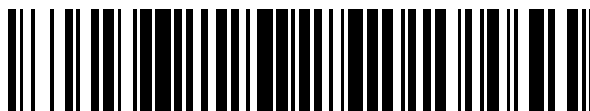


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 777 279**

51 Int. Cl.:

**F03D 13/20** (2006.01)

**F03D 13/10** (2006.01)

**B23P 19/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.10.2015** **E 15382535 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.12.2019** **EP 3163071**

54 Título: **Apriete automático de pernos**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**04.08.2020**

73 Titular/es:

**GE RENEWABLE TECHNOLOGIES WIND B.V.**  
**(100.0%)**  
**Bergschot 69/2**  
**4817 PA Breda, NL**

72 Inventor/es:

**LÁZARO, RICARDO y**  
**BATALLA, ARITZ**

74 Agente/Representante:

**FORTEA LAGUNA, Juan José**

**ES 2 777 279 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**

Apriete automático de pernos

5 **[0001]** La presente divulgación se refiere a un procedimiento para apretar (o tensar) un perno en una conexión empernada entre un anillo externo de un rodamiento de pitch y un buje o una pala de una turbina eólica, y a un sistema adecuado para realizar dicho procedimiento.

ANTECEDENTES

10 **[0002]** Las turbinas eólicas modernas se usan comúnmente para suministrar electricidad a la red eléctrica. Las turbinas eólicas comprenden, en general, un rotor con un buje de rotor y una pluralidad de palas. El rotor se pone en rotación bajo la influencia del viento en las palas. La rotación de un eje de rotor acciona un rotor del generador directamente ("accionado directamente") o mediante el uso de una caja de engranajes. La caja de engranajes (si está presente), el generador y otros sistemas se montan normalmente en una góndola en la parte superior de una torre de turbina eólica.

15 **[0003]** Una turbina eólica comprende una diversidad de elementos que pueden requerir la realización de operaciones de inspección y/o de mantenimiento en los mismos. Algunas o incluso la mayoría de dichas operaciones pueden ser obligatorias de acuerdo con las normativas nacionales e internacionales. Dependiendo del diseño de la turbina eólica, al menos algunas de las operaciones de mantenimiento deben realizarse en el exterior de la turbina eólica, lo que puede implicar serios riesgos para la salud del personal de mantenimiento.

20 **[0004]** Para minimizar estos riesgos, algunas turbinas eólicas comprenden elementos de seguridad, tales como, por ejemplo, barras protectoras, escaleras, repisas, etc. en el exterior de la turbina eólica. Los operadores de mantenimiento también pueden usar elementos de sujeción, tales como, por ejemplo, arneses, para evitar caídas peligrosas desde lugares elevados.

25 **[0005]** Las palas se acoplan, en general, al buje con un rodamiento de pitch en el medio a través de conexiones empernadas que comprenden una gran cantidad de pernos a los que solo se puede acceder desde el exterior. Normalmente es necesario volver a apretar y/o inspeccionar estos pernos externos y, por lo tanto, esto se realiza periódicamente.

30 **[0006]** Estas operaciones periódicas pueden ser costosas ya que pueden llevar mucho tiempo y pueden requerir la intervención de varios operadores.

35 **[0007]** Es un objeto de la presente divulgación proporcionar procedimientos y sistemas para apretar (o tensar) un perno en una conexión empernada entre un rodamiento de pitch y un buje o una pala de una turbina eólica, donde dichos procedimientos y sistemas reducen, al menos parcialmente, al menos uno de los inconvenientes mencionados anteriormente.

SUMARIO

40 **[0008]** En un primer aspecto, se proporciona un procedimiento para apretar un perno en una conexión empernada entre un anillo externo de un rodamiento de pitch y un buje o una pala de una turbina eólica. El rodamiento de pitch está comprendido en un sistema de pitch configurado para hacer rotar la pala a lo largo de un eje longitudinal de la pala.

45 **[0009]** El procedimiento comprende montar un soporte fijo en el buje o la pala o el anillo externo del rodamiento de pitch, y montar una herramienta automática de apriete en el soporte fijo. El procedimiento comprende además colocar la herramienta automática de apriete soportada y el perno entre sí en una posición de apriete del perno, y apretar (o tensar) automáticamente el perno mediante la herramienta automática de apriete posicionada.

50 **[0010]** Se pueden realizar varias iteraciones para colocar la herramienta automática de apriete soportada y apretar automáticamente el perno para (re)apretar una pluralidad de pernos en la conexión empernada.

55 **[0011]** En el presente documento, se entenderá que el perno a apretar (o tensar) también puede ser un espárrago con una tuerca roscada en el espárrago.

60 **[0012]** El procedimiento sugerido puede permitir un (re)apriete totalmente o casi totalmente automático de los pernos en la conexión empernada sin la intervención de seres humanos en posiciones externas potencialmente peligrosas de la turbina eólica. Por lo tanto, se evitan situaciones de riesgo para la salud del personal de mantenimiento. Además, este procedimiento de (re)apriete puede permitir reducir el coste de las operaciones de (re)apriete, ya que la necesidad de personal de mantenimiento y el tiempo de ejecución pueden reducirse significativamente.

65

- 5 **[0013]** Los procedimientos de la técnica anterior que requieren la presencia de personal de mantenimiento en puntos externos de la turbina eólica están sujetos a restricciones operativas. Por ejemplo, las tareas de mantenimiento solo se pueden llevar a cabo en caso de que se cumplan determinadas condiciones climáticas, como, por ejemplo, que la velocidad del viento esté por debajo de determinado umbral. Un aspecto adicional del procedimiento divulgado es que las operaciones de (re)apriete pueden llevarse a cabo casi independientemente de las condiciones climáticas, ya que no se requiere la intervención de seres humanos en el exterior de la turbina eólica. El documento EP2199605 divulga un procedimiento y un conjunto para sujetar tuercas en un cojinete de pala de rotor de una turbina eólica. Un conjunto de destornillador de tuercas está acoplado al anillo de cojinete interno y, mediante una operación de pitch, las tuercas de cojinete de pala de rotor pueden apretarse de manera semiautomática.
- 10 **[0014]** La herramienta automática de apriete se puede montar de forma extraíble en el soporte, de modo que se puede usar la misma herramienta automática de apriete para (re)apretar las conexiones empernadas de diferentes turbinas eólicas.
- 15 **[0015]** En algunos ejemplos, el soporte fijo puede comprender una guía, y la colocación de la herramienta automática de apriete soportada y del perno uno con respecto al otro (en la posición de apriete del perno) puede realizarse moviendo la herramienta automática de apriete a lo largo de la guía. La guía puede ser una guía anular, por ejemplo.
- 20 **[0016]** La guía anular puede montarse en el anillo externo del rodamiento de pitch o, de forma alternativa, en una región del buje o, de otra forma alternativa, en una región de raíz de la pala.
- 25 **[0017]** La configuración de la herramienta automática de apriete puede depender de dónde esté dispuesta la conexión empernada y dónde esté montada la guía anular. Por ejemplo, si los pernos que se van a (re)apretar están conectando el anillo externo del rodamiento de pitch al buje, la herramienta automática de apriete se puede configurar en función de que exista una distancia más larga entre la guía y los pernos en comparación con el caso en que la guía esté montada en el anillo externo del rodamiento de pitch. La herramienta automática de apriete puede requerir en el primer caso un brazo más largo que en el segundo caso, por ejemplo.
- 30 **[0018]** En algunas implementaciones, la herramienta automática de apriete puede moverse a lo largo de la guía (por ejemplo, anular) en función de un sistema de cremallera y piñón, un sistema de deslizamiento o un sistema basado en ruedas.
- 35 **[0019]** Como alternativa a que la guía y la herramienta automática de apriete se muevan (por ejemplo, mediante un sistema de accionamiento) a lo largo de la guía, la herramienta automática de apriete puede montarse de forma fija en el soporte. En este caso, la colocación de la herramienta automática de apriete soportada y del perno uno con respecto al otro (en la posición de apriete del perno) se puede realizar haciendo cabecear la pala a través del sistema de pitch. Un aspecto de esta configuración es que la guía y el sistema de accionamiento (para mover la herramienta automática de apriete a lo largo de la guía) no son necesarios, lo que puede hacer que el sistema en su conjunto sea más barato.
- 40 **[0020]** En algunos de los ejemplos basados en el pitch de la pala, la conexión empernada puede estar entre el anillo externo del rodamiento de pitch y el buje, y el soporte fijo puede estar montado en una región de raíz de la pala. En este caso, el funcionamiento del sistema de pitch puede hacer que la herramienta automática de apriete se mueva con respecto a los pernos que se van a (re)apretar.
- 45 **[0021]** De forma alternativa, la conexión empernada puede estar entre el anillo externo del rodamiento de pitch y la pala, y el soporte fijo puede estar montado en una región del buje. En este caso, el funcionamiento del sistema de pitch puede hacer que los pernos que se vayan a (re)apretar se muevan con respecto a la herramienta automática de apriete.
- 50 **[0022]** En algunos ejemplos, un dispositivo de captura de imágenes tal como, por ejemplo, una cámara, puede obtener una o más imágenes de al menos parte de la conexión empernada.
- 55 **[0023]** La herramienta automática de apriete y el perno pueden colocarse uno con respecto al otro dependiendo del resultado de procesar al menos algunas de las imágenes obtenidas. De forma alternativa, la posición angular del sistema de pitch o la distancia recorrida por la herramienta automática de apriete a lo largo de la guía puede controlarse adecuadamente en función de que se conozca la posición de los pernos y la distancia entre los mismos. Además, de forma alternativa, se puede implementar una combinación de ambos enfoques para proporcionar una mayor fiabilidad en la colocación de la herramienta automática de apriete y de los pernos uno con respecto al otro.
- 60 **[0024]** La herramienta automática de apriete puede comprender una llave dinamométrica móvil. Si el perno es un espárrago con una tuerca roscada en el espárrago, se puede apretar (o tensar) el perno tirando del espárrago mientras se aprieta la tuerca apropiadamente. Por lo tanto, la llave dinamométrica se puede adaptar para apretar (o tensar) indistintamente un perno convencional o una tuerca roscada en un espárrago.
- 65

**[0025]** Apretar automáticamente el perno con la herramienta automática de apriete puede comprender mover la llave dinamométrica para alcanzar el perno dependiendo del resultado de procesar al menos algunas de las imágenes obtenidas.

5 **[0026]** Apretar automáticamente el perno mediante la herramienta automática de apriete puede comprender además aplicar, mediante la llave dinamométrica, un par de rotación al perno para eliminar sustancialmente una distancia angular entre una primera marca y una segunda marca. Esta distancia angular se puede obtener dependiendo del resultado del procesamiento de al menos algunas de las imágenes obtenidas. La primera marca puede denotar una posición angular actual del perno y la segunda marca puede denotar una posición angular objetivo del perno.

10 **[0027]** Cualquiera de los procesamientos anteriores de al menos algunas de las imágenes obtenidas puede realizarse usando un procedimiento de visión por ordenador. De forma alternativa, dicho procesamiento puede realizarse mostrando las imágenes y obteniendo datos de entrada de un operador como resultado de una inspección visual realizada por el operador. De forma alternativa, la visión por ordenador y los enfoques de confirmación del operador pueden combinarse para hacer que el proceso de (re)apriete sea más fiable.

15 **[0028]** De forma alternativa a la cámara, las señales de sensores ópticos pueden procesarse de manera adecuada para determinar la colocación de la herramienta automática de apriete y del perno uno con respecto al otro, y/o para determinar el movimiento que se debe generar en la llave dinamométrica móvil, y/o para determinar la distancia angular entre la primera y la segunda marca.

20 **[0029]** En un segundo aspecto, se proporcionan sistemas para apretar un perno en una conexión empernada entre un anillo externo de un rodamiento de pitch y un buje o una pala de una turbina eólica, estando configurados dichos sistemas para realizar cualquiera de los procedimientos anteriores. Las ventajas y fundamentos comentados con respecto a los procedimientos de apriete propuestos también se aplican a estos sistemas, por lo que no se proporcionarán más consideraciones a este respecto.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

30 **[0030]** A continuación se describirán ejemplos no limitantes de la presente divulgación, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La figura 1 es una representación esquemática de una región de una turbina eólica que comprende conexiones empernadas con pernos que pueden (re)apretarse mediante ejemplos de los procedimientos y sistemas divulgados en el presente documento.

35 Las figuras 2a y 2b son vistas parciales esquemáticas en sección transversal de las conexiones empernadas respectivas entre un anillo externo de un rodamiento de pitch y un buje y una pala de una turbina eólica, y ejemplos respectivos de un sistema de apriete para apretar los pernos en dichas conexiones.

40 Las figuras 3a y 3b son vistas parciales esquemáticas de una guía y una herramienta automática de apriete que se puede mover a lo largo de la guía a través de un sistema basado en ruedas de acuerdo con ejemplos.

45 La figura 3c es una vista parcial esquemática de un anillo externo de un rodamiento de pitch junto con una guía y una herramienta automática de apriete que puede moverse a lo largo de la guía de acuerdo con ejemplos.

50 La figura 4a es una vista en perspectiva esquemática de una plataforma que puede moverse a lo largo de una guía por medio de un sistema basado en ruedas, siendo dicha plataforma parte de una herramienta automática de apriete de acuerdo con ejemplos.

La figura 4b es una vista esquemática en perspectiva de una herramienta automática de apriete que incluye una plataforma similar a la de la figura 4a.

55 La figura 5a es una vista esquemática en perspectiva de los anillos interno y externo de un rodamiento de pitch y de una guía de cremallera y piñón a través de la cual una herramienta automática de apriete puede moverse a lo largo de la guía, de acuerdo con ejemplos.

La figura 5b es una vista ampliada de una parte del sistema de cremallera y piñón de la figura 5a.

60 Las figuras 6a y 6b son vistas parciales esquemáticas en sección transversal de las conexiones respectivas entre un anillo externo de un rodamiento de pitch y un buje y una pala de una turbina eólica, y ejemplos adicionales respectivos de un sistema de apriete para apretar los pernos en dichas conexiones.

#### DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LOS EJEMPLOS

65

**[0031]** La figura 1 es una representación esquemática de una región de un ejemplo de una turbina eólica que comprende conexiones emperradas 104, 105 con pernos que pueden (re)apretarse mediante ejemplos de procedimientos y sistemas divulgados en el presente documento. En particular, se muestra un buje 100 con tres palas 101 - 103 montadas en el mismo. La conexión emperrada 104 se muestra entre el buje 100 y la pala 103, y la conexión emperrada 105 se muestra entre el buje 100 y la pala 101.

**[0032]** Los pernos en ambas conexiones emperradas 104, 105 deben inspeccionarse y reapretarse (si es necesario) desde el exterior, lo que puede implicar ciertos riesgos para la salud de los operadores de mantenimiento. Ejemplos de un sistema para (re)apretar o (re)tensar los pernos, tales como, por ejemplo, cualquiera de los analizados en otras partes de la descripción, pueden usarse para (re)apretar los pernos automáticamente sin necesidad de intervención de seres humanos en posiciones de riesgo. Dependiendo, por ejemplo, de cómo se acoplan las palas 101 - 103 al buje 100, el sistema de apriete puede configurarse para tener su herramienta automática de apriete dispuesta cerca de los pernos en una región de buje 106, o en una región de rodamiento de pitch 108, o en una región de raíz de pala 107, que se describirá con referencia a otras figuras.

**[0033]** Las figuras 2a y 2b son vistas parciales esquemáticas en sección transversal de conexiones respectivas entre un buje 207 y una pala 202 (de una turbina eólica) con un rodamiento de pitch 204, 205 en el medio, y ejemplos respectivos de un sistema de apriete 200, 201 para apretar pernos 206 en dichas conexiones. En ambas figuras, la pala 202 se muestra emperrada a través de los pernos 203 a un anillo interno 204 del rodamiento de pitch, y un anillo externo 205 del rodamiento de pitch se muestra emperrado a través de los pernos 206 al buje 207. Se muestra que la cabeza de los pernos 203 es accesible desde el interior, por lo que pueden (re)apretarse usando un procedimiento/dispositivo convencional. Por el contrario, solo se puede acceder a la cabeza de los pernos 206 desde el exterior, por lo que pueden (re)apretarse automáticamente mediante cualquiera de los sistemas de apriete 200, 201 propuestos en el presente documento.

**[0034]** En ambas figuras 2a y 2b, se muestra el sistema de apriete 200, 201 que comprende una herramienta automática de apriete y un soporte en forma de guía 209, 214. La herramienta automática de apriete puede comprender una plataforma 218, 219, un brazo 208, 213, una llave dinamométrica 212, 217 y una cámara 211, 216. La plataforma 218, 219 puede estar acoplada a la guía 209, 214 y puede tener la función principal de soportar el brazo 208, 213. La llave dinamométrica 212, 217 para (re)apretar o (re)tensar el/los perno(s) 206 puede acoplarse a un extremo superior del brazo 208, 213. La herramienta automática de apriete se puede acoplar a la guía 209, 214 a través de un sistema basado en ruedas 210, 215 de modo que la herramienta automática de apriete se pueda mover a lo largo de la guía 209, 214. Se muestra un eje que conecta las ruedas 210, 215 del sistema basado en ruedas.

**[0035]** Las ruedas 210, 215 pueden estar configuradas para ejercer una cierta presión/fricción en las superficies internas de la guía 209, 214, de modo que la rotación de las ruedas provoca el movimiento del sistema basado en ruedas y, por lo tanto, de la herramienta automática de apriete a lo largo la guía 209, 214.

**[0036]** En el caso particular de la figura 2a, la guía 209 se muestra montada en el anillo externo 205 del rodamiento de pitch y que tiene una abertura lateral por la cual la plataforma 218 accede al interior de la guía 209. El eje entre las ruedas 210 se muestra acoplado de forma giratoria a una región de extremo de la plataforma 218 en el interior de la guía 209.

**[0037]** En la configuración particular de la figura 2b, la guía 214 se muestra montada en el buje 207 y tiene una abertura superior por la cual el eje que conecta las ruedas 215 sobresale de la guía 214. El eje entre las ruedas 215 se muestra acoplado de forma giratoria a una región inferior de la plataforma 219 en el exterior de la guía 214.

**[0038]** Se puede configurar un accionamiento dedicado (no mostrado) para conducir la herramienta automática de apriete a lo largo de la guía 209, 214 de modo que la herramienta automática de apriete pueda "desplazarse" a lo largo de la conexión emperrada 206 desde un perno a otro. La llave dinamométrica 212, 217 puede configurarse para (re)apretar los pernos visitados 206 a lo largo de la trayectoria seguida por la herramienta automática de apriete a través de la guía. El brazo 208, 213 puede moverse con, por ejemplo, grados de libertad longitudinales y rotacionales de tal manera que la llave dinamométrica 212, 217 pueda disponerse adecuadamente para aplicar el par de rotación requerido a los pernos visitados 206.

**[0039]** La cámara 211, 216 puede ser móvil y funcionar para obtener una o más imágenes del perno 206 y sus alrededores.

**[0040]** La(s) imagen(es) obtenida(s) se puede(n) usar para determinar la posición real del perno 206 de modo que la llave dinamométrica 212, 217 se pueda mover en consecuencia. La posición real del perno 206 puede determinarse procesando la(s) imagen(es) obtenida(s) mediante un procedimiento de visión por ordenador. De forma alternativa, la posición real del perno 206 puede determinarse mostrando la(s) imagen(es) obtenida(s) y obteniendo datos de entrada de un operador con datos espaciales resultantes de la inspección visual por parte del operador. De forma alternativa, el uso de un procedimiento de visión por ordenador y de los datos espaciales de un operador puede combinarse para una mayor fiabilidad.

- 5 [0041] La(s) imagen/imágenes se puede(n) obtener antes o después de la aplicación (mediante la llave dinamométrica 212, 217) del par de rotación al perno 206. Cuando se obtiene antes de la aplicación del par de rotación, la(s) imagen/imágenes puede(n) procesarse (por ejemplo, mediante un procedimiento de visión por ordenador) para calcular la cantidad de rotación que se causará al perno 206. Cuando se obtiene después de la aplicación del par de rotación, la(s) imagen/imágenes puede(n) procesarse (por ejemplo, mediante un procedimiento de visión por ordenador) para verificar que el perno 206 se haya apretado/vuelto a apretar con éxito.
- 10 [0042] En algunos ejemplos particulares, se pueden obtener imágenes antes y después de la aplicación del par de rotación para calcular la cantidad de rotación y confirmar el (re)apriete exitoso, respectivamente. Un aspecto de esta característica es que el procedimiento de (re)apriete puede ser más fiable.
- 15 [0043] En procedimientos alternativos, las imágenes obtenidas pueden mostrarse en una pantalla para que un operador determine la cantidad de rotación que se causará al perno y/o para confirmar que el perno se ha (re)apretado con éxito. Además, se pueden obtener datos de entrada del usuario para generar y enviar señales adecuadas a la herramienta automática de apriete de acuerdo con la cantidad de rotación determinada y/o la confirmación de un (re)apriete exitoso.
- 20 [0044] El cálculo de la cantidad de rotación y/o la verificación del (re)apriete exitoso se puede realizar en base a una primera marca que denota una posición angular actual del perno y una segunda marca que denota una posición angular objetivo del perno. La cantidad de rotación puede calcularse en base a una distancia angular entre la primera y la segunda marca. La confirmación de un (re)apriete exitoso puede determinarse dependiendo de si la primera y la segunda marca son sustancialmente coincidentes o están sustancialmente alineadas, por ejemplo.
- 25 [0045] La primera y la segunda marca pueden crearse en el perno 206 y sus alrededores una vez que se haya completado el primer apriete (o apriete inicial) del perno de acuerdo con los requisitos de apriete. Una vez que se considera que el perno 206 se ha apretado apropiadamente por primera vez, la primera marca y la segunda marca pueden crearse en el perno y en sus alrededores, respectivamente, en posiciones sustancialmente coincidentes o alineadas.
- 30 [0046] Se puede usar un sistema hidráulico para realizar al menos algunas de las funciones de movimiento anteriores. Por ejemplo, el brazo 208, 213 y la llave dinamométrica 212, 217 pueden accionarse en base a una fuerza hidráulica producida por dicho sistema hidráulico.
- 35 [0047] Se puede configurar una unidad de control (no mostrada) para generar señales adecuadas para hacer funcionar al menos algunos de los sistemas o subsistemas anteriores (por ejemplo, el accionador, la llave dinamométrica 212, 217, el brazo 208, 213, la cámara, etc.) de acuerdo con las funcionalidades descritas previamente.
- 40 [0048] Las figuras 3a y 3b son vistas parciales esquemáticas de una guía y una herramienta automática de apriete que se puede mover a lo largo de la guía a través de un sistema basado en ruedas de acuerdo con ejemplos. En particular, la figura 3a muestra una vista esquemática en sección transversal de una guía 300, una plataforma de soporte 305 y un sistema basado en ruedas 301 - 303 similar a la guía 209, la plataforma 218 y el sistema basado en ruedas 210 de la figura 2a, respectivamente. Se muestra que la guía 300 puede tener una abertura lateral 304 por la cual la plataforma 305 penetra en el interior de la guía 300. Las ruedas 301, 303 pueden estar conectadas mediante un eje 302, y una región de extremo de la plataforma 305 puede estar acoplada de manera rotativa al eje 302. La figura 3b muestra una vista en perspectiva de la misma configuración de la figura 3a.
- 45 [0049] La figura 3c es una vista parcial esquemática de un anillo externo 306 de un rodamiento de pitch junto con una guía 300 y una herramienta automática de apriete que puede moverse a lo largo de la guía 300 de acuerdo con ejemplos. Algunos pernos 307 de una conexión empernada se representan junto con una herramienta automática de apriete que se puede usar para (re)apretar automáticamente los pernos 307. La herramienta automática de apriete se muestra con una configuración que incluye una plataforma 305, un brazo 309 y una llave dinamométrica 308 similar a otras configuraciones descritas con respecto a otras figuras (véanse, por ejemplo, las figuras 2a, 3a, 3b). La guía 300 se puede atornillar al anillo externo 306 del rodamiento de pitch.
- 50 [0050] La figura 4a es una vista esquemática en perspectiva de una plataforma que puede incluirse en una herramienta automática de apriete de acuerdo con ejemplos. La plataforma puede comprender una base 400 y dos elementos sobresalientes 401, 402 en los extremos longitudinales respectivos de la base 400. Estos elementos 401, 402 pueden tener la función de proteger los elementos o sistemas (por ejemplo, cámara, sistema de llave dinamométrica, etc.) que pueden montarse en la base 400.
- 55 [0051] También se muestra un sistema basado en ruedas ensamblado con la plataforma. El sistema basado en ruedas puede comprender primeras ruedas 403, 405 conectadas por un primer eje 404 y segundas ruedas 406, 408 conectadas por un segundo eje 407. La base 400 puede comprender un primer orificio 410 a través del cual el primer eje 404 puede pasar de tal manera que se implemente un acoplamiento giratorio de las primeras ruedas 403, 405 y el eje 404 con la base 400. La base 400 puede comprender además un segundo orificio 409 a través del cual el segundo
- 60
- 65

eje 407 puede pasar de tal manera que se forme un acoplamiento giratorio de las segundas ruedas 406, 408 y el eje 407 con la base 400.

**[0052]** La figura 4b es una vista esquemática en perspectiva de una herramienta automática de apriete que incluye una plataforma 400 similar a la de la figura 4a. En este ejemplo, una cámara 412 con brazo de soporte 411 y un sistema de llave dinamométrica 415 están montados en la base 400. La cámara 412 con el brazo 411 y el sistema de llave dinamométrica 415 pueden configurarse de la misma manera o de una manera similar a la descrita con respecto a al menos algunas de las figuras anteriores. El sistema de llave dinamométrica 415 puede comprender un extremo de llave 414 con una abertura conformada y dimensionada de tal manera que una cabeza de perno encaje en la misma, y puede configurarse con un grado de libertad longitudinal 417 y un grado de libertad rotacional 416. Las conexiones hidráulicas 413 pueden tener la función de transmitir una fuerza hidráulica para provocar un movimiento en el grado de libertad rotacional y/o longitudinal 416, 417. La fuerza hidráulica también puede transmitirse al extremo de llave 414 para producir el par de rotación correspondiente.

**[0053]** Una vez que la herramienta automática de apriete se ha colocado cerca de un perno para (re)apretarse, se puede generar un movimiento en los grados de libertad rotacional y/o longitudinal 416, 417 para provocar el ajuste de la cabeza de perno en la apertura del extremo de llave 414. Una vez que se ha logrado dicho ajuste, el extremo de llave 414 puede accionarse (hidráulicamente) para ejercer un par de rotación requerido en la cabeza de perno con el objetivo de (re)apretar o (re)tensor el perno con éxito.

**[0054]** El par de rotación requerido que debe ejercerse se puede calcular de antemano a partir de una imagen del perno y sus alrededores tomada por la cámara 412. Una primera marca en la cabeza de perno y una segunda marca en los alrededores de la cabeza de perno se pueden usar como referencia para calcular una distancia angular entre las mismas. La primera marca puede denotar una posición angular actual del perno, y la segunda marca puede denotar una posición angular objetivo del perno. La distancia angular entre la primera y la segunda marca puede calcularse automáticamente usando un procedimiento de visión por ordenador, o puede calcularse de manera no automática por un operador al inspeccionar visualmente la imagen, o puede calcularse combinando enfoques automáticos y no automáticos. La distancia angular calculada entre la primera y la segunda marca se puede usar para determinar el par de rotación que se aplicará al perno.

**[0055]** De forma alternativa, se puede aplicar un par predefinido y, después, se puede verificar si el perno se ha (re)apretado con éxito a partir de una imagen tomada por la cámara 412, de acuerdo con, por ejemplo, los principios anteriores basados en la primera y segunda marcas. Se pueden realizar varias iteraciones para ejercer un par predefinido y verificar si el perno se ha (re)apretado correctamente hasta que dicha verificación produzca un resultado positivo. De forma alternativa, se puede usar una combinación de ambos enfoques, es decir, tomar una imagen antes y después de la aplicación del par de rotación.

**[0056]** La figura 5a es una vista esquemática en perspectiva de los anillos interno y externo 500, 501 de un rodamiento de pitch y de una guía en forma de sistema de cremallera y piñón 502, 503 a través del cual una herramienta automática de apriete puede moverse a lo largo de una guía, de acuerdo con ejemplos. La figura 5b es una vista ampliada de una parte del sistema de cremallera y piñón de la figura 5a. Un engranaje circular o piñón 503 puede engancharse a los dientes de una barra de engranaje o cremallera anular o semianular 502. El movimiento de rotación aplicado al piñón 503 hace que el piñón 503 se mueva con relación a la cremallera 502, convirtiendo así el movimiento de rotación del piñón 503 en un desplazamiento del piñón 503 a lo largo de la cremallera 502.

**[0057]** En aras de la simplicidad, la figura 5a muestra una cremallera semianular 502 montada en una superficie externa del anillo externo 501 del rodamiento de pitch, y un único piñón 503. Sin embargo, dos cremalleras semianulares iguales o similares a la cremallera 502, o más de dos segmentos de cremallera anulares, pueden montarse en la superficie externa del anillo externo 501 del rodamiento de pitch para formar una cremallera anular completa. Se puede usar una pluralidad de piñones 503 para formar un sistema de cremallera y piñón más fiable.

**[0058]** Se podría formar una configuración similar a, por ejemplo, el sistema basado en ruedas de la figura 4a de acuerdo con el enfoque de cremallera y piñón (o enganche de dientes) en lugar de que las ruedas ejerzan presión/fricción en las paredes internas de una guía compatible. Por lo tanto, un sistema de apriete podría comprender un sistema de cremallera y piñón que tenga dos primeros piñones conectados por un primer eje y dos segundos piñones conectados por un segundo eje. El primer y el segundo piñón pueden estar conectados por el primer y el segundo eje, respectivamente, en puntos de conexión correspondientes 506.

**[0059]** De manera similar a la propuesta de la figura 4a, el primer y segundo conjuntos de piñones y eje pueden estar acoplados de manera giratoria a una base de soporte, donde los ejes pasan a través de agujeros correspondientes de la base de soporte. La guía de cremallera 502 se puede atornillar al anillo externo 501 del rodamiento de pitch en orificios de tornillo correspondientes 504, 505.

**[0060]** La herramienta automática de apriete puede ser autopropulsada, y se puede configurar un sistema de recuperación para recuperar la herramienta automática de apriete en caso de mal funcionamiento de autopropulsión.

El sistema de recuperación puede comprender un cable configurado para ser tirado para arrastrar la herramienta automática de apriete hasta una posición en la que un operador pueda acceder a la herramienta automática de apriete.

5 **[0061]** En cualquiera de los ejemplos basados en una guía y una herramienta automática de apriete que puede moverse a lo largo de la guía, la herramienta automática de apriete puede ser impulsada, por ejemplo, por motores eléctricos alimentados por baterías o alimentados a través de cables.

10 **[0062]** Se puede configurar una herramienta de limpieza para limpiar la guía. Esta herramienta de limpieza puede comprender, por ejemplo, cepillos y/o elementos similares, y puede hacerse funcionar para limpiar la guía automáticamente, por ejemplo. Se pueden proporcionar señales de control desde una unidad de control a la herramienta de limpieza destinada a ese fin. De forma alternativa, la herramienta de limpieza puede comprender un cable configurado para ser tirado para arrastrar los cepillos a lo largo de la guía.

15 **[0063]** La guía puede estar permanentemente acoplada al buje, o al anillo externo del rodamiento de pitch, o a la raíz de pala, y puede estar hecha de aluminio para evitar su oxidación.

20 **[0064]** Cuando la guía es una guía de cremallera (de un sistema de cremallera y piñón), la herramienta automática de apriete puede incluir un sistema de lubricación configurado para lubricar la guía de cremallera (cuando sea necesario) durante el movimiento de la herramienta de apriete a lo largo de la cremallera.

**[0065]** Las figuras 6a y 6b son vistas parciales esquemáticas en sección transversal de las conexiones respectivas entre un buje 604 y una pala 600 (de una turbina eólica) con un rodamiento de pitch 602, 603 en el medio, y ejemplos respectivos adicionales de un sistema de apriete para los pernos de apriete 601, 609 en dichas conexiones.

25 **[0066]** De acuerdo con la figura 6a, la pala 600 y un anillo externo 602 de un rodamiento de pitch pueden estar acoplados entre sí a través de pernos 601 cuya cabeza es accesible desde el exterior. Además, un anillo interno 603 del rodamiento de pitch puede estar acoplado al buje 604 a través de pernos 605 que no son accesibles desde el exterior. Teniendo en cuenta esta configuración particular de buje-pala, una herramienta automática de apriete 608 con una llave dinamométrica 607 se puede acoplar de forma fija (es decir, no móvil) al buje a través de un soporte adecuado 606. Un sistema de pitch de la pala 600 (que comprende el rodamiento de pitch 602, 603) puede hacerse funcionar de tal manera que los pernos 601 se puedan colocar al alcance de la herramienta automática de apriete 607, 608. Cuando un perno 601 está al alcance de la herramienta automática de apriete 607, 608, puede hacerse funcionar para (re)apretar automáticamente el perno 601.

35 **[0067]** De acuerdo con la figura 6b, la pala 600 y un anillo interno 603 de un rodamiento de pitch pueden estar acoplados entre sí a través de pernos 610 cuya cabeza no es accesible desde el exterior. Además, un anillo externo 602 del rodamiento de pitch puede estar acoplado al buje 604 a través de pernos 609 que son accesibles desde el exterior. Teniendo en cuenta esta configuración particular de buje-pala, una herramienta automática de apriete 608 con una llave dinamométrica 607 se puede acoplar de forma fija (es decir, no móvil) a la pala 600 a través de un soporte adecuado 606. Un sistema de pitch de la pala 600 (que comprende el rodamiento de pitch 602, 603) puede hacerse funcionar de tal manera que la herramienta automática de apriete 607, 608 se mueva a lo largo de los pernos 609 que conectan el anillo externo 602 del rodamiento de pitch y el buje 604. Cuando un perno 609 está al alcance de la herramienta automática de apriete 607, 608, puede hacerse funcionar para (re)apretar automáticamente el perno 609.

45 **[0068]** En cualquiera de las figuras 6a y 6b, el sistema de apriete automático 607, 608 puede comprender además una cámara (no mostrada) destinada a capturar una o más imágenes del perno que se va a (re)apretar y de sus alrededores. Consideraciones similares a las realizadas con respecto a la cámara de, por ejemplo, las figuras 2a y 2b pueden aplicarse a los ejemplos de las figuras 6a y 6b. La llave dinamométrica 607 puede moverse a través de un brazo asociado de una manera similar a la descrita con referencia, por ejemplo, a las figuras 2a y 2b. Las funciones de movilidad de, por ejemplo, la cámara, la llave dinamométrica 607, etc., pueden implementarse mediante un sistema hidráulico similar al descrito con referencia a las figuras 2a y 2b, por ejemplo. Una unidad de control (no mostrada) puede configurarse para generar señales de control para hacer funcionar adecuadamente la cámara, la llave dinamométrica 607 y el brazo asociado, etc., por ejemplo. La unidad de control puede configurarse (programarse) para actuar conjuntamente con el sistema de pitch de la turbina eólica de acuerdo con las funcionalidades descritas basadas en el pitch de la pala.

50 **[0069]** En cualquiera de los ejemplos divulgados, la herramienta de (re)apriete puede comprender un brazo de reacción configurado para reaccionar contra un elemento fijo/rígido (por ejemplo, pernos vecinos) para soportar el par de torsión durante el (re)apriete. Sin embargo, en ejemplos alternativos, esta función podría realizarse frenando las ruedas, piñones, etc. en configuraciones que comprenden una guía y un acoplamiento móvil de la herramienta de apriete con la guía.

65 **[0070]** La herramienta automática de apriete puede configurarse para que sea razonablemente ligera (con, por ejemplo, un peso de entre 15 y 20 kg) para facilitar el transporte de la herramienta por parte de un operador y su acoplamiento al soporte (por ejemplo, guía). En ejemplos particulares, la herramienta automática de apriete puede



diseñarse y fabricarse como un kit de piezas montables (por ejemplo, cuerpo principal, herramienta de par de torsión, ruedas, ejes, etc.). Un aspecto de esta característica puede ser que se facilita el transporte de la herramienta automática de apriete por parte de un operador, ya que las piezas más ligeras se pueden transportar por separado a la ubicación del soporte (por ejemplo, la guía) y se pueden montar allí.

- 5 **[0071]** El alcance de la presente divulgación no debe limitarse a los ejemplos particulares, sino que debe determinarse solamente con una lectura imparcial de las reivindicaciones siguientes.

**REIVINDICACIONES**

- 5 **1.** Un procedimiento para apretar un perno en una conexión empernada (104, 105) entre un anillo externo (205; 306; 501; 602) de un rodamiento de pitch y un buje (100; 207; 604) o una pala (101 - 103; 202; 600) de una turbina eólica, en el que el rodamiento de pitch está comprendido en un sistema de pitch configurado para hacer girar la pala a lo largo de un eje longitudinal de la pala; comprendiendo el procedimiento
- 10 montar un soporte fijo (209, 214; 300, 305; 400; 502, 503; 606) en el buje o la pala, o en el anillo externo del rodamiento de pitch, en cuyo caso dicho montaje comprende montar una guía (209; 214; 300; 502) en el anillo externo del rodamiento de pitch;
- 15 montar una herramienta automática de apriete (208, 212; 213, 217; 308, 309; 405; 607, 608) al soporte fijo;
- colocar la herramienta automática de apriete soportada y el perno uno con respecto al otro en una posición de apriete del perno, donde si el soporte fijo se ha montado en el anillo externo del rodamiento de pitch, dicha colocación se realiza moviendo la herramienta automática de apriete a lo largo de la guía (209; 214; 300; 502); y
- 20 apretar automáticamente el perno con la herramienta automática de apriete colocada.
- 25 **2.** Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que la herramienta automática de apriete está montada de forma fija en el soporte; y en el que
- la colocación de la herramienta automática de apriete soportada y del perno uno con respecto al otro en la posición de apriete del perno se realiza haciendo cabecear la pala a través del sistema de pitch.
- 30 **3.** Un procedimiento según la reivindicación 2, en el que la conexión empernada está entre el anillo externo (602) del rodamiento de pitch y el buje (604); y en el que el soporte fijo (606) está montado en una región de raíz de la pala (600).
- 35 **4.** Un procedimiento según la reivindicación 2, en el que la conexión empernada está entre el anillo externo (602) del rodamiento de pitch y la pala (600); y en el que el soporte fijo está montado en una región de buje (604).
- 5.** Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que el soporte fijo comprende una guía (209; 214; 300; 502); y en el que la colocación de la herramienta automática de apriete soportada y del perno uno con respecto al otro en la posición de apriete del perno se realiza moviendo la herramienta automática de apriete a lo largo de la guía (209; 214; 300; 502).
- 40 **6.** Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende además obtener, mediante un dispositivo de captura de imágenes (211; 216; 412), una o más imágenes de al menos parte de la conexión empernada.
- 45 **7.** Un procedimiento según la reivindicación 6, en el que la herramienta automática de apriete y el perno se colocan uno con respecto al otro dependiendo del resultado del procesamiento de al menos algunas de las imágenes obtenidas.
- 50 **8.** Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 6 o 7, en el que la herramienta automática de apriete comprende una llave dinamométrica móvil (212; 217); y en el que
- apretar automáticamente el tornillo mediante la herramienta automática de apriete comprende mover la llave dinamométrica (212; 217) para llegar al perno dependiendo del resultado del procesamiento de al menos algunas de las imágenes obtenidas.
- 55 **9.** Un procedimiento según la reivindicación 8, en el que apretar automáticamente el perno mediante la herramienta automática de apriete comprende
- 60 aplicar, mediante la llave dinamométrica, un par de rotación al perno para eliminar sustancialmente una distancia angular entre una primera marca y una segunda marca dependiendo del resultado de procesar al menos algunas de las imágenes obtenidas; donde
- la primera marca denota una posición angular actual del perno y la segunda marca denota una posición angular objetivo del perno.
- 65 **10.** Un sistema para apretar un perno en una conexión empernada (104, 105) entre un anillo externo (205; 306; 501; 602) de un rodamiento de pitch y un buje (100; 207; 604) o una pala (101 - 103; 202; 600) de una turbina eólica, en el

que el rodamiento de pitch está comprendido en un sistema de pitch configurado para hacer girar la pala a lo largo de un eje longitudinal de la pala; comprendiendo el sistema

5 un soporte fijo (209, 214; 300, 305; 400; 502, 503; 606) configurado para montarse en el buje o la pala, o en el anillo externo del rodamiento de pitch, en cuyo caso el soporte fijo comprende una guía (209; 214; 300; 502) que puede montarse en el anillo externo del rodamiento de pitch;

10 una herramienta automática de apriete (208, 212; 213, 217; 308, 309; 405; 607, 608) configurada para montarse en el soporte fijo y configurada para apretar automáticamente el perno; y

15 un sistema de colocación configurado para colocar la herramienta automática de apriete y el perno uno con respecto al otro en una posición de apriete del perno, donde si el soporte fijo se puede montar en el anillo externo del rodamiento de pitch, dicho sistema de colocación está configurado para realizar dicha colocación moviendo la herramienta automática de apriete a lo largo de la guía (209; 214; 300; 502).

20 **11.** Un sistema según la reivindicación 10, en el que la herramienta automática de apriete comprende una llave dinamométrica móvil (212; 217).

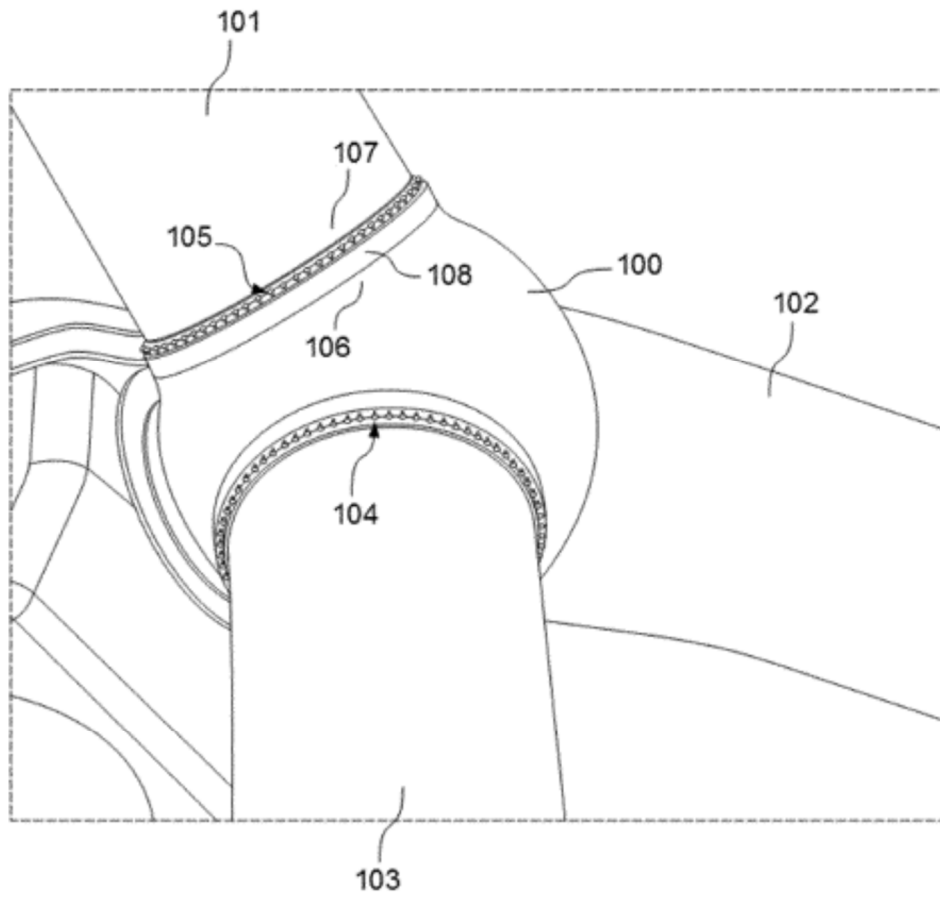
**12.** Un sistema según cualquiera de las reivindicaciones 10 u 11, en el que la herramienta automática de apriete está configurada para montarse de forma fija en el soporte fijo; y en el que el sistema de colocación comprende el sistema de pitch.

25 **13.** Un sistema según cualquiera de las reivindicaciones 10 u 11, en el que el soporte fijo comprende una guía anular (209; 214; 300; 502) configurada para montarse en el anillo externo del rodamiento de pitch, o en el buje, o en una región de raíz de la pala.

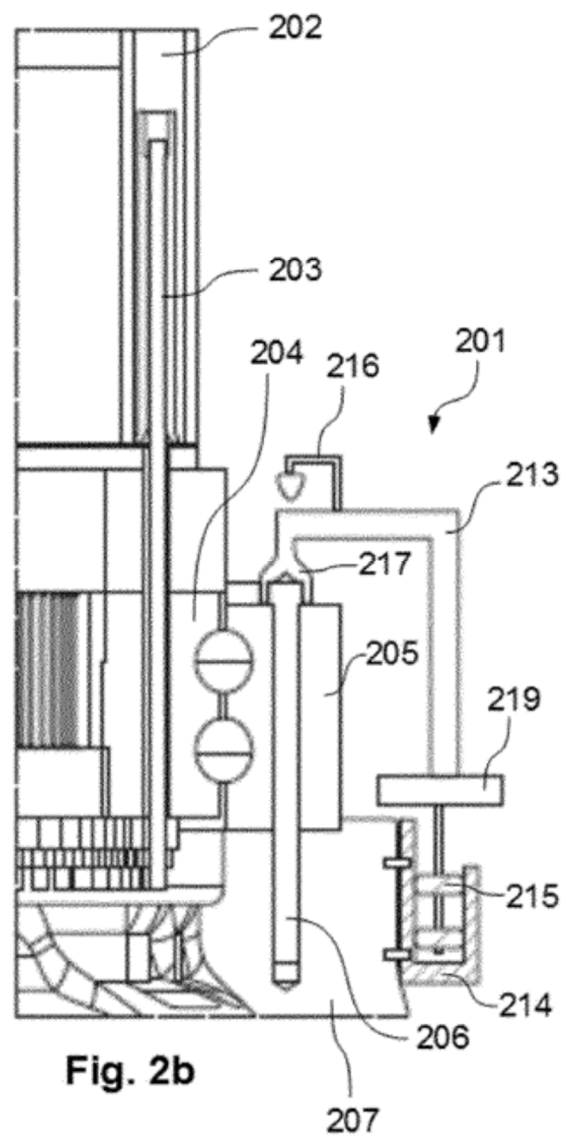
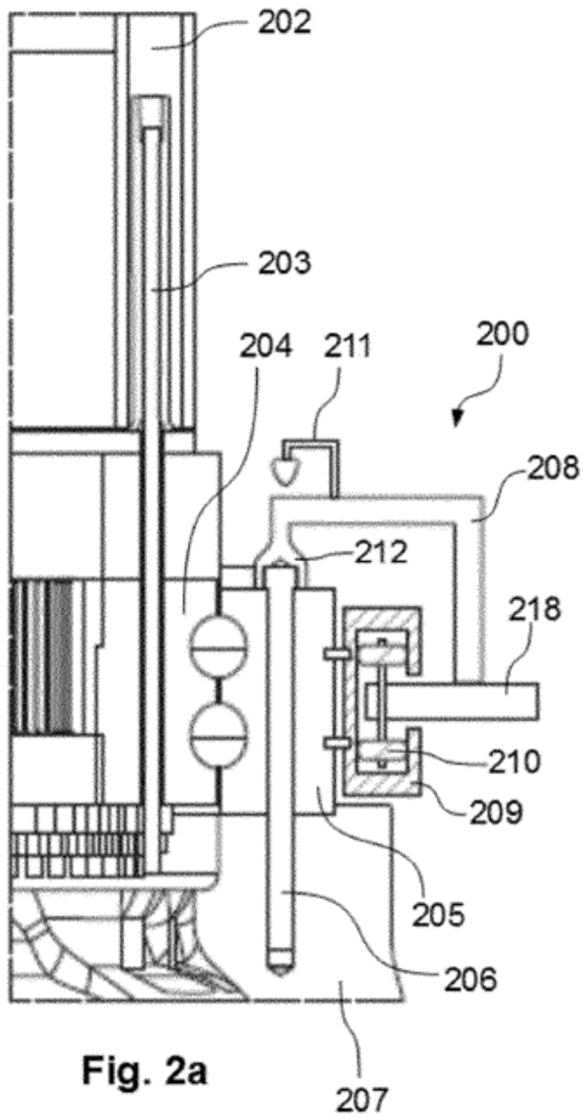
30 **14.** Un sistema según la reivindicación 13, en el que la herramienta automática de apriete puede moverse a lo largo de la guía en base a uno de: un sistema de cremallera y piñón (502, 503), un sistema de deslizamiento (300, 305) y un sistema basado en ruedas (209, 210; 214, 215; 300 - 303; 403-410).

**15.** Un sistema según cualquiera de las reivindicaciones 13 o 14, en el que la herramienta automática de apriete es autopropulsada, y un sistema de recuperación está configurado para recuperar la herramienta automática de apriete en caso de mal funcionamiento de la autopropulsión; y en el que

35 el sistema de recuperación comprende un cable configurado para ser tirado para arrastrar la herramienta automática de apriete hasta una posición en la que un operador pueda acceder a la herramienta automática de apriete.



**Fig. 1**



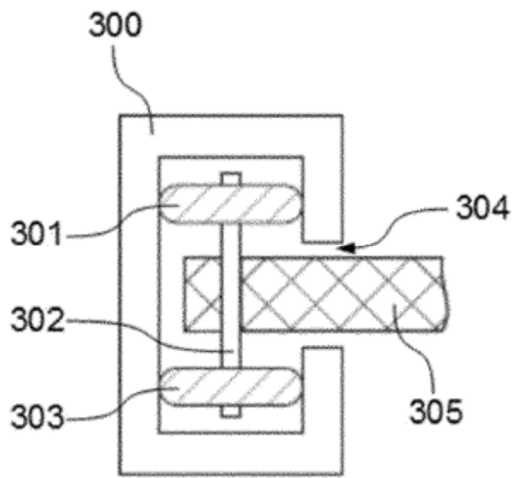


Fig. 3a

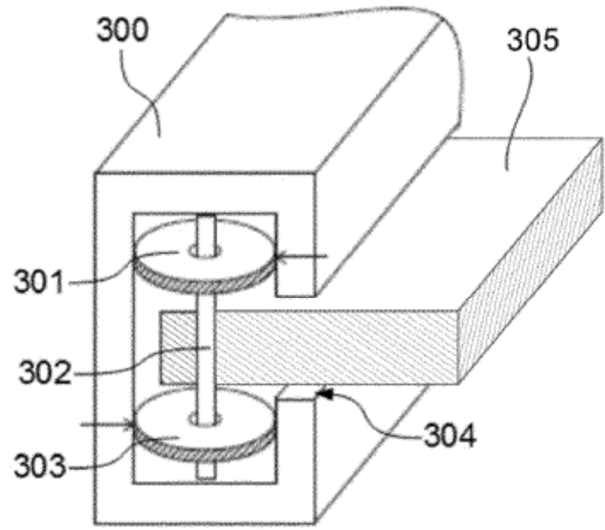


Fig. 3b

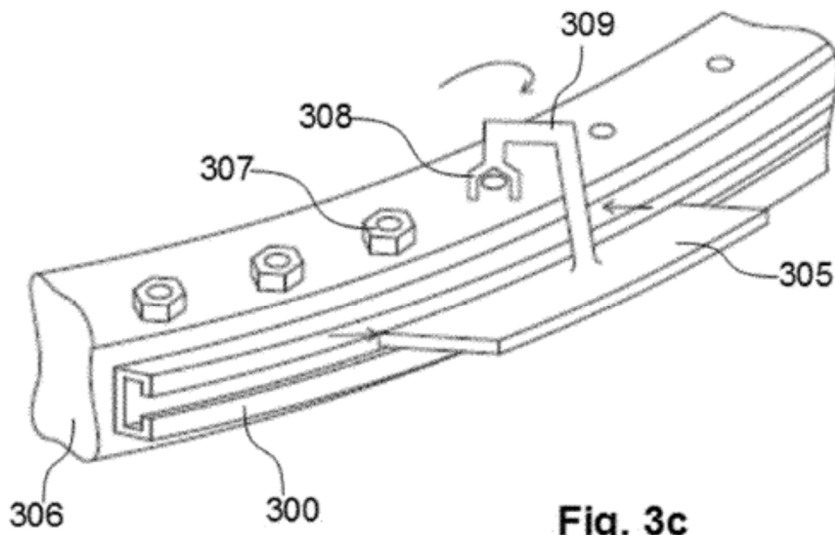


Fig. 3c

