

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 587 020**

51 Int. Cl.:

F03D 1/00 (2006.01)

F16C 19/55 (2006.01)

F03D 9/00 (2006.01)

F16H 1/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.01.2007 PCT/DK2007/000048**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.08.2008 WO08092448**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.01.2007 E 07702466 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.07.2016 EP 2108082**

54 Título: **Una turbina eólica con un tren de transmisión**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
20.10.2016

73 Titular/es:
**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
HEDEAGER 42
8200 AARHUS, DK**

72 Inventor/es:
BECH, ANTON

74 Agente/Representante:
ARIAS SANZ, Juan

ES 2 587 020 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

Una turbina eólica con un tren de transmisión

Antecedentes de la invención

5 La invención se refiere a una turbina eólica con un tren de transmisión de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

Descripción de la técnica relacionada

Una turbina eólica conocida en la técnica comprende una torre de turbina eólica y una góndola de turbina eólica situada en la parte superior de la torre. Un rotor de turbina eólica con un número de palas de turbina eólica se conecta a la góndola por un árbol de baja velocidad, tal como se ilustra en la figura 1.

10 A medida que las turbinas eólicas modernas se hacen cada vez más grandes en tamaño y en producción, se incrementa la demanda de componentes de turbinas eólicas más eficientes. Sin embargo, a medida que los componentes de, por ejemplo, el tren de transmisión, de la turbina eólica se hacen más grandes, se vuelve cada vez más difícil y costoso garantizar la rigidez del tren de transmisión.

15 Además, las turbinas eólicas modernas grandes - en particular, las turbinas de más de 1MW - tienen rotores de giro lento y la velocidad de rotación es generalmente menor cuanto mayor es el diámetro del rotor. Esto va en detrimento del sistema de conversión de energía.

20 En las turbinas eólicas de MW actuales, la mayoría de las cajas de engranajes tienen un engranaje planetario durante la primera etapa y en las siguientes etapas son engranajes planetarios o helicoidales. Los engranajes planetarios de la primera etapa tienen más comúnmente 3 planetas de un diámetro relativamente grande y un engranaje solar de un diámetro relativamente pequeño.

25 Un ejemplo de esto se divulga en la solicitud PCT nº WO 91/19916, en la que se proporciona un árbol principal de una turbina eólica con dos rodamientos principales y una caja de engranajes epicicloidales que comprende al menos dos etapas de engranaje. Uno de los inconvenientes de este diseño de tren de transmisión es que, para garantizar que todos los componentes estén en su lugar correcto en todo momento, todos los componentes tienen que fijarse de forma rígida en relación el uno con el otro. Esto exige una construcción rígida, pesada y costosa. Otros trenes de transmisión de acuerdo con el estado de la técnica se muestran en los documentos US2003/0125158 y GB 2395529.

Un objeto de la invención es proporcionar una turbina eólica con un tren de transmisión que sea más eficiente en coste y peso.

30 **La invención**

La invención proporciona una turbina eólica de acuerdo con las características de la reivindicación 1 con un tren de transmisión colocado parcial o completamente en una góndola de dicha turbina eólica. El tren de transmisión comprende una caja de engranajes epicicloidales que incluye al menos una etapa de engranaje que comprende una pluralidad de engranajes planetarios que engranan con un engranaje solar y/o con un engranaje de corona circular.

35 La caja de engranajes acelera parcial o completamente la velocidad de rotación de un rotor de la turbina eólica cuando se aplica a al menos un generador de la turbina eólica. El tren de transmisión comprende además al menos un rodamiento de seguimiento automático localmente radial para permitir la rotación del rotor en relación con una estructura de góndola de la góndola.

40 Es ventajoso combinar al menos un rodamiento de seguimiento automático localmente radial con una caja de engranajes epicicloidales en el tren de transmisión de una turbina eólica porque esta combinación permite un diseño más flexible del tren de transmisión.

45 Cuando mayor es la turbina eólica, más grandes tienen que ser los componentes del tren de transmisión. Cuando más grandes son los componentes del tren de transmisión, más grande y rígida tiene que ser la estructura de refuerzo interna de los diferentes componentes del tren de transmisión y más grande y más rígida tiene que ser la estructura de refuerzo externa - que fija los diferentes componentes del tren de transmisión en relación el uno con el otro.

50 Una caja de engranajes epicicloidales es, por su naturaleza y en cierto grado, capaz de aceptar la desviación radial de los engranajes, pero los rodamientos tradicionales proporcionados en el tren de transmisión para permitir la rotación del rotor en relación con las partes estacionarias del tren de transmisión - tal como la parte de estátor del generador, la estructura de góndola u otro - no aceptan grandes cargas radiales locales en solo uno de los anillos debido a su demanda inherente de rigidez. Es decir, un rodamiento tradicional de bola de dos anillos tendrá que transferir una gran carga radial local en un lado del anillo interno hasta el otro lado del anillo interno para soportar la carga. Esta transferencia de cargas exige que el anillo sea muy rígido e inflexible.

Al proporcionar el rodamiento o rodamientos con medios para adaptarse localmente a cualquier movimiento radial, por ejemplo, causado por grandes cargas radiales, es posible eliminar completamente, o al menos reducir fuertemente, la estructura de refuerzo externa de la góndola, reduciendo así el peso y el coste del tren de transmisión.

5 Cabría enfatizar que por el término "localmente" ha de entenderse que la carga se transfiere sustancialmente donde se aplica. Por ejemplo, si el anillo interno de un rodamiento tradicional de bolas de dos anillos es objeto de una carga radial hacia el eje de rotación del rodamiento, lo único que impide que el anillo interno y externo se separen es porque el anillo interno en el lado opuesto del rodamiento presionará contra el anillo externo (a través de las bolas). Esta transferencia de carga no es local, porque la carga se transfiere en lados opuestos del rodamiento.

10 Además, cabría enfatizar que por el término "seguimiento automático" ha de entenderse que el rodamiento es sustancialmente de guía automática, es decir, no necesita sustancialmente rigidez de la estructura a la que se conecta para operar apropiadamente.

Además, dicho rodamiento de seguimiento automático localmente radial comprende medios para transferir localmente cargas en ambos sentidos radiales entre uno o más anillos de rodamiento conectados directa o indirectamente a dicho rotor y entre uno o más anillos de rodamiento conectados directa o indirectamente a dicha estructura de góndola.

15 Esto es ventajoso porque puede reducirse la demanda de rigidez de las partes a las que se conectan los anillos de rodamiento.

20 Cabría enfatizar que por el término "ambos sentidos radiales" ha de entenderse ambos sentidos sustancialmente perpendiculares hacia y desde el eje de rotación de los rodamientos.

En un aspecto de la invención, el diámetro de paso de dicho engranaje solar es más grande que entre el 30 % y 99 %, preferentemente entre el 50 % y el 95 % y lo más preferido entre el 70 % y el 90 %, tal como el 80% del diámetro de paso de dicho engranaje de corona circular.

25 Si el engranaje solar es demasiado grande en relación con la proporción de la corona circular de la caja de engranajes, se vuelve demasiado pequeño. Si el engranaje solar es demasiado pequeño en relación con la proporción de la corona circular de los engranajes planetarios, tiene ser relativamente grande y, por lo tanto, solo existe espacio para un número relativamente pequeño de los planetas. Los presentes intervalos de proporción de tamaño varían, por lo tanto, para una proporción ventajosa entre la alta ración de engranajes y la baja carga en cada planeta.

30 En un aspecto de la invención, al menos dicha etapa de engranaje comprende entre 2 y 100, preferentemente entre 4 y 60 y lo más preferente entre 9 y 40 tal como 24 engranajes planetarios.

35 Si el número de planetas es demasiado alto, la caja de engranajes se vuelve demasiado compleja y cara de fabricar. Si el número de planetas es demasiado pequeño, cada planeta tiene que transferir una carga relativamente alta. Los presentes intervalos de números de engranajes planetarios, por lo tanto, proporcionan una proporción ventajosa entre el coste y la eficiencia.

En un aspecto de la invención, dicha caja de engranajes comprende al menos dos etapas de engranajes.

Una caja de engranajes con un gran número de engranajes planetarios relativamente pequeños tendrá una proporción de transmisión relativamente baja y, por lo tanto, es ventajoso proporcionar la caja de engranajes con al menos dos etapas de engranaje para aumentar toda la proporción de engranajes de la caja de engranajes.

40 En un aspecto de la invención, uno o más de dichos engranajes planetarios comprenden una primera parte dentada que tiene un primer diámetro de paso y una segunda parte dentada que tiene un segundo diámetro de paso y en la que dicho primero diámetro de paso es diferente a partir de dicho segundo diámetro de paso.

45 Al proporcionar los planetas con dos diámetros dentados diferentes, es posible aumentar la proporción de engranajes de la etapa de engranaje individual porque, si los dos diámetros dentados diferentes engranan con partes diferentes de la caja de engranajes, la relación entre los dos diámetros dentados diferentes proporcionará un engranaje adicional a la etapa.

En un aspecto de la invención, dicha primera parte dentada de dichos engranajes planetarios engranan con dicho engranaje de corona circular.

De este modo, se logra un modo de realización ventajoso de la invención.

50 En un aspecto de la invención, dicha segunda parte dentada de dichos engranajes planetarios engranan con dicho engranaje solar.

De este modo, se logra un modo de realización ventajoso de la invención.

En un aspecto de la invención, dicho segundo diámetro de paso de dichos engranajes planetarios es más grande que dicho primer diámetro de paso de dichos engranajes planetarios.

De este modo, se logra un modo de realización ventajoso de la invención.

5 En un aspecto de la invención, al menos dicho rodamiento de seguimiento automático localmente radial es un rodamiento principal de dicha turbina eólica.

El rodamiento principal de una turbina eólica es objeto de muchos tipos diferentes de cargas tales como momentos, torsión, propio peso, empujar-tirar y otras cargas que actúan desde diferentes sentidos. Por tanto, es ventajoso que el rodamiento principal sea un rodamiento de seguimiento automático localmente radial porque este tipo de rodamiento es mejor en la gestión de estas cargas.

10 Cabría enfatizar que el término "rodamiento principal" ha de entenderse como el rodamiento o rodamientos que transfieren la mayor parte de la carga del rotor al resto de la turbina eólica mientras que, al mismo tiempo, permite que el rotor pueda rotar en relación con la góndola, "la carga del rotor" podría ser el peso del rotor, la carga eólica axial, el momento que se origina a partir de las diferencias en la carga eólica sobre el plano del rotor y/u otro.

15 En un aspecto de la invención, al menos dicho rodamiento de seguimiento automático localmente radial está integrado en o se conecta directamente a dicha caja de engranajes epicicloidales.

Al integrar o conectar directamente las partes, es posible diseñar un tren de transmisión más simple y más eficiente.

En un aspecto de la invención, dicho anillo de corona circular se divide en dos o más segmentos.

20 Un anillo no dividido por completo solo puede extraerse de manera radial si se puede pasar sin obstáculos por el centro. Sería difícil y caro diseñar una caja de engranajes o un tren de transmisión donde esto fuera posible y, por lo tanto, es ventajoso que los segmentos del anillo puedan extraerse de forma independiente en un sentido radial.

En un aspecto de la invención, al menos dicho generador comprende al menos una parte de rotor, que rota en relación con dicha estructura de góndola, y al menos una parte de estátor, que está sustancialmente estacionaria en relación con dicha estructura de góndola durante el funcionamiento normal de dicha turbina eólica.

De esta manera, se obtiene un modo de realización ventajoso de un generador de turbina eólica.

25 En un aspecto de la invención, al menos dicha parte de rotor encierra sustancialmente al menos dicha parte de estátor.

Es ventajoso hacer rotar la parte de rotor alrededor de la parte de estátor porque, de esta manera, es posible diseñar un tren de transmisión muy compacto donde el generador pueda caber sustancialmente en el interior de la caja de engranajes.

30 En un aspecto de la invención, al menos dicha parte de estátor encierra sustancialmente al menos dicha parte de rotor.

Es ventajoso hacer rotar el rotor en el interior del estátor porque permite un generador hueco y, de esta manera, un tren de transmisión hueco.

En un aspecto de la invención, dicho tren de transmisión comprende además al menos un generador.

35 De este modo, se logra un modo de realización ventajoso de la invención.

En un aspecto de la invención, dicho tren de transmisión comprende dos o más generadores diferentes.

Es ventajoso proporcionar el tren de transmisión con más de un generador porque los generadores individuales son más fáciles de manejar que un generador grande y porque, de este modo, es posible proporcionar la turbina eólica con redundancia con respecto a la producción de energía.

40 En un aspecto de la invención, dicho tren de transmisión comprende un centro hueco por todo el tren de transmisión a lo largo del eje de rotación.

Esto es ventajoso porque un tubo en forma de tren de transmisión proporciona una estructura fuerte y porque un tren de transmisión hueco permite que los componentes diferentes del tren de transmisión puedan prestar servicio, accederse, inspeccionarse y otro desde el interior y hacia fuera.

45 En un aspecto de la invención, dicho centro hueco es de un tamaño que proporciona acceso del personal por todo el tren de transmisión.

El acceso a y desde el buje de una turbina eólica es típicamente un problema que es difícil de superar. Al proporcionar un orificio por todo el tren de transmisión de un tamaño que permite que una persona adulta pueda

atravesarlo de una manera sencilla y económica, proporcionaría acceso al rotor de la turbina eólica. El orificio debe ser de al menos de 1 metro de diámetro para una persona adulta que sea capaz de pasar de forma sustancialmente fácil.

5 En un aspecto de la invención, dicho rodamiento de seguimiento automático localmente radial comprende al menos un anillo externo, al menos un anillo central y al menos un anillo interno y en el que dicho anillo central es capaz de rotar en relación con dicho anillo externo y dicho anillo interno o dicho anillo externo y dicho anillo interno son capaces de rotación en relación con dicho anillo central.

10 Es ventajoso un rodamiento de seguimiento automático localmente radial donde un anillo central es capaz de rotar entre un anillo externo y un anillo interno para el funcionamiento de la turbina eólica porque el rodamiento es más eficiente para transferir cargas radiales en ambos sentidos radiales.

En un aspecto de la invención, al menos dicho anillo externo y al menos dicho anillo interno se conectan de manera rígida.

15 Por ejemplo, si el anillo externo se conecta de manera rígida al rotor y el anillo central se conecta a la góndola, la carga de la gravedad que actúa sobre el rotor tirará del anillo externo hacia abajo contra el anillo central en la parte superior del rodamiento. Esta gran carga radial se transfiere a la góndola por el anillo central, pero intentará tirar del anillo interno lejos del anillo central aumentando de este modo el riesgo de que se dañe el rodamiento de seguimiento automático localmente radial. Si el anillo interno y el anillo externo se conectan de forma rígida, la distancia entre la superficie interna del anillo externo y la superficie externa del anillo interno se mantiene sustancialmente constante en todo momento, reduciendo de este modo el riesgo de un mal funcionamiento o de daños.

20 Además, si el anillo externo y el anillo interno se conectan de forma rígida, la carga mencionada anteriormente se transferirá por el anillo externo en la parte superior y por el anillo interno en la parte inferior sustancialmente sin que se desplacen mutuamente el anillo externo y el anillo interno, permitiendo de este modo que, aunque esta carga forzaría a los anillos en una forma ligeramente ovalada, el rodamiento es todavía de seguimiento automático, porque el anillo central se guía de forma sustancialmente rígida por el anillo externo y el anillo interno y el rodamiento de seguimiento automático localmente radial está dependiendo menos de la rigidez de la estructura circundante a la que se conecta o en la que se integra.

25 Cabría enfatizar que el término "conectado de forma rígida" ha de entenderse como al menos un anillo externo y un anillo interno fijados de forma sustancialmente inflexible uno en relación con el otro, es decir, ninguno de dichos anillos puede rotar o moverse radial o axialmente uno en relación con el otro.

30 En un aspecto de la invención, al menos dicho anillo externo y al menos dicho anillo interno se conectan a un buje de dicho rotor.

De este modo, se permite un diseño ventajoso con respecto a la transferencia de las cargas desde el rotor hasta la góndola.

35 En un aspecto de la invención, al menos dicho anillo central se conecta directa o indirectamente a dicho engranaje de corona circular de dicha caja de engranajes epicicloidales.

Es ventajoso conectar el anillo central directa o indirectamente al engranaje de corona circular porque proporciona un diseño simple y económico de tren de transmisión.

40 En un aspecto de la invención, dicho rodamiento de seguimiento automático localmente radial y/o dicha caja de engranajes epicicloidales comprenden medios para permitir que dicho anillo externo o al menos una parte de dicho anillo externo se desplace axialmente.

Al permitir que el anillo externo o una parte del anillo externo se desplace axialmente, se permite el acceso a las partes internas entre el anillo externo y el anillo central. Esto es ventajoso porque se vuelve más fácil de reparar el daño o desgaste de las piezas internas.

45 Las partes internas podrían comprender, por ejemplo, una o más filas de elementos rodantes, una o más jaulas para guiar los elementos rodantes y/o una o más pistas de rodadura.

En un aspecto de la invención, dicho rodamiento de seguimiento automático localmente radial y/o dicha caja de engranajes epicicloidales comprenden medios para permitir que dicho anillo interno o al menos una parte de dicho anillo interno se desplace axialmente.

50 Al permitir que el anillo interno o una parte del anillo interno se desplace axialmente, se permite el acceso a las partes internas entre el anillo interno y el anillo central. Esto es ventajoso porque se vuelve más fácil de reparar el daño o desgaste de las piezas internas.

En un aspecto de la invención, al menos dicho anillo externo y/o al menos dicho anillo interno y/o una parte de al

menos dicho anillo externo y/o una parte de al menos un anillo interno se dividen en dos o más segmentos.

Es ventajoso dividir los anillos o partes de los anillos en dos o más segmentos porque los anillos de este modo son más fáciles de desmontar.

5 En un aspecto de la invención, dicho rodamiento de seguimiento automático localmente radial comprende al menos una fila de elementos rodantes entre al menos dicho anillo externo y al menos dicho anillo central y al menos una fila de elementos rodantes entre al menos dicho anillo interno y al menos dicho anillo central.

Unos elementos rodantes entre los anillos son una forma ventajosa de proporcionar una junta rotatoria de baja fricción.

10 En un aspecto de la invención, dichos elementos rodantes en dichas filas se mantienen separados por una o más jaulas.

De este modo, se proporciona para un modo de realización ventajoso de la invención porque se impide que los elementos rodantes en una fila se rocen entre sí y porque se mantienen las superficies de contacto de transmisión de carga distribuidas uniformemente alrededor de todos los anillos de rodamiento.

En un aspecto de la invención, una o más de dichas jaulas se dividen en uno o más segmentos.

15 Para permitir que las jaulas puedan desmontarse en el lugar, es ventajoso que las jaulas se dividan en uno o más segmentos.

Cabría enfatizar que por el término "segmento" ha de entenderse que la jaula se divide en una o más partes divididas por uno o más cortes en el plano axial paralelo con el eje de rotación de la unidad de rodamiento principal.

20 Que la jaula pueda dividirse en una serie de segmentos significa que el anillo de jaula de círculo completo se abre en un solo lugar.

En un aspecto de la invención, al menos dicho anillo externo y/o al menos dicho anillo interno comprenden una o más pistas de rodadura independientes.

25 La pista de rodadura es la parte de los anillos de rodamiento que comprende la superficie sobre la que ruedan los elementos rodantes durante el funcionamiento normal del rodamiento. Esta superficie de contacto entre los anillos y los elementos rodantes es altamente porque tiene que transferirse una gran carga por la superficie de contacto relativamente pequeña y, por lo tanto, es ventajoso hacer de la pista de rodadura una parte independiente del resto del anillo para permitir que solo la pista de rodadura, y no todo el anillo, tenga que reemplazarse en caso de desgaste, daño u otro.

30 Además, cabría enfatizar que por el término "independiente" ha de entenderse que la pista de rodadura es una parte independiente, que puede desconectarse del anillo. Las pistas de rodaduras o partes de pistas de rodaduras se montan en o al menos se fijan en cierto grado por el anillo de rodamiento, pero no se forman integralmente con el anillo y, por lo tanto, pueden, por ejemplo, fabricarse de un material diferente.

En un aspecto de la invención, al menos dicho anillo central comprende una o más pistas de rodadura independientes.

35 De este modo, se logra un modo de realización ventajoso de la invención.

En un aspecto de la invención, una o más de dichas pistas de rodadura independientes se dividen en segmentos.

De este modo, es más fácil desmontar las pistas de rodadura permitidas.

En un aspecto de la invención, al menos dicho anillo central se conecta a una parte de estátor de al menos dicho generador.

40 Es ventajoso conectar el anillo central directa o indirectamente a la parte de estátor del generador porque proporciona un diseño de tren de transmisión simple y económico

Figuras

La invención se describirá a continuación con referencia a figuras, en las que

la figura 1 ilustra una turbina eólica moderna grande, vista de frente,

45 la figura 2 ilustra una sección transversal de un modo de realización de góndola simplificada conocida en la técnica, vista de lado,

la figura 3 ilustra un modo de realización de una caja de engranajes epicicloidales como se conoce en la técnica,

vista de frente,

la figura 4 ilustra una sección transversal de una parte de un modo de realización de un tren de transmisión de acuerdo con la invención que comprende una etapa de engranaje planetario, vista de lado,

5 la figura 5 ilustra una sección transversal de una parte de un modo de realización de un tren de transmisión de acuerdo con la invención que comprende dos etapas de engranaje planetario, vista de lado,

la figura 6 ilustra una sección transversal de una parte de un modo de realización de un tren de transmisión de acuerdo con la invención en la que la caja de cambios encierra sustancialmente el generador, vista de lado,

la figura 7 ilustra una sección transversal de una parte de un modo de realización de un tren de transmisión de acuerdo con la invención que comprende más de un generador, visto de lado,

10 la figura 8 ilustra una sección transversal por una parte de una góndola de turbina eólica, vista de lado,

la figura 9 ilustra una parte de una sección transversal de un modo realización de un rodamiento de seguimiento automático localmente radial en el tren de transmisión de una turbina eólica, visto de lado,

la figura 10 ilustra el mismo modo de realización que la figura 9 con una primera parte del anillo externo desplazada axialmente, vista de lado,

15 la figura 11 ilustra el mismo modo de realización que la figura 9 con una primera parte del anillo interno radial desplazada, vista de lado, y

la figura 12 ilustra el mismo modo de realización que la figura 9 con una segunda parte del anillo interno desplazada axialmente, vista de lado.

Descripción detallada

20 La figura 1 ilustra una turbina eólica 1, que comprende una torre 2 y una góndola de turbina eólica 3 situada en la parte superior de la torre 2. El rotor de turbina eólica 4, que comprende tres palas de turbina eólica 5 montadas en un buje 6, se conecta a la góndola por el árbol de baja velocidad que se extiende hacia fuera de la parte frontal de la góndola 3.

25 En otro modo de realización, el rotor de turbina eólica 4 podría comprender otro número de palas 5, tal como una, dos o cuatro.

La figura 2 ilustra una sección transversal simplificada de una góndola 3 de una turbina eólica 1 de la técnica anterior, vista de lado. Las góndolas 3 existen en una multitud de variaciones y configuraciones, pero, en la mayoría de los casos, el tren de transmisión 12 en la góndola 3 comprende casi siempre uno o más de los componentes siguientes: una caja de engranajes 15 (típicamente una caja de engranajes epicicloidales), un acoplamiento (no mostrado), algún tipo de sistema de frenado 16 y un generador 17. Una góndola 3 de una turbina eólica moderna 1 puede incluir también un transformador 18 (también denominado inversor) y un equipo periférico adicional tal como un equipo de manipulación de potencia adicional, armarios de control, sistemas hidráulicos, sistemas de refrigeración y más.

30 El peso de toda la góndola 3 incluyendo los componentes de góndola 15, 16, 17, 18 se sostiene por una estructura de góndola 19. Los componentes 15, 16, 17, 18 se colocan usualmente en y/o se conectan a esta estructura de góndola de soporte de carga común 19. En este modo de realización simplificado, la estructura de góndola de soporte de carga común 19 sólo se extiende a lo largo de la parte inferior de la góndola 3, por ejemplo, en forma de un armazón de base al que se conectan algunos o todos los componentes 15, 16, 17, 18. En otro modo de realización, la estructura de soporte de carga 19 podría comprender una campana de engranaje que, por el rodamiento principal 14, podría transferir la carga del rotor 4 a la torre 2, o la estructura de soporte de carga 19 podría comprender varias partes interconectadas tales como un enrejado.

35 La góndola comprende además un rodamiento principal 14 para garantizar que el rotor 4 pueda rotar sustancialmente libremente en relación con la estructura de góndola 19 y con las partes de tren de transmisión fijas 15, 16, 17, 18 de la góndola 3. En este modo de realización, el rodamiento principal 14 de un tren de transmisión 12 está integrado en la caja de engranajes 15 porque se conecta el rotor 4 directamente a la caja de engranajes 15 a través del buje 6. Debido a que el rodamiento principal 14 se incorpora a la caja de engranajes 15, la estructura de la caja de engranajes tiene que ser capaz de transferir toda la carga del rotor 4 a la torre 2 por medio de la estructura de fortalecimiento de góndola 19.

40 La figura 3 ilustra un modo de realización de una caja de engranajes epicicloidales 15 de la técnica anterior, vista de frente.

50 En este modo de realización de una caja de engranajes epicicloidales 15, los engranajes planetarios 10 engranan con y rotan alrededor de un engranaje solar 7 en el medio. Los engranajes planetarios 10 engranan además con un

engranaje de corona circular externo 8. Las flechas indican que los engranajes planetarios 10 rotan todos en el mismo sentido y que el engranaje solar 7 rota en el sentido opuesto.

En este modo de realización, el rotor de turbina eólica 4 se conecta a un soporte planetario 9 porque la parte periférica externa (no mostrada) del buje 6 se conecta al soporte planetario 9 en un diámetro relativamente grande.

- 5 En otro modo de realización, el rotor 4 podría conectarse también a la caja de engranajes 15 por medio de un árbol de baja velocidad u otro.

El soporte planetario 9 conecta los engranajes planetarios 10 fijando los árboles de engranajes planetarios a la estructura de soporte planetario común 9.

- 10 Típicamente, el engranaje de corona circular 8 se conecta a una estructura de soporte, al alojamiento de la caja de engranajes o se fija de otras formas, pero, en algunos tipos de engranajes epicicloidales 15, el engranaje de corona circular 8 podría rotar también.

- 15 Además, los engranajes ilustrados muestran solo una etapa 11 de una caja de engranajes 15. Toda la caja de engranajes 15 podría comprender un número de etapas 11 como la mostrada para incrementar el engranaje o podría comprender un número de etapas 11 diferentes, por ejemplo una primera etapa donde falte el engranaje solar 7 y el rotor 4 haga rotar el engranaje de corona circular 8, que engrana con un número de engranajes planetarios 10. Los engranajes planetarios 10 de las primeras etapas 11 se conectan entonces a engranajes planetarios 10 de un tamaño más grande en una segunda etapa 11, que engranan con un engranaje planetario 7, que se conecta al árbol de salida de la caja de engranajes 15. Otros diseños de cajas de engranajes 15 son también factibles dependiendo a menudo de en qué tipo de turbina eólica 1 vaya a usarse la caja de engranajes 15.

- 20 En este modo de realización, se forma el soporte planetario 9 como una estructura que conecta los tres engranajes planetarios 10. El soporte 9 comprende además brazos para conectar el soporte 9 al rodamiento principal 14. Cuando el rotor 4 se conecta directamente al soporte 9, el soporte planetario 9 tiene también que transferir toda la carga del rotor 4 a la estructura de góndola de soporte de carga 19. Por tanto, el anillo interno 26 de un rodamiento principal 14 con un diámetro grande se monta en el exterior del engranaje de corona circular 8 y el anillo externo 24 del rodamiento principal 14 se conecta al soporte planetario 9, que se extiende más allá del engranaje de corona circular 14. El rodamiento principal 14 está integrado, de este modo, en la caja de engranajes 15.

- 25 En otro modo de realización, un soporte planetario 9 más o menos circular podría estar dotado con un rodamiento principal 14 alrededor de su perímetro externo, donde el anillo externo del rodamiento principal 14 se conectó al engranaje de corona circular 8, al alojamiento de la caja de engranajes o se fijó de otras formas.

- 30 En un modo de realización adicional, la caja de engranajes epicicloidales 15 sería independiente del rodamiento principal 14, por ejemplo, si un árbol de baja velocidad del rotor 4 se proporcionara con uno o más rodamientos principales 14 antes de que el árbol se conectara a la caja de engranajes 15.

La figura 4 ilustra una sección transversal de una parte de un modo de realización de un tren de transmisión 12 de acuerdo con la invención que comprende una etapa de engranaje planetario 11, visto de lado.

- 35 En este modo de realización de la invención, el tren de transmisión 12 que comprende un rodamiento principal 14, una caja de engranajes epicicloidales 15 y un generador 17 se construye más o menos integralmente para formar una estructura anular hueca.

- 40 El rodamiento principal 14 es, en este modo de realización, un rodamiento de seguimiento automático localmente radial 23 donde el anillo interno 26 y el anillo externo 24 se forman como una parte del soporte planetario 9 de la caja de engranajes 15.

En este modo de realización, el soporte planetario 9 y, de este modo, el anillo interno 26 y el anillo externo 24 se conectan al rotor 4 por el borde periférico externo del buje 6, pero, en otro modo de realización, el anillo central 25 podría conectarse al rotor 4 o al anillo interno 26 y el anillo externo 24 o el anillo central 25 podría conectarse a un árbol que se conecte al rotor 4.

- 45 En este modo de realización, el anillo central 25 se conecta directamente al engranaje de corona circular 8 de la caja de engranajes 15 que se conecta entonces de nuevo directamente a una estructura de soporte de carga 19 de la góndola 3, pero, en otro modo de realización, la configuración de cómo se conectan el rodamiento de seguimiento automático localmente radial 23, la caja de engranajes epicicloidales 15 y el generador 17 podría variar, por supuesto, en una multitud de diferentes modos de realización dentro del alcance de la invención.

- 50 En este modo de realización de la invención, la etapa de engranaje 11 de la caja de engranajes epicicloidales 15 es con un engranaje de corona interior 8 de gran diámetro y planetas 10 de pequeño tamaño, por consiguiente el engranaje planetario 7 es grande en diámetro D3. Los planetas 10 de pequeño tamaño que orbitan un gran sol 7 permiten espacio para muchos planetas 10; por consiguiente la carga sobre cada planeta 10 es baja. La carga de planeta es la torsión dividida por el radio de la órbita de planeta y el número de planetas 10. Dicha caja de

- 5 engranajes 15 tendrá una capacidad de torsión alta para poco peso en comparación con las cajas de engranajes 15 conocidas. La desventaja de esto es la baja proporción de engranajes de una etapa de engranaje individual 11. La etapa planetaria individual 11 tiene una proporción de engranajes $i = 2 \times (D3 \text{ (engranaje de corona circular)}/D4 \text{ (engranaje solar)})$. Las cajas de engranajes 15 con el diámetro solar D4 cerca del diámetro de engranaje de corona circular D3 tienen una proporción de engranajes de algo más de dos.
- 10 En este modo de realización de la invención, los planetas 10 comprenden una primera parte dentada 21 y una segunda parte dentada 22 de diferentes diámetros D1, D2 en las que puede mejorarse la proporción de engranajes en cuanto a $i = 1 + (D3/D4) \times (D2/D1)$. La etapa de planeta engranado 11 puede proporcionar entonces una proporción de engranajes de 3 a 5. Esta es sustancialmente la misma proporción que las etapas de planetas clásicos 11, pero por menos peso.
- La figura 5 ilustra una sección transversal de una parte de un modo de realización de un tren de transmisión 12 de acuerdo con la invención que comprende dos etapas de engranajes planetarios 11, visto de lado.
- En este modo de realización, se solicita una proporción de engranajes significativamente más grande y, por lo tanto, se proporciona una caja de engranajes planetarios 15 de dos etapas 11.
- 15 En otro modo de realización de la invención, la caja de engranajes podría comprender una o más etapas de engranajes tradicionales 11 que comprenden planetas 10 con solo una parte dentada o una o más de las etapas de engranaje 11 podrían ser de otro tipo tal como un engranaje helicoidal u otro.
- En este modo de realización, la caja de engranajes planetarios hueca 15 se construye de forma ventajosa junto con el rodamiento de rotor principal 14, que, en este modo de realización, es un rodamiento de seguimiento automático localmente radial 23, y el generador 17.
- 20 El buje de rotor 6 y el soporte planetario 9 se conectan entre sí y rotan comúnmente, por consiguiente pueden compartir el mismo rodamiento principal 14. La rueda solar 7 debe tener sus propios rodamientos 20, que pueden insertarse en el soporte planetario 9.
- 25 La caja de engranajes planetarios 15 y el rodamiento principal 14 pueden construirse como una unidad entre el rotor 4 y la estructura de góndola 19. En este modo de realización, se considera que la estructura de góndola 19 es tubular con un diámetro de, por ejemplo, entre 1,5 metros y 4,5 metros. El engranaje solar 7 de gran diámetro se acopla directamente a un generador de baja velocidad 17. Con una estructura de góndola tubular 19 en 2-3 metros de diámetro, el interior de la estructura 19 es ideal para un generador de baja velocidad 17. Un generador de megavatios 17 con digamos 40-50 rpm cabe bien en el interior de una estructura tubular de 2-3 metros. Añadir otra
- 30 etapa 11 a la caja de engranajes 15 aumentará más la velocidad del generador y reducirá el tamaño del generador 17.
- Una estructura de góndola tubular 19 de gran tamaño es efectiva en carga en la flexión. Digamos que un momento 10 MNm cogerá un medidor de 2,5 en un tubo de diámetro 19 con un grosor de pared de solo 20 milímetros. Dicho tubo 19 no es particularmente rígido frente a la deformación sobre el diámetro. Por tanto, es importante diseñar las
- 35 estructuras para permitir algunas deformaciones globales y garantizar el seguimiento radial local en los rodamientos 14, en la caja de engranajes 15 y en el generador 17. El diseño de rodamiento apropiado puede proporcionar dicho seguimiento, incluso aunque las estructuras 19 sean flexibles hasta cierto punto.
- El rodamiento principal 14, la caja de engranajes 15 y el generador 17 que funciona en una forma ligeramente ovalada no es en sí mismo un problema si las estructuras son suficientemente flexibles y los anillos de rodamiento 24, 25, 26, las ruedas dentadas 7, 8, 10 y el espacio de aire en el generador 17 se gobiernan localmente
- 40 correctamente. Pueden ser necesarios algunos tabiques de refuerzo.
- El rodamiento principal 14 debe diseñarse para no dar un componente de carga radial grande, por ejemplo, a la estructura de góndola 19 desde el momento de flexión. Esto excluye a los rodamientos de 2 anillos como los rodamientos tradicionales de bolas de contacto de 4 puntos, los rodillos cruzados y el par de rodamientos cónicos.
- 45 Un rodamiento 14 adecuado puede ser un rodillo de tres filas 27 o rodamientos de triple anillo 23.
- El rodamiento 23 ilustrado en las figuras 4 a 12 son todos rodamientos de triple anillo 23 con solo dos filas 27 de bolas 13, pero, en otro modo de realización, el rodamiento 23 podría ser un rodamiento de bolas de contacto de 4 puntos, rodillos cruzados o incluso rodamientos cónicos donde las fuerzas radiales inducidas se neutralicen en el interior del rodamiento 23.
- 50 El diámetro planetario tiene que ser relativamente pequeño para una caja de engranajes planetarios múltiples 15 que comprenda más de nueve planetas 10. El tamaño de los engranajes planetarios 10 ha de determinarse en cierta medida por el diámetro del rodamiento planetario. Por lo tanto, un factor importante es la ubicación del rodamiento planetario. Si el rodamiento planetario está en el interior de los planetas 10, el diámetro de los planetas 10 se amplía debido al tamaño del rodamiento. Para garantizar la duración larga de servicio extremo de 20 años - que es normal
- 55 dentro del campo de las turbinas eólicas -, los rodamientos tienen que ser de un tamaño significativo. Por lo tanto, no es favorable hacer que los planetas 10 encierren el o los rodamientos planetarios. Por lo tanto, los rodamientos

planetarios pueden montarse en un árbol en los extremos de los planetas 10 como se ilustra en las figuras 4 a 7.

Es atractivo el concepto de tener planetas 10 que comprendan diferentes diámetros dentados D1, D2 para mejorar la proporción de transmisión. El diámetro de engranaje planetario D2 más grande determina cuántos planetas 10 pueden caber en cada etapa 11 debido a su separación mutua. Al tener el espacio interno al mínimo, el diámetro grande de engranaje planetario D2 debe estar en el exterior del soporte planetario 9. El árbol planetario requiere una disposición de 2 rodamientos para regular correctamente el árbol planetario. Podrían colocarse en cada lado del diámetro planetario pequeño D1. El rodamiento planetario colocado entre la primera parte dentada 21 y la segunda parte dentada 22 tomará la mayoría de las fuerzas y, de las mismas, es el más grande de los dos rodamientos planetarios. Esta posición del rodamiento planetario más grande está bien ya que está en el extremo de no transmisión del soporte planetario 9. Los orificios grandes de rodamiento planetario en el soporte planetario 9 no afectarán en gran medida la rigidez del soporte planetario 9. Este rodamiento debe montarse a lo largo del diámetro planetario pequeño D1 o montarse antes de un montaje de las primera y segunda partes dentadas 21, 22. El rodamiento planetario pequeño en el extremo libre de la primera parte dentada 21 es principalmente un rodamiento de guía y puede ser con ventaja el rodamiento de ubicación si se necesita.

La caja de engranajes planetarios múltiples 15, es decir, con 24 planetas, debe diseñarse para compartir la carga de manera uniforme entre los planetas 10. Esto ya es un reto para una caja de engranajes normal de tres planetas. Con los engranajes planetarios que comprenden dos partes dentadas 21, 22 diferentes, la tolerancia entre las dos partes de engranajes 21, 22 se añade a la incertidumbre del reparto correcto de carga. Son apropiados en este caso los medios para suprimir las influencias de las tolerancias. Mejor es un poco de flexión, que puede compensar las diferencias de carga. Un medio como una flexión de torsión entre las dos partes de engranajes planetarios 21, 22 será una característica adecuada para mejorar incluso la carga entre los numerosos planetas 10. Diseños como árboles largos o radios flexibles en el buje de la parte grande de engranajes planetarios 22 pueden ser la solución a un mejor cumplimiento entre los planetas 10.

Los radios flexibles son una solución muy atractiva ya que no implican una unión entre las dos partes de engranajes 21, 22 y no añaden a la longitud de la etapa de engranaje 11. Los radios pueden hacerse mecanizando el material intermedio fuera en el buje de la rueda de engranaje planetario 10. La forma y la longitud de los radios determinan la flexión. Los cálculos de tensión deben hacerse con cuidado con el fin de no entrar en problemas de fatiga. Los elementos finitos son una herramienta válida para optimizar el diseño de los radios. La flexión de torsión no está destinada a ser grande, sino suficientemente grande para compensar las variaciones en el mecanizado preciso de los engranajes 10 y de la alineación.

Si una relación de transmisión de aproximadamente cuatro, ya que sustancialmente está en una caja de engranajes 15 como se ilustra en la figura 4, es demasiado poco para satisfacer el requisito de velocidad de rotación para el generador 17, la caja de engranajes 15 debe tener otra etapa 11 para acelerar más.

Dicha etapa 11 adicional puede ser una etapa planetaria ordinaria 11 para duplicar la velocidad o una etapa de engranaje planetario como la etapa planetaria ilustrada en la figura 4 para hasta 4 veces el aumento de velocidad.

Si la velocidad del rotor 4 de una turbina eólica moderna grande 1 fue de aproximadamente 13rpm, diferentes modos de realización de las cajas de engranajes 15 ofrecen la siguiente velocidad de generador 17:

- una única etapa planetaria no engranada: Generador a 27rpm.
- una única etapa planetaria engranada: Generador a 50 rpm
- una única etapa no engranada + etapa engranada: Generador a 100 rpm
- Dos etapas con planetas engranados: Generador a 200 rpm.

La elección de la caja de engranajes 15 debe validarse junto con el dimensionado del generador 17. Dos etapas 11 de engranajes 15 añaden costes a la caja de engranajes 15 y reducen el coste del generador 17. Lo óptimo de esto puede calcularse, por ejemplo, estimando el coste del sistema para las diversas soluciones para un tipo específico de turbina eólica 1.

Un ejemplo de una caja de engranajes para una turbina eólica moderna grande 1 de 3MW que comprende un rotor que rota a 13 rpm podría tener aproximadamente las dimensiones siguientes:

Engranaje de corona circular 8: diámetro de paso D3 2620 mm, módulo 10, ancho 120 mm.

Diámetro de órbita del planeta 10: 2480 mm

Primera parte dentada 21: Diámetro externo D1 de 160 mm, 120 mm de largo

Segunda parte dentada 22: Diámetro externo D2 de 320 mm, 70 mm de largo

Número de planetas 10: 24

Engranaje solar 7: Diámetro de paso D4 de 2176 mm

Proporción de transmisión: 1:3,6

Velocidad del generador 17: 47 rpm

5 El peso de dicha etapa de engranaje individual 15 con los planetas engranados 10 pesará aproximadamente seis toneladas métricas y el rodamiento principal 14 pesará aproximadamente dos toneladas métricas. Digamos que la caja de engranajes 15 + el peso del rodamiento es de aproximadamente ocho toneladas métricas. La adición de otra etapa 11 a la caja de engranajes 15 añade aproximadamente tres toneladas métricas de peso. Esto ha de compararse con la caja de engranajes pesada 15 de veintitrés toneladas métricas y las unidades de rodamiento principal 14 con las que se equipa una turbina eólica tradicional 1 de 3 MW.

10 La masa de los generadores 17 puede estimarse en cincuenta toneladas métricas para un generador 17 de 50 rpm-3 MW y de catorce toneladas métricas para uno de 200 rpm-3 MW. El sistema de 50 rpm no parece atractivo debido a la alta masa del generador 17, pero podría ser ventajoso debido al coste menor de la caja de engranajes, al tamaño más pequeño de la caja de engranajes, al peso menor de la caja de engranajes y al mejor acceso a las partes de la caja de engranajes u otros. El generador de 200 rpm parece atractivo ya que su peso es de treinta y seis toneladas métricas menos y requiere solo tres toneladas métricas para la etapa de engranaje 11 adicional.

15 El diseño con los engranajes 7, 8, 10 montados directamente en la estructura de góndola 19 y el rodamiento principal 14 dan a la caja de engranajes 15 un pasaje casi directo de ruido al rotor 4 y a la estructura de góndola 19. Una tarea de ingeniería será para silenciar el ruido del engranaje. Son posibles en áreas de tareas ambas modificaciones de los perfiles de engranajes para reducir la introducción de sonido y para amortiguar el ruido estructural.

20 El enfriamiento de la caja de engranajes 15 y del generador 17 es menos problemático, ya que el área de superficie es mayor por la pérdida de potencia. El enfriamiento forzado aún se necesitará apropiadamente.

25 Se reduce la inercia de las partes rotatorias, vista desde el rotor 4. El peso del rotor del generador más alto y la distancia hasta el centro dan un momento alto de inercia de la parte de rotación del generador 17. Sin embargo, vista desde el extremo de rotor del tren de transmisión 12, la inercia de rotación solo es la mitad la inercia actual del generador 17, vista por los engranajes. El nuevo sistema tiene menos carga de engranajes debido a la aceleración del rotor 4.

30 La caja de engranajes epicicloidales hueca 15 ofrece un peso ligero compacto y una unidad acelerada compacta, que puede estar integrada junto con un rodamiento principal 14 y un generador de velocidad media 17. Dicha unidad puede hacerse en las dimensiones no más grandes que los tamaños actuales de góndolas para el mismo tipo de turbina eólica 1. Digamos que una turbina eólica moderna grande 1 de 3 MW podría caber dentro del mismo tamaño de la cubierta de góndola 3. El peso del rodamiento principal 17 y de la caja de engranajes 15 es aproximadamente la mitad de la caja de engranajes 15 actual y el generador de velocidad media 17 es aproximadamente dos veces más pesado. El peso de la góndola 3 para un tren de transmisión que comprende un rodamiento principal de seguimiento automático localmente radial 23, una caja de engranajes planetarios engranados 15 de dos etapas 11 y un generador de velocidad media 17 están, por lo tanto, sustancialmente al mismo nivel que las góndolas 3 actuales.

35 El tren de transmisión 12 se simplifica en comparación con los trenes tradicionales de transmisión 12 ya que no está presente ningún acoplamiento entre la caja de engranajes 15 y el generador 17. Las fuerzas de inercia entre el rotor 4 y el generador 17 se reduce a aproximadamente el 50 %, por lo que se reducen los momentos de aceleración por la caja de engranajes 15. El diseño es hueco en el centro con un diámetro de, por ejemplo, 2 metros para un tren de transmisión 12 de 3 MW. Esto da espacio para entrar en el buje 6 desde el lado de la góndola 3 por una abertura en el centro del buje 6.

40 La estructura abierta en el centro abre la posibilidad de prestar servicio/ reparar el tren de transmisión 12 desde el interior. La posibilidad de reemplazar "in situ" las partes críticas del rodamiento principal 14, los engranajes planetarios 10, los rodamientos, las bobinas en el generador 17 u otro está al alcance de este diseño y el diseño es cada vez más atractivo cuanto mayor es la obtención de la turbina 1.

45 La figura 6 ilustra una sección transversal de una parte de un modo de realización de un tren de transmisión 12 de acuerdo con la invención en la que la caja de engranajes 15 encierra sustancialmente el generador 17, visto de lado.

50 En este modo de realización de la invención, la parte de rotor 28 del generador 17 se coloca en el interior del engranaje solar 7 para hacer que la parte de rotor 28 rote alrededor del exterior de una parte de estátor estacionaria 29.

En este modo de realización, la parte de estátor 29 es sólida, pero, en otro modo de realización, la parte de estátor 29 podría ser hueca permitiendo el acceso al buje 6 por el centro de la parte de estátor 29 y el resto del tren de transmisión 12.

El trazado de un tren de transmisión 12 como se ilustra en la figura 6 proporciona un diseño muy compacto donde es muy poca la longitud total del tren de transmisión 12. Además, este diseño proporciona un acceso fácil a las partes internas de la caja de engranajes 15 tal como el engranaje planetario 10, los rodamientos planetarios y otros.

5 La figura 7 ilustra una sección transversal de una parte de un modo de realización de un tren de transmisión 12 de acuerdo con la invención, que comprende más de un generador 17, visto de lado.

En este modo de realización de la invención, el tren de transmisión 12 está dotado con seis generadores 17 individuales e independientes, pero, en otro modo de realización, el tren de transmisión 12 podría estar dotado con otro número de generadores 17. Debido a la ubicación de la sección transversal, solo dos de estos seis generadores 17 están presentes en la figura 7.

10 En este modo de realización, los generadores 17 están dotados con un engranaje en sus árboles de entrada. Este engranaje engrana con dientes del engranaje solar 7 para proporcionar un aumento adicional en la velocidad de rotación.

La figura 8 ilustra una sección transversal por una parte de una góndola de una turbina eólica, vista de un lado,

15 El presente diseño de tren de transmisión 12 permite un diseño muy compacto de la góndola 3, y particularmente de la estructura de refuerzo 19 de la góndola 3. En realidad, la estructura de góndola 19 se reduce sustancialmente a una carcasa tubular que funciona desde el rodamiento principal 14 hasta el mecanismo de vibración en la torre 2.

La figura 8 ilustra además que el rodamiento principal 14, la caja de engranajes 15 y el generador 17 se colocan todos en aproximadamente el mismo diámetro, que, en este caso, es aproximadamente el mismo que el diámetro periférico del buje 6.

20 La figura 9 ilustra una parte de una sección transversal de un modo de realización de un rodamiento de seguimiento automático localmente radial 23 montado en el tren de transmisión 12 de una turbina eólica 1, vista de lado.

En este modo de realización de la invención, el anillo interno 26 y el anillo externo 24 del rodamiento de seguimiento automático localmente radial 23 se conecta de forma rígida al buje de turbina eólica 6 por medio de medios de conexión que, en este caso, son pernos.

25 En otro modo de realización, el anillo interno 26 y el anillo externo 24 podrían conectarse a otra parte tal como la estructura de refuerzo 19 de la góndola, la caja de engranajes de turbina eólica 15, una parte de la caja de engranajes 15 tal como el soporte planetario 9, el engranaje de corona circular 8 o cualquier otra parte en el rotor 4 o en la góndola 3 o bien ambos o uno del anillo interno 26 y el anillo externo 24 podrían formarse completa o parcialmente integralmente con el buje 6, la estructura de refuerzo 19 de la góndola, la caja de engranajes 15 o cualquier otra parte del rotor 4 o la góndola 3 o el anillo interno 26 y el anillo externo 24 podría formarse como una parte individual, por ejemplo, en forma de U, donde las dos "patas" de la U serían el anillo interno 26 y el anillo externo 24 del rodamiento principal 14 que se unen integralmente por una parte transversal.

30 En este modo de realización, el anillo interno 26 y el anillo externo 24 se conectan a la misma parte, pero, en otro modo de realización, los anillos 24, 26 podrían conectarse a diferentes partes donde estas partes diferentes se conectarían entonces de forma rígida.

35 Es importante que el anillo interno 26 y el anillo externo 24 se conecten de forma rígida para garantizar que la distancia interna D5 entre el anillo interno 26 y el anillo externo 24 en todo momento se mantenga sustancialmente constante y uniforme en todo el camino alrededor de los anillos de rodamiento 24, 25, 26, para impedir que los elementos rodantes 13 dejen su posición correcta entre los anillos, por ejemplo, funcionando en los bordes de las pistas de rodadura 30 u otro que puedan dañar o reducir la vida del rodamiento de seguimiento automático localmente radial 23 o partes del mismo. De este modo, se garantiza el funcionamiento del rodamiento de seguimiento automático localmente radial 23 aunque el rodamiento 23 debería desviarse, por ejemplo, haciendo un punto específico en la parte rotatoria del rodamiento 23 describiendo algo más que un círculo perfecto como una curva elíptica. Se garantiza el funcionamiento del rodamiento de seguimiento automático localmente radial 23 porque el anillo interno 26 y el anillo externo 24 mantendrán siempre el anillo central 25 en su posición correcta, sin importar el sentido de la carga (radial en o hacia el exterior, axialmente hacia delante y hacia atrás o cualquier combinación de las mismas) que el rodamiento de seguimiento automático localmente radial 23 tenga que transferir. De este modo, el rodamiento 23 se vuelve de autoseguimiento porque el anillo central 25 se guía en todo momento sustancialmente con precisión entre el anillo interno 26 y el anillo externo 24 sin importar sustancialmente si el rodamiento 23 es ligeramente ovalado u otro.

40 En este modo de realización de la invención, la turbina eólica 1 no tiene un árbol de baja velocidad como tal, porque el rotor 4 se conecta directamente al soporte planetario 9 de la caja de engranajes epicicloidales estableciendo la conexión entre el rotor 4 y la góndola 3 a lo largo de la borde externo de la brida de buje 27, haciendo que el rodamiento principal 14 tenga un diámetro grande relativo tal como entre 1 y 5 metros, preferentemente entre 1,8 y 45 3,5 metros. Por lo tanto, las figuras 9-12 ilustran una sección transversal de un lado del rodamiento principal 14 en el lado superior de la góndola 3 a una distancia de, por ejemplo, 1,2 metros desde el eje de rotación del rotor 4,

55

haciendo el diámetro de este modo de realización de un rodamiento principal 14 de acuerdo con la invención de aproximadamente 2,4 metros de diámetro.

En otro modo de realización de la invención, el rodamiento principal 14 podría colocarse en otro diámetro, por ejemplo, encerrando un árbol principal de diámetro más pequeño u otro.

5 En este modo de realización, el rodamiento principal 14 solo comprende un anillo central 25, un anillo externo 24 (a pesar de que este anillo externo 24 se divida en más de una parte anular yuxtapuesta 32, 35) y un anillo interno 26 (a pesar de que este anillo interno 26 se divida en más de una parte anular yuxtapuesta 33, 34), pero, en otro modo de realización, el rodamiento principal 14 podría comprender más de uno de cada uno de estos anillos 24, 25, 26.

10 En este modo de realización de la invención, el anillo central 25 se forma como un anillo simple, pero, en otro modo de realización, el anillo central 25 podría formarse también como un número de anillos concéntricos tal como dos anillos individuales montados cada uno sustancialmente en la misma parte de turbina eólica tal como en el buje 6 o en una parte de la góndola 3 tal como una parte de la caja de engranajes 15. Los anillos centrales 25 solo tienen que conectarse de forma rígida para garantizar que el rodamiento de seguimiento automático localmente radial 23 sea capaz de transferir eficientemente la carga en ambos sentidos radiales.

15 En este modo de realización de la invención, el anillo central 25 se forma integralmente con la estructura de refuerzo 19 de la góndola 3, pero, en otro modo de realización, el anillo central 25 podría ser una parte independiente conectada de forma rígida a o al menos sustancialmente de forma rígida a la estructura de refuerzo 19 de la góndola 3 o a otra parte más o menos estacionaria o rotatoria de la góndola 3 o si el anillo interno 26 y el anillo externo 24 se conectara a la góndola 3, el anillo central 25 podría conectarse al rotor 4, por ejemplo, a través de la brida de buje 27.

20 En este modo de realización de la invención, el diseño de tres anillos podría usarse también de noche fuera de la abrasión del anillo o anillos estacionarios 24, 25, 26 y/o de la abrasión de la pista de rodadura 30 del anillo o anillos estacionarios 24, 25, 26. Las pistas de rodadura estacionarias 30 en dicha disposición (las montadas en la góndola 3) verán un sentido de carga predominante debido al propio peso del rotor 4 y al momento de inclinación que resulta del propio peso de la pala 5. Esto causará un índice más alto de fatiga y desgaste en ciertas regiones del anillo o anillos estacionarios. Por ejemplo, si uno elige ahora montar el anillo interno 26 y el anillo externo 24 en la estructura de góndola estacionaria 19, y el anillo de centro 25 en la parte rotatoria (buje 6), se producirán entonces estas regiones de fatiga aumentada y desgaste en áreas definidas de estos anillos estacionarios 24, 26. Ahora, uno puede ejecutar el rodamiento de seguimiento automático localmente radial 23 de tal manera que el anillo interno 26 o el anillo externo 24 pueden apoyar el rotor 4 solo, al menos en condiciones estáticas. Esto significa que podría diseñarse la unidad de rodamiento principal 14 de tal manera que se extrae el medio de conexión del anillo externo 24, se hace rotar el anillo externo 24, por ejemplo, 180 grados, vuelve a conectar el anillo externo 24, se extraen luego los medios de conexión del anillo interno 26, se hace rotar este, por ejemplo, 180 grados y vuelve a colocarse el anillo interno 26 por medio de los medios de conexión. Esto significa que los anillos de rodamiento cargados más altos 24, 25, 26 después de compartir su vida, continuarán funcionando en el área cargada en los mismos. En esencia, uno puede diseñar cada contacto solo durante una fracción de la vida de diseño del sistema.

30 En este modo de realización de la invención, los anillos de rodamiento 24, 25, 26 son todos sustancial y perfectamente redondos cuando se monta inicialmente, pero, en otro modo de realización de la invención, los anillos 24, 25, 26 podrían formarse, por ejemplo, ovalados para compensar previamente, por ejemplo, el peso muerto estático. El peso muerto del rotor 4 podría causar una desviación estática en sentido vertical y, por lo tanto, podría causar una desalineación de la caja de engranajes 15 o del generador 17 hacia su montaje (la góndola 3 o al menos la estructura de góndola 19). Esta desviación se define bastante bien por las masas de los componentes 4, por la rigidez del rodamiento principal 14 y, por consiguiente puede compensarse previamente. Básicamente, uno ejecuta los rodamientos radiales en la parte "demasiado alta", de tal manera que se toma su posición ideal teórica primero cuando se monta el rotor 4. Uno podría probablemente no solo compensar previamente el peso muerto estático, sino también, por ejemplo, para la carga operativa media que pueda ser significativamente diferente de solo masas, de manera que sólo las desviaciones de la media tienen un impacto sobre la alineación de la caja de engranajes o del generador.

40 En este modo de realización de la invención, existe un riesgo potencial de algunos de los elementos rodantes 13 en cierto punto al funcionar en una condición sin carga. Pero a los rodamientos de elementos rodantes 14, y en particular los rodamientos de rodillos 14, no les gusta en absoluto funcionar descargados, ni siquiera a nivel local alrededor de la circunferencia. El funcionamiento con/sin carga causa que el elemento rodante 13 funcione más lentamente que su velocidad teórica y, por consiguiente se deslice en la zona de contacto. Una vez que el elemento rodante 13 entra en la zona de carga, primero tiene que acelerar, y esto puede causar que se deslice o se corra, lo que, posteriormente, puede destruir el rodamiento principal 14. En otro modo de realización de la invención, podría, por lo tanto, ser ventajoso modificar la rigidez de los anillos de rodamiento 24, 25, 26 o al menos de partes o de los rodamientos 32, 33, 34, 35 para obtener una carga previa definida del elemento rodante 13, solo lo suficiente para mantener una carga de rodillo mínima definida en todas las condiciones operativas.

La figura 10 ilustra el mismo modo de realización que la figura 9 con una primera parte del anillo externo 32

desplazada axialmente, vista de lado.

5 El presente diseño de un rodamiento de seguimiento automático localmente radial 23 ofrece otras ventajas con respecto al funcionamiento de la turbina eólica 1 porque este diseño permite que pueda accederse a, inspeccionarse y/o reemplazarse todo el rodamiento principal 14 o al menos las piezas de desgaste y/o las partes internas 30, 13, 31 del rodamiento de seguimiento automático localmente radial 23, sin tener que extraerse o fijarse el rotor 4 por un equipo complejo adicional.

En este modo de realización de la invención, una primera parte del anillo externo 32 puede desplazarse axialmente para permitir el acceso a las partes internas 30, 13, 31 entre el anillo externo 24 y el anillo central 25.

10 En cuanto a que la primera parte del anillo externo 32 se carga mucho cuando las cargas radiales y/o axiales se transfieren a pesar del rodamiento principal 14, la primera parte del anillo externo 32 se forma, en este modo de realización, como un anillo cerrado simple que encierra completamente las partes internas 30,13,31 entre el anillo externo 24, y el anillo central 25, pero porque el anillo interno 26 y el anillo externo 24 se conectan de forma rígida a nivel local en todo el camino alrededor del rodamiento principal 14, la primera parte del anillo externo 32 podría formarse también como una serie de segmentos individuales.

15 En este modo de realización de la invención, el anillo externo 24 comprende además una segunda parte del anillo externo 35 que, en este modo de realización, está estacionaria durante la inspección y/o el reemplazo de las partes internas 30,13, 31, pero, en otro modo de realización, la segunda parte del anillo externo 35 podría dividirse, por ejemplo, en un número de segmentos y extraerse luego durante la inspección y/o el reemplazo de las piezas internas 30,13,31 para garantizar mejores condiciones de trabajo u otro o la segunda parte del anillo externo 35 podría formarse como una parte integrada del buje 6 u otro.

20 Cuando se ha extraído la primera parte del anillo externo 32, existe el acceso libre a la pista de rodadura 30 en el anillo externo 24 y a los elementos rodantes 13, a la jaula 31 o jaulas 31 y a la pista de rodadura 30 en el anillo central 25.

25 El rodamiento de seguimiento automático localmente radial 23 comprende una o más jaulas 31 para mantener sustancialmente la posición de los elementos rodantes individuales 13 con respecto a los otros elementos rodantes 13 que mantienen, de este modo, una distancia sustancialmente constante y uniforme entre los elementos rodantes 13 todo el camino alrededor del rodamiento de seguimiento automático localmente radial 23.

30 En este modo de realización, la jaula 31 se forma como un aro de acero dotado con un número de orificios que corresponden a los elementos rodantes 13. La jaula 31 se forma además como un segmento porque el aro puede abrirse en un lugar para extraer la jaula 31 sin tener que extraer los elementos rodantes 13.

En otro modo de realización, la jaula 31 podría dividirse en un número de segmentos o la jaula 31 podría formarse como dos jaulas individuales 31 que funcionan en cualquier lado de los elementos rodantes 13 y luego conectarse entre todos o algunos de los elementos rodantes 13.

35 Mientras las partes internas 30, 13, 31 entre el anillo externo 24 y el anillo central 25 se extraen o solo se acceden a ellas, los elementos rodantes 13 entre el anillo central 25 y el anillo interno 26 se mantienen en pleno funcionamiento permitiendo, de este modo, que la fila o filas 27 de elementos rodantes 13 entre el anillo central 25 y el anillo interno 26 puedan llevar todo el peso y la carga del rotor 4 y transferirlos a la góndola 3 y más allá.

40 La rotación del rotor 4 tendría, por supuesto que detenerse antes de que se desmonte o extraiga cualquiera de los anillos 24, 25, 26 para garantizar la seguridad del personal que hacen las reparaciones, para garantizar la seguridad de la maquinaria y para reducir la carga que tiene que transferirse por el rodamiento principal 14 durante las reparaciones.

La figura 11 ilustra el mismo modo de realización que la figura 9 con una primera parte del anillo interno 33 radial desplazada, vista de lado.

45 Debido al diseño del rodamiento de seguimiento automático localmente radial 23 en este modo de realización de la invención, la primera parte del anillo interno 33 no puede extraerse antes de que se mueva la segunda parte del anillo interno 34.

En este modo de realización de la invención, la primera parte del anillo interno 33 se forma como un anillo cerrado completo y, por lo tanto, tiene que moverse axialmente, pero, en otro modo de realización de la invención, la primera parte del anillo interno 33 podría dividirse en un número de segmentos que podrían eliminarse radialmente.

50 En cuanto a que la segunda parte del anillo interno 34, en este modo de realización, se ha quedado atascada axialmente entre la brida de buje 27 y la primera parte del anillo interno 33, la segunda parte del anillo interno 34 se divide, en este modo de realización de la invención, en una serie de segmentos que pueden extraerse radiales.

La figura 12 ilustra el mismo modo de realización que la figura 9 con una segunda parte del anillo interno 34 desplazada axialmente, vista de lado.

Una vez que se ha movido la segunda parte del anillo interno 34, la primera parte del anillo interno 33 puede desplazarse axialmente para dar el acceso a las partes internas 30, 13, 31 entre el anillo interno 26 y el anillo central 25.

5 Cuando se ha extraído la primera parte del anillo interno 33, existe un acceso libre a la pista de rodadura 30 en el anillo interno 24 y a los elementos rodantes 13, 31 de la jaula o jaulas 31 y a la pista de rodadura 30 en el anillo central 25.

En este modo de realización de la invención, todas las cuatro pistas de rodadura 30 se dividen en segmentos para para una extracción fácil y para permitir que solo se haya eliminado una parte dañada de la pista de rodadura 30.

10 En otro modo de realización de la invención, solo la pista de rodadura 30 en el anillo central 25 se dividiría en segmentos, mientras que las pistas de rodadura 30 en el anillo interno 26 y el anillo externo 24 se dividiría axialmente inmediatamente por encima del punto más alto de los elementos rodantes 13 en dos anillos independientes completos conectados, por ejemplo, por pernos para formar una pista de rodadura 30 completa. Si las jaulas 31 pudieran montarse después de que se hayan situado las pistas de rodadura 30 alrededor de los elementos rodantes 13, las pistas de rodadura 30 en el anillo interno 26 y el anillo externo 24 podrían formarse también como anillos circulares completos.

15 En otro modo de realización de la invención, los anillos 24, 25, 26 no están dotados de pistas de rodadura independientes 30 o al menos solo el anillo central 25 está dotado con pistas de rodadura independientes 30 porque las pistas de rodadura 30 podrían formarse integralmente con los anillos 24, 25, 26 dando como resultado que la totalidad de los anillos 24, 25, 26 o al menos las partes enteras de los anillos que hacen contacto con los elementos rodantes 13 tendrían que intercambiarse en caso de daño o desgaste de la pista de rodadura 30.

20 Como se ha explicado anteriormente, los elementos rodantes 13 entre el anillo de centro 25 y el anillo externo 24 permanecen de transmisión de carga, mientras que las partes internas 30, 13, 31 entre el anillo interno 26 y el anillo central 25 se extraen o solo se accede a ellas permitiendo, de este modo que la fila o filas 27 de elementos rodantes 13 entre el anillo central 25 y el anillo externo 24 puedan llevar todo el peso y la carga del rotor 4 y los transfiera a la góndola 3 y más allá.

25 La invención se ha ejemplificado anteriormente con referencia a ejemplos específicos de diseños y modos de realización de trenes de transmisión 12, cajas de engranajes epicicloidales 15, rodamientos principales 14 y otros. Sin embargo, debería entenderse que la invención no se limita a los ejemplos particulares descritos anteriormente, sino que puede diseñarse y alterarse en una multitud de variedades dentro del alcance de la invención como se especifica en las reivindicaciones.

30

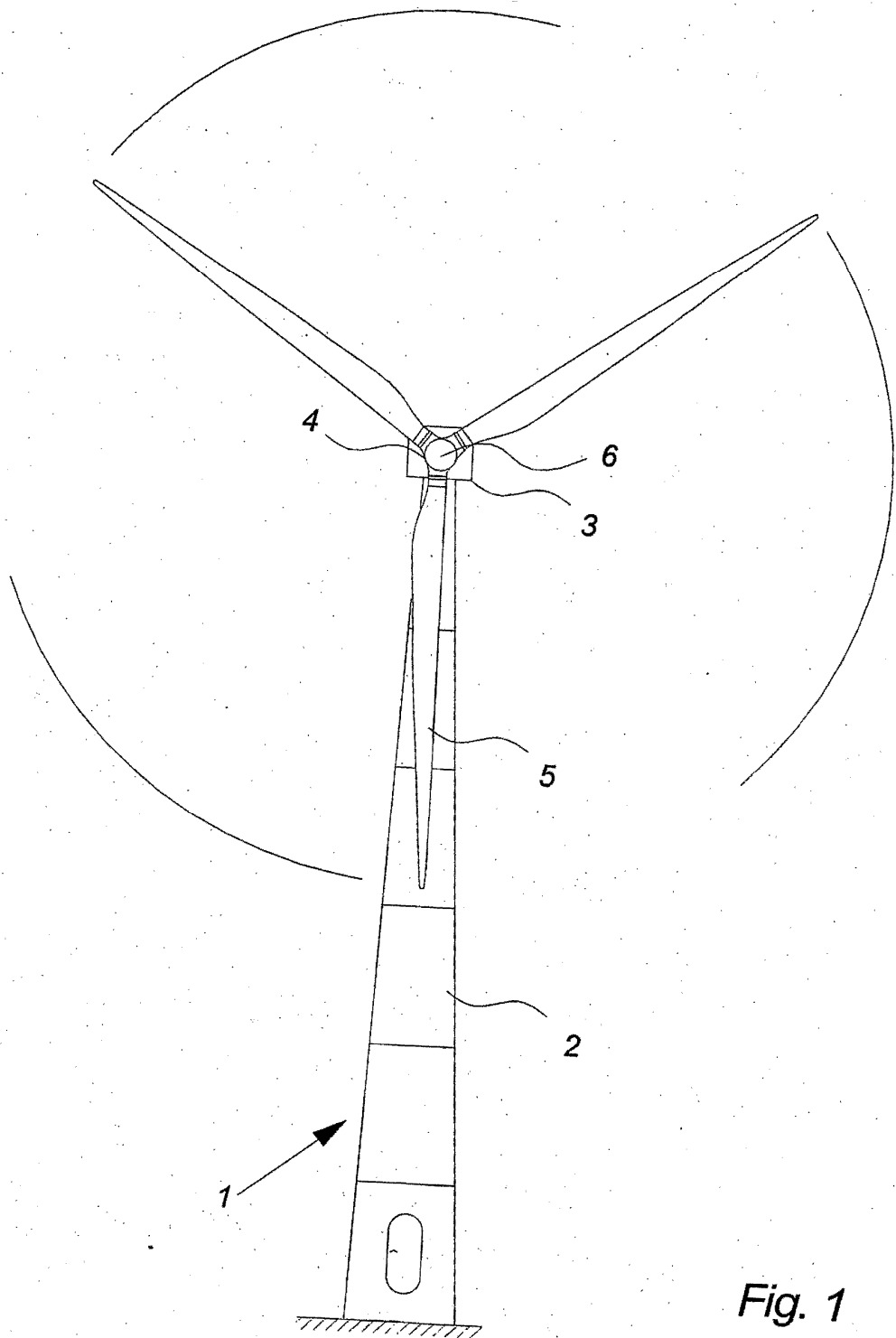
Lista

1. Turbina eólica
2. Torre
3. Góndola
- 35 4. Rotor
5. Pala
6. Buje
7. Engranaje solar
8. Engranaje de corona circular
- 40 9. Soporte planetario
10. Engranaje planetario
11. Etapa de engranajes
12. Tren de transmisión
13. Elementos rodantes
- 45 14. Rodamiento principal
15. Caja de engranajes
16. Sistema de frenado

- 17. Generador
 - 18. Transformador
 - 19. Estructura de góndola
 - 20. Cojinete de engranaje planetario
 - 5 21. Primera parte dentada
 - 22. Segunda parte dentada
 - 23. Rodamiento de seguimiento automático localmente radial
 - 24. Anillo externo
 - 25. Anillo central
 - 10 26. Anillo interno
 - 27. Rodillo de elemento rodante
 - 28. Parte de rotor del generador
 - 29. Parte de estátor del generador
 - 30. Pista de rodadura
 - 15 31. Jaula
 - 32. Primera parte del anillo externo
 - 33. Primera parte del anillo interno
 - 34. Segunda parte del anillo interno
 - 35. Segunda parte del anillo externo
 - 20 D1 Diámetro de la primera parte dentada
 - D2 Diámetro de la segunda parte dentada
 - D3 Diámetro del engranaje de corona circular
 - D4 Diámetro del engranaje solar
 - D5 Distancia interna entre el interior del anillo externo y el exterior del anillo interno
- 25

REIVINDICACIONES

1. Una turbina eólica (1) con un tren de transmisión (12) colocado parcial o completamente en una góndola (3) de dicha turbina eólica (1), comprendiendo dicho tren de transmisión (12)
 - 5 una caja de engranajes epicicloidales (15) que incluye al menos una etapa de engranaje (11) que comprende una pluralidad de engranajes planetarios (10) que engranan con un engranaje solar (7) y/o un engranaje de corona circular (8), funcionando dicha caja de engranajes (15) para acelerar parcial o completamente la rotación de un rotor (4) de dicha turbina eólica (1) con el fin de accionar al menos un generador (17) de dicha turbina eólica (1), en la que dicho tren de transmisión (12) comprende además al menos un rodamiento de seguimiento automático localmente radial (23) para permitir la rotación de dicho rotor (4) en relación con una estructura de góndola (19) de dicha
 - 10 góndola (3), **caracterizada por que** dicho rodamiento de seguimiento automático localmente radial (23) comprende medios para transferir cargas localmente en ambos sentidos radiales entre uno o más anillos de rodamiento (24, 25 o 26) conectados directa o indirectamente a dicho rotor (4) y uno o más anillos de rodamiento (24, 25 o 26) conectados directa o indirectamente a dicha estructura de góndola (19).
 2. Una turbina eólica (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el diámetro de paso (D4) de dicho engranaje solar (7) es más grande que entre el 30 % y el 99 %, preferentemente entre el 50 % y el 95 % y lo más preferido entre el 70 % y el 90 %, tal como el 80 % del diámetro de paso (D3) de dicho engranaje de corona circular (8).
 3. Una turbina eólica (1) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en la que al menos dicha etapa de engranaje (11) comprende entre 2 y 100, preferentemente entre 4 y 60 y lo más preferido entre 9 y 40 tal como 24 engranajes planetarios (10).
 - 20 4. Una turbina eólica (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que uno o más de dichos engranajes planetarios (10) comprende una primera parte dentada (21) que tiene un primer diámetro de paso (D1) y una segunda parte dentada (22) que tiene un segundo diámetro de paso (D2) y en la que dicho primer diámetro de paso (D1) es diferente de dicho segundo diámetro de paso (D2).
 - 25 5. Una turbina eólica (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que al menos dicho rodamiento de seguimiento automático localmente radial (23) es un rodamiento principal (14) de dicha turbina eólica (1).
 6. Una turbina eólica (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que al menos dicho rodamiento de seguimiento automático localmente radial (23) está integrado en o se conecta directamente a dicha caja de engranajes epicicloidales (15).
 - 30 7. Una turbina eólica (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicho engranaje de corona circular (8) se divide en dos o más segmentos.
 8. Una turbina eólica (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que al menos dicho generador (17) comprende al menos una parte de rotor (28) que rota en relación con dicha estructura de la góndola (19) y al menos una parte de estátor (29) que está sustancialmente estacionaria en relación con dicha estructura de
 - 35 góndola (19) durante el funcionamiento normal de dicha turbina eólica (1).
9. Una turbina eólica (1) de acuerdo con la reivindicación 8, en la que al menos dicha parte de rotor (28) encierra sustancialmente al menos una parte de estátor (29).
10. Una turbina eólica (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicho tren de transmisión (12) comprende un centro hueco por todo el tren de transmisión (12) a lo largo del eje de rotación.
- 40 11. Una turbina eólica (1) de acuerdo con la reivindicación 10, en la que dicho centro hueco es de un tamaño que proporciona acceso de personal por todo el tren de transmisión (12).
12. Una turbina eólica (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicho rodamiento de seguimiento automático localmente radial (23) comprende al menos un anillo externo (24), al menos un anillo central (25) y al menos un anillo interno (26) y en el que dicho anillo central (25) es capaz de rotar en relación con dicho anillo externo (24) y dicho anillo interno (26) o dicho anillo externo (24) y dicho anillo interno (26) son capaces de rotación en relación con dicho anillo central (25).
- 45 13. Una turbina eólica (1) de acuerdo con la reivindicación 12, en la que al menos dicho anillo externo (24) y al menos dicho anillo interno (26) se conectan de manera rígida.
14. Una turbina eólica (1) de acuerdo con la reivindicación 12 o 13, en la que al menos dicho anillo externo (24) y al menos dicho anillo interno (26) se conectan a un buje (6) de dicho rotor (4).
- 50 15. Una turbina eólica (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 13 o 14, en la que al menos dicho anillo central (25) se conecta a una parte de estátor (29) de dicho al menos un generador (17).



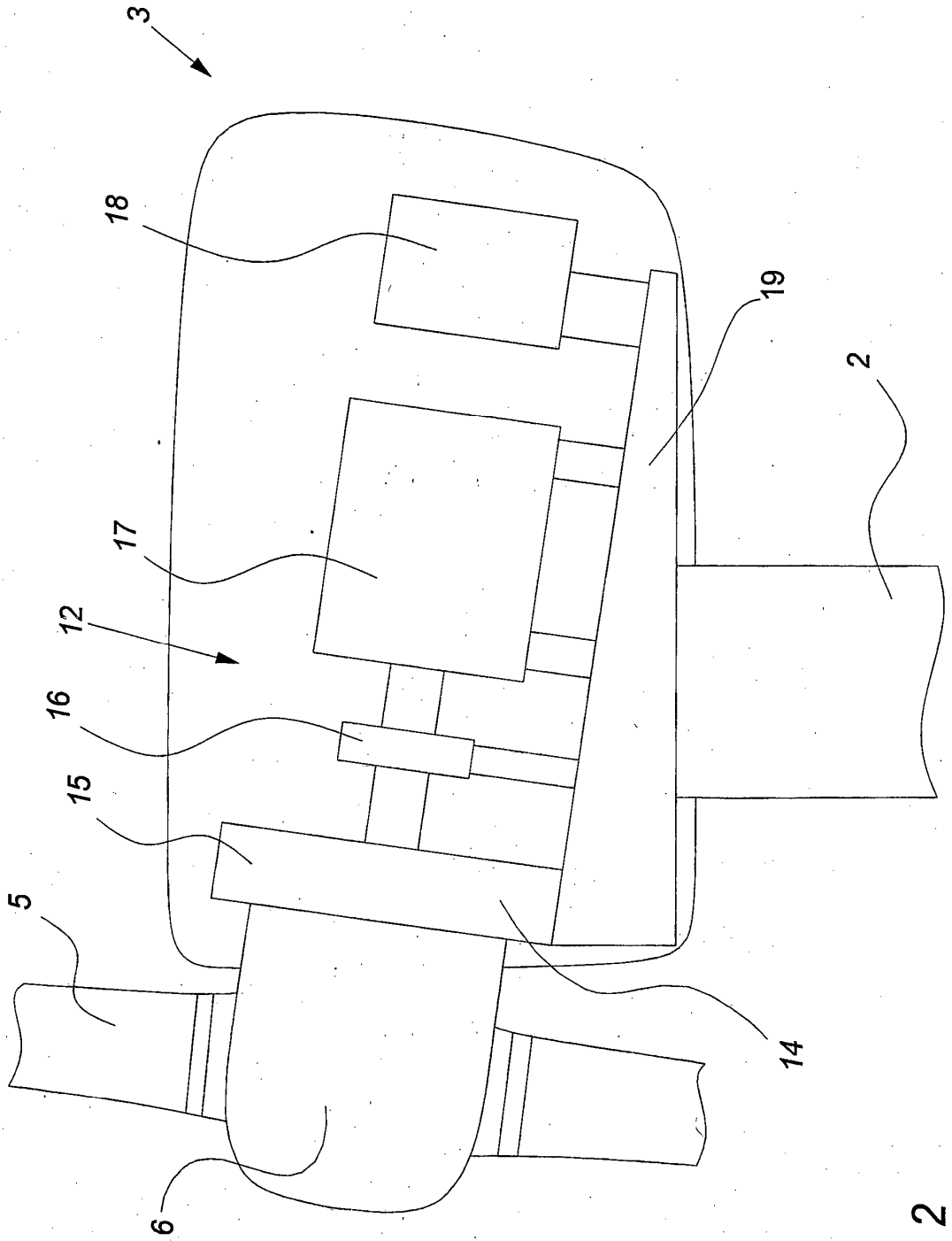


Fig. 2

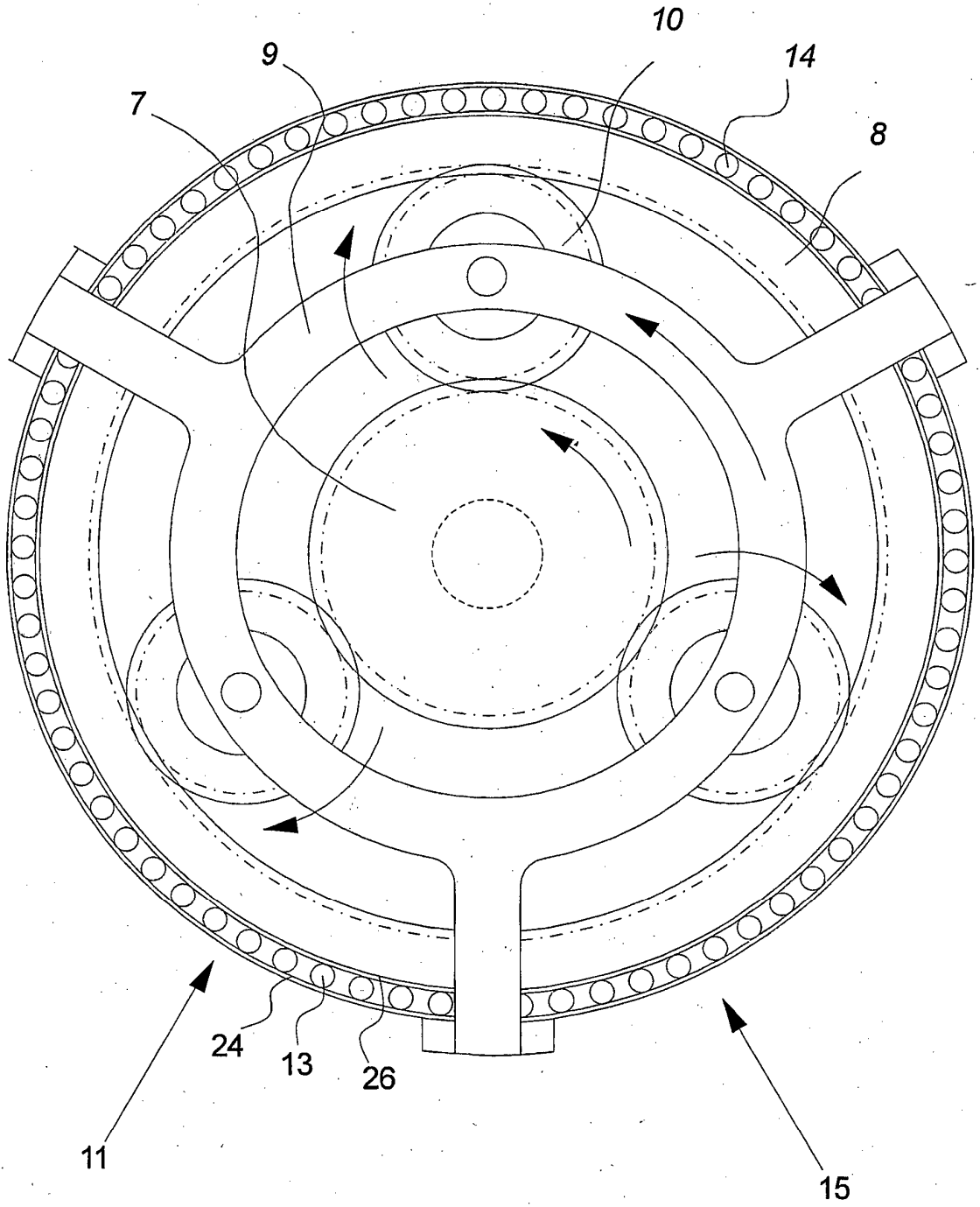


Fig. 3

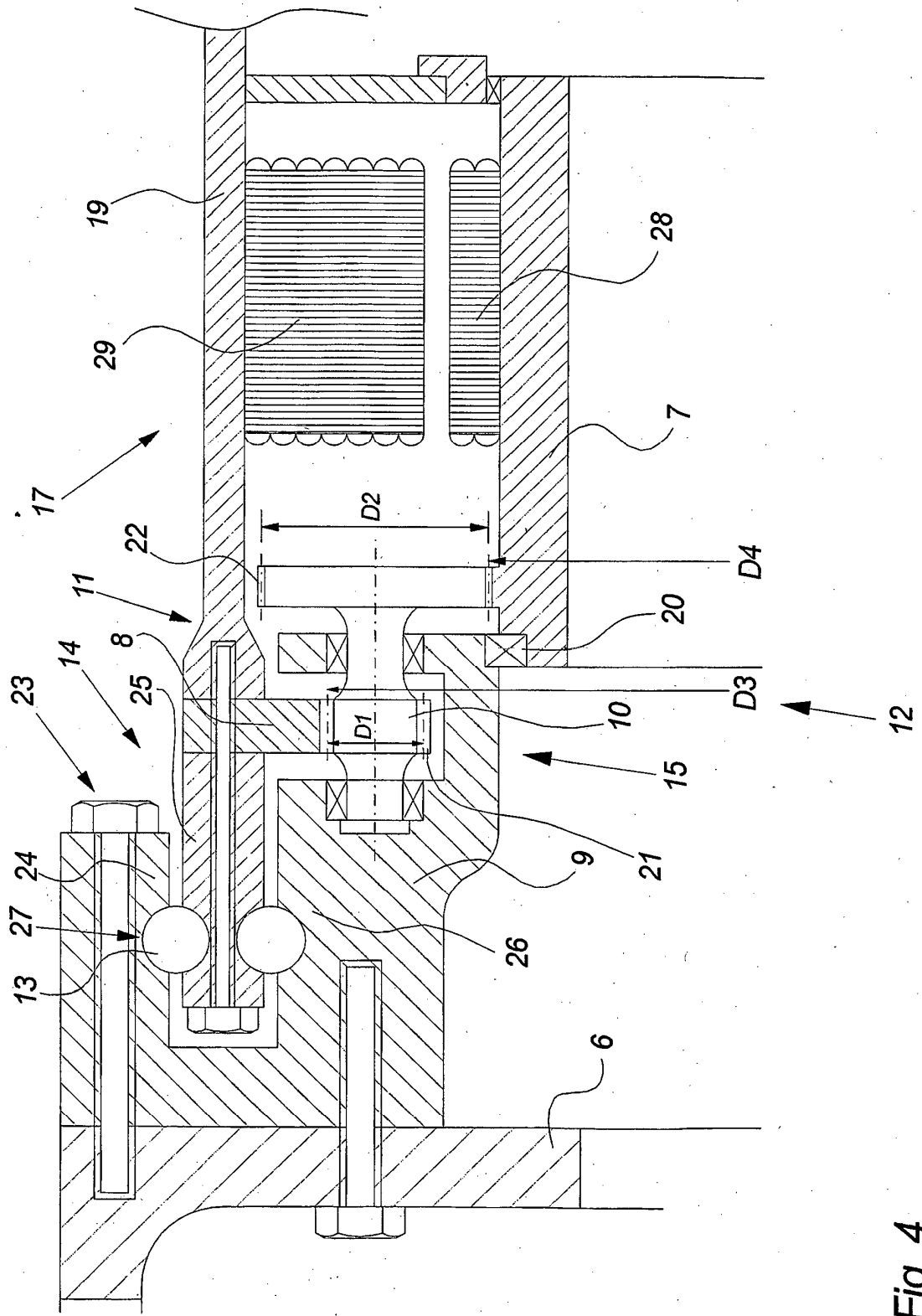


Fig. 4

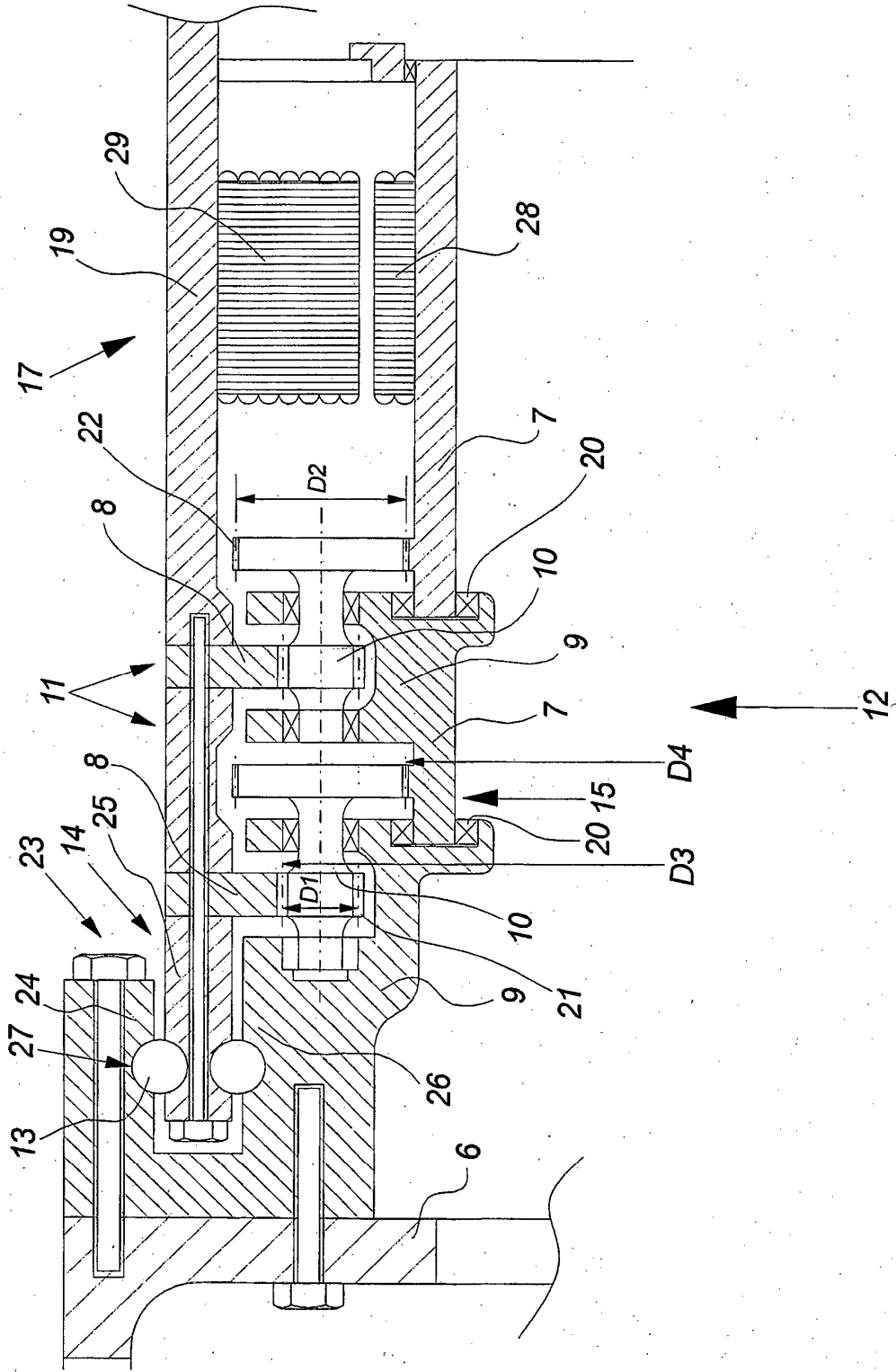


Fig. 5

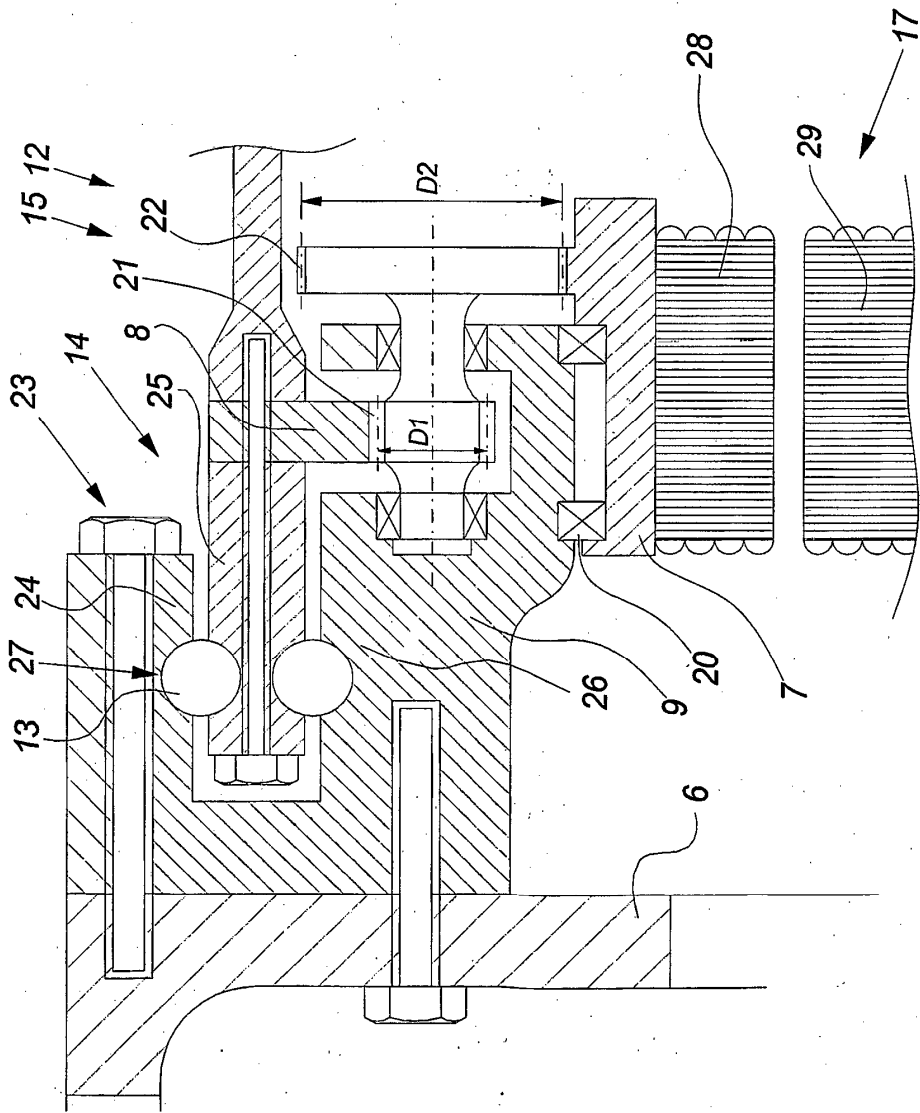


Fig. 6

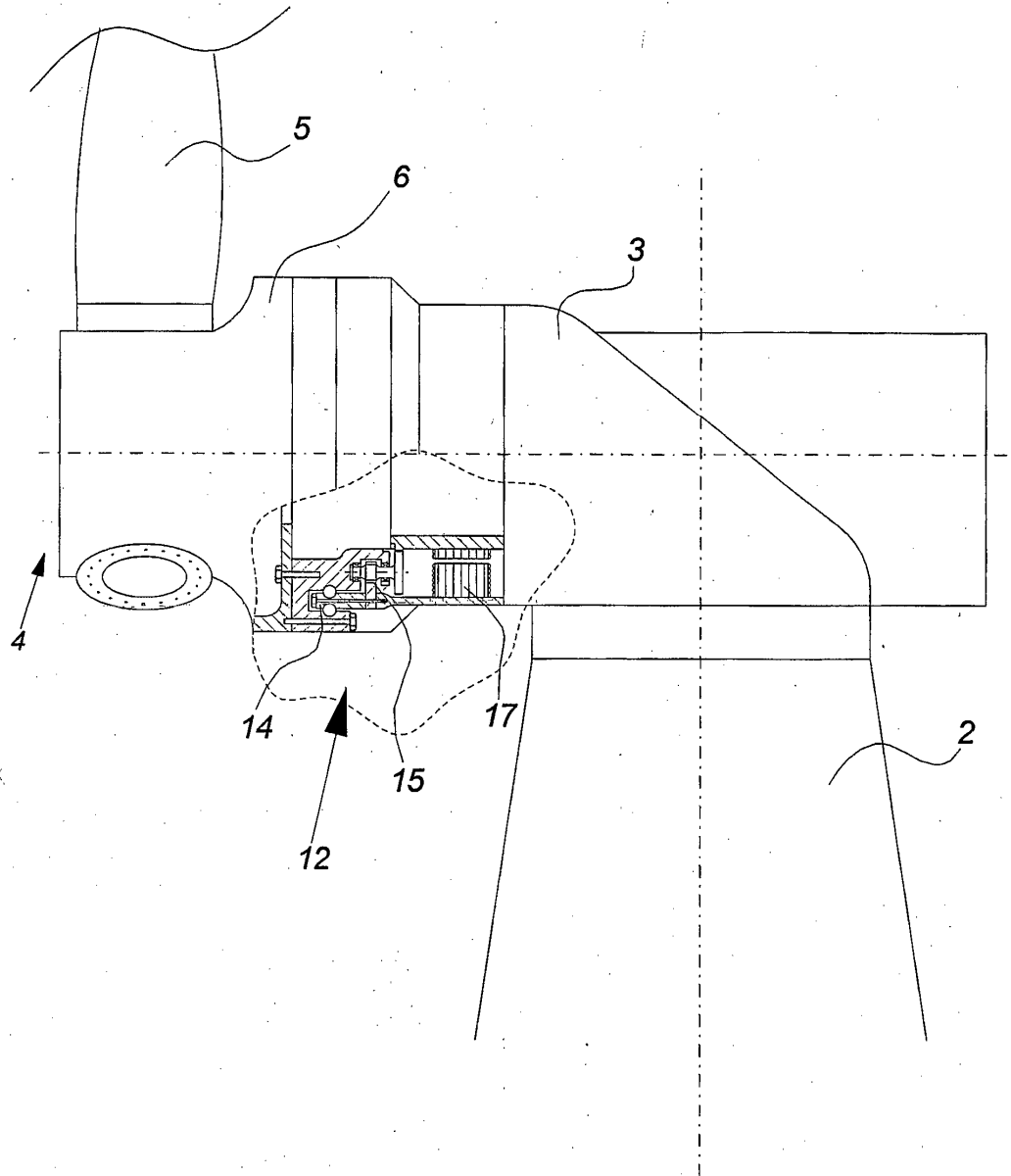
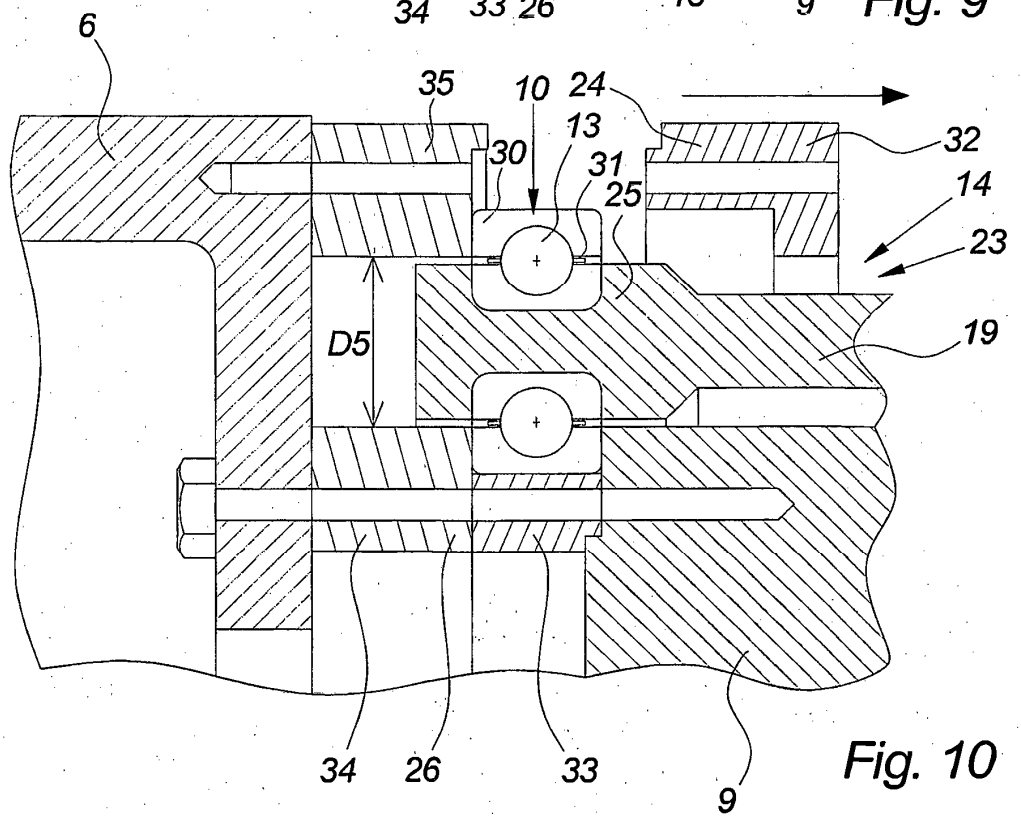
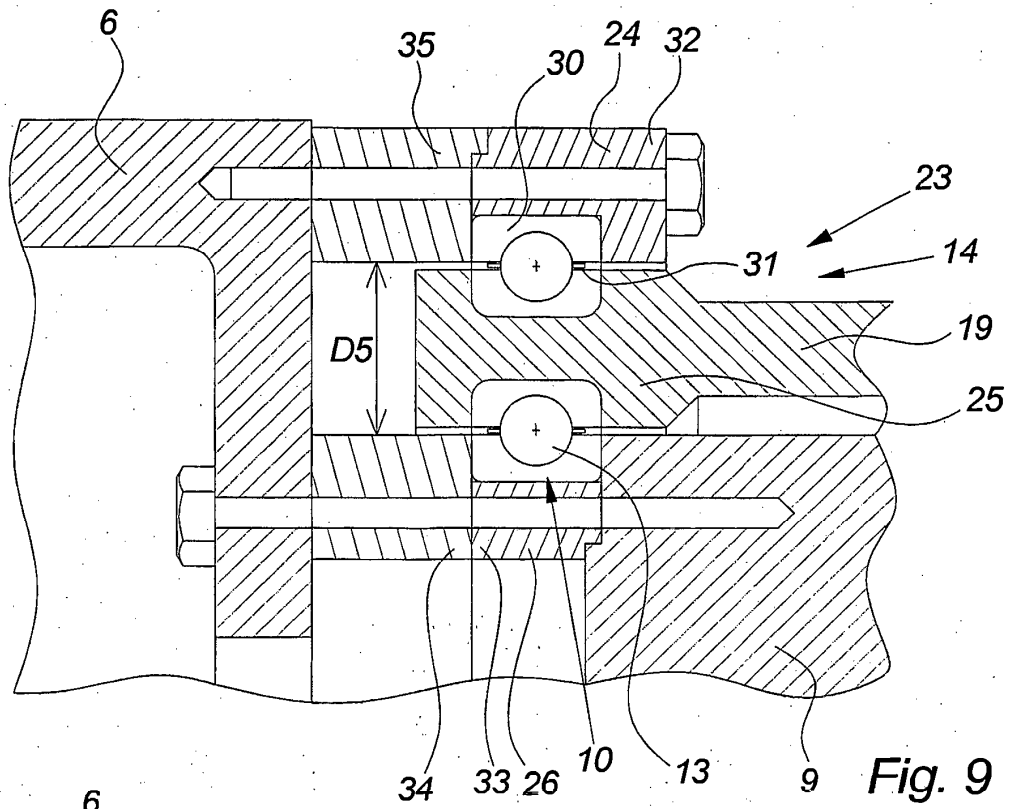


Fig. 8



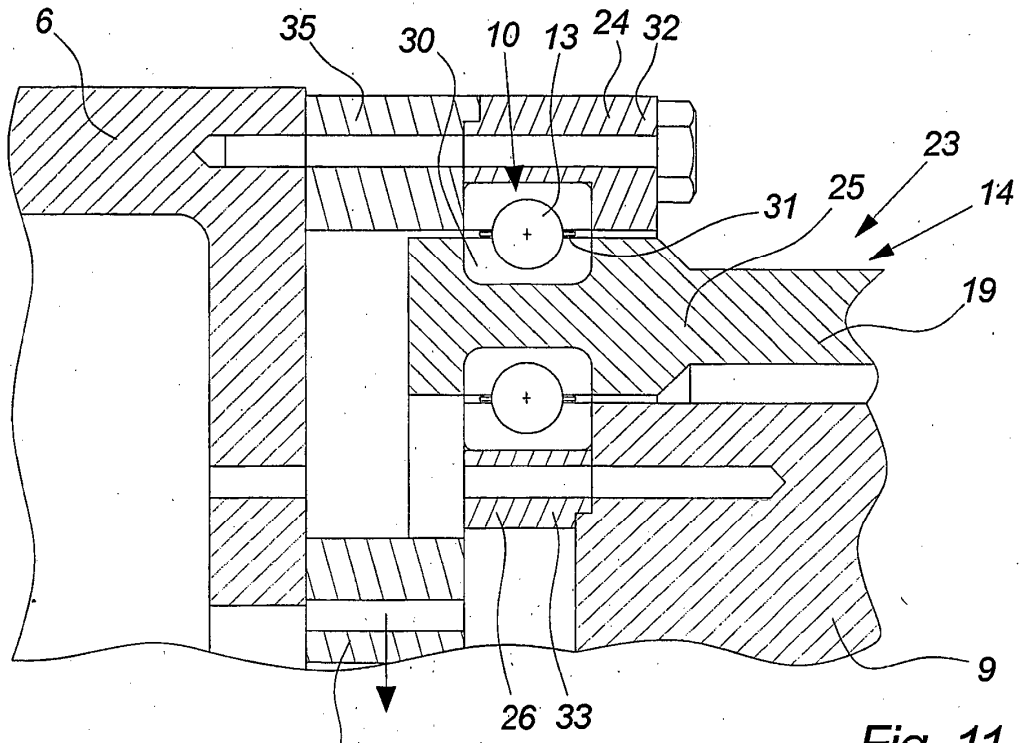


Fig. 11

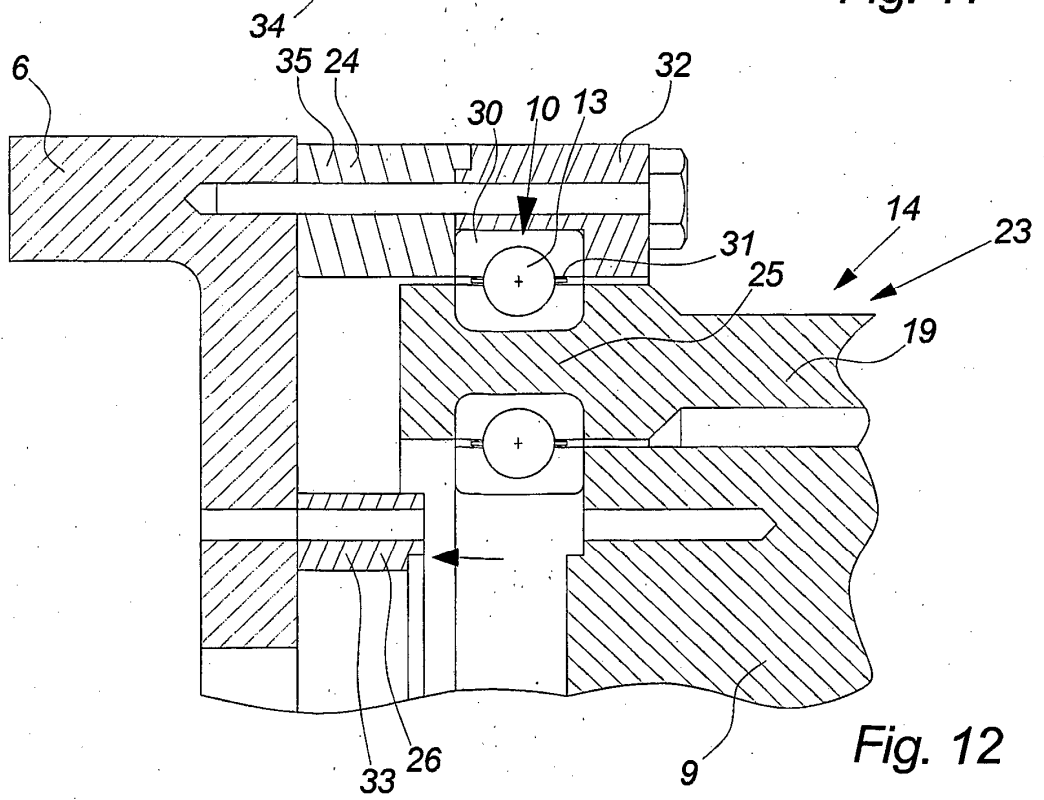


Fig. 12