala de rotor sea soportada por los cables.

15 **12.** Un sistema de suspensión de arriba de la torre (100) para una pala de rotor (24) de una turbina eólica (10), estando configurado el sistema de suspensión para usarse en el procedimiento para suspender una pala de rotor (24) desde un buje de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, comprendiendo el sistema de suspensión:

20 al menos un elemento de unión (104, 108) configurado en una primera ubicación en un raíz de la pala de rotor; y,

al menos un paso (106) desde una superficie exterior de un raíz de pala de una pala de rotor contigua a un agujero de conjunto de unión de raíz creado cuando se retira un conjunto de unión de raíz,

25 un primer cable (102) configurado para insertarse a través del al menos un paso (106) y extenderse desde dentro de la primera pala de rotor contigua hasta el primer elemento de unión,

en el que el primer cable está configurado para suspender la pala de rotor a una distancia vertical desde un buje de la turbina eólica.

30 **13.** El sistema de suspensión (100) según la reivindicación 12, que comprende además un segundo elemento de unión (104, 108) configurado en una segunda ubicación en un raíz de la pala de rotor, en el que la segunda ubicación es opuesta a la primera ubicación.

35 **14.** El sistema de suspensión (100) según la reivindicación 12 o la reivindicación 13, que comprende además un segundo cable configurado para extenderse desde dentro de una segunda pala de rotor contigua hasta el segundo elemento de unión.

40 **15.** El sistema de suspensión (100) según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 14, que comprende además un dispositivo de mecanizado configurado para formar el al menos un paso desde una superficie exterior de los raíces de las primera y segunda palas de rotor contiguas hasta uno o más conjuntos de unión de raíz de las primera y segunda palas de rotor contiguas.

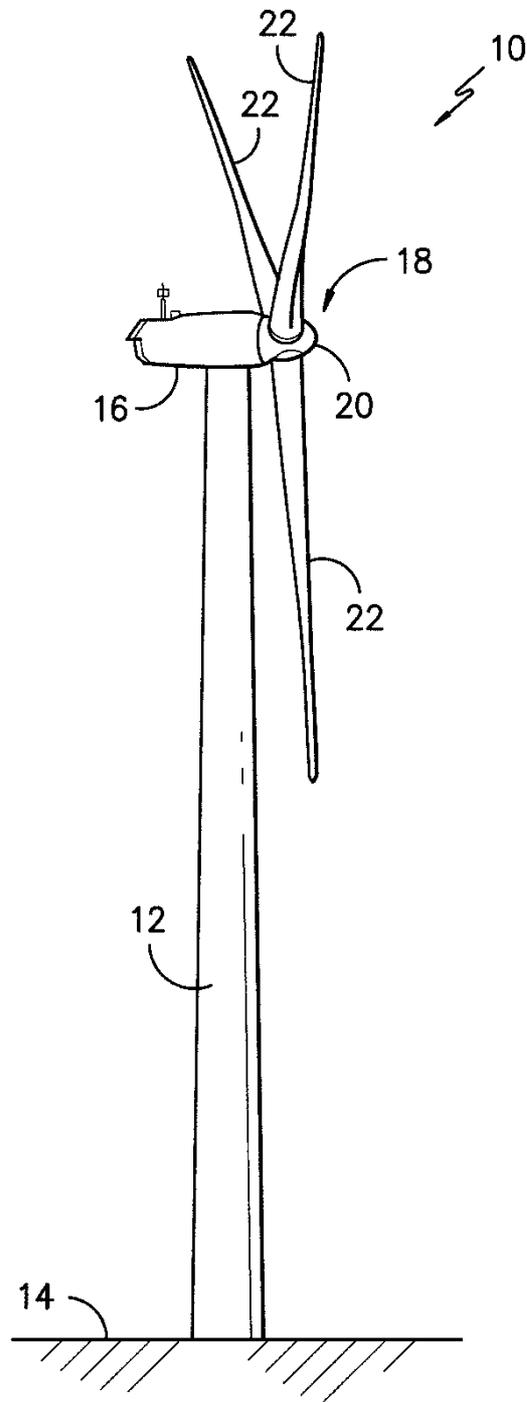


FIG. -1-

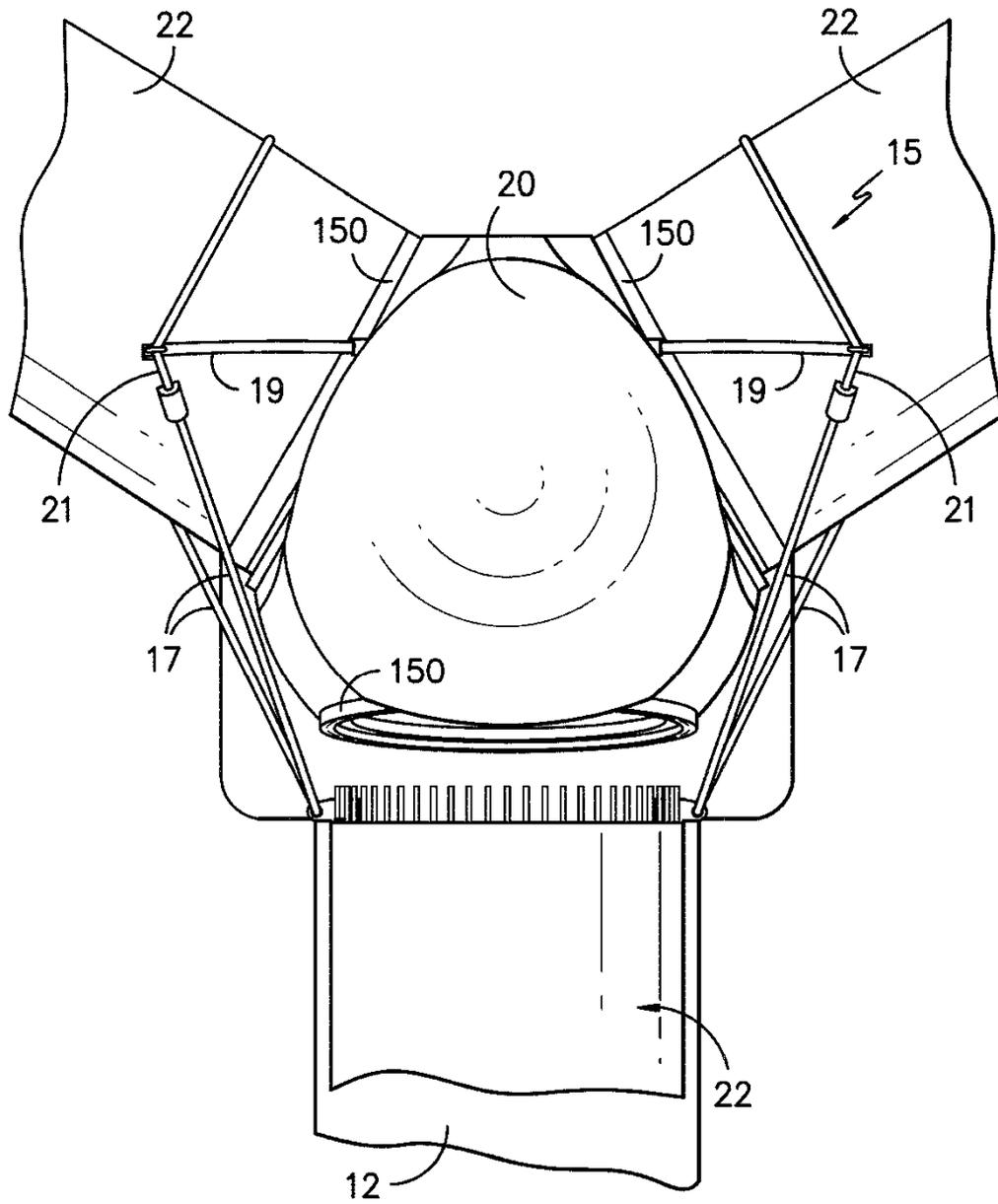


FIG. -2-

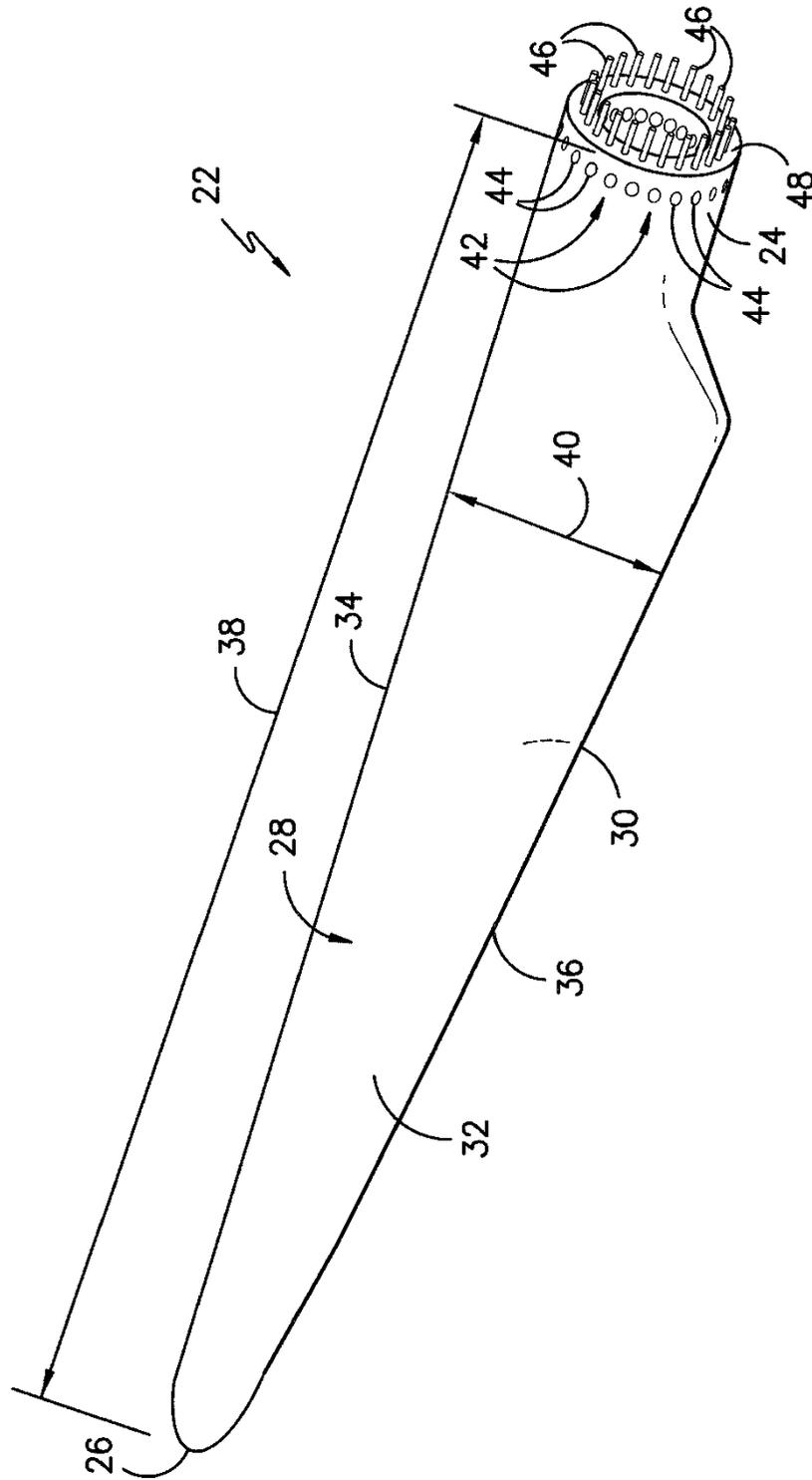


FIG. -3-

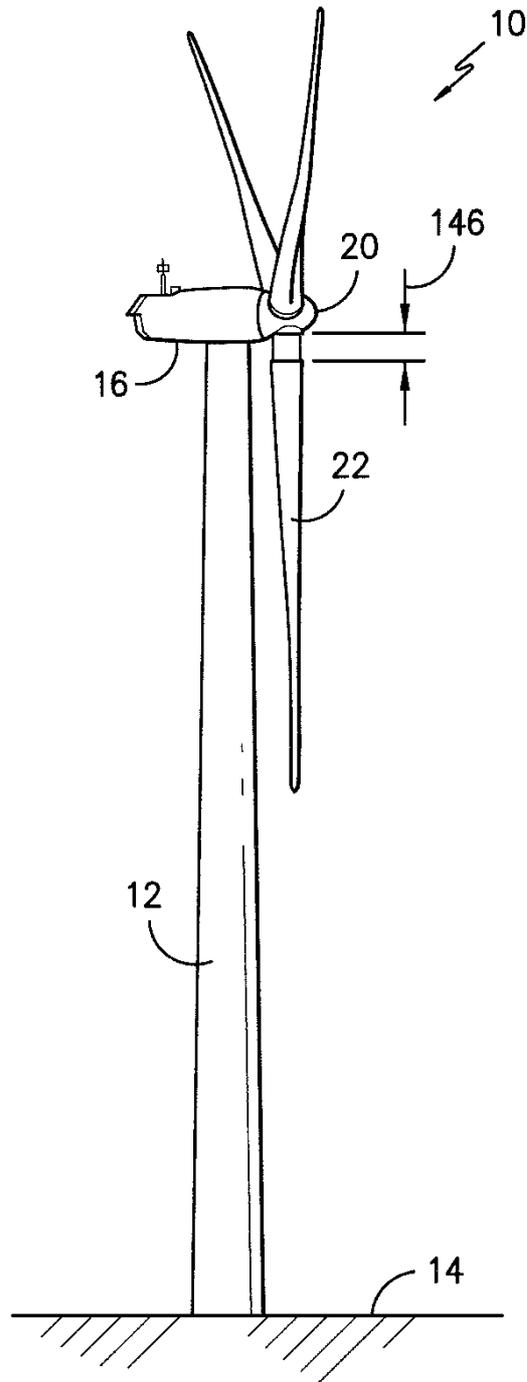


FIG. -4-

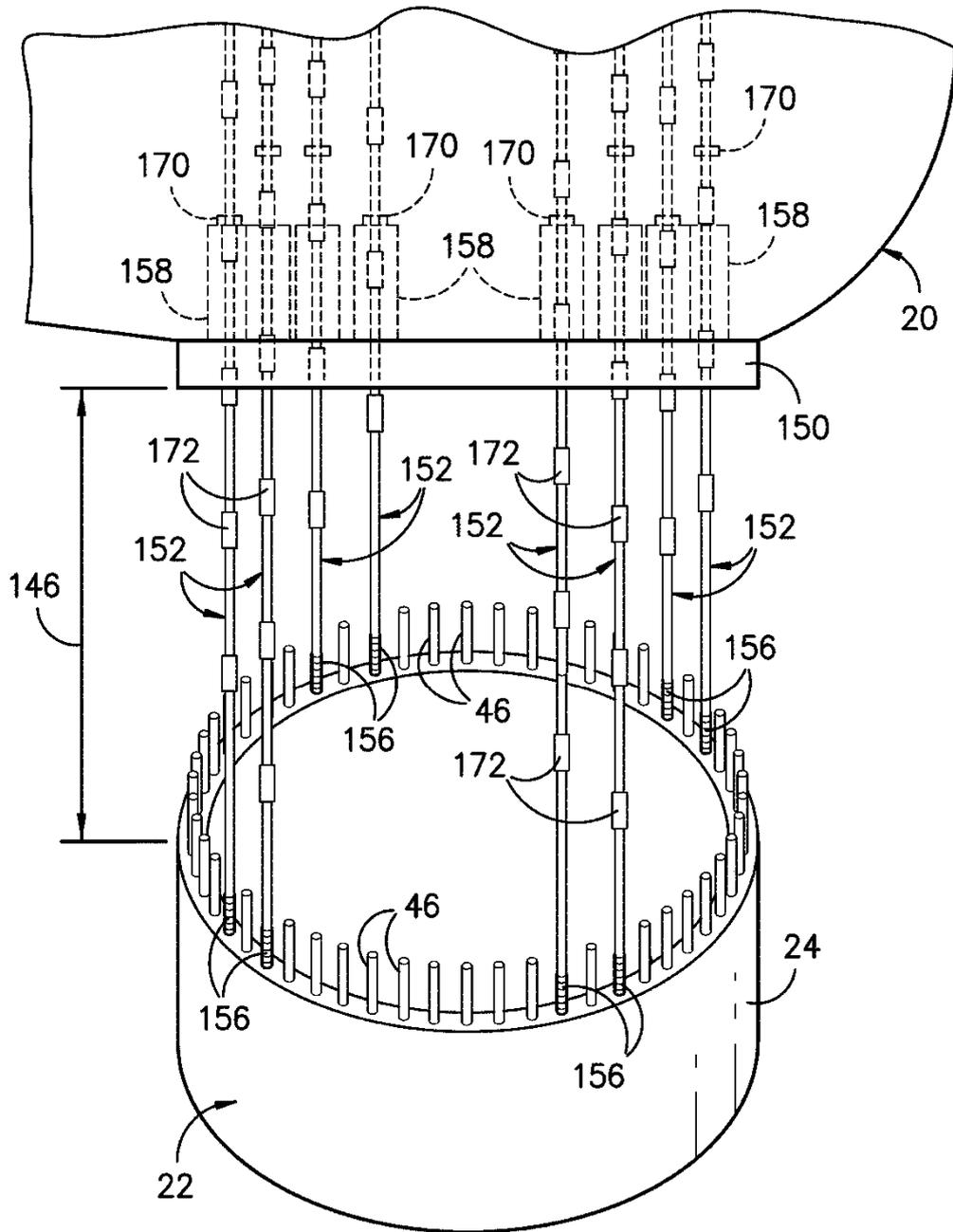


FIG. -5-

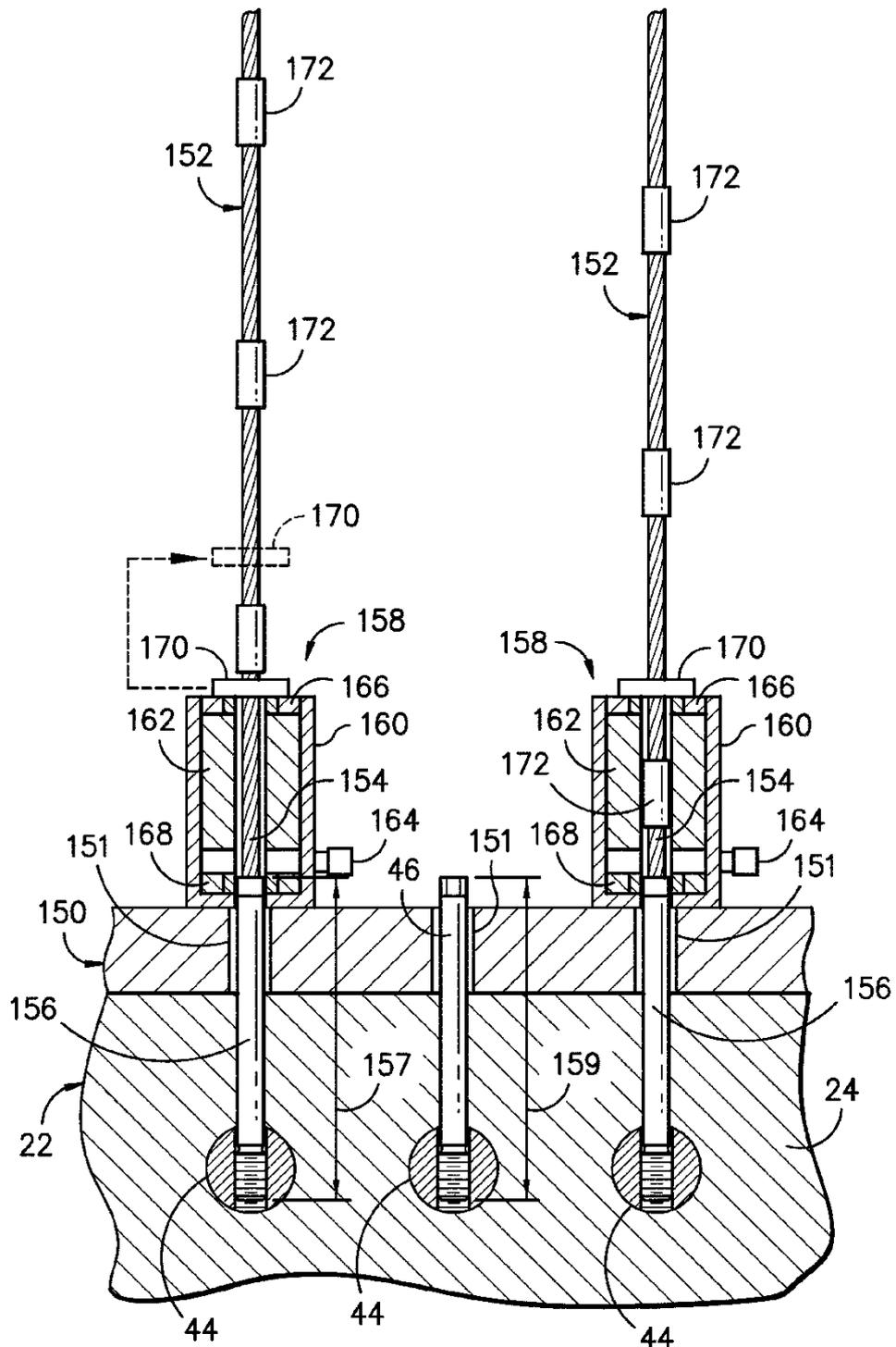


FIG. -6-

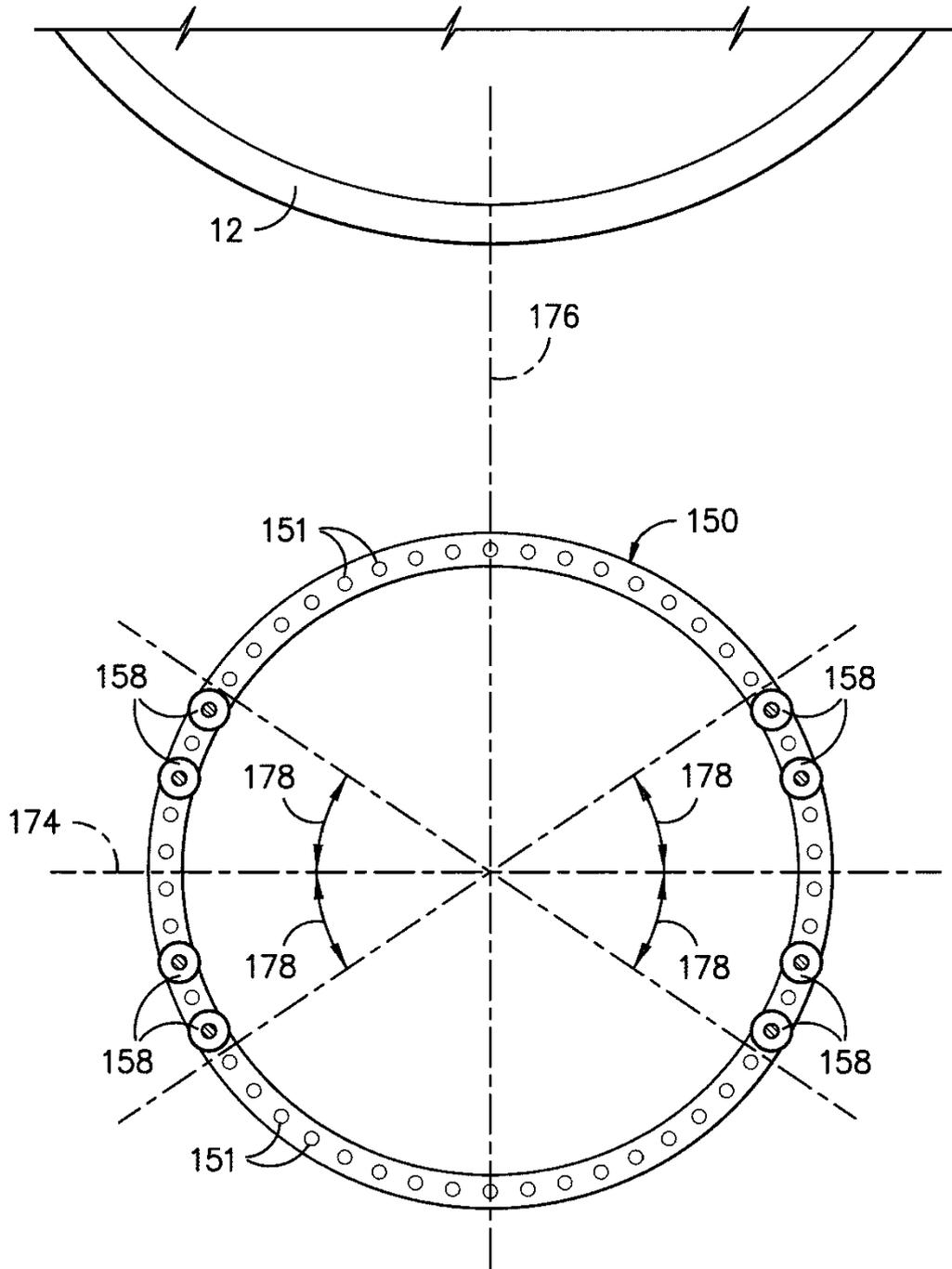
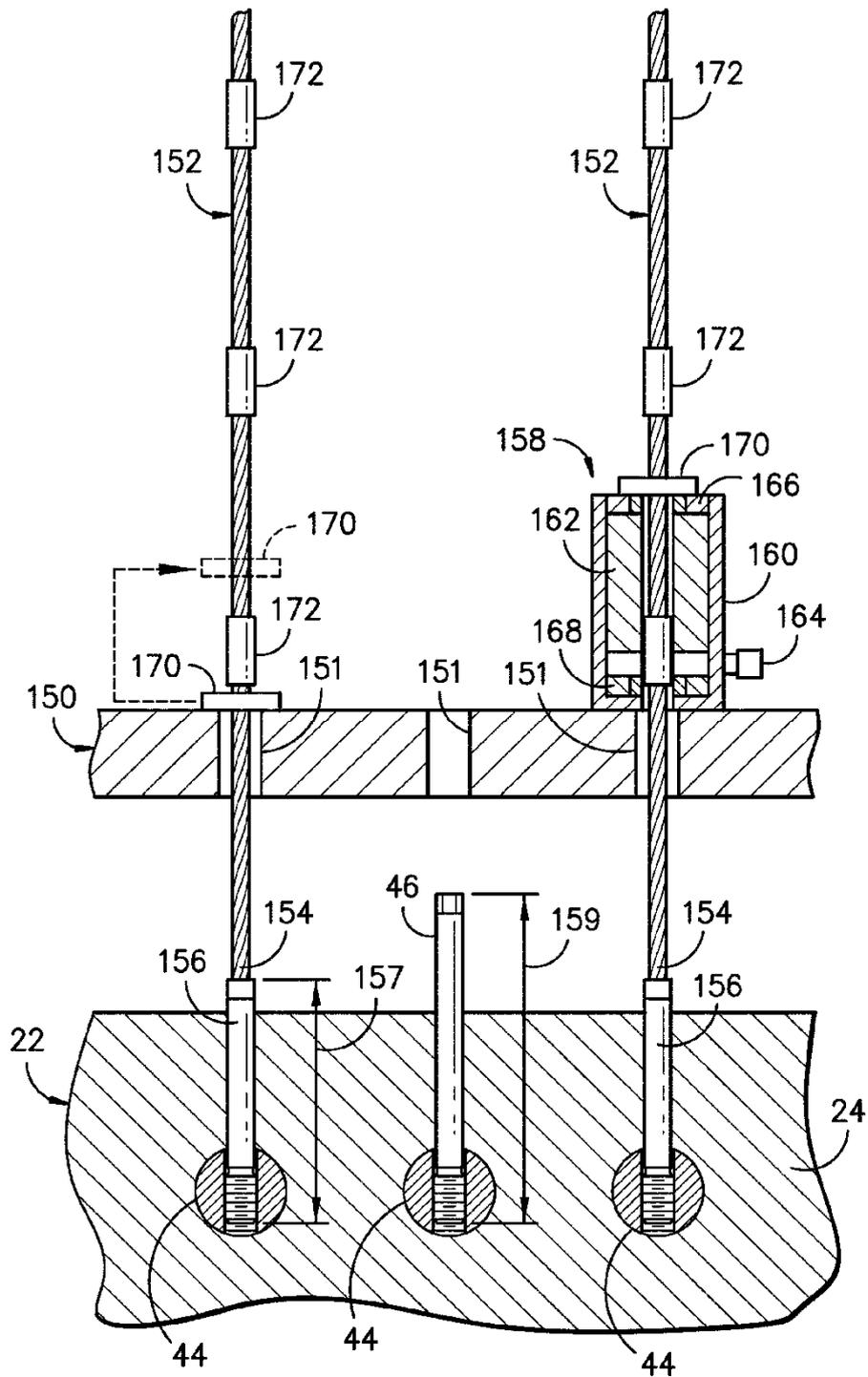


FIG. -7-



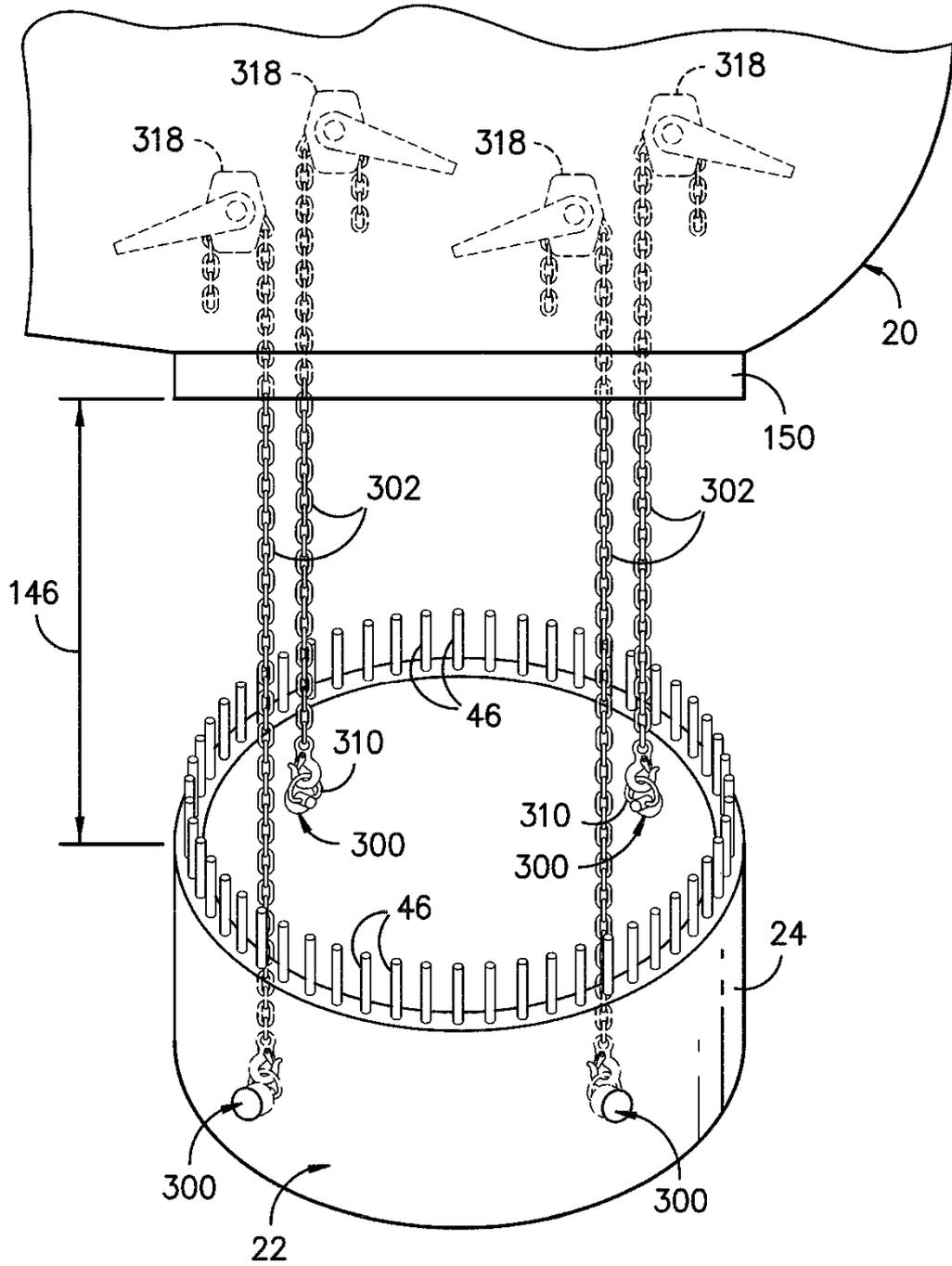


FIG. -9-

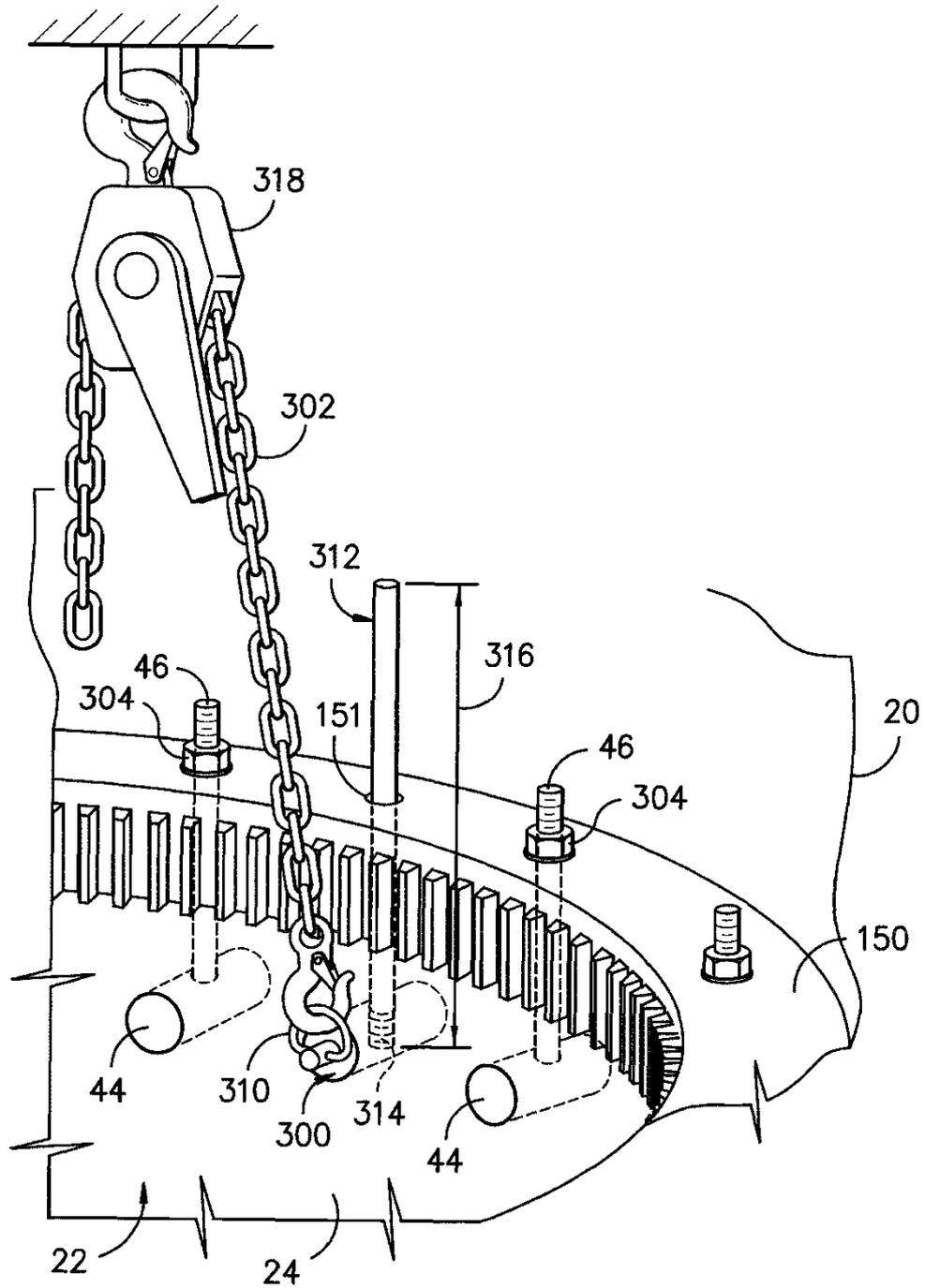


FIG. -10-

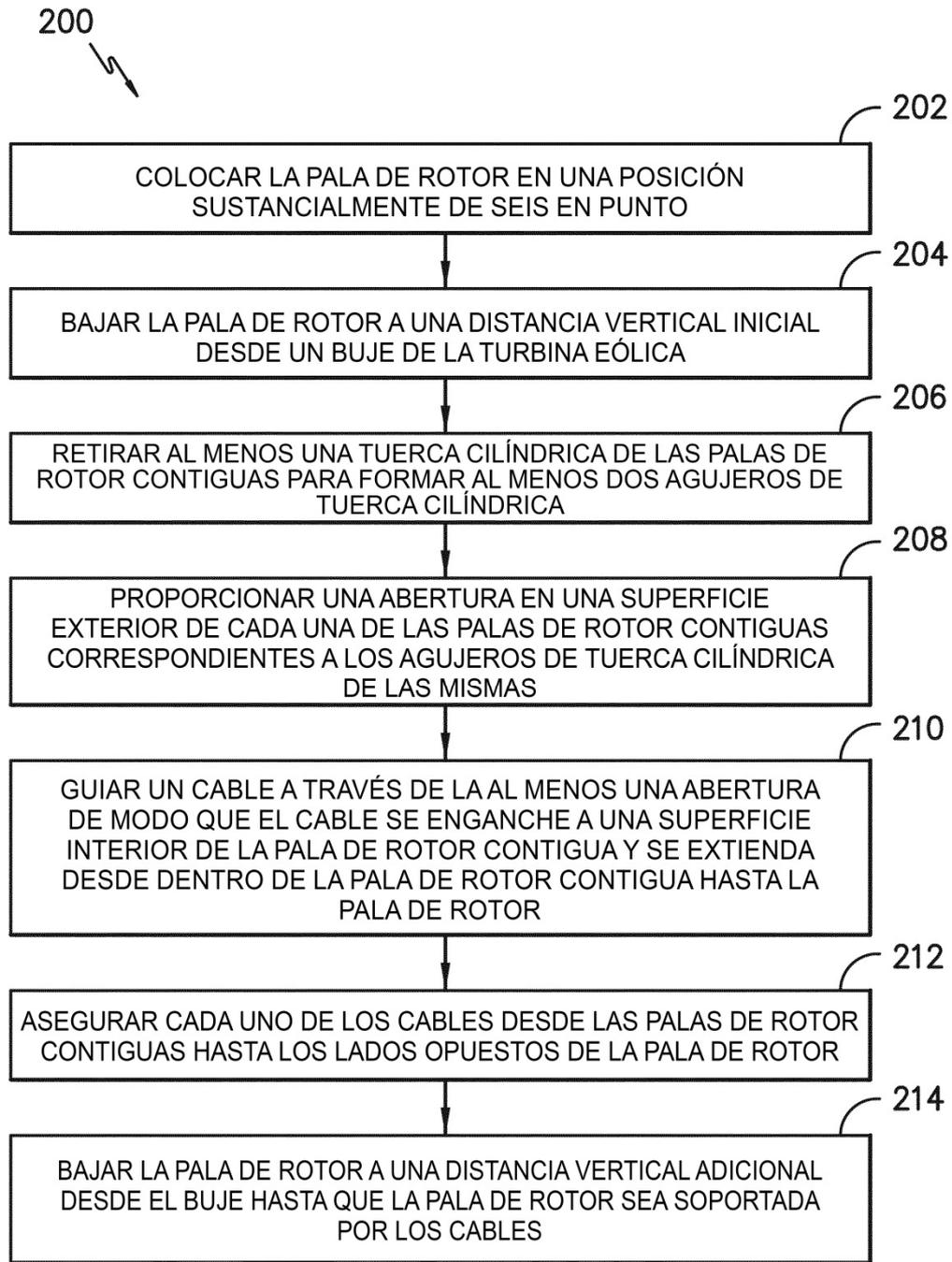


FIG. -11-

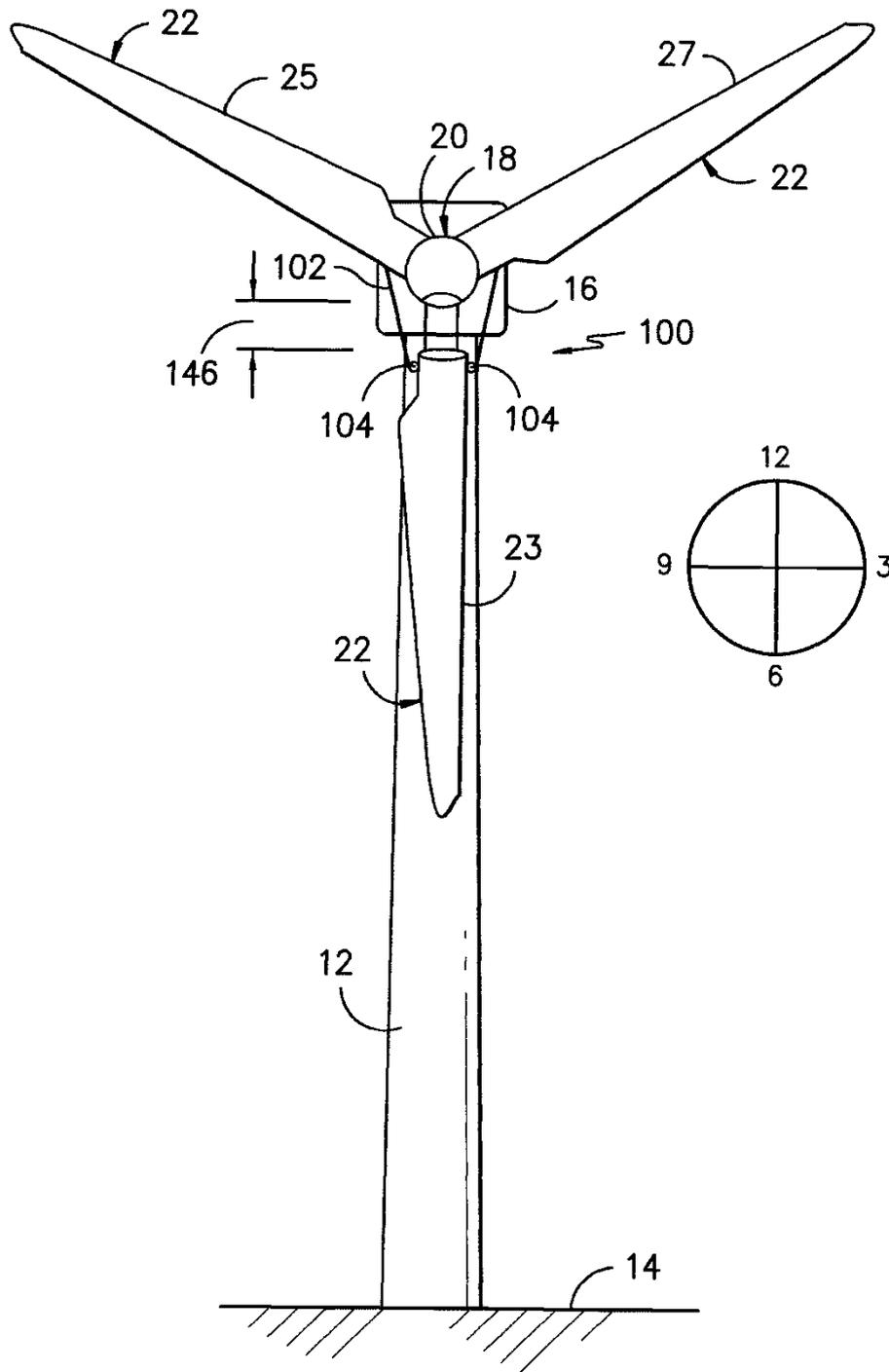


FIG. -12-

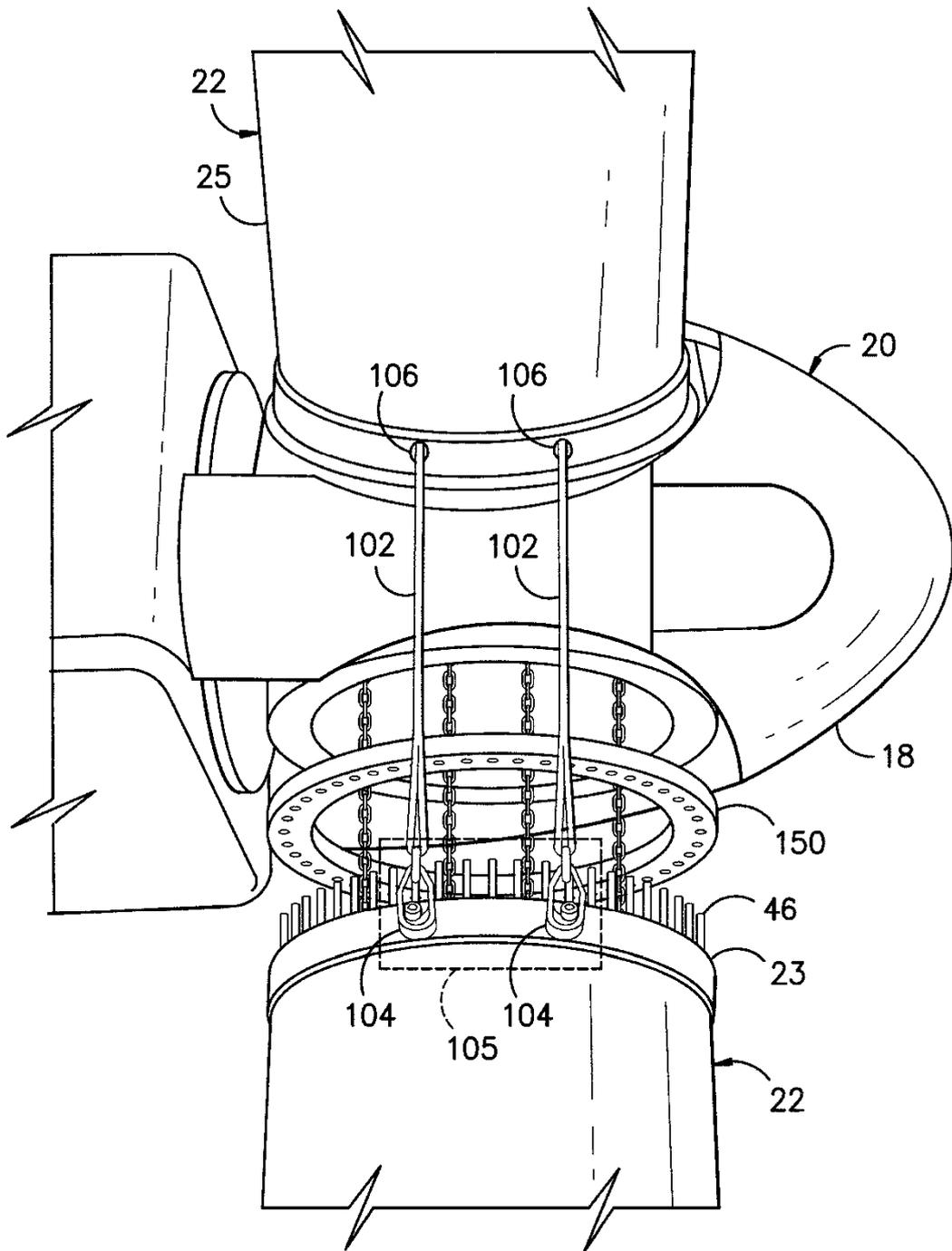


FIG. -13-

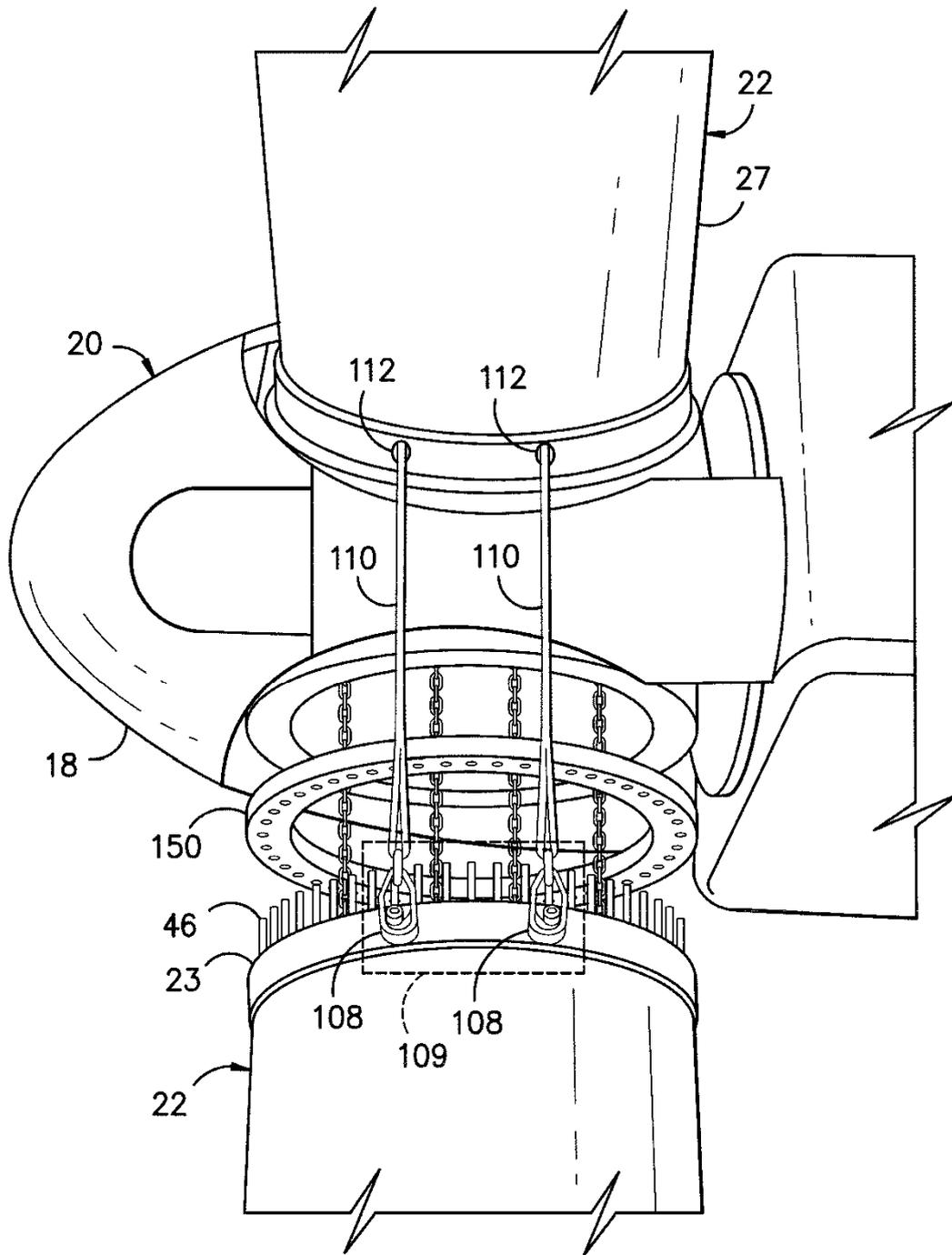


FIG. -14-