

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 985 381**

51 Int. Cl.:

**F03D 17/00** (2006.01)

**F03D 80/30** (2006.01)

**F03D 80/50** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.04.2021** **PCT/US2021/025326**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.10.2021** **WO21211301**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.04.2021** **E 21721291 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2024** **EP 4136348**

54 Título: **Sistema y procedimiento para la inspección del sistema de protección contra rayos**

30 Prioridad:

**17.04.2020 US 202016851546**

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

**05.11.2024**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC RENOVABLES ESPAÑA  
S.L. (100.0%)  
Roc Boronat, 78  
08005 BARCELONA, ES**

72 Inventor/es:

**GUZZO, JUDITH ANN;  
FORMAN, DOUGLAS;  
DANKO, TODD WILLIAM y  
HOARE, JOHN ROBERT**

74 Agente/Representante:

**DE ROOIJ, Mathieu Julien**

ES 2 985 381 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 y procedimiento para la inspección del sistema de protección contra rayos

## 5 Antecedentes de la divulgación

[0001] La presente materia se refiere, en general, a turbinas eólicas y, más en particular, a un sistema y procedimiento para realizar una o más pruebas de inspección en un sistema de protección contra rayos ("*lightning protection system*" o LPS) de una turbina eólica.

## 10 Antecedentes

[0002] La energía eólica se considera una de las fuentes de energía más limpias y más ecológicas disponibles en la actualidad, y las turbinas eólicas han obtenido una creciente atención a este respecto. Una turbina eólica moderna incluye típicamente una torre, un generador, una caja de engranajes, una góndola y una o más palas de rotor. Las palas de rotor captan la energía cinética del viento usando principios de perfil alar conocidos y transmiten la energía cinética a través de energía de rotación para girar un eje que acopla las palas de rotor a una caja de engranajes, o si no se usa una 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.

[0003] En general, se realizan operaciones de mantenimiento de forma rutinaria en los componentes de turbina eólica para garantizar el funcionamiento seguro y eficaz de la turbina eólica. Por ejemplo, una de dichas operaciones de mantenimiento puede incluir realizar una prueba en el LPS de una turbina eólica, tal como una prueba de continuidad o determinar la resistencia del LPS de una turbina eólica. Como es en general conocido, las turbinas eólicas típicamente incluyen un LPS que tiene uno o más receptores de rayos dispuestos en el exterior de las palas de rotor y un conductor de rayos acoplado a uno o más receptores de rayos y que se extiende a través de la turbina eólica hasta una toma de tierra localizada en la base de la torre. Por tanto, cuando un rayo cae sobre la pala de rotor, la corriente eléctrica puede fluir a través del uno o más receptores de rayos y se puede conducir a través del conductor de rayos hasta la toma de tierra.

[0004] En consecuencia, para garantizar que el LPS esté funcionando apropiadamente, se pueden realizar una o más pruebas para determinar si el circuito eléctrico formado por el sistema está abierto o cerrado y/o medir la resistencia en el sistema conductor de iluminación. Para realizar dicha prueba, en general es necesario que un trabajador de servicio/mantenimiento obtenga acceso a los uno o más receptores de rayos de pala del LPS de modo que el equipo de prueba eléctrica se pueda acoplar a los uno o más receptores de rayos. En las pruebas de continuidad, el equipo de pruebas eléctricas se acopla además a una parte del conductor de rayos del LPS dispuesto contiguo a la toma de tierra. Como tal, los procedimientos de pruebas conocidos requieren que el trabajador se envíe en una grúa, cesta u otro equipo o procedimientos adecuados, tal como el uso de una cuadrilla en cuerdas, para permitir el acceso al receptor de rayos. Sin embargo, dicho equipo es en general muy costoso de adquirir y operar. Adicionalmente, el proceso de transportar al trabajador hasta la localización de cada uno de los uno o más receptores de rayos puede llevar mucho tiempo y puede generar preocupaciones de seguridad excesivas.

[0005] Un sistema de la técnica anterior para realizar tareas en un sistema de protección contra rayos es conocido, por ejemplo, a partir del documento EP 2 458 208 A2.

[0006] En consecuencia, existe la necesidad de un sistema eficaz y de bajo coste para realizar pruebas, tales como una o más de una prueba de continuidad y una prueba de resistencia, en el LPS de una turbina eólica.

## 50 Breve descripción

[0007] Los aspectos y ventajas de la divulgación se expondrán en parte en la siguiente descripción, o pueden ser evidentes a partir de la descripción, o se pueden aprender a través de la práctica de la divulgación.

[0008] En un aspecto, la presente materia divulga un sistema para realizar una o más tareas en un LPS de una turbina eólica. El sistema en general incluye un cable que tiene un primer extremo fijado a un punto de anclaje en la parte superior de la torre ("*up-tower*") y un dispositivo de pruebas robótico. El cable se extiende hacia una superficie de soporte de torre de modo que un receptor de rayos del LPS, en general, está dispuesto entre el punto de anclaje en la parte superior de la torre y la superficie de soporte de torre. El dispositivo de pruebas robótico incluye un mecanismo de fijación y una sonda de prueba de LPS. El mecanismo de fijación está configurado para posicionarse alrededor de al menos una parte de un perímetro exterior de una pala de rotor de la turbina eólica y sujetarse ("*clamp*") a la pala de rotor. La sonda de prueba de LPS está acoplada a un efector final robótico. El efector final robótico se puede mover para posicionar la sonda de prueba de LPS en contacto con el receptor de rayos del LPS. El sistema incluye además una o más cuerdas guía acopladas al dispositivo de pruebas robótico y una interfaz de control y monitorización remota. La interfaz de control y monitorización remota se puede operar para sujetar de forma remota el dispositivo de pruebas robótico a la pala de rotor y realizar las una o más pruebas

de inspección de LPS. El cable está acoplado al punto de anclaje en la parte superior de la torre de modo que el dispositivo de pruebas robótico se puede mover a una posición en la que la sonda de prueba de LPS se pone en contacto con el receptor de rayos.

[0009] En otro aspecto, la presente materia divulga un sistema para realizar una o más pruebas de inspección en un sistema de protección contra rayos (LPS) de una turbina eólica. El sistema incluye un cable que tiene un primer extremo fijado a un punto de anclaje en la parte superior de la torre y un dispositivo de pruebas robótico. El cable se extiende hacia una superficie de soporte de torre de modo que un receptor de rayos del LPS, en general, está dispuesto entre el punto de anclaje en la parte superior de la torre y la superficie de soporte de torre. El dispositivo de pruebas robótico que incluye una pluralidad de brazos de sujeción configurados para posicionarse alrededor de al menos una parte de un perímetro exterior de una pala de rotor de la turbina eólica y una sonda de prueba de LPS acoplada a un efector final robótico. Al menos una parte de una superficie interior de cada uno de la pluralidad de brazos de sujeción se une ("*engages*") a al menos una parte de una superficie exterior de la pala de rotor. El efector final robótico incluye accionamiento remoto para posicionar la sonda de prueba de LPS en contacto con el receptor de rayos del LPS. El sistema incluye además una o más cuerdas guía acopladas al dispositivo de pruebas robótico y una interfaz de control y monitorización remota operativa para sujetar el dispositivo de pruebas robótico a la pala de rotor, controlar el efector final y realizar una o más pruebas de LPS. El cable está acoplado al punto de anclaje en la parte superior de la torre de modo que el dispositivo de pruebas robótico se puede mover a una posición en la que la sonda de prueba de LPS se pone en contacto con el receptor de rayos.

[0010] En otro aspecto, la presente materia divulga un procedimiento para realizar una o más pruebas en un sistema de protección contra rayos (LPS) de una turbina eólica. El procedimiento incluye acoplar un cable en un punto de anclaje en la parte superior de la torre, desplazar el cable hacia la superficie de soporte, acoplar un dispositivo de pruebas robótico al cable, desplazar el cable de modo que el dispositivo de pruebas robótico se mueva a una posición entre el punto de anclaje en la parte superior de la torre y una superficie de soporte, y contiguo a una pala de rotor de la turbina eólica, sujetar el dispositivo de pruebas robótico a la pala de rotor de la turbina eólica y poner en contacto una sonda de prueba de LPS del dispositivo de pruebas robótico con el receptor de rayos. La etapa de acoplar el cable en el punto de anclaje de la parte superior de la torre incluye un acoplamiento de modo que un receptor de rayos del LPS en general esté dispuesto entre el punto de anclaje de la parte superior de la torre y la superficie de soporte. El dispositivo de pruebas robótico incluye una o más cuerdas guía acopladas al mismo.

[0011] Estos y otros rasgos característicos, aspectos y ventajas de la presente divulgación 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 divulgación y, conjuntamente con la descripción, sirven para explicar los principios de la divulgación.

#### Breve descripción de los dibujos

[0012] Una divulgación completa y suficiente de la presente invención, incluyendo el mejor modo de la misma, dirigida a un experto en la técnica, se expone en la memoria descriptiva, que hace referencia a las figuras adjuntas, en las que:

la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de un sistema para realizar pruebas en un LPS de una turbina eólica que incluye un dispositivo de pruebas robótico, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 2 ilustra una vista en perspectiva del sistema ilustrado en la FIG. 1 durante el posicionamiento del dispositivo de pruebas robótico contiguo a la pala de rotor, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 3 ilustra una vista en perspectiva de otro modo de realización de un sistema para realizar pruebas durante el posicionamiento del dispositivo de pruebas robótico contiguo a la pala de rotor, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 4 ilustra una vista en perspectiva parcial del sistema ilustrado en las FIGS. 1 y 2 durante el posicionamiento del dispositivo de pruebas robótico contiguo a la pala de rotor, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 5 es una vista aérea del sistema ilustrado en las FIGS. 1 y 2 utilizando una o más cuerdas guía durante el posicionamiento del dispositivo de pruebas robótico, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 6 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de un dispositivo de pruebas robótico, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 7 ilustra una vista en perspectiva de otro modo de realización de un dispositivo de pruebas robótico, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 8 ilustra una vista en perspectiva de otro modo de realización de un dispositivo de pruebas robótico, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 9 ilustra una vista en perspectiva de otro modo de realización de un dispositivo de pruebas robótico, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 10 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización de un dispositivo de pruebas robótico que incluye un efector final en una posición retraída, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 11 ilustra una vista en perspectiva del dispositivo de pruebas robótico de la FIG. 10 que incluye el efector final en una posición extendida, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 12 ilustra una vista en perspectiva de otro modo de realización de un dispositivo de pruebas robótico que incluye un efector final en una posición retraída, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 13 ilustra una vista en perspectiva del dispositivo de pruebas robótico de la FIG. 12 que incluye el efector final en una posición extendida, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 14 ilustra una visión general de un procedimiento para realizar pruebas de LPS, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 15 ilustra una etapa detallada en el procedimiento para realizar pruebas de LPS de la FIG. 14, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 16 ilustra una etapa detallada en el procedimiento para realizar pruebas de LPS de la FIG. 14, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 17 ilustra una etapa detallada en el procedimiento para realizar pruebas de LPS de la FIG. 14, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 18 ilustra una etapa detallada en el procedimiento para realizar pruebas de LPS de la FIG. 14, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 19 ilustra una etapa detallada en el procedimiento para realizar pruebas de LPS de la FIG. 13, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación;

la FIG. 20 ilustra una etapa detallada en el procedimiento para realizar pruebas de LPS de la FIG. 14, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación; y

la FIG. 21 ilustra una etapa detallada en el procedimiento para realizar pruebas de LPS de la FIG. 14, de acuerdo con uno o más modos de realización de la presente divulgación.

**[0013]** Se pretende que el uso repetido de caracteres de referencia en la presente memoria descriptiva y dibujos represente los mismos o rasgos característicos o elementos análogos de la presente divulgación.

#### Descripción detallada

**[0014]** Ahora se hará referencia en detalle a modos de realización de la divulgación, de los que uno o más ejemplos se ilustran en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la divulgación, no limitación de la divulgación. De hecho, será evidente para los expertos en la técnica que se pueden realizar diversas modificaciones y variaciones en la presente divulgación sin apartarse del alcance de protección como se define por las reivindicaciones de patente adjuntas.

**[0015]** En referencia a los dibujos, las FIGS. 1-4 ilustran un modo de realización de un sistema 100 para realizar una prueba en el LPS 20 de una turbina eólica 10 de acuerdo con aspectos de la presente divulgación. En particular, la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de un modo de realización del sistema 100 divulgado antes de izar el dispositivo de pruebas robótico a la parte superior de la torre. La FIG. 2 ilustra una vista en perspectiva del sistema 100 divulgado de la FIG. 1, después de izar el dispositivo de pruebas robótico a la parte superior de la torre. La FIG. 23 ilustra una vista en perspectiva de un sistema 200 alternativo, después de izar el dispositivo de pruebas robótico a la parte superior de la torre. Las FIGS. 4 y 5 ilustran una vista en perspectiva parcial y una vista aérea,

respectivamente, del modo de realización del sistema 100 mostrado en las FIGS. 1 y 2. Se debe entender que aunque las pruebas de un LPS se divulgan en el presente documento y se describen junto con las figuras, otros tipos de mantenimiento y pruebas, tales como la inspección del borde de ataque ("leading edge" o LE), las inspecciones potenciadas más allá de lo visual tales como ultrasonido, limpieza de orificios de drenaje, limpieza y deshielo del LE, el encintado/pulverización de protección del LE, las tareas de reparación tales como la perforación y relleno, la instalación de generador de vórtice, la reparación de daños por rayos, etc., pueden utilizar un dispositivo de pruebas robótico, un mecanismo de fijación, un efector final y, si es necesario, una configuración de cuerda guía como se divulga en el presente documento.

**[0016]** En referencia, en particular, a la FIG. 1, la turbina eólica 10 ilustrada incluye, en general, una torre 12 con una góndola 14 montada en la misma. Adicionalmente, se puede montar una pluralidad de palas de rotor 16 en un buje de rotor 18, que puede estar, a su vez, conectado a una brida principal que hace girar un eje de rotor de la turbina eólica 10. Además, los componentes de control y generación de potencia de turbina eólica (por ejemplo, un generador y un controlador de turbina) en general se pueden alojar dentro de la góndola 14.

**[0017]** La turbina eólica 10 también puede incluir el LPS 20 configurado para proteger la turbina eólica 10 y sus componentes de caídas de rayos. Específicamente, el LPS 20 puede incluir uno o más receptores de rayos eléctricamente conductores 22 dispuestos en general en una superficie exterior de cada pala de rotor 16. Por ejemplo, en un modo de realización, el LPS 20 puede incluir un único receptor de rayos 22 dispuesto en general contiguo a la punta 24 de cada pala de rotor 16. En otros modos de realización, el LPS 20 puede incluir cualquier número de receptores de rayos 22 dispuestos en cualquier localización adecuada a lo largo del tramo "S" (FIG. 1) de cada pala de rotor 16. Se debe apreciar que cada receptor de rayos 22 se puede formar, en general, a partir de cualquier material eléctricamente conductor adecuado para permitir que los uno o más receptores de rayos eléctricamente conductores 22 conduzcan la corriente eléctrica resultante de una caída de rayo. Por ejemplo, en un modo de realización, los uno o más receptores de rayos eléctricamente conductores 22 pueden comprender receptores de rayos de cobre. Adicionalmente, cada uno de los uno o más receptores de rayos eléctricamente conductores 22 se puede acoplar en general a un conductor de rayos 26 adecuado (por ejemplo, un alambre metálico o cualquier otro alambre eléctricamente conductor adecuado) que recorre desde cada receptor 22 a través de la turbina eólica 10 hasta la base de la torre 12, donde está conectado a una toma de tierra 28. Como tal, cuando se produce una caída de rayo, la corriente eléctrica de la caída puede fluir a través de uno o más receptores de rayos eléctricamente conductores 22 y se puede conducir a través del conductor de rayos 26 hasta la toma de tierra 28 evitando, de este modo, daños a la turbina eólica 10.

**[0018]** Se debe apreciar que la turbina eólica 10 de la FIG. 1 se proporciona, en general, con propósitos ilustrativos solo para ubicar la presente materia en un campo de uso de ejemplo. Por tanto, un experto en la técnica debería apreciar que el sistema 100 divulgado no necesita limitarse a ningún tipo particular de configuración de turbina eólica o cualquier configuración de LPS particular.

**[0019]** Para garantizar que el LPS 20 esté funcionando apropiadamente, se pueden realizar una o más pruebas, tales como una prueba de continuidad y una prueba de resistencia, usando el sistema 100 divulgado en el presente documento. Como se muestra en las FIGS. 1 y 2, el sistema 100 puede incluir, en general, un dispositivo de pruebas robótico 102 configurado para transporte vertical en relación con la turbina eólica 10. En general, el dispositivo de pruebas robótico 102 se puede configurar de modo que, cuando se sitúa apropiadamente en relación con una pala de rotor 16 de la turbina eólica 10, una sonda de prueba de LPS (descrita en el presente documento) del dispositivo de pruebas robótico 102, tal como una sonda de medición de resistencia, puede formar una conexión eléctrica o de otro modo se puede poner en contacto eléctricamente con uno de los uno o más receptores de rayos eléctricamente conductores 22 dispuestos en la pala 16. El sistema 100 también puede incluir un cable 108 asegurado al dispositivo de pruebas robótico 102. El cable 108 en general puede estar acoplado a un punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 en la turbina eólica 10, tal como en la góndola 14. Más en particular, el cable 108 tiene un primer extremo 112 acoplado al punto de anclaje en la parte superior de la torre 110. El cable 108 se extiende desde el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 hacia una superficie de soporte 114 de modo que el receptor de rayos eléctricamente conductor 22 que se va a poner en contacto con la sonda de prueba de LPS del dispositivo de pruebas robótico 102 está dispuesto entre el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 y la superficie de soporte 114. En un modo de realización de ejemplo, el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 es un cabrestante 116, tal como un cabrestante motorizado, acoplado a la góndola 14. En otro modo de realización, el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 puede comprender cualquier estructura que pueda anclar el cable 108 en la parte superior de la torre, como se describe en el presente documento. Como se ilustra en la FIG. 1, un operario en la parte superior de la torre 118 sitúa el cable 108 en el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110. En un modo de realización, se puede formar una abertura (no mostrada) en la góndola 14 y a través de la que se puede pasar el cable 108.

**[0020]** También se debe apreciar que, aunque la presente materia se describe en general como utilizando el cabrestante 116 para permitir que el cable 108 se mueva, se deslice o se desplace de otro modo en relación con el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 y la superficie de soporte 114, cualquier estructura, dispositivo y/o configuración adecuados se pueden utilizar, en general, para permitir dicho desplazamiento relativo. Por ejemplo, el cable 108 se puede acoplar a la turbina eólica 10 usando otro tipo de dispositivo motorizado, una

disposición de rueda dentada o cualquier otro dispositivo/mecanismo adecuado que permita que el cable 108 se desplace en relación con el punto de anclaje 110. En otro modo de realización, el cable 108 se puede acoplar a la turbina eólica 10 y/o usar una polea insertando el cable 108 a través de un anillo de guía, gancho de guía, ojal o cualquier otra estructura adecuada formada en o fijada a la turbina eólica 10 y usar un sistema de poleas que permite desplazar el cable 108 entre el punto de anclaje 110 y la superficie de soporte 114. Otras diversas estructuras, dispositivos y/o configuraciones adecuados para proporcionar el desplazamiento relativo del cable 108 entre el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 y la superficie de soporte 114 deberían ser evidentes para los expertos en la técnica. Aún en otro modo de realización alternativo, no se requiere el desplazamiento del cable 108, y más bien la unidad de pruebas robótica 102 está configurada como una unidad robótica de auto-escalada, lo que significa que el cabrestante 116 u otro dispositivo para pasar el cable 108 está incorporada en la unidad de pruebas robótica 102 y no fuera de ella.

**[0021]** En referencia más específicamente a las FIGS. 1 y 2, en el modo de realización ilustrado, la pluralidad de palas de rotor 16 se sitúan de manera que alineen la pala de rotor 16 que se va a someter a prueba en una posición en general a las 6 en punto con el borde de ataque hacia la torre 12. En un modo de realización alternativo, ilustrado en la FIG. 3, la pluralidad de palas de rotor 16 se sitúan en una posición "Y" en general invertida y, más específicamente, de manera que alineen la pala de rotor 16 que se va a someter a prueba en una posición en general a las 8 en punto con el borde de ataque orientado en dirección opuesta a la torre 12.

**[0022]** Como se muestra en las FIGS. 1-3, el cable 108 está acoplado al dispositivo de pruebas robótico 102. Se pueden acoplar uno o más cables adicionales 120 entre el dispositivo de pruebas robótico 102 y el cable 108 para estabilizar y/o guiar el dispositivo de pruebas robótico 102 durante el movimiento del dispositivo de pruebas robótico 102. Por tanto, cuando el cable 108 se desplaza (tal como por un cabrestante), el dispositivo de pruebas robótico 102 se puede elevar y/o hacer descender entre el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 y la superficie de soporte 114 hasta una localización en general contigua a la pala de rotor 16 de modo que la sonda de prueba de LPS del dispositivo de pruebas robótico 102 se sitúa para ponerse en contacto y, por tanto, formar una conexión eléctrica con el receptor de rayos eléctricamente conductor 22.

**[0023]** Como se ilustra en las FIGS. 2 y 5, antes del desplazamiento del cable 108 y la izada del dispositivo de pruebas robótico 102 en dirección ascendente, tal como por cabrestante, una o más cuerdas guía 122, también denominadas comúnmente cuerdas de tracción, cuerdas auxiliares, cuerdas de izaje o similares, están acopladas al dispositivo de pruebas robótico 102 y proporcionan una guía para el dispositivo de pruebas robótico 102 durante el posicionamiento contiguo a la pala de rotor 16. En el modo de realización de las FIGS. 1-5, se ilustran dos cuerdas guía 122, extendiéndose cada una desde el dispositivo de pruebas robótico 102 hasta un primer y un segundo operario de tierra 124. En un modo de realización alternativo, una de las dos cuerdas guía 122 se puede acoplar a un punto de anclaje fijo (no mostrado). Aún en otro modo de realización alternativo, se puede utilizar una única cuerda guía 122 que se extiende desde el dispositivo de pruebas robótico 102 hasta el operario de tierra 124. Se debe entender que se puede usar cualquier número de cuerdas guía 122 para proporcionar una guía para el dispositivo de pruebas robótico 102 durante el posicionamiento contiguo a la pala de rotor 16.

**[0024]** Más en particular, en varios modos de realización, las una o más cuerdas guía 122 de la presente materia se pueden anclar a la superficie de soporte 114 usando cualquier miembro de anclaje adecuado que esté configurado para anclar o mantener de otro modo las una o más cuerdas guía 122 en o contiguas a la superficie de soporte 114. Por tanto, en el modo de realización mostrado en las FIGS. 2-5, las una o más cuerdas guía 122 se pueden anclar por un trabajador de servicio/mantenimiento, tal como los uno o más operarios de tierra 124, haciendo que los uno o más operarios simplemente agarren las una o más cuerdas guía 122. En un modo de realización alternativo, una o más de las una o más cuerdas guía 122 se pueden anclar a la superficie de soporte 114 usando un anclaje de tornillo configurado para atornillarse en o fijarse de otro modo a la superficie de soporte 114. En otros modos de realización, una o más de las una o más cuerdas guía 122 pueden comprender cualquier otro anclaje de cuerda, estacas, amarres o similares adecuados que se puedan fijar de forma extraíble o no extraíble a la superficie de soporte 114. De forma alternativa, una o más de las una o más cuerdas guía 122 se pueden configurar para estar simplemente dispuestas en o contiguas a la superficie de soporte 114 (es decir, no fijadas a la superficie de soporte 114). Por ejemplo, una o más de las una o más cuerdas guía 122 se pueden anclar a la superficie de soporte 114 usando un objeto relativamente pesado (por ejemplo, sacos de arena, recipientes llenos de líquido, pesas y/o cualquier otro objeto pesado adecuado), un vehículo (por ejemplo, un camión de trabajo) o cualquier otro artículo/objeto adecuado que pueda servir para anclar o mantener de otro modo una parte de una o más de las una o más cuerdas guía 122 en o contigua a la superficie de soporte 114.

**[0025]** El sistema 100 divulgado también puede incluir un cable de extensión 126 (por ejemplo, un alambre metálico o cualquier otro cable adecuado formado a partir de un material eléctricamente conductor) que tiene un primer extremo 128 conectado a la sonda de prueba de LPS del dispositivo de pruebas robótico 102 y un segundo extremo 130 dispuesto contiguo a la superficie de soporte 114 de la turbina eólica 10. El cable de extensión 126 se puede configurar, en general, para extenderse desde la sonda de prueba de LPS del dispositivo de pruebas robótico 102 hacia la superficie de soporte 114 para permitir que un trabajador de servicio/mantenimiento, tal como uno o más operarios de tierra 124, localizado en o contiguo a la superficie de soporte 114 realice pruebas, tales como resistencia y/o continuidad, del LPS 20. En particular, cuando se realiza una conexión eléctrica entre la sonda

de prueba de LPS del dispositivo de pruebas robótico 102 y el receptor de rayos 22, se forma un circuito eléctrico entre el cable de extensión 126 y la toma de tierra 28. Por lo tanto, los expertos en la técnica deberían apreciar que las propiedades eléctricas del circuito (por ejemplo, la resistencia) se pueden someter a prueba/medir a continuación para determinar si el LPS 20 está conduciendo apropiadamente la corriente eléctrica desde los uno o más receptores de rayos eléctricamente conductores 22 a través del conductor de rayos 26 hasta la toma de tierra 28. Por ejemplo, como se muestra en la FIG. 2, las propiedades eléctricas del circuito se pueden medir acoplando un dispositivo eléctrico adecuado, tal como un dispositivo de interfaz de control y monitorización remota 132, al segundo extremo 130 del cable de extensión 126 y/o acoplando el dispositivo eléctrico adecuado 132 al segundo extremo 130 del cable de extensión 126 y una parte 134 del conductor de rayos 26 dispuesta contigua a la toma de tierra 28. Específicamente, en un modo de realización, el dispositivo eléctrico y, más en particular, el dispositivo de interfaz de control y monitorización remota 132, puede comprender un multímetro, un polímetro de resistencia especializado, un probador de continuidad especializado o cualquier otro dispositivo de prueba/medición eléctrica adecuado que esté configurado para suministrar una tensión a través del circuito formado por el LPS 20 y medir la corriente y/o la tensión a través del circuito de modo que se pueda determinar la resistencia, si el circuito está abierto o cerrado, o si el LPS 20 está funcionando apropiadamente de otro modo. Además, el dispositivo de interfaz de control y monitorización remota 132 puede comprender una interfaz de usuario que proporciona control del posicionamiento de la sonda de prueba de LPS (descrita en el presente documento). En un modo de realización alternativo, el dispositivo de interfaz de control y monitorización remota 132 se puede proporcionar en la parte superior de la torre y puede ser operativo de forma inalámbrica en el sitio o bien de forma remota, tal como a través de una aplicación web, para ver la transmisión de la cámara, recopilar datos y/o controlar el posicionamiento y funcionamiento del dispositivo de control robótico 102.

**[0026]** Para localizar el dispositivo de pruebas robótico 102 en una posición que permita que la sonda de prueba de LPS se ponga en contacto con uno de los receptores de rayos eléctricamente conductores 22 del LPS 20, el cable 108 del sistema 100 divulgado en general se puede configurar de modo que, a medida que se desplaza el cable 108, tal como por el cabrestante 116, la posición del dispositivo de pruebas robótico 102 en relación con el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 y el receptor de rayos eléctricamente conductor 22 con el que se va a poner en contacto, se puede ajustar verticalmente. Por tanto, el cable 108 puede incluir, en general, el primer extremo 112 acoplado al punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 y un segundo extremo 136 que se acopla al dispositivo de pruebas robótico 102 por el operario de tierra 124. Por ejemplo, como se muestra en el modo de realización ilustrado, el primer extremo 112 del cable 108 se puede fijar al punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 y, tras el desplazamiento del segundo extremo 136 del cable 108 a la superficie de soporte 114, el segundo extremo 136 del cable 108 se puede fijar al dispositivo de pruebas robótico 102. Sin embargo, se debe apreciar que el segundo extremo 136 del cable 108 en general se puede asegurar al dispositivo de pruebas robótico 102 en cualquier localización adecuada y no necesita fijarse al dispositivo de pruebas robótico 102 en la localización particular ilustrada en las FIGS. 1-5.

**[0027]** Se debe apreciar que el primer extremo 112 del cable 108 en general se puede fijar a la turbina eólica 10 al punto de anclaje de la parte superior de la torre 110, usando cualquier medio adecuado conocido en la técnica. Además, se debe apreciar que el segundo extremo 136 del cable 108 se puede fijar al dispositivo de pruebas robótico 102 usando cualquier mecanismo y/o procedimiento de fijación adecuado. De forma similar, para proporcionar una estabilización adicional del dispositivo de pruebas robótico 102, los uno o más cables adicionales 120 se pueden fijar al dispositivo de pruebas robótico 102 y al cable 108 usando cualquier mecanismo y/o procedimiento de fijación adecuado. Por ejemplo, el primer extremo 112 del cable 108 se puede acoplar a la góndola 14, por medio del cabrestante 116, usando un anillo de fijación o abrazadera (por ejemplo, mosquetón). De forma similar, el segundo extremo 136 del cable 108, y los uno o más cables adicionales 120, se pueden fijar al dispositivo de pruebas robótico 102 usando un anillo de fijación o abrazadera. Sin embargo, en modos de realización alternativos, los primer y segundo extremos 112, 136 del cable 108 se pueden fijar al punto de anclaje 110 y al dispositivo de pruebas robótico 102, respectivamente, usando elementos de sujeción mecánicos (por ejemplo, tornillos, pernos, casquillos y similares), cables, cinta, adhesivos o usando cualquier otro mecanismo y/o procedimiento de fijación adecuado. Por ejemplo, en varios modos de realización, el segundo extremo 136 del cable 108 y los uno o más cables adicionales 120 se pueden fijar atando, sujetando con abrazadera, pegando, pegando con cinta adhesiva, uniendo y/o sujetando mecánicamente al dispositivo de pruebas robótico 102.

**[0028]** En el modo de realización ilustrado, cuando el cable 108 se desplaza, tal como por el cabrestante 116, en dirección hacia el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110, el dispositivo de pruebas robótico 102 se eleva verticalmente en relación con la turbina eólica 10. De forma similar, cuando el cable 108 se desplaza de otro modo, tal como por el cabrestante 116, en dirección hacia la superficie de soporte 114, el dispositivo de pruebas robótico 102 desciende verticalmente en relación con la turbina eólica 10. Por tanto, desplazando el cable 108, el posicionamiento vertical del dispositivo de pruebas robótico 102 se puede ajustar de modo que el dispositivo de pruebas robótico 102 se pueda elevar y/o hacer descender hasta una altura adecuada para realizar la prueba deseada en el LPS 20.

**[0029]** En referencia todavía a las FIGS. 1-5, el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 y la superficie de soporte 114 pueden definir, en general, las posiciones verticales máxima y mínima para el dispositivo de pruebas robótico 102, definiendo el cable 108 la trayectoria a lo largo de la que se puede mover verticalmente el dispositivo

de pruebas robótico 102 entre el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 y la superficie de soporte 114. Como tal, se debe apreciar que el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 está separado de la superficie de soporte 114, verticalmente de modo que el receptor de rayos eléctricamente conductor 22 que se va a poner en contacto con la sonda de prueba de LPS, en general, está dispuesto entre el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 y la superficie de soporte 114. Por ejemplo, como se muestra en las FIGS. 1 y 2, el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110, en general, se puede disponer en o contiguo a la góndola 14 y la superficie de soporte 114 puede ser, en general, la superficie sobre la que se soporta la turbina eólica 10 (por ejemplo, el suelo/la tierra natural y/o cualquier superficie hecha por el hombre, tal como una plataforma de hormigón). Por tanto, en un modo de realización, el dispositivo de pruebas robótico 102 se puede elevar y/o hacer descender entre la superficie de soporte 114 y la góndola 14, permitiendo de este modo que el dispositivo de pruebas robótico 102 se mueva sobre y/o contiguo a cualquier parte de la pala de rotor 16 en la que se puede localizar el receptor de rayos eléctricamente conductor 22.

**[0030]** En modos de realización alternativos, se debe apreciar que no es necesario definir el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 en la localización ilustrada en las FIGS. 1 y 2. Por ejemplo, el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 se puede definir, en general, en cualquier localización adecuada en la turbina eólica 10 que esté dispuesta en la parte superior de la torre del receptor de rayos eléctricamente conductor 22 que se va a poner en contacto con la sonda de prueba de LPS del dispositivo de pruebas robótico 102. Como se usa en el presente documento, el término "parte superior de la torre" se refiere a cualquier localización en y/o contigua a un componente de la turbina eólica 10 que está verticalmente por encima de la localización del receptor de rayos eléctricamente conductor 22 con el que se va a poner en contacto cuando la pala de rotor 16 está orientada verticalmente hacia abajo (es decir, cuando la punta 24 de la pala de rotor 16 apunta hacia la superficie de soporte 114). Por tanto, en modos de realización en los que el receptor de rayos eléctricamente conductor 22 con el que se va a poner en contacto está dispuesto en general contiguo a la punta de pala 24, el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 se puede disponer en o contiguo a cualquier componente de turbina eólica adecuado o cualquier sección de un componente de turbina eólica que está dispuesto en la parte superior de la torre de la punta 24 de la pala de rotor 16. Por tanto, en diversos modos de realización de la presente materia, el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 se puede disponer en o contiguo al buje 18 y la góndola 14, así como en o contiguo a las secciones de la parte superior de la torre de la torre 12 y las palas de rotor 16.

**[0031]** Se debe apreciar que, al posicionar apropiadamente el dispositivo de pruebas robótico 102 contiguo a la pala de rotor 16 de la turbina eólica 10, la localización de las una o más cuerdas guía 122 y el cable 108 se puede ajustar a lo largo de la superficie de soporte 114 para permitir que la trayectoria vertical y/o el posicionamiento horizontal del dispositivo de pruebas robótico 102 se modifiquen a medida que el dispositivo de pruebas robótico 102 se mueve por el cable 108 y las una o más cuerdas guía 122. Como tal, el dispositivo de pruebas robótico 102 se puede orientar apropiadamente con respecto a la pala de rotor 16 y/o al receptor de rayos eléctricamente conductor 22 a medida que el dispositivo de pruebas robótico 10 se eleva, desciende y/o se desplaza horizontalmente. Por ejemplo, el cable 108 y las una o más cuerdas guía 122 se pueden configurar para acercar a y/o alejar el dispositivo de pruebas robótico 102 de la torre de turbina eólica 12 y/o para moverse alrededor de la circunferencia de la torre 12 para modificar la posición del dispositivo de pruebas robótico 102 y, por tanto, ajustar la trayectoria de desplazamiento del dispositivo de pruebas robótico 102 con respecto a la pala de rotor 16 y/o el receptor de rayos eléctricamente conductor 22 con el que se va a poner en contacto. En el modo de realización ilustrado, uno o más operarios de tierra 124 actúan para desplazar horizontalmente el dispositivo de pruebas robótico 102 simplemente caminando a lo largo de la superficie de soporte 114 para permitir que la pala de rotor 16 y/o el receptor de rayos eléctricamente conductor 22 sean accesibles a la sonda de prueba de LPS del dispositivo de pruebas robótico 102 a medida que el dispositivo de pruebas robótico 10 se eleva y/o desciende.

**[0032]** El dispositivo de pruebas robótico 102 de las FIGS. 1-5 se puede configurar, en general, para transportar la sonda de prueba de LPS entre el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 y la superficie de soporte 114 para posicionar la sonda de prueba de LPS en relación con los uno o más receptores de rayos eléctricamente conductores 22. Como tal, se debe apreciar que el dispositivo de pruebas robótico 102 puede tener, en general, cualquier tamaño, forma y/o dimensión adecuadas que permitan que el cable 108, los uno o más cables adicionales 120 y las una o más cuerdas guía 122 se aseguren al mismo, mientras proporcionan sujeción a la pala de rotor 16 (descrito en el presente documento).

**[0033]** En referencia ahora a las FIGS. 6 y 7, se ilustra un modo de realización de un dispositivo de pruebas robótico 140, en general similar al dispositivo de pruebas robótico 102 de las FIGS. 1-5. Cabe destacar de nuevo que el uso repetido de caracteres de referencia en todos los modos de realización pretende representar los mismos o rasgos característicos o elementos análogos. En este modo de realización particular, el dispositivo de pruebas robótico 140 está configurado teniendo una forma de geometría en general abierta cuando se fija a la pala de rotor 16. Más en particular, el dispositivo de pruebas robótico 140 está compuesto por un mecanismo de fijación 141. En los modos de realización ilustrados, el mecanismo de fijación está compuesto por al menos dos brazos y, más en particular, un primer brazo 142 y un segundo brazo 144 (como se muestra por la línea de puntos). En un modo de realización alternativo, se puede implementar cualquier número de brazos, similares a los primer y segundo brazos 142, 144. Los primer y segundo brazos 142, 144 pueden tener en general cualquier dimensión (por ejemplo, altura, ancho, espesor) y/o forma adecuadas. Adicionalmente, los primer y segundo brazos 142, 144 se pueden



formar en general a partir de cualquier material adecuado. Sin embargo, en un modo de realización particular de la presente materia, los primer y segundo brazos 142, 144 se pueden formar a partir de un material relativamente ligero (por ejemplo, aluminio, madera, polímeros y/o cualquier otro material ligero adecuado) para reducir el peso global del sistema. Al menos uno de los primer y segundo brazos 142, 144 se puede accionar para proporcionar la sujeción a una superficie exterior 17 de las una o más palas de rotor 16, alrededor de un perímetro de la pala de rotor 16, en combinación con el otro de los brazos 142, 144. Más en particular, como se ilustra en las FIGS. 6 y 7, el primer brazo 142 se puede accionar para proporcionar sujeción a una superficie exterior 17 de las una o más palas de rotor, y el segundo brazo 144 no es de sujeción y puede incluir opcionalmente una articulación con una resistencia (es decir, un resorte o pistón) para controlar una condición de sobresujeción. Para proporcionar sujeción, al menos uno de los primer y segundo brazos 142, 144 incluye una superficie de sujeción 143 que se une al menos parcialmente a la superficie exterior 17 de la pala de rotor 16 cuando se sitúa contigua al receptor de rayos eléctricamente conductor 22. En un modo de realización alternativo, cada uno de los primer y segundo brazos 142, 144 se puede configurar como un brazo de sujeción y accionarse para proporcionar sujeción a una superficie exterior 17 de las una o más palas de rotor.

**[0034]** Aún en otro modo de realización alternativo, el dispositivo de pruebas robótico 140 está compuesto por al menos dos brazos y, más en particular, un primer brazo 142 y un segundo brazo 144 que, en lugar de sujetar, están configurados para incluir una cuerda de aflojamiento, ventosas, pies adhesivos, anillo de globo inflable, dron de asentamiento, etc., para proporcionar el acoplamiento de los al menos dos brazos 142, 144 a la superficie exterior 17 de las una o más palas de rotor 16. Aún en otro modo de realización alternativo, el acoplamiento a la superficie exterior 17 de las una o más palas de rotor 16 puede incluir dos grupos de ruedas de rodillo autopropulsadas, en ángulo rotatorio, que no tienen articulación activa pero que extienden un mecanismo de suspensión enseñado cuando se "accionan" en el borde de ataque de la pala 16.

**[0035]** En el modo de realización de las FIGS. 6 y 7, el dispositivo de pruebas robótico 140 incluye además un efector final robótico 146, tal como un brazo robótico articulado 147, acoplado al primer y segundo brazos 142, 144. El efector final robótico 146 está configurado para la articulación por uno o más del operario en la parte superior de la torre 118 (FIG. 2) y/o los uno o más operarios de tierra 124 (FIG. 2) para posicionar la sonda de prueba de LPS 148 en alineación con el receptor de rayos eléctricamente conductor 22. En un modo de realización alternativo, el efector final robótico 146 está configurado como una herramienta, o para sostener una herramienta, que puede ser necesaria para llevar a cabo la inspección y/o el mantenimiento para el que se está utilizando. El efector final robótico 146 se puede articular por al menos uno de los uno o más operarios de tierra 124 (FIG. 2) por medio del dispositivo de interfaz de control y monitorización remota 132. En un modo de realización, el efector final robótico 146 está configurado para fijarse de forma pivotante a los primer y segundo brazos 142, 144. En un modo de realización, la sonda de prueba de LPS 148 está acoplada al efector final robótico 146 usando uno o más dispositivos de montaje y/o plataformas de montaje (no mostrados). En general, se debe apreciar que la sonda de prueba de LPS 148 de la presente materia puede tener en general cualquier configuración adecuada que permita que la sonda de prueba de LPS 148 se sitúe sobre o se sitúe para ponerse en contacto de otro modo con el receptor de rayos eléctricamente conductor 22 del LPS 20. En el modo de realización de la FIG. 6, el dispositivo de pruebas robótico 102 y, más en particular, los primer y segundo brazos 142, 144 están posicionados para sujetarse a la pala de rotor 16 por debajo del receptor de rayos eléctricamente conductor 22, de modo que el dispositivo de pruebas robótico 102 está posicionado verticalmente entre el receptor de rayos eléctricamente conductor 22 y la superficie de soporte 114. En el modo de realización de la FIG. 7, el dispositivo de pruebas robótico 102 y, más en particular, los primer y segundo brazos 142, 144 están posicionados para sujetarse a la pala de rotor 16 por encima del receptor de rayos eléctricamente conductor 22, de modo que el dispositivo de pruebas robótico 102 está posicionado verticalmente entre el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 y el receptor de rayos eléctricamente conductor 22.

**[0036]** En referencia ahora a las FIGS. 8 y 9, se ilustra otro modo de realización de un dispositivo de pruebas robótico 150 y se puede configurar teniendo una forma de geometría en general cerrada cuando se sujeta a la pala de rotor 16. En general, el dispositivo de pruebas robótico 150 ilustrado puede incluir los mismos o similares componentes y se puede configurar de forma similar al dispositivo de pruebas robótico 140 descrito anteriormente con referencia a las FIGS. 6 y 7, excepto por las diferencias que se indican a continuación. El dispositivo de pruebas robótico 150 se puede configurar en general para deslizarse sobre, encajar en o posicionarse de otro modo alrededor de al menos una parte de una pala de rotor 16 de la turbina eólica 10. Más en particular, el dispositivo de pruebas robótico 150 está compuesto por un primer brazo 152 y un segundo brazo 154. Los primer y segundo brazos 152, 154 pueden tener en general cualquier dimensión (por ejemplo, altura, anchura, espesor) y/o forma adecuadas. Adicionalmente, los primer y segundo brazos 152, 154 se pueden formar en general a partir de cualquier material ligero adecuado como se describe previamente, para reducir el peso global del sistema. Los primer y segundo brazos 152, 154 están configurados para sujetarse a la superficie exterior 17 de las una o más palas de rotor 16 y alrededor de un perímetro sustancial de la pala de rotor 16. A diferencia del modo de realización de las FIGS. 5 y 6, en este modo de realización particular, los primer y segundo brazos 152, 154 rodean completamente la pala de rotor 16 cuando está en una posición cerrada y sujeta. Para proporcionar sujeción, cada uno de los primer y segundo brazos 152, 154 incluye una superficie de sujeción 153 que se une a la superficie exterior 17 de la pala de rotor cuando se sitúa contigua al receptor de rayos eléctricamente conductor 22.

**[0037]** Específicamente, el dispositivo de pruebas robótico 150 se puede configurar de modo que, cuando los primer y segundo brazos 152, 154 se sujetan a la pala de rotor 16, se sitúa una sonda de prueba de LPS 148 del dispositivo de pruebas robótico 150 para ponerse en contacto eléctrico con el receptor de rayos eléctricamente conductor 22 del LPS 20. En consecuencia, se debe apreciar que la forma, tamaño y/o configuración de los primer y segundo brazos 152, 154, así como el posicionamiento relativo del dispositivo de pruebas robótico 150 con respecto a la pala de rotor 16, en general puede variar de una turbina eólica a otra turbina eólica dependiendo de numerosos factores que incluyen, pero sin limitarse a, la forma, el tamaño y/o la configuración de la pala de rotor 16 y el posicionamiento de los receptores de rayos eléctricamente conductores 22 en la pala de rotor 16.

**[0038]** De forma similar al modo de realización previo, en el modo de realización de las FIGS. 8 y 9, el dispositivo de pruebas robótico 150 incluye además un efector final robótico 146, tal como un brazo robótico móvil 147, acoplado a los primer y segundo brazos 152, 154. El efector final robótico 146 está configurado para la articulación por uno o más del operario en la parte superior de la torre 118 (FIG. 2) y/o los uno o más operarios de tierra 124 (FIG. 2) para posicionar una sonda de prueba de LPS 148 en alineación con el receptor de rayos eléctricamente conductor 22. El efector final robótico 146 se puede articular por al menos uno de los uno o más operarios de tierra 124 (FIG. 2) por medio del dispositivo de interfaz de control y monitorización remota 132. El efector final robótico 146 está acoplado a los primer y segundo brazos 152, 154. El efector final robótico 146 tiene acoplado al mismo la sonda de prueba de LPS 148. La sonda de prueba de LPS 148 se sitúa sobre o se sitúa para ponerse en contacto de otro modo con el receptor de rayos eléctricamente conductor 22 del LPS 20. En el modo de realización de la FIG. 8, el dispositivo de pruebas robótico 150 y, más en particular, los primer y segundo brazos 152, 154 están posicionados para sujetarse alrededor de la pala de rotor 16 por debajo del receptor de rayos 22, de modo que el dispositivo de pruebas robótico 150 está posicionado verticalmente entre el receptor de rayos eléctricamente conductor 22 y la superficie de soporte 114. En el modo de realización de la FIG. 8, el dispositivo de pruebas robótico 150 y, más en particular, los primer y segundo brazos 152, 154 están posicionados para sujetarse a la pala de rotor 16 por encima del receptor de rayos 22, de modo que el dispositivo de pruebas robótico 102 está posicionado verticalmente entre el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 y el receptor de rayos 22. Además, en el modo de realización de las FIGS. 8 y 9, el dispositivo de pruebas robótico 150 incluye un rasgo característico de alineación de sonda 156 para proporcionar alineación y guía de la sonda de prueba de LPS 148 de manera que efectúe el contacto con el receptor de rayos eléctricamente conductor 22 del LPS 20. En este modo de realización particular, en presencia de un receptor de rayos eléctricamente conductor 22 que está elevado por encima de la superficie exterior 17 de la pala de rotor 16, el rasgo característico de alineación de sonda 156 se guía de forma deslizante a lo largo del receptor de rayos eléctricamente conductor 22 para alinear la sonda de prueba de LPS 148 con el receptor de rayos 22. En un modo de realización alternativo, el dispositivo de pruebas robótico 150 no incluye un rasgo característico de alineación de sonda.

**[0039]** En referencia ahora a las FIGS. 10 y 11, se ilustra una vista en perspectiva de otro modo de realización de un dispositivo de pruebas robótico 160 para realizar una o más pruebas de inspección en el LPS 20 de una turbina eólica 10. Como se muestra en el modo de realización ilustrado, el dispositivo de pruebas robótico 160 en general incluye un primer brazo 142 y un segundo brazo 144, tal como se describe previamente con respecto a las FIGS. 6 y 7. En este modo de realización particular, en lugar de un brazo robótico 147 como efector final robótico 146 como en los modos de realización de las FIGS. 6-9, se incluye un efector final robótico 146 que incluye un carril de soporte 162 y dos o más brazos efectores finales extensibles unidos cooperativamente 164. El carril de soporte 162 puede comprender en general cualquier miembro estructural adecuado configurado para soportar los dos o más brazos efectores finales extensibles unidos cooperativamente 164 y la sonda de prueba de LPS 148. En la FIG. 10 se ilustran los dos o más brazos efectores finales extensibles unidos cooperativamente 164 en una posición retraída. En la FIG. 11 se ilustran los dos o más brazos efectores finales extensibles unidos cooperativamente 164 en posición extendida para posicionar la sonda de prueba de LPS 148 en contacto con el receptor de rayos 22. Como se ilustra, los dos o más brazos efectores finales extensibles unidos cooperativamente 164 y, por tanto, la sonda de prueba de LPS 148, se pueden mover verticalmente a lo largo del carril de soporte 162 a medida que el dispositivo de pruebas robótico 102 se sitúa en relación con el receptor de rayos 22. Por tanto, el carril de soporte 162 puede incluir, en general, un primer extremo 166 configurado para unirse al primer brazo 142 y el segundo brazo 144, y extenderse desde ellos usando cualquier elemento de sujeción mecánico adecuado, tal como pernos, tornillos, abrazaderas, cinta, pegamento, adhesivos, casquillos y similares y/o usando cualquier procedimiento de fijación adecuado (por ejemplo, unión, soldadura y similares). Sin embargo, en un modo de realización particular de la presente materia, el primer extremo 166 del carril de soporte 162 se puede configurar para acoplarse de forma pivotante a los primer y segundo brazos 142, 144 usando cualquier medio que permita que el carril de soporte 162 pivote o de otro modo se mueva alrededor de su punto de fijación. Por ejemplo, el carril de soporte 162 se puede acoplar a los primer y segundo brazos 142, 144 usando una rótula, fijando sin apretar el carril de soporte 162 a un pasador o perno que se extiende a través del carril de soporte 162 o usando cualquier otro mecanismo y/o procedimiento de fijación pivotante adecuado.

**[0040]** Se debe apreciar que, en modos de realización alternativos de la presente materia, el carril de soporte 162 y los primer y segundo brazos 142, 144 no necesitan formarse como componentes separados. Por ejemplo, en un modo de realización, el carril de soporte 162 y los primer y segundo brazos 142, 144 se pueden formar integralmente como un único componente usando cualquier proceso de fabricación adecuado, tal como cualquier proceso de moldeo y/o fundición adecuado.

**[0041]** En referencia ahora a las FIGS. 12 y 13, se ilustra una vista en perspectiva de otro modo de realización de un dispositivo de pruebas robótico 170 para realizar una o más pruebas de inspección en el LPS 20 de una turbina eólica 10. En general, el dispositivo de pruebas robótico 160 ilustrado puede incluir los mismos o similares componentes y se puede configurar de forma similar al dispositivo de pruebas robótico 160 descrito anteriormente con referencia a las FIGS. 10 y 11 excepto por las diferencias que se indican a continuación. Como se muestra en el modo de realización ilustrado, el dispositivo de pruebas robótico 170 en general incluye un primer brazo 152 y un segundo brazo 154, tal como se describe previamente con respecto a las FIGS. 8 y 9. De forma similar al modo de realización de las FIGS. 10 y 11, en este modo de realización particular, en lugar de un brazo robótico 147 como efector final robótico 146, se incluye un efector final robótico 146 que incluye dos o más brazos efectores finales extensibles unidos cooperativamente 164. Los dos o más brazos efectores finales extensibles unidos cooperativamente 164 pueden comprender, en general, cualquier miembro estructural adecuado configurado para soportar la sonda de prueba de LPS 148. En las FIGS. 12 y 13 se ilustran los dos o más brazos efectores finales extensibles unidos cooperativamente 164 acoplados al primer y segundo brazo 152, 154. En un modo de realización alternativo, se puede incluir un carril de soporte similar al divulgado previamente en las FIGS. 9 y 10 y soportar los dos o más brazos efectores finales extensibles unidos cooperativamente 164 y la sonda de prueba de LPS 148 en una configuración similar. En la FIG. 12 se ilustran los dos o más brazos efectores finales extensibles unidos cooperativamente 164 en una posición retraída y acoplados a los mismos el primer brazo 152. En la FIG. 13 se ilustran los dos o más brazos efectores finales extensibles unidos cooperativamente 164 en posición extendida, y acoplados a los mismos el primer brazo 152, para posicionar la sonda de prueba de LPS 148 en contacto con el receptor de rayos 22.

**[0042]** En otros varios modos de realización de la presente materia, como se describe previamente, el dispositivo de pruebas robótico 140, 160 puede tener una forma en general abierta o no cerrada cuando se sujeta a la pala 16. Por ejemplo, el dispositivo de pruebas robótico 140, 160 puede tener forma semicircular, conformación de "C" o tener cualquier otra configuración de forma abierta adecuada. cuando está en un estado sujeto para estar configurado para posicionarse en una configuración de sujeción a una parte de la superficie exterior 17 de la pala de rotor 16. En particular, el dispositivo de pruebas robótico 140, 160 y, más en particular los primer y segundo brazos 142, 144 pueden ser operativos de modo que la punta 24 de la pala de rotor 16 debe estar al menos parcialmente alineada dentro del dispositivo de pruebas robótico 140, 160 para permitir que la sonda de prueba de LPS 148 se sitúe sobre la pala de rotor 16 cuando el dispositivo de pruebas robótico 140, 160 se sujeta alrededor de la pala de rotor 16 usando el sistema divulgado 100.

**[0043]** En otros varios modos de realización de la presente materia, como se describe previamente, el dispositivo de pruebas robótico 150, 170 puede tener una forma cerrada cuando está en un estado sujeto alrededor de la pala de rotor 16 (es decir, una forma que se puede trazar usando los mismos puntos de partida y de parada) para configurarse para posicionarse alrededor del perímetro exterior de la pala de rotor 16. En particular, el dispositivo de pruebas robótico 150, 170 se puede configurar de modo que la punta 24 de la pala de rotor 16 se deba extender a través de la forma cerrada del dispositivo de pruebas robótico 150, 170 para permitir que la sonda de prueba de LPS 148 se sitúe sobre la pala de rotor 16 a medida que el dispositivo de pruebas robótico 150, 170 se eleva usando el sistema divulgado 100.

**[0044]** Por tanto, como se muestra en las FIGS. 6-13, el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 puede tener una forma sustancialmente elíptica cuando está en un estado sujeto, correspondiente en general a la forma de la pala de rotor 16 en el área contigua a la punta de pala 24. En otros modos de realización, el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 puede tener en general cualquier otra configuración de forma adecuada, tal como tener una forma circular, rectangular o triangular. Como tal, el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 se puede posicionar sobre o alrededor de la parte del perímetro exterior de la pala de rotor 16 en la que está dispuesto el receptor de rayos eléctricamente conductor 22. En modos de realización alternativos, cada uno de los primer y segundo brazos 142, 144, 152, 154 puede incluir además un medio de sujeción (por ejemplo, almohadillas de sujeción ajustables dispuestas alrededor de una superficie interior del brazo o similares) para sujetar los primer y segundo brazos 142, 144, 152, 154 a la superficie exterior 17 de la pala de rotor 16 a lo largo de al menos una longitud parcial de los primer y segundo brazos 142, 144, 152, 154, o de otro modo proporcionar la superficie interior de cada uno de la pluralidad de brazos 142, 144, 152, 154 para unirse a la superficie exterior 17 de la pala de rotor 16.

**[0045]** Adicionalmente, en varios modos de realización de la presente materia, el ancho y/u otras dimensiones de los brazos 142, 144, 152, 154 se pueden elegir de modo que el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 solo se pueda posicionar alrededor de la pala de rotor 16 hasta la localización del receptor de rayos 22. Por ejemplo, en un modo de realización, las dimensiones de los brazos 142, 144, 152, 154 se pueden configurar de modo que una superficie interior de cada uno de los brazos 142, 144, 152, 154 se une completamente al perímetro exterior de la pala de rotor 16 cuando el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 está posicionado contiguo a la pala de rotor 16 y, en particular, con el receptor de rayos eléctricamente conductor 22, evitando de este modo que los brazos 142, 144, 152, 154 se eleven más a lo largo de la pala 16. Además, en varios modos de realización, las dimensiones y/o la forma de los brazos 142, 144, 152, 154 pueden ser fijas o pueden ser ajustables. Por tanto, en un modo de realización, los brazos 142, 144, 152, 154 se pueden configurar de modo que las

dimensiones del dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 se pueden incrementar o disminuir para corresponder en general al tamaño, la conformación y/o la configuración de la pala de rotor 16 en la localización del receptor de rayos 22. Por ejemplo, los brazos 142, 144, 152, 154 del dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 pueden ser telescópicos o pueden incluir otros rasgos característicos de ajuste adecuados para permitir el posicionamiento del dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 a lo largo de la pala 16. En otro modo de realización, los brazos 142, 144, 152, 154 se pueden formar a partir de un material flexible y/o expandible de modo que la forma y/o el tamaño del dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 se pueden adaptar a la forma y/o el tamaño de la pala de rotor 16 a medida que se eleva y se sujeta alrededor de la pala de rotor 16.

**[0046]** La sonda de prueba de LPS 148 del dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 puede comprender en general cualquier sonda de prueba adecuada que pueda formar una conexión eléctrica o de otro modo hacer contacto eléctrico con el receptor de rayos eléctricamente conductor 22 del LPS 20. Por tanto, en varios modos de realización, la sonda de prueba de LPS 148 puede comprender cualquier sonda de prueba adecuada, tal como una sonda de prueba Megger®, configurada para acoplarse al dispositivo de interfaz de control y monitorización remota 132, tal como un dispositivo que incluye un multímetro, pinza amperimétrica, verificador de aislamiento, probador multifuncional y/o probador de continuidad. La sonda de prueba de LPS 148 se sitúa de modo que se pueda poner en contacto con el receptor de rayos eléctricamente conductor 22 cuando el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 se sitúa contiguo a la pala de rotor 16. En un modo de realización alternativo, se suministra una medición de señal, tensión o resistencia desde el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 y se detecta en otra parte de la torre 12 por medio de un dispositivo asociado, que está acoplado por medio de cable o de forma inalámbrica, al dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170. Por ejemplo, en un modo de realización se envía un pulso por la línea conductora 26 desde el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170, y se localiza un dispositivo asociado en el rodamiento de buje de góndola para detectar dicho pulso.

**[0047]** En un modo de realización particular de la presente materia, el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 también puede incluir al menos una cámara 158, tal como un sistema de cámara omnidireccional, montada en una o más de una parte del dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170, próximo al efector final 146, próximo a la punta 24 para ayudar en el posicionamiento del dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 o determinar el posicionamiento a una altura apropiada. La al menos una cámara 158 está acoplada al dispositivo de interfaz de control y monitorización remota 132. En un modo de realización de este tipo, la cámara 158 capta imágenes de una o más superficies de interés desde múltiples perspectivas durante el posicionamiento del dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 contiguo a la pala de rotor 16 y/o el posicionamiento de la sonda de prueba de LPS 148 en relación con el receptor de rayos eléctricamente conductor 22. Las imágenes captadas permiten la recreación de modelos 3D o reconstrucciones de posicionamiento de estilo "vista de calle" para que los operarios, inspectores y algoritmos automatizados interroguen en tiempo real o más tarde fuera de línea. Se puede incluir iluminación optimizada en forma de capacidad para apagar/encender una o más luces (no mostradas) para propósitos de captación de imágenes y navegación. La cámara 158 está configurada para su uso por al menos uno de los uno o más operarios de tierra 124 para ver áreas de interés o se puede usar para sistemas de reconocimiento de posicionamiento automatizados para detectar el posicionamiento de forma autónoma.

**[0048]** Además, en un modo de realización particular de la presente materia, el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 también puede incluir una fuente de tensión (no mostrada), tal como una batería u otra fuente de potencia, montada en una parte del dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 y acoplada eléctricamente a la sonda de prueba de LPS 148. En un modo de realización de este tipo, la fuente de tensión se puede configurar para transmitir una corriente eléctrica a través de la sonda de prueba de LPS 148 al receptor de rayos eléctricamente conductor 22 cuando la sonda de prueba de LPS 148 se ubica en contacto con el receptor 22. Como tal, se puede someter a prueba la continuidad del LPS 20 midiendo una propiedad eléctrica del sistema, tal como midiendo la resistencia en el conductor de rayos 26 contiguo a la superficie de soporte 114 o en la interfaz de usuario y más en particular el dispositivo de interfaz de control y monitorización remota 132.

**[0049]** Un experto en la técnica debería apreciar que el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 del sistema 100 divulgado en el presente documento se puede establecer en general haciendo que un trabajador de servicio/mantenimiento y, más en particular, el operario en la parte superior de la torre 118 suba a la turbina eólica 10 y fije o acople de otro modo el cable 108 a la turbina eólica 10. Por ejemplo, en los modos de realización ilustrados, el operario en la parte superior de la torre 118 puede subir a la góndola 14 de la turbina eólica 10 y fijar el cabrestante 116 a una parte de la góndola 14. Después de que se haya realizado la prueba de LPS en el LPS 20 de la turbina eólica 10, puede ser deseable separar o retirar de otro modo el sistema 100 divulgado en el presente documento de la turbina eólica 10 de modo que se pueda transportar a otra turbina eólica. Por tanto, en un modo de realización, el operario en la parte superior de la torre 118 puede volver a subir a la turbina eólica 10 y separar o retirar de otro modo el cable 108 y/o el cabrestante 116 de la turbina eólica 10.

**[0050]** De forma alternativa, el sistema 100 divulgado se puede configurar para eliminar la necesidad de un segundo viaje de regreso a la turbina eólica 10. Por ejemplo, el cabrestante 116 o dispositivo similar (no mostrado) se puede asegurar a la turbina eólica 10 en el punto de anclaje en la parte superior de la torre 110 y se puede configurar para elevar y hacer descender automáticamente el cable 108 enrollado alrededor de su eje. Como tal, cuando se desea realizar una prueba del LPS 20 en la turbina eólica 10, el cabrestante 116 se puede configurar para hacer descender el cable 108 a la superficie de soporte 114. El dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160,

170 se puede asegurar a continuación al cable 108 y elevarse por el cabrestante 116 como punto de anclaje en la parte superior de la torre 110. Una vez que se ha completado la prueba, el cabrestante 116 puede desenrollar de nuevo el cable 108, haciéndolo descender hasta la superficie de soporte 114, para permitir que el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 se separe del cable 108, y el cable 108 a continuación se devuelve a la parte superior de la torre para su almacenamiento alrededor del eje del cabrestante 116.

**[0051]** También se debe apreciar que, como se usan en el presente documento, los términos "cable" y "cuerda" se refieren a cualquier longitud de material que se pueda configurar para funcionar como se describe en el presente documento. Como tales, los cables 108, los uno o más cables adicionales 120 y las una o más cuerdas guía 122 de la presente materia pueden incluir cualquier cable, alambre, soga, cadena o cuerda adecuada formada a partir de cualquier material adecuado. Por ejemplo, en un modo de realización, cualquiera de los cables 108, los uno o más cables adicionales 120 y las una o más cuerdas guía 122 pueden comprender soga formada a partir de fibras naturales retorcidas, trenzadas o tejidas (por ejemplo, cáñamo y algodón) o fibras sintéticas (por ejemplo, polipropileno, nailon y poliésteres). En otros modos de realización, cualquiera de los uno o más cables adicionales 120 y las una o más cuerdas guía 122 pueden comprender cables y/o cadenas metálicas revestidas o no revestidas, flexibles o no flexibles.

**[0052]** En referencia ahora a las FIGS. 14-21, muestran esquemáticamente un procedimiento de ejemplo 250 para realizar una o más pruebas en un LPS 20 de una turbina eólica 10, de acuerdo con la presente divulgación. El procedimiento 250 incluye una instalación inicial del equipo en tierra, en una etapa 252. Más específicamente, como se detalla en la FIG. 14, la etapa 252 puede incluir etapas realizadas por los uno o más operarios de tierra 124, tales como el conjunto del dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 y realizar cualquier comprobación inicial del sistema. La etapa 252 puede incluir además el conjunto de la sonda de prueba de LPS 148, tal como una sonda Megger® y un cable de extensión 126, y realizar comprobaciones iniciales del sistema.

**[0053]** En una etapa 254, tiene lugar la preparación en la parte superior de la torre, tal como se ilustra en la FIG. 16, y puede incluir al operario en la parte superior de la torre 118 ascendiendo la turbina eólica y alineando la pala de rotor 16 que se va a someter a prueba en una posición a las 6 en punto con el borde de ataque hacia la torre 12. En un modo de realización alternativo, como se ilustra en la FIG. 3, la pala de rotor 16 que se va a someter a prueba se puede posicionar en una posición a las 8 en punto con el borde de ataque alejado de la torre 12. Si no está presente, el operario en la parte superior de la torre 118 fija el cabrestante 116 a la góndola 14, u otro punto de anclaje, y hace descender el cable 108 hasta la superficie de suelo 114.

**[0054]** Seguidamente, el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 se acopla al cable 108 tras alcanzar la superficie de soporte 114 por los uno o más operarios de tierra 124, en una etapa 256. Durante la aseguración del dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 al cable 108, el operario de tierra 124, como se ilustra en la FIG. 17, puede instalar además el sistema de control, fijar las una o más cuerdas guía 122 al dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170, fijar uno o más cables adicionales 120 al dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170. Seguidamente, los uno o más operarios de tierra 124, que agarran las una o más cuerdas guía 122, se sitúan en relación con la pala de rotor 16 que se va a someter a prueba.

**[0055]** Después de asegurar el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 al cable 108, el cable 108 y las cuerdas guía 122 se desplazan de manera de elevar y posicionar el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 contiguo a la pala de rotor 16 que se va a someter a prueba, en una etapa 258. Como se ilustra en la FIG. 18, la etapa 258 puede incluir que el operario en la parte superior de la torre 118 opere el cabrestante 116, y mientras se comunica con el operario de tierra 124, para posicionar el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 aproximadamente 2 m por encima de la punta de pala 24 de la pala de rotor 16 que se somete a prueba. Mientras se sitúa el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170, los uno o más operarios de tierra 124 supervisan la salida del cable de extensión 126, alinean el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 con la pala de rotor 16 que se va a someter a prueba, sujetan parcialmente el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 a la pala 16 usando controles de operario integrados en el dispositivo de interfaz de control y monitorización remota 132, sitúan el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 hasta que el receptor de rayos eléctricamente conductor 22 está en el campo de visión y sujetan firmemente el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 a la pala 16 para someter a prueba el sistema de protección contra rayos.

**[0056]** Después de que el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 y, más específicamente, la sonda de prueba de LPS 148, esté en su lugar en relación con un receptor de rayos 22, la prueba de LPS se puede realizar en la pala de rotor 16, en una etapa 260. Como se ilustra en la FIG. 19, la etapa 260 puede incluir al operario de tierra 124, utilizando los controles de operario del dispositivo de interfaz de control y monitorización remota 132, situando el efector final robótico 146 para proporcionar contacto entre la sonda de prueba de LPS 148 y el receptor de rayos eléctricamente conductor 22. La prueba se realiza seguidamente con una imagen de inspección opcional recopilada por la cámara 158 y datos de prueba registrados por el operario de tierra 124. Después de obtener datos de la primera prueba del receptor de rayos eléctricamente conductor 22, se hace que el efector final robótico 146 se retraiga y/o se mueva por el operario de tierra 124 para posicionar la sonda de prueba de LPS 148 cerca de un receptor de rayos eléctricamente conductor 22 adicional que se va a someter a prueba (por ejemplo, tal como en un lado opuesto de la pala 16). El efector final robótico 146 se maniobra además

para proporcionar contacto entre la sonda de prueba de LPS 148 y el receptor de rayos adicional 22. Seguidamente se realiza la prueba con la imagen de inspección recopilada opcionalmente por la cámara 158 y los datos de prueba registrados por el operario de tierra 124.

**[0057]** Después de que se completen las pruebas en relación con el receptor de rayos eléctricamente conductor 22 de la pala de rotor 16 y se determine que se requieren pruebas adicionales en palas adicionales, en una etapa 262, se cambia la posición del rotor, en una etapa 264, para proporcionar que tengan lugar pruebas en palas adicionales, como se ilustra en la FIG. 20. Para lograr esto, el operario de tierra 124 puede hacer que el efector final robótico 146 se retraiga y el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 se suelte de la pala 16 que se sometió a prueba previamente. El operario de tierra 124 permite además que el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 se balancee alejándose de la pala de rotor 16 y cuelgue como "bastones de caramelo" las una o más cuerdas guía 122 a la torre 12.

**[0058]** Después de que el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 se sitúe lejos de la pala de rotor 16 previamente sometida a prueba, el operario en la parte superior de la torre 118 reposiciona el rotor para posicionar la siguiente pala de rotor 16 que se va a someter a prueba en una posición a las 6 en punto. Después de eso, el operario de tierra 124 libera las una o más cuerdas guía 122 de la torre y ayuda con el posicionamiento del dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 cerca de la pala de rotor 16 y el receptor de rayos eléctricamente conductor 22 que se está sometiendo a prueba, como se describe previamente. El operario de tierra 124 lleva a cabo pruebas en el LPS 20 como se describe previamente, en la etapa 210.

**[0059]** El proceso de reposicionar la siguiente pala 16 que se va a someter a prueba y realizar la prueba se repite como se describe. Tras determinar que se han completado todas las pruebas del sistema de protección contra rayos 20 de la turbina eólica 10, en una etapa 262, se hace descender el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 hasta la superficie de soporte 114 y se empaqueta el equipo, en una etapa 266. Como se ilustra en la FIG. 21, para lograr esto, el operario de tierra 124 prepara el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 para descender, tal como liberando los brazos 142, 144, 152, 154 haciendo que el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 se balancee alejándose de la pala de rotor 16. El operario en la parte superior de la torre 118 hace descender el dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170, tal como por medio del cabrestante 116, hasta el suelo 114. Tras alcanzar el suelo, el operario de tierra 124 libera las una o más cuerdas guía 122 y el cable 108 del dispositivo de pruebas robótico 140, 150, 160, 170 y empaqueta el equipo para su transporte. El operario en la parte superior de la torre 118 a continuación puede elevar el cable 108 a la parte superior de la torre, tal como por un cabrestante, y empaquetar el equipo. Si está presente, el operario en la parte superior de la torre 118 puede retirar adicionalmente el cabrestante 116 y llenar cualquier abertura temporal formada en la estructura de la turbina eólica 10, tal como la góndola 14. El operario en la parte superior de la torre 118 baja de la turbina eólica 10 tras la finalización.

**[0060]** En consecuencia, se divulga un sistema que ayuda al personal de campo a realizar pruebas de inspección del LPS en una pala de turbina eólica sin usar procedimientos convencionales tales como una cuadrilla en cuerdas o equipos de acceso pesado tales como plataformas, cestas o camiones pluma. El sistema divulgado elimina la necesidad de intervención humana para realizar las pruebas de inspección de LPS en la pala y elimina el equipo especializado requerido para dichas inspecciones. Un aspecto único del sistema divulgado posibilita que las pruebas de inspección de LPS se combinen con los equipos de mantenimiento de servicio anual existente. Se usa un operario de tierra para guiar un dispositivo de pruebas robótico localizado de forma remota, eliminando de este modo la necesidad de posicionar personal de campo en las palas con cuadrillas en cuerdas o en altura usando camiones pluma u otras plataformas de acceso. El sistema permite realizar pruebas de inspección de LPS de palas de difícil acceso de forma remota desde el suelo. Los datos de prueba obtenidos previamente se pueden usar para proporcionar un esquema digital de las inspecciones. El enfoque innovador divulgado reduce los costes de tiempo, equipo y mano de obra asociados con los procedimientos de medición de prueba de LPS convencionales.

**[0061]** Si bien la divulgación se ha descrito con referencia a uno o más modos de realización, se entenderá por los expertos en la técnica que se pueden realizar diversos cambios y se pueden sustituir elementos equivalentes por elementos de los mismos sin apartarse del alcance de la divulgación. Además, se pueden realizar muchas modificaciones para adaptar una situación o material particular a las enseñanzas de la divulgación sin apartarse del alcance esencial de la misma. Por lo tanto, se pretende que la divulgación no se limite al modo de realización particular divulgado como el mejor modo contemplado para llevar a cabo esta divulgación, sino que la divulgación incluya todos los modos de realización que se encuentran dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Esta descripción escrita usa ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el mejor modo, y también para posibilitar que cualquier experto en la técnica ponga en práctica la invención, incluyendo la fabricación y el uso de cualquier dispositivo o sistema y la realización de cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la divulgación está definido por las reivindicaciones y puede incluir otros ejemplos que se les ocurrirán a los expertos en la técnica.

# REIVINDICACIONES

1. Un sistema (100, 200) para realizar una o más tareas en un sistema de protección contra rayos (LPS) (20) de una turbina eólica (10), comprendiendo el sistema (100, 200):  
  
un cable (108) que tiene un primer extremo (112) fijado a un punto de anclaje en la parte superior de la torre (110), extendiéndose el cable (108) hacia una superficie de soporte de torre (114) de modo que un receptor de rayos (22) del LPS (20) está dispuesto en general entre el punto de anclaje en la parte superior de la torre (110) y la superficie de soporte de torre (114);  
  
un dispositivo de pruebas robótico (102, 140, 150, 160, 170) que comprende:  
  
un mecanismo de fijación (141) configurado para posicionarse alrededor de al menos una parte de un perímetro exterior de una pala de rotor (16) de la turbina eólica (10) y sujetarse a la pala de rotor (16); y  
  
una sonda de prueba de LPS (148) acoplada a un efector final robótico (146), en el que el efector final robótico (146) se puede mover para posicionar la sonda de prueba de LPS (148) en contacto con el receptor de rayos (22) del LPS (20);  
  
una o más cuerdas guía (122) acopladas al dispositivo de pruebas robótico (102, 140, 150, 160, 170); y  
  
una interfaz de control y monitorización remota (132) operativa para sujetar de forma remota el dispositivo de pruebas robótico (102, 140, 150, 160, 170) a la pala de rotor (16) y realizar las una o más pruebas de inspección de LPS,  
  
en el que el cable (108) está acoplado al punto de anclaje en la parte superior de la torre (110) de modo que, el dispositivo de pruebas robótico (102, 140, 150, 160, 170) se puede mover a una posición en la que la sonda de prueba de LPS (148) se pone en contacto con el receptor de rayos (22).
2. El sistema (100, 200) de la reivindicación 1, en el que el punto de anclaje en la parte superior de la torre (110) es un cabrestante (116).
3. El sistema (100, 200) de la reivindicación 1, en el que al menos una parte de una superficie interior (143) del mecanismo de fijación (141) se une a al menos una parte de una superficie exterior (17) de la pala de rotor (16).
4. El sistema (100, 200) de la reivindicación 1, en el que el efector final robótico (146) comprende dos o más brazos efectores finales extensibles unidos cooperativamente (164) que son extensibles de manera que sitúen la sonda de prueba de LPS (148) en contacto con el receptor de rayos (22).
5. El sistema (100, 200) de la reivindicación 1, en el que el efector final robótico (146) comprende un brazo robótico articulado (147) que se puede mover de manera que sitúe la sonda de prueba de LPS (148) en contacto con el receptor de rayos (22).
6. El sistema (100, 200) de la reivindicación 1, en el que la interfaz de control y monitorización remota (132) proporciona el control remoto del efector final robótico (146).
7. El sistema (100, 200) de la reivindicación 1, en el que el dispositivo de pruebas robótico (102, 140, 150, 160, 170) incluye además al menos una cámara (158) para el posicionamiento remoto de la sonda de prueba de LPS (146) en contacto con el receptor de rayos (22).
8. El sistema (100, 200) de la reivindicación 1, en el que la sonda de prueba de LPS (146) está configurada para medir al menos una de la resistencia y la continuidad del LPS (20).
9. El sistema (100, 200) de la reivindicación 1, en el que el punto de anclaje en la parte superior de la torre (110) está dispuesto en una góndola (14) de la turbina eólica (10).
10. Un procedimiento (250) para realizar una o más pruebas en un sistema de protección contra rayos (LPS) (20) de una turbina eólica (10), comprendiendo el procedimiento (250):  
  
acoplar (254) un cable (108) en un punto de anclaje en la parte superior de la torre (110) de modo que un receptor de rayos (22) del LPS (20) esté dispuesto en general entre el punto de anclaje en la parte superior de la torre (110) y una superficie de soporte (114);  
  
desplazar (254) el cable (108) hacia la superficie de soporte (114);

acoplar (256) un dispositivo de pruebas robótico (102, 140, 150, 160, 170) al cable (108), en el que el dispositivo de pruebas robótico (102, 140, 150, 160, 170) incluye una o más cuerdas guías (122) acopladas al mismo;

5           desplazar (258) el cable (108) de modo que el dispositivo de pruebas robótico (102, 140, 150, 160, 170) se mueva a una posición entre el punto de anclaje en la parte superior de la torre (110) y la superficie de soporte (114), y contiguo a una pala de rotor (16) de la turbina eólica (10);

10           sujetar (258) el dispositivo de pruebas robótico (102, 140, 150, 160, 170) a la pala de rotor (16) de la turbina eólica (10); y

poner en contacto (258) una sonda de prueba de LPS (148) del dispositivo de pruebas robótico (102, 140, 150, 160, 170) con el receptor de rayos (22).



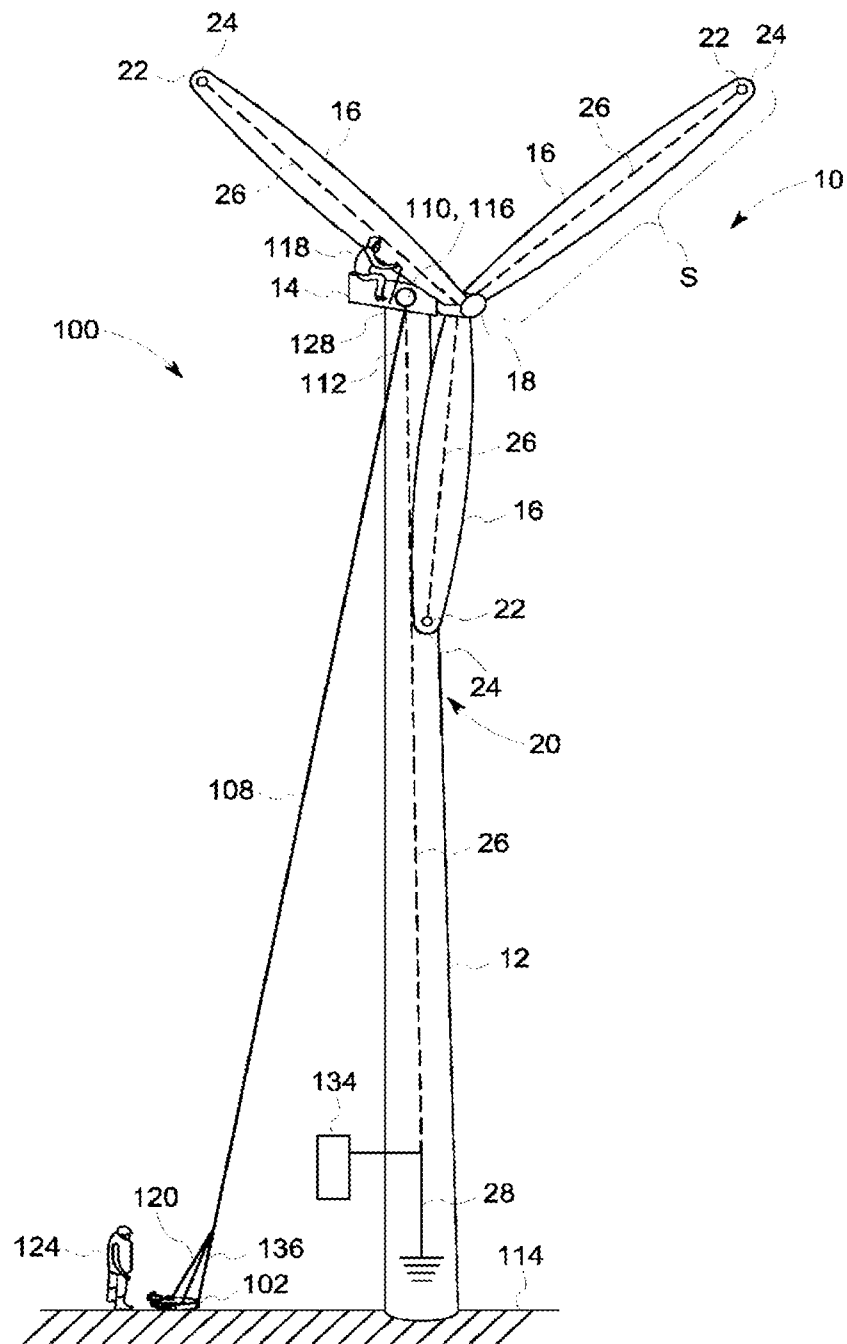


FIG. 1

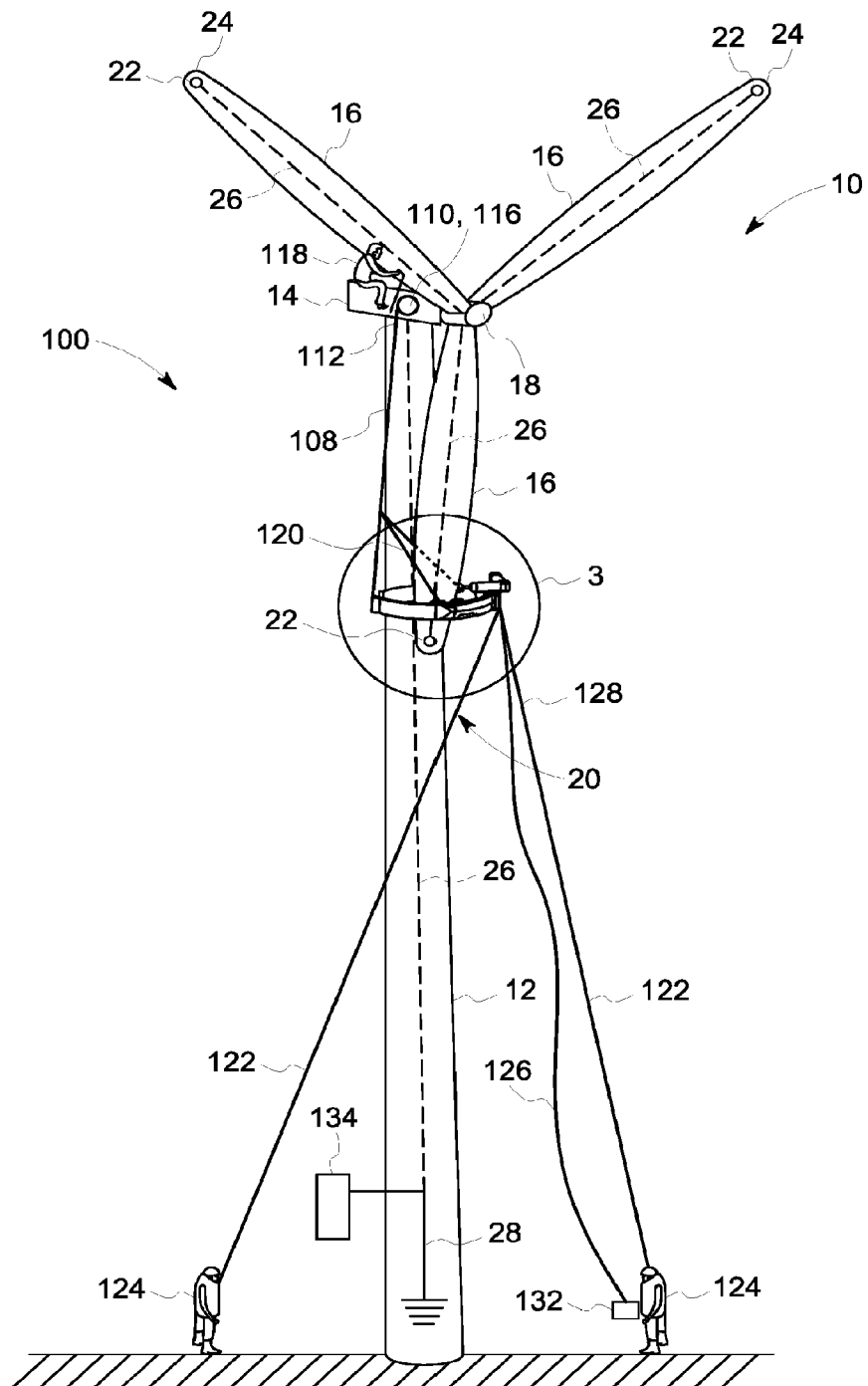


FIG. 2

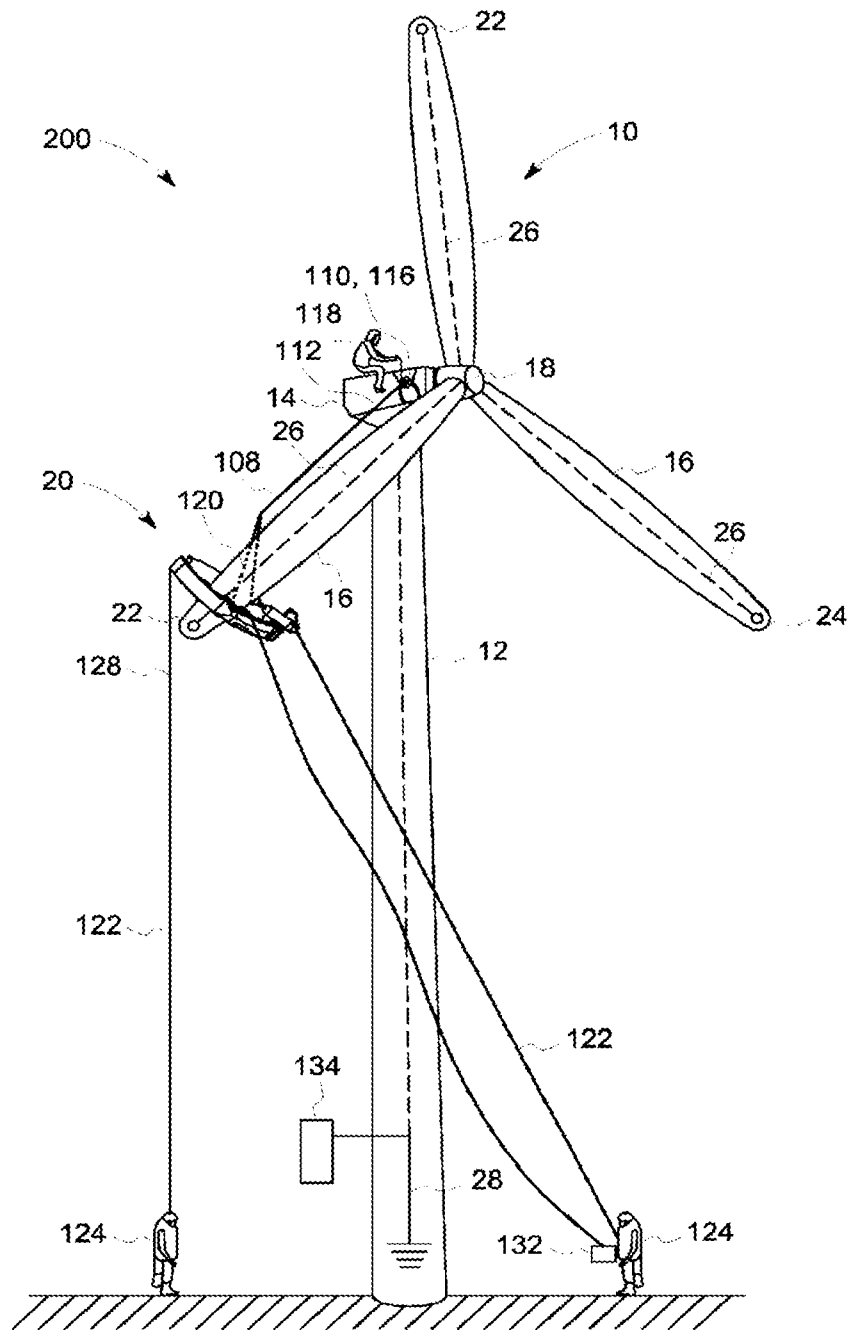


FIG. 3

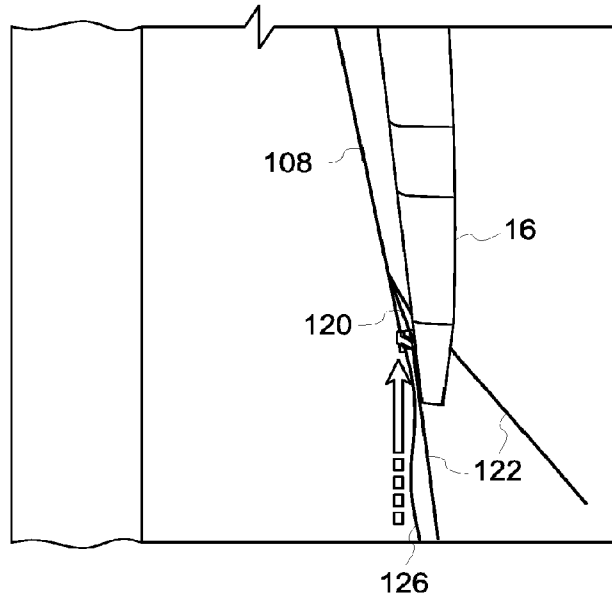


FIG. 4

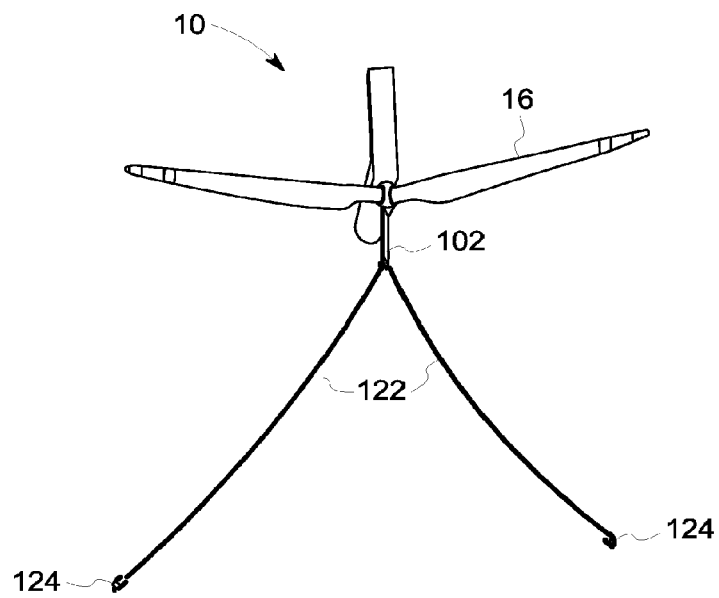


FIG. 5

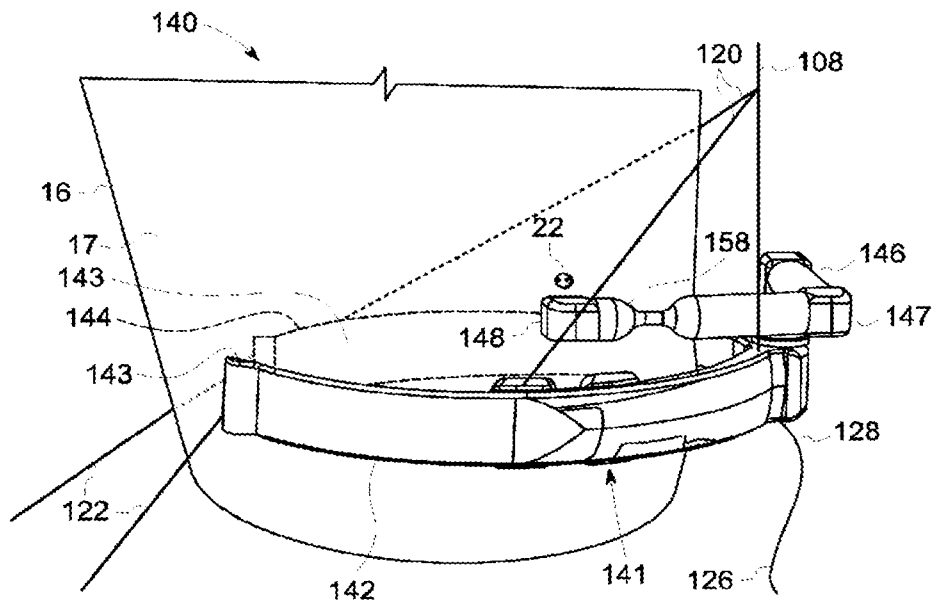


FIG. 6

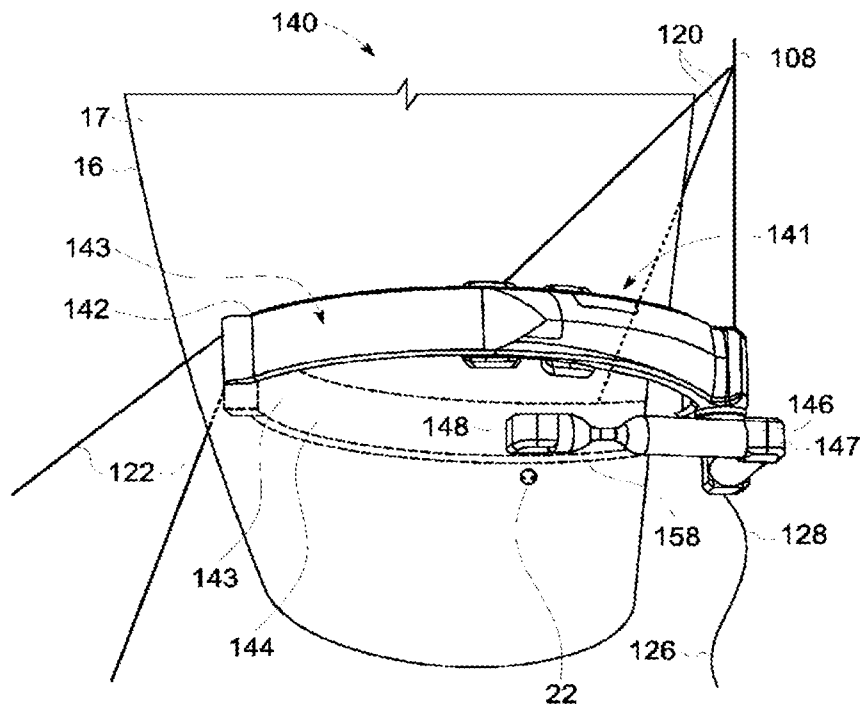


FIG. 7

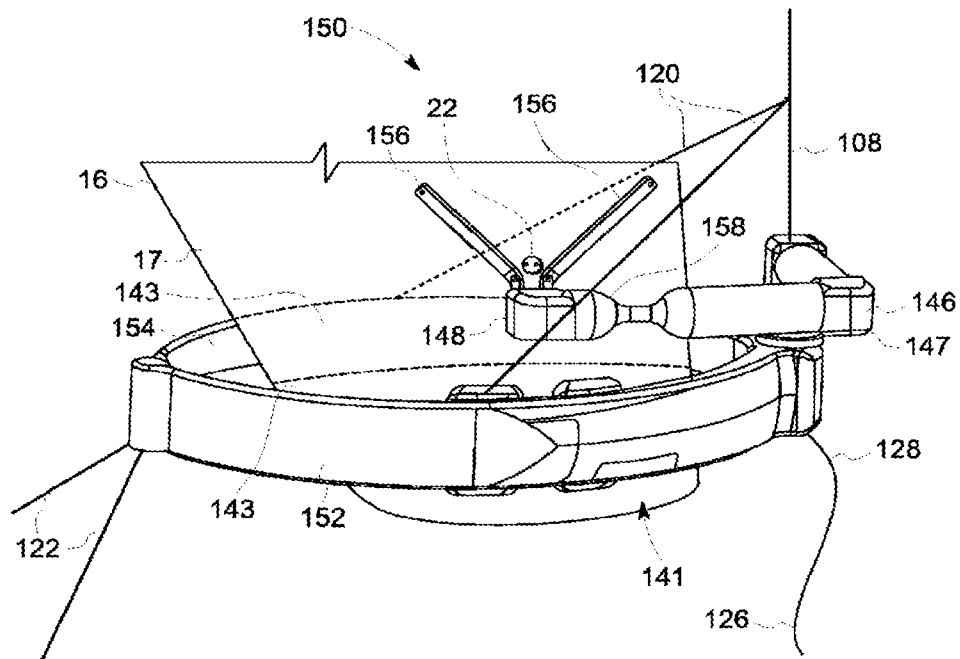


FIG. 8

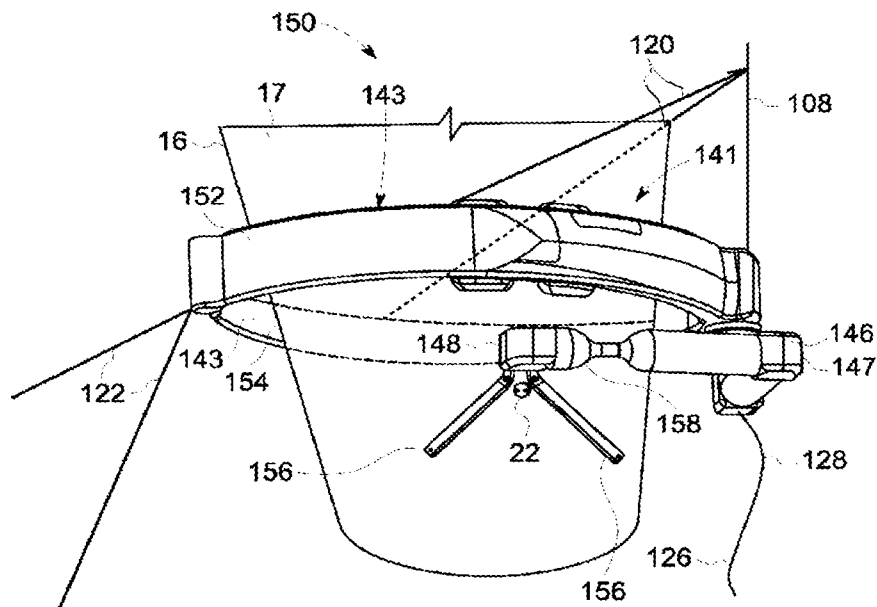


FIG. 9

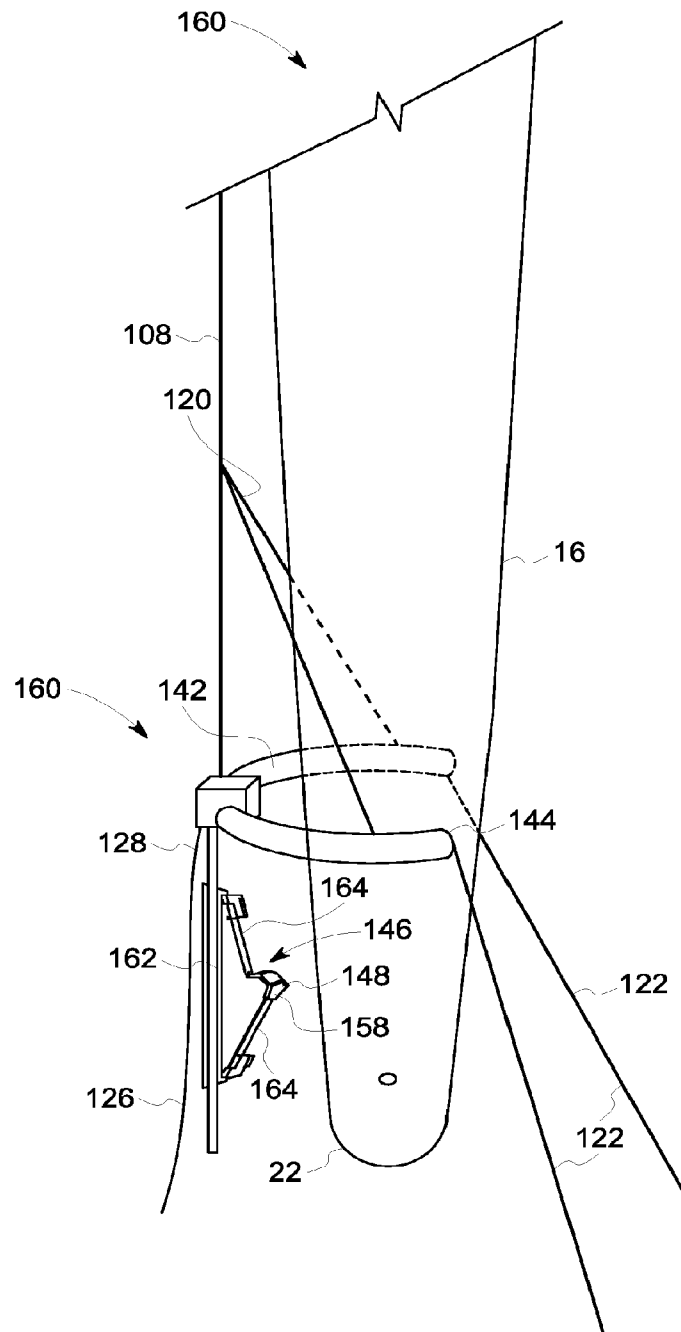


FIG. 10

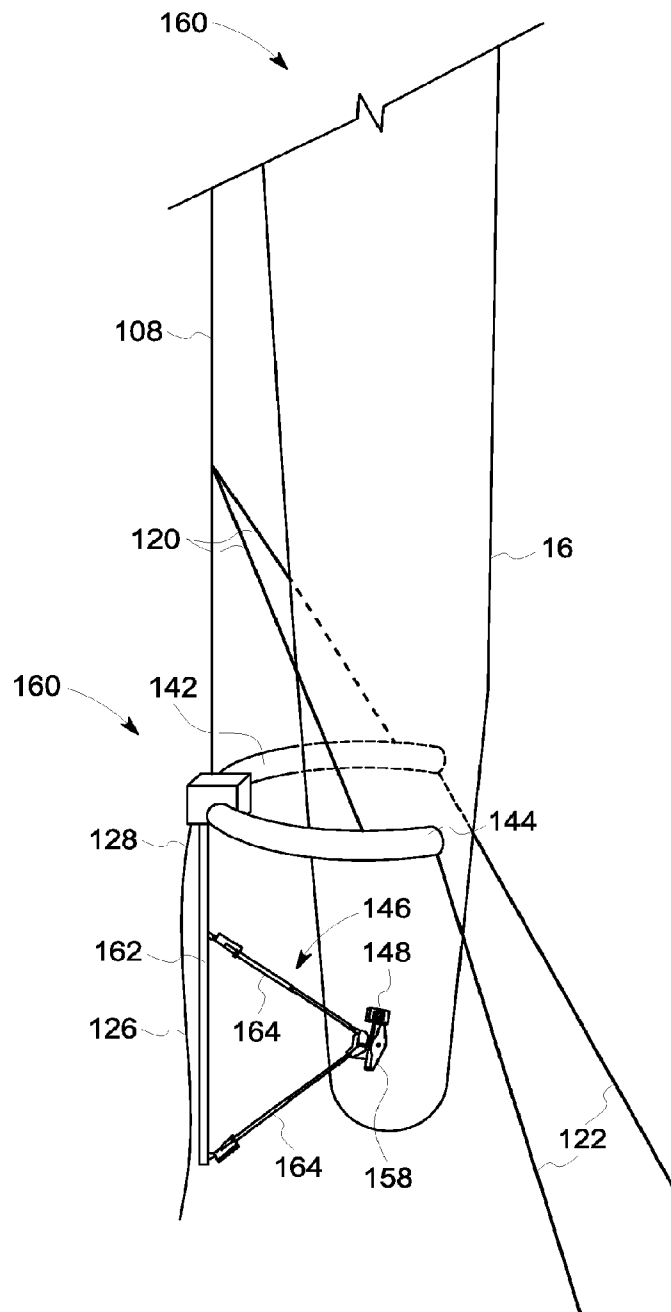


FIG. 11



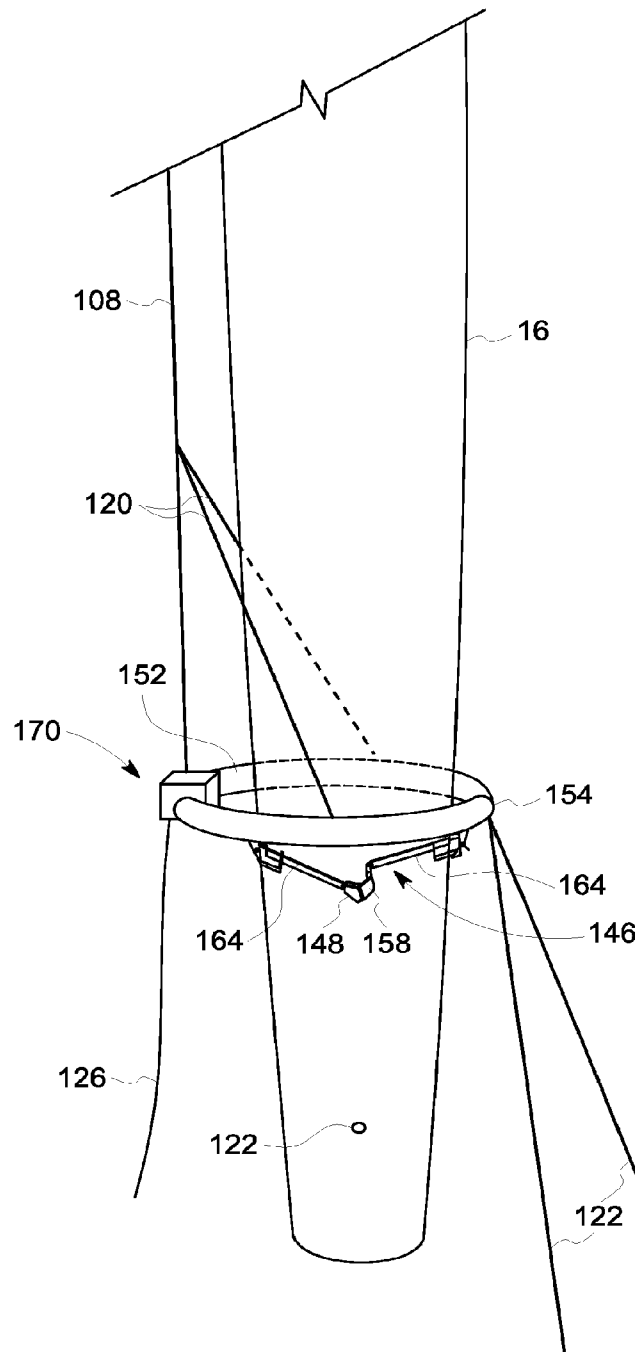


FIG. 12

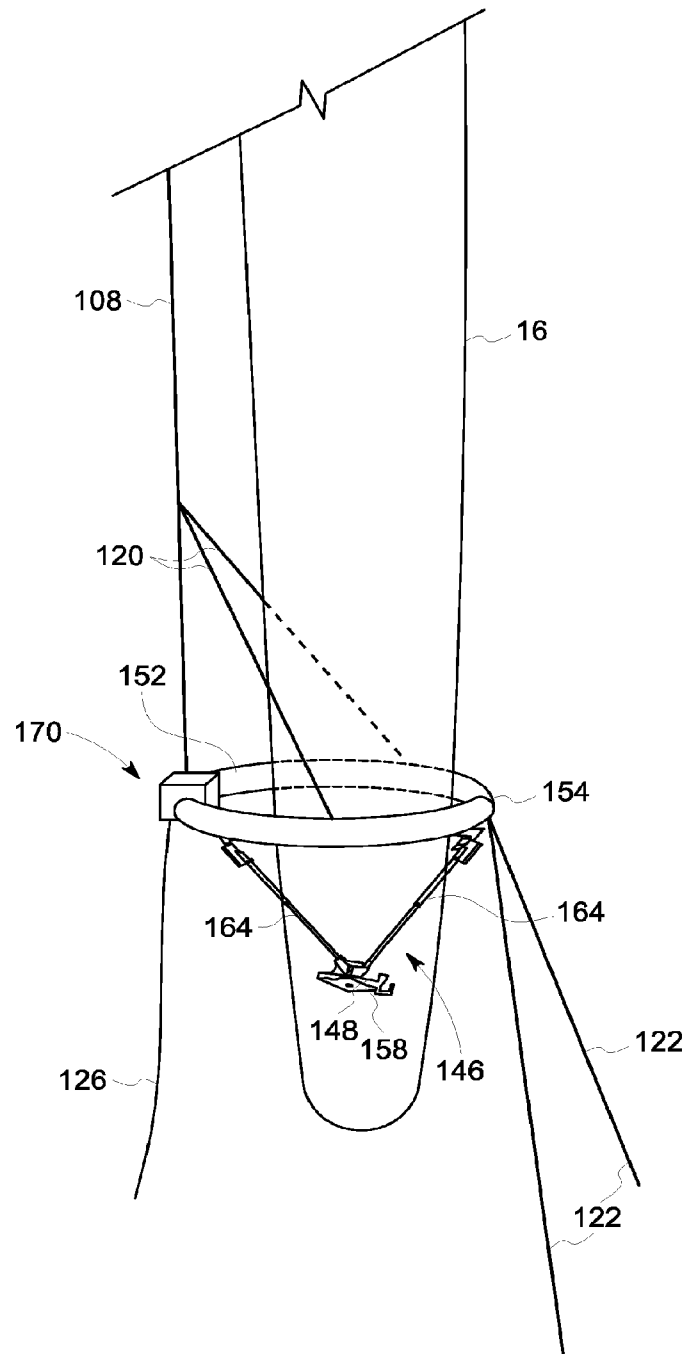


FIG. 13

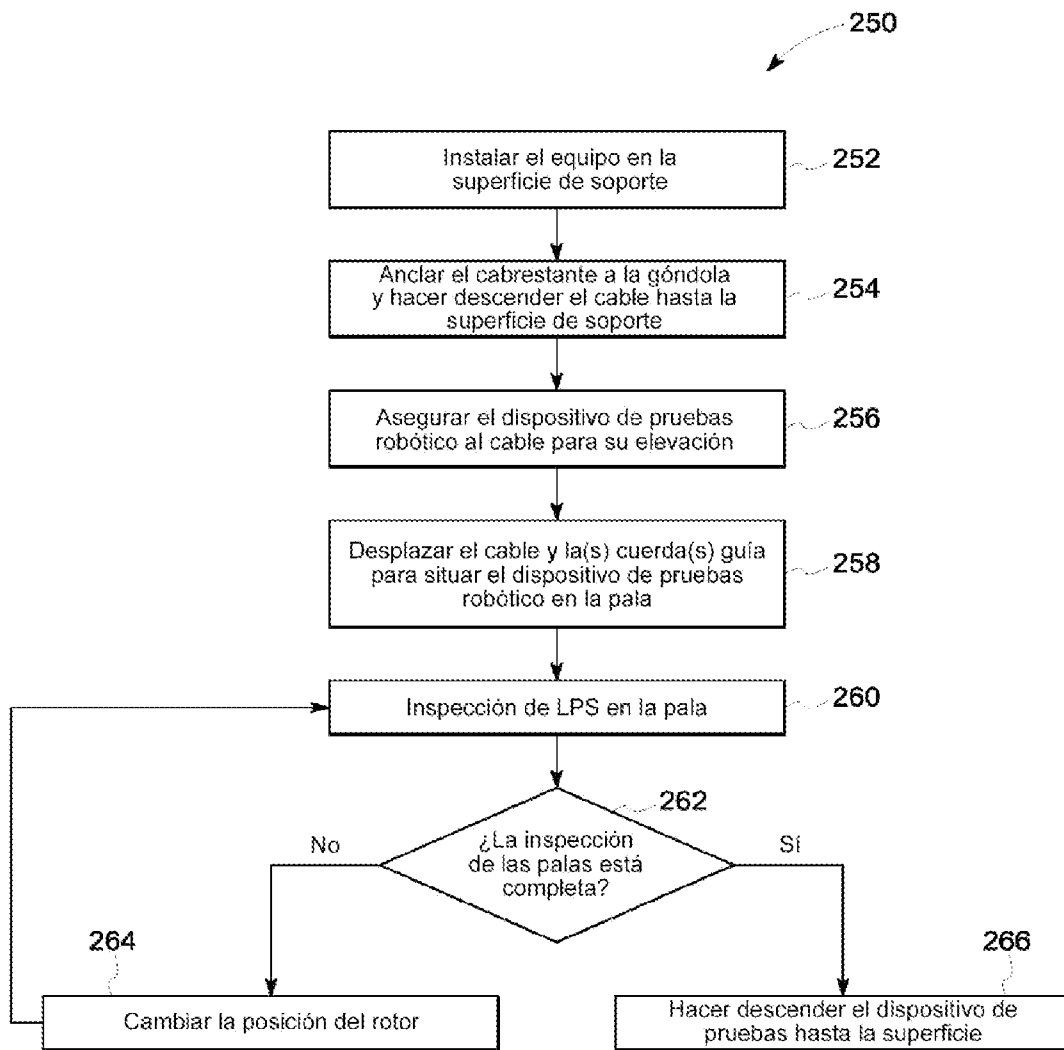


FIG. 14

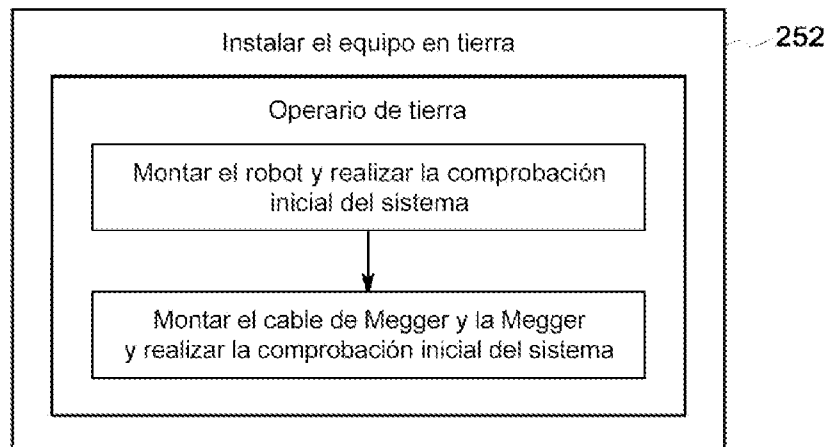


FIG. 15

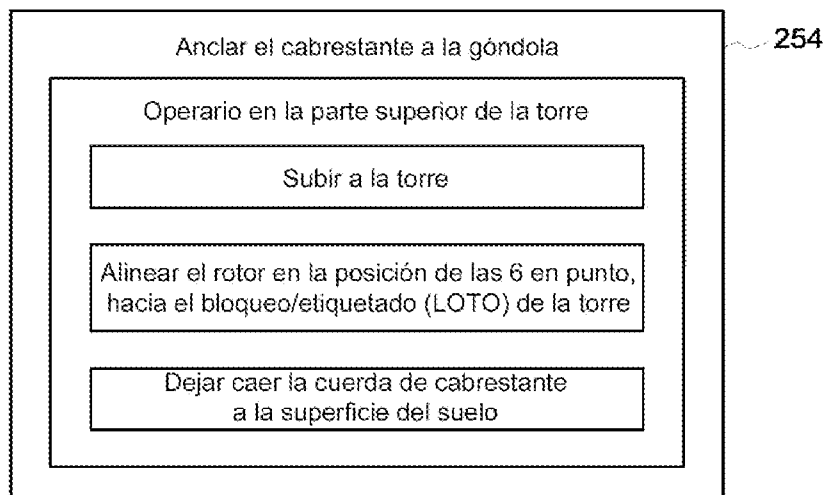


FIG. 16

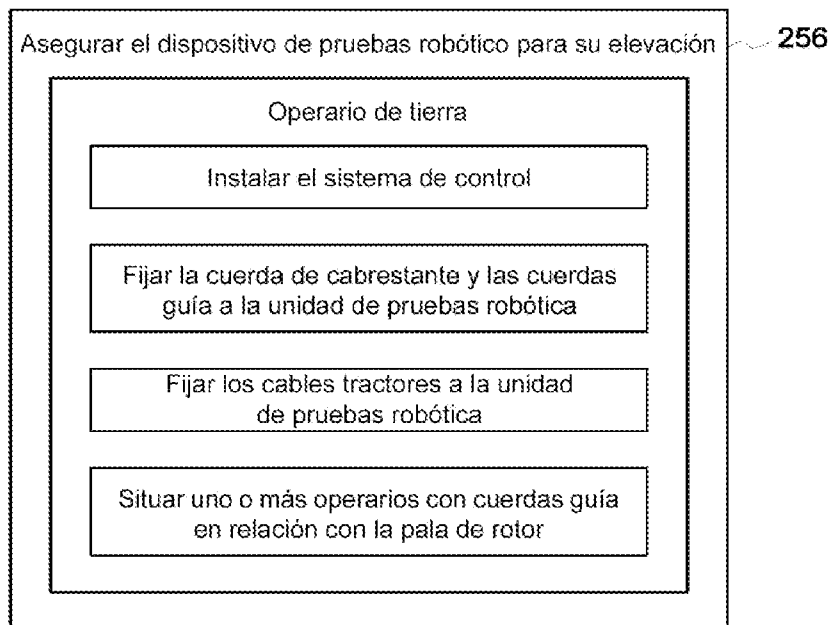


FIG. 17

258

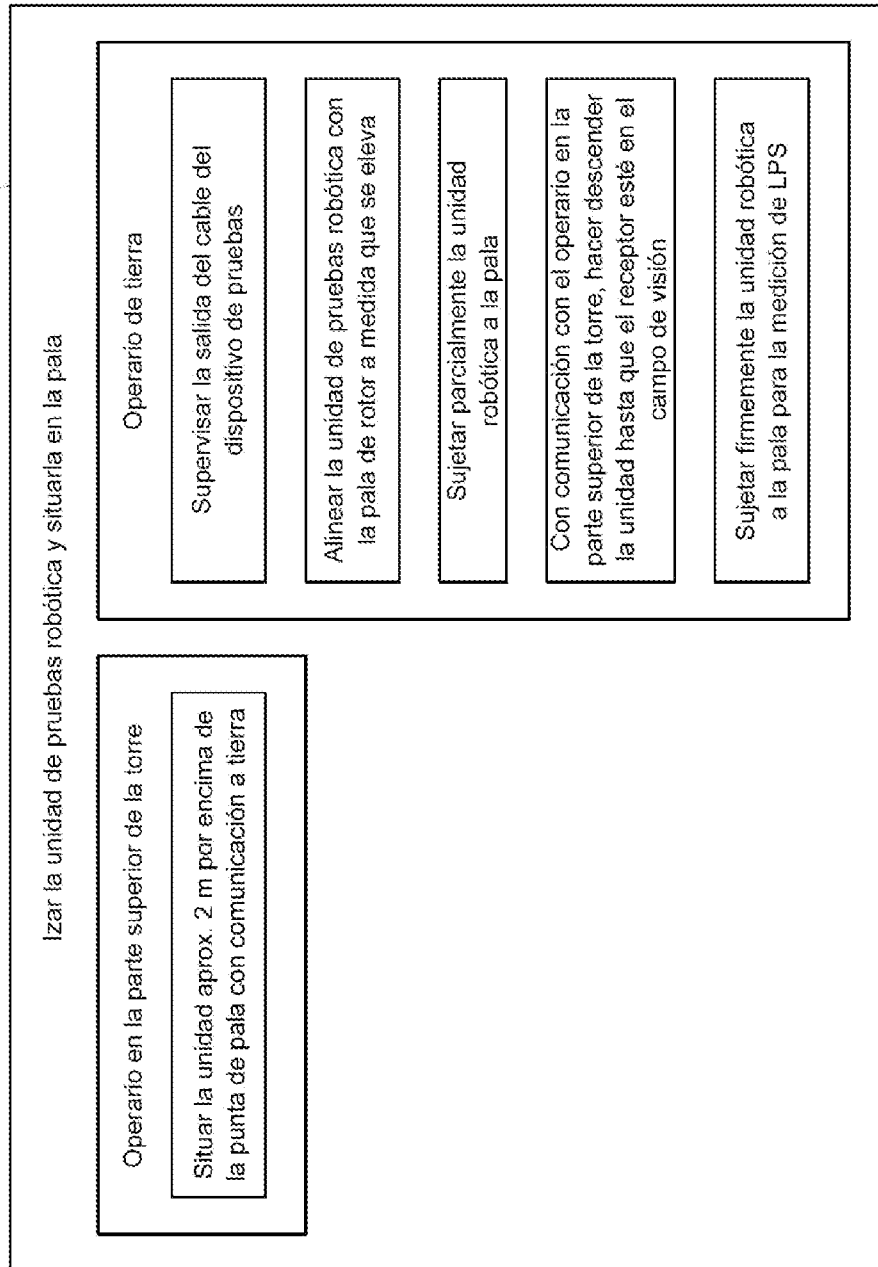


FIG. 18

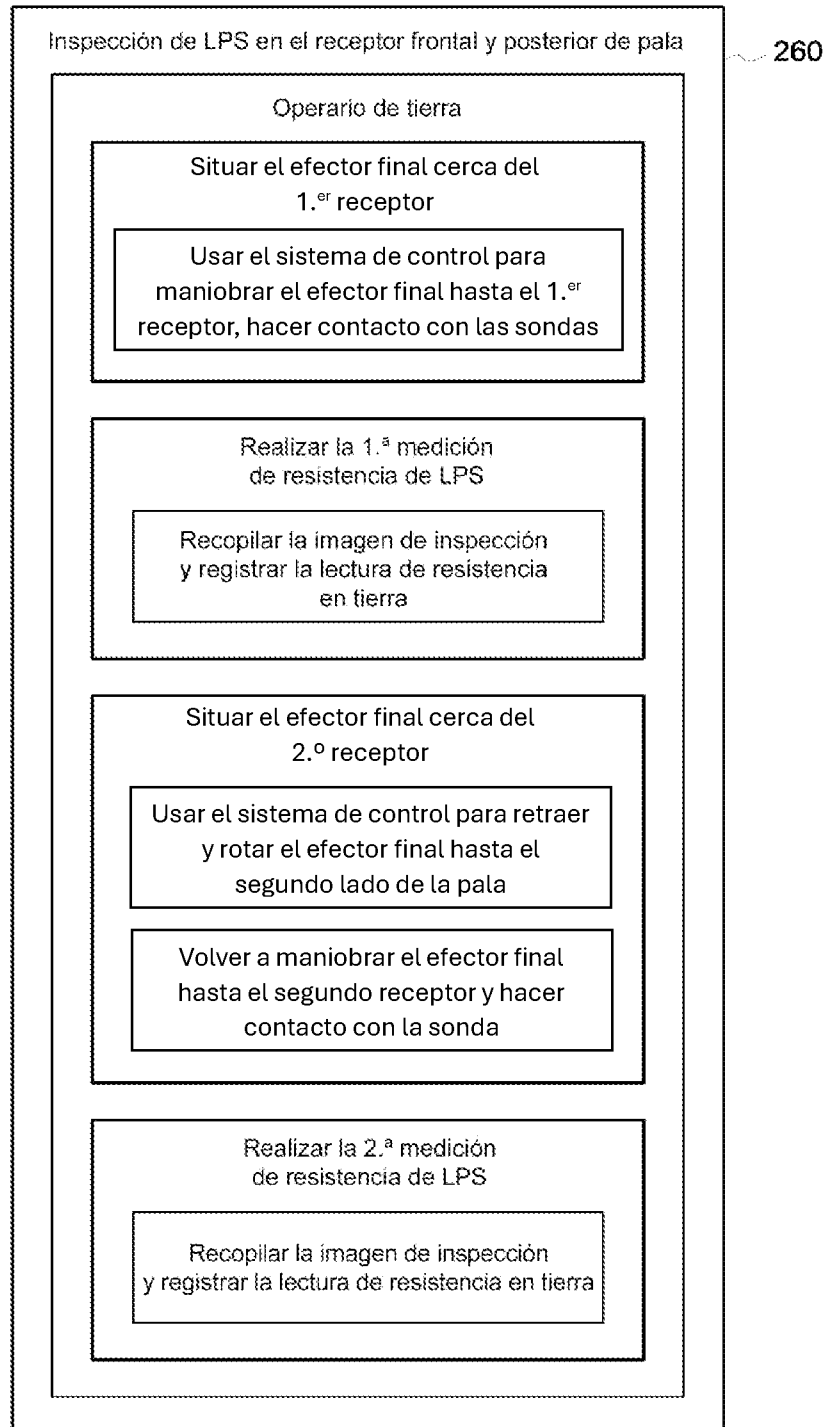


FIG. 19

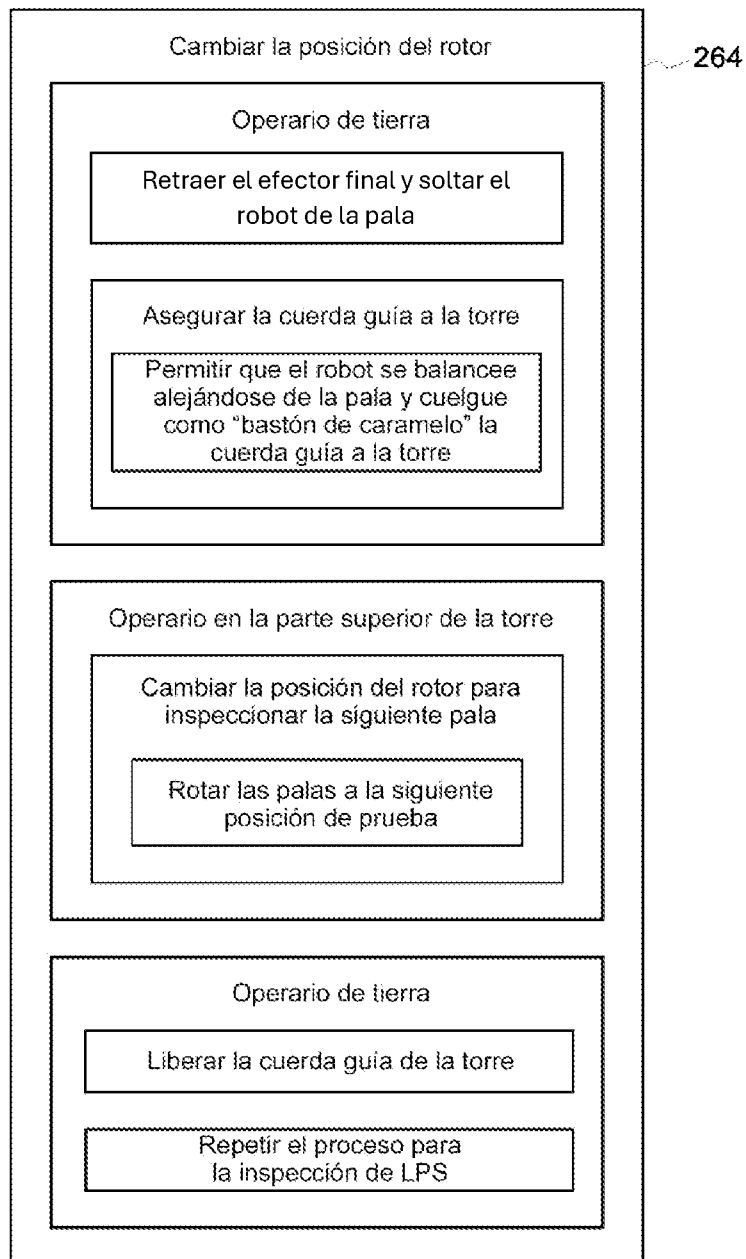


FIG. 20



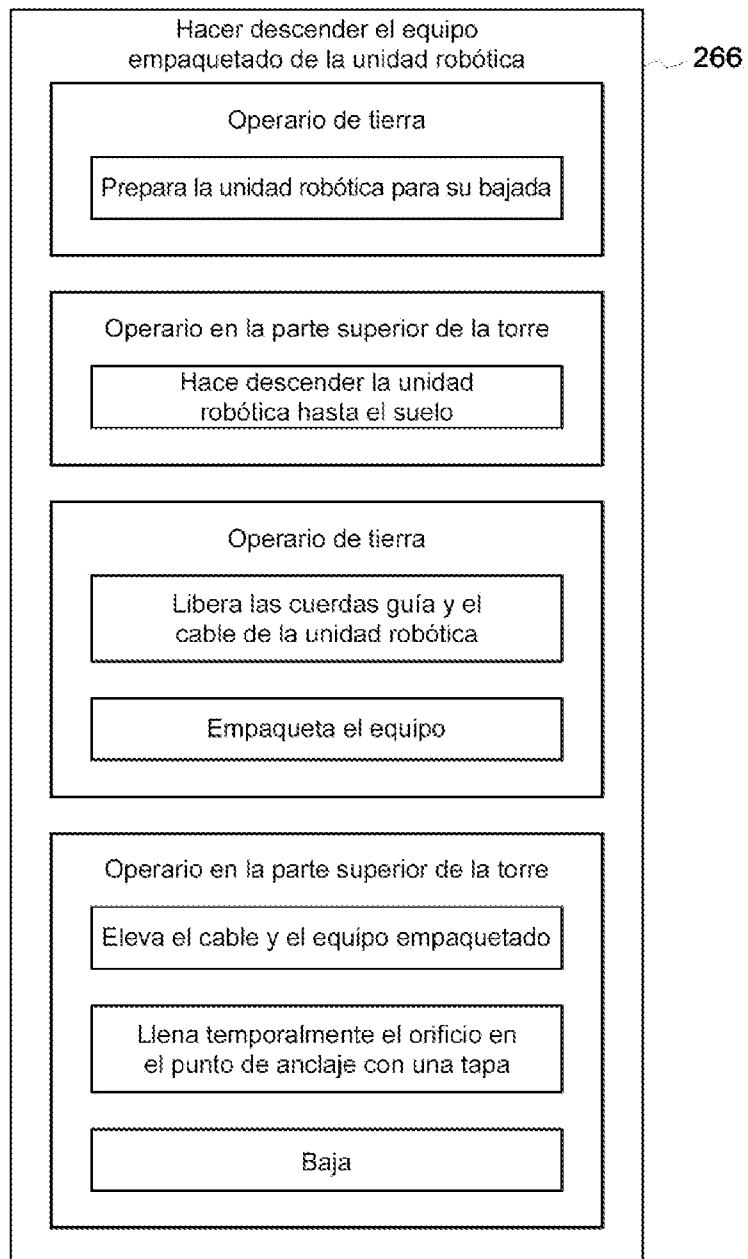


FIG. 21