(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 530 956**

(51) Int. Cl.:

F03D 11/00 (2006.01)
F03D 7/04 (2006.01)
F16C 32/06 (2006.01)
F03D 7/02 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.09.2011** **E 11761493 (3)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.01.2015** **EP 2616678**

(54) Título: **Sistema de control para una turbina eólica y procedimiento de funcionamiento de una turbina eólica basado en monitorizar un cojinete**

(30) Prioridad:

16.09.2010 US 883702

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.03.2015

(73) Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 44
8200 Aarhus N, DK

(72) Inventor/es:

WADEHN, JÖRG

(74) Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 530 956 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de control para una turbina eólica y procedimiento de funcionamiento de una turbina eólica basado en monitorizar un cojinete

Campo técnico

Esta solicitud se refiere generalmente a turbinas eólicas, y más concretamente, a un sistema de control para una turbina eólica que monitoriza un conjunto de cojinete y un procedimiento de funcionamiento de la turbina eólica basado en la monitorización del conjunto de cojinete.

Antecedentes de la invención

Las turbinas eólicas se utilizan para producir energía eléctrica utilizando una fuente renovable y sin combustión de un combustible fósil. Generalmente, una turbina eólica convierte energía cinética del viento en energía mecánica y a continuación convierte subsiguientemente la energía mecánica en potencia eléctrica. Una turbina eólica de eje horizontal incluye una torre, una góndola situada en el vértice de la torre, y un rotor que está soportado en la góndola. El rotor se acopla bien directa o indirectamente con un generador, que se aloja dentro de la góndola.

Una turbina eólica moderna típica tiene muchas piezas móviles que facilitan la conversión de energía cinética del viento en energía eléctrica. Como tal, una turbina eólica incluye típicamente muchos cojinetes que proporcionan movimiento relativo entre piezas contiguas en un modo de baja fricción relativamente eficiente. Por ejemplo, en la mayoría de las turbinas, un “árbol principal” se extiende desde el rotor y al interior de la góndola y está soportado por uno o más “cojinetes principales”. Adicionalmente, la caja de engranajes en la góndola que multiplica la velocidad angular del árbol principal incluye diversos cojinetes. Además, el sistema de control de guiñada que gira la góndola con relación a la torre para girar el rotor a favor/en contra del viento, y el sistema de control de orientación que gira las palas alrededor de su eje longitudinal incluyen asimismo diversos cojinetes que permiten un funcionamiento mejorado de la turbina eólica.

Convencionalmente, estos cojinetes se configuran como cojinetes con elementos de rodadura caracterizados por tener un elemento estructural (por ejemplo, un cojinete de bolas) dispuesto entre los dos componentes que se mueven relativamente entre sí. Los cojinetes con elementos de rodadura fallan por cualquier número de razones, aunque finalmente su vida está limitada por el desgaste y fatiga de superficie. Tales componentes de vida limitada requieren un mantenimiento regular con el fin de evitar modos de fallo a gran escala. Las piezas de recambio y mantenimiento de tales componentes de vida limitada aumentan los costes globales de funcionamiento de una turbina eólica. Por consiguiente, los fabricantes de turbinas eólicas y cojinetes se esfuerzan por diseños mejorado o alternativo que prolongue la vida en funcionamiento de los cojinetes.

Generalmente se conoce en la técnica que los cojinetes planos tienen una vida en funcionamiento larga. La principal razón de esto es que, a diferencia de los cojinetes con elementos de rodadura, los cojinetes planos no tienen ningún elemento estructural dispuesto entre los dos componentes en movimiento relativo, sino que en su lugar tienen tan solo una película de fluido dispuesta entre ambos. Así pues, los problemas de desgaste y fatiga asociados con elementos de rodadura, así como los costes asociados con sus recambios y mantenimiento, se pueden evitar. Consecuentemente, los cojinetes planos parecen proporcionar una alternativa atractiva a los cojinetes con elementos de rodadura. Adicionalmente, los cojinetes planos se diseñan para eliminar el contacto de superficie a superficie y por tanto funcionan con todavía menos fricción, lo que puede aumentar todavía más la eficiencia.

Existen dos tipos principales de cojinetes planos para soportar árboles: cojinetes hidrostáticos y cojinetes hidrodinámicos, cada uno de los cuales tiene típicamente un alojamiento rígido con una abertura de la superficie interna (el cojinete) que ajusta apretadamente alrededor del árbol (el extremo del eje) y una película de fluido entre el extremo del eje y el cojinete. En un cojinete hidrodinámico, el giro del extremo del eje auto-presuriza la película de fluido en una cuña entre superficies enfrentadas del extremo del eje y del cojinete, de modo que soporte la carga y mantenga el extremo del eje separado del cojinete. Los cojinetes hidrostáticos, por otro lado, incluyen una bomba externa que presuriza la película de fluido alrededor del extremo del eje (independientemente de la dinámica del árbol) para soportar la carga y mantener el extremo del eje separado del cojinete. Estos cojinetes, aunque tienen ciertos atributos deseables, tienen igualmente ciertos inconvenientes que han hecho que su implementación en la industria de las turbinas eólicas sea bastante limitada.

A este respecto, y en referencia a cojinetes hidrodinámicos, a menos que el extremo del eje gire con una velocidad suficiente, la película de fluido puede no ser capaz de soportar completamente la carga y mantener el extremo del eje separado del cojinete. En este caso, el cojinete hidrodinámico no funciona en un estado de película completa, sino que en su lugar funciona en un estado límite, en el que la carga está transportada parcialmente por la película de fluido y transportada parcialmente por contacto superficial directo con el cojinete. Hace funcionar un cojinete hidrodinámico en una condición límite puede provocar desgaste o daños que pueden acortar significativamente la vida en funcionamiento del cojinete.

Los cojinetes hidrostáticos, por otro lado, son capaces de soportar la carga incluso cuando el extremo del eje gira despacio o no gira en absoluto. Sin embargo, para efectuar la presurización externa de la película de fluido, los

cojinetes hidrostáticos incluyen un número de alojamientos o cavidades formados típicamente en la superficie del cojinete que se alimentan con fluido lubricante (por ejemplo, aceite, grasa, etc.) desde un depósito externo y se presurizan mediante una bomba externa. Los cojinetes hidrostáticos, aunque garantizan una presurización suficiente para soportar la carga y proporcionan separación del extremo del eje y el cojinete, tienen una eficiencia de funcionamiento reducida en comparación con, por ejemplo, cojinetes hidrodinámicos. A este respecto, los alojamientos formados en la superficie del cojinete crean una resistencia o afectan de otro modo a la hidrodinámica de la película de un modo negativo. Este efecto se vuelve pronunciado cuando el extremo del eje gira a una velocidad relativamente elevada lo que podría soportar de otro modo la carga tan solo por la hidrodinámica.

Las turbinas eólicas dependen del viento y, consecuentemente, tienen un amplio intervalo de funcionamiento, desde un modo en reposo (sin giro del rotor, árbol principal, engranajes, etc.) a un funcionamiento a velocidades angulares relativamente bajas de los diversos árboles y mecanismos bajo, por ejemplo, condiciones de bajo viento, y para funcionar a velocidades angulares relativamente altas bajo, por ejemplo, condiciones de viento elevado. Debido a la impredecibilidad del viento, los arranques y paradas que tienen lugar con turbinas eólicas, y el intervalo resultante de condiciones de funcionamiento, los fabricantes han confiado tradicionalmente en cojinetes con elementos de rodadura en el diseño de turbinas eólicas.

Aunque los cojinetes con elementos de rodadura son adecuados para su propósito pretendido, los fabricantes continuamente se esfuerzan en mejorar el diseño, costes de funcionamiento, y funcionalidad de las turbinas eólicas. Con este fin, sería deseable utilizar cojinetes planos en lugar de cojinetes con elementos de rodadura en el diseño de las turbinas eólicas para aumentar la vida en funcionamiento de los cojinetes y disminuir los costes asociados con el recambio y mantenimiento de cojinetes con elementos de rodadura.

El documento EP 2 189 672 da a conocer un dispositivo de cojinete para un árbol principal de una turbina eólica que incluye una porción cilíndrica y hueca fija que tiene un accesorio para insertar un fluido de alta viscosidad. El árbol principal está soportado por el fluido lubricante cuando gira.

Sumario

Los modos de realización de acuerdo con la invención abordan estas y otras deficiencias en sistemas de control de turbinas eólicas y funcionamiento de turbinas eólicas. A este respecto, un procedimiento de funcionamiento de una turbina eólica que tiene un conjunto de cojinete, un árbol recibido en el conjunto de cojinete, y al menos un subsistema capaz de alterar un estado dinámico de la turbina eólica incluye permitir que la turbina eólica sea accionada por el viento de tal modo que el árbol gire en el conjunto de cojinete y al menos una porción del conjunto de cojinete soporte el árbol sobre una película de fluido; monitorizar al menos un parámetro de la película de fluido indicativo de una carga en el árbol; comparar el al menos un parámetro con un criterio umbral; y realizar al menos una de las siguientes etapas cuando el al menos un parámetro satisface el criterio umbral: i) alterar el estado dinámico de la turbina eólica para reducir la carga en el árbol; y ii) alterar el estado del conjunto de cojinete de modo que acepte mejor la carga en el árbol.

En diversos modos de realización, monitorizar al menos un parámetro indicativo de la carga en el árbol incluye monitorizar directamente la carga, tal como la carga longitudinal en el árbol, monitorizar la presión de la película de fluido que soporta el árbol, monitorizar la temperatura de la película de fluido que soporta el árbol, y/o monitorizar el grosor de la película de fluido que soporta el árbol. Además, en diversos modos de realización, alterar el estado dinámico de la turbina eólica para reducir la carga en el árbol incluye guiñar la góndola con relación a la torre, orientar las palas de la turbina eólica, y/o aplicar un freno para disminuir la velocidad del rotor. Además, alterar el estado del conjunto de cojinete para aceptar mejor la carga en el árbol incluye aumentar la presión de la película de fluido que soporta el árbol.

En otro modo de realización, un procedimiento de funcionamiento de una turbina eólica que tiene un conjunto de cojinete convertible entre un modo de funcionamiento hidrostático y un modo de funcionamiento hidrodinámico, un árbol recibido en el conjunto de cojinete, y al menos un subsistema capaz de alterar un estado dinámico de la turbina eólica incluye monitorizar al menos un parámetro indicativo de una carga en el árbol; comparar el al menos un parámetro con un criterio umbral; determinar si el conjunto de cojinete está en un modo de funcionamiento hidrostático o un modo de funcionamiento hidrodinámico; y realizar al menos una de las siguientes etapas cuando el al menos un parámetro satisface el criterio umbral: i) alterar el estado dinámico de la turbina eólica para reducir la carga en el árbol cuando el conjunto de cojinete está en el modo de funcionamiento hidrodinámico; y ii) alterar el estado del conjunto de cojinete de modo que acepte mejor la carga en el árbol cuando el conjunto de cojinete está en el modo de funcionamiento hidrostático. El procedimiento puede incluir adicional o alternativamente alterar el estado dinámico de la turbina eólica para reducir la carga en el árbol cuando el conjunto de cojinete está en el modo de funcionamiento hidrostático.

Un sistema de control para una turbina eólica que tiene un conjunto de cojinete, un árbol recibido en el conjunto de cojinete, en el que el árbol se configura para girar en el conjunto de cojinete y para estar soportado en el mismo al menos en parte por una película de fluido, y al menos un subsistema capaz de alterar un estado dinámico de la turbina eólica incluye un controlador acoplado funcionalmente con el conjunto de cojinete y el al menos un

subsistema, y al menos un sensor para monitorizar al menos un parámetro de la película de fluido indicativo de una carga en el árbol. El al menos un sensor se conecta funcionalmente al controlador y se configura para enviar una señal al controlador que corresponde a un valor en el al menos un parámetro. El controlador se configura para enviar una señal al al menos un subsistema para alterar el estado dinámico de la turbina eólica de modo que se reduzca la carga en el árbol cuando el valor del al menos un parámetro enviado por el al menos un sensor satisface un criterio umbral. El controlador puede configurarse adicional o alternativamente para enviar una señal al conjunto de cojinete para alterar el estado del conjunto de cojinete de modo que acepte mejor la carga en el árbol cuando el valor del al menos un parámetro enviado por el al menos un sensor satisface el criterio umbral.

En un modo de realización adicional, una turbina eólica incluye una torre, una góndola situada contiguamente a una parte superior de la torre, un rotor que tiene un buje y una pluralidad de palas que se extienden desde el mismo y configuradas para interaccionar con el viento para girar el rotor, un árbol giratorio principal acoplado con el rotor y que se extiende dentro de la góndola, un conjunto de cojinete principal situado en la góndola para soportar el árbol al menos en parte mediante una película de fluido, al menos un subsistema capaz de alterar el estado dinámico de la turbina eólica, y un sistema de control para controlar el funcionamiento de la turbina eólica.

Todavía en un modo de realización adicional, el conjunto de cojinete incluye un cojinete plano convertible entre un primer y segundo modo de funcionamiento. El conjunto de cojinete se configura para funcionar como un cojinete hidrostático en el primer modo de funcionamiento y funcionar como un cojinete hidrodinámico en el segundo modo de funcionamiento. El controlador se configura para alterar el estado dinámico de la turbina eólica cuando el al menos un parámetro satisface el criterio umbral y el conjunto de cojinete está en el segundo modo de funcionamiento. El controlador se configura igualmente para alterar el estado del conjunto de cojinete cuando el valor del al menos un parámetro satisface el criterio umbral y el conjunto de cojinete está en el primer modo de funcionamiento.

Breve descripción de los dibujos

Los dibujos adjuntos, que se incorporan y constituyen una parte de esta descripción, ilustran diversos modos de realización de la invención y, junto con una descripción general de la invención ofrecida anteriormente y la descripción detallada de los modos de realización dados a continuación, sirven para explicar los modos de realización de la invención.

La fig. 1 es una vista esquemática de una turbina eólica;

la fig. 2 es una vista en perspectiva de una porción de la turbina eólica de la fig. 1 en la cual la góndola está parcialmente cortada para exponer un generador y otras estructuras alojadas dentro de la góndola;

la fig. 3 es una vista en perspectiva de un conjunto de cojinete principal para una turbina eólica;

la fig. 4A es una vista en sección trasversal de un conjunto de cojinete principal convertible de acuerdo con un modo de realización de la invención en un modo de funcionamiento hidrodinámico;

la fig. 4B es otra vista en sección transversal del conjunto de cojinete principal convertible mostrado en la fig. 4A;

la fig. 5A es una vista en sección transversal del conjunto de cojinete principal convertible mostrado en la fig. 4A en un modo de funcionamiento hidrostático;

la fig. 5B es otra vista en sección transversal del conjunto de cojinete principal convertible mostrado en la fig. 5A;

la fig. 6 es una ilustración esquemática del rendimiento de cojinetes hidrostáticos, cojinetes hidrodinámicos, y un cojinete convertible de acuerdo con modos de realización de la invención;

la fig. 7 es una vista en sección transversal parcial de un conjunto de cojinete principal convertible de acuerdo con otro modo de realización de la invención en un modo de funcionamiento hidrodinámico;

la fig. 8 es una vista en sección transversal parcial de un conjunto de cojinete principal convertible de acuerdo con todavía otro modo de realización de la invención en un modo de funcionamiento hidrodinámico;

la fig. 9 es una vista en sección trasversal parcial de un conjunto de cojinete principal convertible de acuerdo con todavía otro modo de realización de la invención en un modo de funcionamiento hidrodinámico;

la fig. 10 es una vista en sección transversal parcial de un conjunto de cojinete principal convertible de acuerdo con otro modo de realización de la invención en un modo de funcionamiento hidrodinámico;

la fig. 11A es una ilustración esquemática de un cojinete plano hidrostático que tiene una cavidad de fluido con una configuración rectangular;

la fig. 11B es una ilustración esquemática de otro cojinete plano hidrostático que tiene una cavidad de fluido con una configuración arqueada;

la fig. 11C es una ilustración esquemática de aun otro cojinete plano hidrostático que tiene una cavidad de fluido con una configuración de cuña;

la fig. 12A es una vista en perspectiva parcial de un conjunto de cojinete principal hidrostático para una turbina eólica de acuerdo con otro modo de realización de la invención;

la fig. 12B es una vista en sección transversal del conjunto de cojinete principal hidrostático de la fig. 12A tomada generalmente a lo largo de la línea 12B-12B;

la fig. 12C es una vista en sección transversal del conjunto de cojinete principal hidrostático cilíndrico de la fig. 12B tomada generalmente a lo largo de la línea 12C-12C;

la fig. 13A es una vista en sección trasversal parcial de un conjunto de cojinete principal hidrostático esférico para una turbina eólica de acuerdo con otro modo de realización de la invención;

la fig. 13B es otra vista en sección transversal del conjunto de cojinete principal hidrostático de la fig. 13A tomada generalmente a lo largo de la línea 13B-13B;

la fig. 13C es otra vista en sección transversal del conjunto de cojinete principal hidrostático de la fig. 13A tomada generalmente a lo largo de la línea 13C-13C;

la fig. 14 es un diagrama de flujo que ilustra la lógica de un sistema de control para una turbina eólica de acuerdo con otro modo de realización de la invención;

la fig. 15 es una vista en sección transversal parcial de un conjunto de cojinete principal convertible similar al mostrado en la fig. 10, pero que tiene células de carga para monitorizar la carga en el árbol de la turbina eólica; y

la fig. 16 es una vista en sección trasversal parcial de un conjunto de cojinete principal convertible similar al mostrado en la fig. 7, pero que tiene sensores para monitorizar la carga en el árbol de la turbina eólica.

Descripción detallada

Con referencia a las figs. 1 y 2, y de acuerdo con un modo de realización de la invención, una turbina eólica 10 incluye una torre 12, una góndola 14 dispuesta en el vértice de la torre 12, y un rotor 16 acoplado funcionalmente a un generador 18 alojado dentro de la góndola 14. Además del generador 18, la góndola 14 aloja componentes variados necesarios para convertir energía eólica en energía eléctrica y diversos componentes necesarios para accionar, controlar, y optimizar el funcionamiento de la turbina eólica 10, algunos de los cuales se discutirán en más detalle a continuación. La torre 12 soporta la carga presentada por la góndola 14, el rotor 16, y otros componentes de la turbina eólica 10 que se alojan dentro de la góndola 14. La torre 12 de la turbina eólica 10 funciona asimismo para elevar la góndola 14 y el rotor 16 hasta una altura por encima del nivel del suelo o el nivel del mar, como puede ser el caso, a la cual se encuentran típicamente corrientes de aire de menor turbulencia de movimiento más rápido.

El rotor 16 de la turbina eólica 10, que se representa como una turbina eólica de eje horizontal, sirve como el motor primario del sistema electromecánico. Los vientos que superen un nivel mínimo activarán el rotor 16 y provocarán el giro en una dirección sustancialmente perpendicular a la dirección del viento. El rotor 16 de la turbina eólica 10 incluye un buje central 20 y una pluralidad de palas 22 que se proyectan hacia fuera desde el buje central 20 en posiciones distribuidas circunferencialmente alrededor del mismo. En el modo de realización representativo, el rotor 16 incluye tres palas 22, aunque el número puede variar. Las palas 22 se configuran para interaccionar con el flujo de aire en paso para producir una sustentación que provoca que el buje central 20 gire alrededor de un eje longitudinal 24. El diseño y construcción de las palas 22 son familiares para el experto en la técnica y no se describirán adicionalmente.

El rotor 16 se monta en un extremo de un árbol giratorio principal 26 que se extiende en el interior de la góndola 14 y está soportado de modo giratorio en la misma mediante un conjunto de cojinete principal 28 acoplado a la estructura de la góndola 14. El árbol giratorio principal 26 se acopla a una caja de engranajes 30 que tiene como entrada el árbol giratorio principal 26 de velocidad angular relativamente baja, y que tiene como salida un árbol giratorio secundario 32 de mayor velocidad angular que se acopla funcionalmente con el generador 18.

La turbina eólica 10 puede incluirse entre una colección de turbinas eólicas similares que pertenecen a un parque eólico y que sirven como central de generación de potencia conectada mediante líneas de transmisión con una red eléctrica, tal como una red eléctrica de corriente alterna (CA) trifásica. La red eléctrica consiste generalmente en una red de estaciones de potencia, circuitos de transmisión, y subestaciones acopladas mediante una red de líneas de transmisión que transmiten la potencia a cargas en forma de usuarios finales y otros clientes de las redes eléctricas. En circunstancias normales, la potencia eléctrica se suministra desde el generador 18 a la red eléctrica como es conocido para el experto en la técnica.

De acuerdo con aspectos de la invención, el conjunto de cojinete principal 28 no es del tipo con elementos de rodadura, lo que es convencional, sino que se diseña como un cojinete plano. Más concretamente, en un modo de

realización, el conjunto de cojinete principal 28 está caracterizado como un cojinete plano convertible. Por consiguiente, el conjunto de cojinete principal 28 incluye modos de funcionamiento caracterizados por cojinetes planos tanto hidrodinámicos como hidrostáticos y se puede convertir selectivamente entre un modo de funcionamiento hidrodinámico y un modo de funcionamiento hidrostático. La capacidad de variar entre estos modos de funcionamiento diferentes permite que el conjunto de cojinete principal 28 se aproveche de los beneficios ofrecidos por los cojinetes hidrodinámicos o hidrostáticos, a la vez que eliminan o minimizan los diversos inconvenientes asociados con cada uno de estos tipos de cojinetes.

Con este fin, y en referencia a las figs. 3-5B, el conjunto de cojinete principal 28 incluye un alojamiento del cojinete o carcasa 34 que tiene un paso 36 abierto a través de la misma y uno o más montajes 38 configurados para asegurar de modo fijo el conjunto de cojinete principal 28 a la estructura de la góndola 14. El paso 36 se configura para recibir un inserto del cojinete principal 42 en el mismo que incluye un paso 44 definido por una pared interna del cojinete o superficie 46 configurada para recibir apretadamente el árbol giratorio principal 26 en la misma. En modos de realización alternativos, el inserto del cojinete principal 42 se puede formar integralmente con el alojamiento del cojinete 34 para definir la superficie del cojinete 46 en lugar de ser un componente separado del mismo.

El conjunto de cojinete principal 28 puede incluir además elementos, que incluyen diversas juntas de estanqueidad 48, un capuchón de junta 50, una tapa de junta 52, una tapa 54 del cojinete principal, etc. para fijar el inserto del cojinete principal 42 en el alojamiento 34 y sellar el conjunto de cojinete principal 28. En el modo de realización ilustrado, el árbol giratorio principal 26 es generalmente cilíndrico con un diámetro sustancialmente constante a lo largo de su eje longitudinal L, y la superficie del cojinete 46 del inserto del cojinete principal 42 tiene una configuración correspondiente (figs. 4B y 5B). Por lo tanto, como se ilustra, el conjunto de cojinete principal 28 se puede describir como un cojinete plano cilíndrico. Sin embargo, como se explicará en mayor detalle a continuación, la configuración cilíndrica de diámetro constante es meramente ejemplar y son posibles otras configuraciones.

A los efectos de descripción, es conveniente definir un sistema de coordenadas cilíndricas en el centro del paso 44 visto en sección transversal (figs. 4A y 5A). En relación a la posición angular θ, el ángulo de referencia cero se alinea con el campo gravitacional g (hacia abajo en la vista de la fig. 4A y 5A) y aumenta en la dirección antihoraria. El sistema de coordenadas es meramente para facilitar una comprensión más profunda de la invención y la invención no se debe limitar a cualquier orientación o marco de referencia concretos. Los expertos en la técnica entenderán y apreciarán aspectos de la invención independientemente de la orientación y marco de referencia.

Como se ilustra en las figs. 4A-5B, la superficie del cojinete 46 se configura para definir una porción de superficie del cojinete estacionaria 56 y una porción de superficie del cojinete móvil 58 capaz de moverse relativamente a la porción de superficie del cojinete estacionaria 56 entre varias posiciones. En un modo de realización, el inserto del cojinete principal 42 incluye al menos un elemento móvil, que adopta la forma de un patín 60, que se mueve selectivamente con relación a una porción restante del inserto del cojinete principal 42 e incluye una superficie interna 62 que forma parte de la superficie del cojinete 46 que se enfrenta al árbol giratorio principal 26 (por ejemplo, la superficie interna 62 define en la porción de superficie del cojinete móvil 58). La superficie interna 62 del patín 60 tiene una forma que coopera con la porción de superficie del cojinete estacionaria 56 para proporcionar la forma global deseada de la superficie del cojinete 46 (de nuevo, que está dictada típicamente por la forma del árbol giratorio principal 26). Así pues, en un modo de realización, la superficie interna 62 adopta la forma de una porción de superficie cilíndrica de diámetro sustancialmente constante (es decir, un arco circular en la sección trasversal mostrada en la fig. 4A y lineal en la sección trasversal mostrada en la fig. 4B).

Como se muestra en la fig. 4B, el inserto del cojinete principal 42 puede incluir una pluralidad de patines 60 incorporados dentro del inserto del cojinete principal 42, cada uno de los cuales forma una porción de la superficie del cojinete 46. A modo de ejemplo, se pueden situar dos patines 60 a 0° (por ejemplo, en una porción inferior del inserto del cojinete principal 42 como se ve en las figs. 4A y 4B) y separados en la dirección longitudinal. Sin embargo, el número de patines 60 y la posición de los mismos dentro del inserto del cojinete principal 42 puede variar dependiendo de la aplicación y los deseos específicos del fabricante de cojinetes y no debe limitarse al número o posiciones concretos mostrados aquí. Cada uno de los patines 60 puede ser de construcción y funcionamiento similares. Por consiguiente, una descripción detallada de uno de los patines 60 debe ser suficiente descripción del resto de los patines 60.

En un aspecto particularmente ventajoso de la invención, el patín 60 es movible en una dirección generalmente radial entre una primera posición y una segunda posición. A este respecto, el patín 60 se puede acoplar funcionalmente con un actuador, mostrado esquemáticamente en 64 (figs. 4A y 5A) para mover el patín 60 entre las primera y segunda posiciones. Por ejemplo, el actuador 64 puede adoptar la forma de un actuador eléctrico, neumático o hidráulico. Otros actuadores conocidos por los expertos en la técnica se pueden utilizar igualmente para mover el patín 60 entre sus diversas posiciones final e intermedia. El actuador 64 puede estar acoplado funcionalmente a su vez a un controlador, mostrado esquemáticamente en 66, para controlar el actuador 64. El controlador 66 puede ser un controlador individual dedicado a controlar el movimiento del actuador 64, y por lo tanto del patín 60. Alternativamente, el controlador 66 puede ser parte de un sistema de control más grande para controlar el funcionamiento de la turbina eólica 10 global.

El patín 60 incluye al menos un orificio 68 abierto a la superficie interna 62 del patín 60. El orificio 68 funciona como un orificio de alta presión para introducir fluido al conjunto de cojinete principal 28 y presurizar la película de fluido 69 (exagerada en las figuras a efectos ilustrativos) cuando el conjunto de cojinete principal 28 está funcionando en un modo hidrostático, como se explicará en más detalle a continuación. A este respecto, el al menos un orificio de fluido 68 se puede acoplar funcionalmente a una bomba, mostrada esquemáticamente en 70, configurada para presurizar la película de fluido 69. La bomba 70 debe tener una capacidad para presurizar suficientemente la película de fluido 69 hasta un nivel que soporte la carga en el árbol giratorio principal 26 en el peor caso, tal como, por ejemplo, un estado de inactividad u otros estados de elevada carga dinámica.

La bomba 70 puede estar acoplada funcionalmente a un depósito 72 para proporcionar un suministro del fluido que forma la película de fluido 69 entre la superficie del cojinete 46 y el árbol giratorio principal 26 durante el funcionamiento. Como se ilustra en la figura, la bomba 70 puede estar acoplada funcionalmente al controlador 66 para controlar el funcionamiento de la bomba 70. Una válvula, mostrada esquemáticamente en 74, se puede disponer en la línea que acopla el orificio de alta presión 68 y la bomba 70 de modo que aísle selectivamente la película de fluido 69 en el conjunto de cojinete principal 28 con respecto a la bomba 70. La válvula 74 se puede acoplar funcionalmente al controlador 66 para abrir y cerrar selectivamente la válvula 74.

Se debe reconocer que, cuando el conjunto de cojinete principal 28 incluye una pluralidad de patines 60, cada patín 60 puede estar acoplado funcionalmente a su propia bomba 70, depósito 72, y válvula 74 dedicados. Alternativamente, cada patín 60 se puede acoplar funcionalmente de modo colectivo a una bomba 70, depósito 72 y válvula 74 únicos. Adicionalmente, los patines 60 se pueden controlar individual o colectivamente mediante el controlador 66.

En un modo de realización, el conjunto de cojinete principal 28 se configura para funcionar en una pluralidad de modos dependiendo del estado dinámico de la turbina eólica 10. Más concretamente, el conjunto de cojinete principal 28 se configura para funcionar en un modo hidrostático cuando las condiciones dinámicas de la turbina eólica 10 son relativamente pequeñas, y funcionar en un modo hidrodinámico cuando las condiciones dinámicas de la turbina eólica 10 son relativamente altas. Como se explicará en más detalle a continuación, tales transiciones entre modos de funcionamiento son el resultado del movimiento del patín 60 entre las primera y segunda posiciones.

Durante condiciones dinámicas relativamente bajas, que pueden tener lugar, por ejemplo, durante el arranque de la turbina eólica 10, el apagado de la turbina eólica 10, o condiciones de bajo viento que pueden tener lugar periódicamente durante el funcionamiento de la turbina eólica 10, las fuerzas hidrodinámicas en la película de fluido 69 entre la superficie del cojinete 46 y el árbol giratorio principal 26 pueden ser insuficientes para soportar la carga en el árbol giratorio principal 26. Consecuentemente, durante estas condiciones, el conjunto de cojinete principal 28 se puede configurar para estar en un modo de funcionamiento hidrostático.

Como se ilustra en las figs. 5A y 5B, en el modo de funcionamiento hidrostático, la porción de superficie del cojinete móvil 58 se configura para desplazarse radialmente hacia fuera con relación a la porción de superficie del cojinete estacionaria 56 de modo que se forme un alojamiento o cavidad de fluido 76 en la superficie del cojinete 46. En un modo de realización ejemplar, esto se consigue situando el patín 60 en su primera posición retraída, en donde la superficie interna 62 del mismo está separada radialmente hacia fuera de la porción de superficie del cojinete estacionaria 56 para formar un alojamiento de fluido 76. Se debe reconocer que la superficie interna 62 del patín 60 forma efectivamente una pared inferior móvil de la cavidad 76. Además, la válvula 74 se puede colocar en la posición abierta y la bomba 70 se activa de modo que la bomba 70 esté en comunicación fluida con la película de fluido 69 entre la superficie del cojinete 46 y el árbol giratorio principal 26 para presurizar la película de fluido 69. Como se explicó anteriormente, debido a esta presurización externa, la película de fluido 69 puede soportar la carga en el árbol giratorio principal 26 independientemente de las fuerzas hidrodinámicas, si existen, desarrolladas en la película de fluido 69. Consecuentemente, se puede evitar un contacto superficie a superficie que podría ocurrir de otro modo entre la superficie del cojinete 46 y el árbol giratorio principal 26 durante tales condiciones dinámicas bajas.

Durante condiciones dinámicas relativamente altas, que pueden tener lugar, por ejemplo, cuando las condiciones de viento son lo suficientemente elevadas para que el rotor 16, y por tanto el árbol giratorio principal 26, gire en con una velocidad angular igual o superior a cierto valor umbral, las fuerzas hidrodinámicas en la película de fluido 69 son suficientes para soportar la carga en el árbol giratorio principal 26. Consecuentemente, durante estas condiciones, el conjunto de cojinete principal 28 se puede configurar para estar en un modo de funcionamiento hidrodinámico.

Como se ilustra en las figs. 4A y 4B en el modo de funcionamiento hidrodinámico, la porción de superficie del cojinete móvil 58 se configura para alinearse o quedar enrasada con la porción de superficie del cojinete estacionaria 56 de modo que la superficie del cojinete 46 presente una topología sustancialmente lisa. En un modo de realización ejemplar, esto se consigue situando el patín 60 en su segunda posición alineada en la que la superficie interna 62 del mismo está sustancialmente enrasada con la porción de superficie del cojinete estacionaria 56. A este respecto, el actuador 64 puede activarse, tal como mediante el controlador 66, para mover el patín 60 de su posición retraída a su posición alineada. Dicho de otro modo, la pared inferior de la cavidad de fluido 76 se mueve de modo que se elimine efectivamente la formación de cavidades en la superficie del cojinete 46. Además, la válvula 74 se puede

situar en la posición cerrada para aislar la bomba 70 con respecto a la película de fluido 69 de modo que la bomba 70 no afecte de otro modo a la hidrodinámica de la película de fluido 69.

Además, el inserto del cojinete principal 42 puede incluir al menos un orificio 78 abierto a la superficie del cojinete 46 y situado en la porción de superficie del cojinete estacionaria 56 del mismo. Por ejemplo, en un modo de realización, la porción de superficie del cojinete estacionaria 56 puede incluir un surco superficial, dirigido longitudinalmente 80 en comunicación con el orificio 78. Se debe reconocer que la profundidad del surco 80 es relativamente pequeña de modo que no afecte significativamente al rendimiento hidrodinámico del conjunto de cojinete principal 28 cuando funciona en un modo hidrodinámico. El orificio 78 se acopla funcionalmente a un depósito, tal como el depósito 72, aunque se puede proporcionar un depósito separado, y funciona como un orificio de baja presión para introducir fluido en el conjunto de cojinete principal 28 cuando funciona en el modo hidrodinámico. El número y colocación de los surcos 80/orificios 78 puede variar dependiendo de la aplicación y deseos específicos del fabricante de cojinetes. En un modo de realización y sin limitación, los surcos 80 que tienen orificios 78 se pueden formar en la superficie del cojinete 46 aproximadamente a 90° y aproximadamente a 270°, como se observa la fig. 4A y 5B.

Como se explicó anteriormente, debido a las fuerzas hidrodinámicas desarrolladas en la película de fluido 69, la película de fluido 69 es capaz de soportar la carga en el árbol giratorio principal 26 independientemente de una presurización externa. Consecuentemente, se puede evitar igualmente el contacto superficie a superficie entre la superficie del cojinete 46 y el árbol giratorio principal 26 durante condiciones dinámicas altas. Adicionalmente, sin embargo, debido a que la cavidad de fluido 76 ha sido eliminada efectivamente y la superficie del cojinete 46 tiene una topología sustancialmente lisa, el conjunto de cojinete principal 28 muestra el comportamiento eficiente capaz de cargas elevadas de cojinetes hidrodinámicos convencionales.

Si la turbina eólica 10 inicia una transición de un estado dinámico alto a un estado dinámico bajo (por ejemplo, un apagado, condiciones de viento bajo, etc.), el modo de funcionamiento del conjunto de cojinete principal 28 puede volver de nuevo al modo de funcionamiento hidrostático. Por ejemplo, si la velocidad angular del árbol giratorio principal 26 cae por debajo del valor umbral, el conjunto de cojinete principal 28 se puede configurar para volver al modo de funcionamiento hidrostático. A este respecto, la porción de superficie del cojinete móvil 58 se puede configurar para desplazarse una vez más radialmente hacia fuera con relación a la porción de superficie del cojinete estacionaria 56 de modo que se forme la cavidad de fluido 76 en la superficie del cojinete 46. Esto se puede conseguir activando el actuador 64 de modo que mueva el patín 60 de la segunda posición alineada hasta la primera posición retraída, de tal modo que la superficie interna 62 del mismo se separe radialmente hacia fuera de la porción de superficie del cojinete estacionaria 56 para formar la cavidad de fluido 76. Además, la válvula 74 se puede situar en la posición abierta y la bomba 70 se puede activar de modo que la bomba 70 esté en comunicación fluida con la película de fluido 69 entre la superficie del cojinete 46 y el árbol giratorio principal 26 para presurizar la película de fluido 69.

Se debe reconocer que la transición entre los diversos modos de funcionamiento se puede automatizar mediante el controlador 66. Por ejemplo, un sensor, mostrado esquemáticamente en 82, se puede acoplar funcionalmente al árbol giratorio principal 26 y al controlador 66, y puede ser configurado para monitorizar el estado dinámico del árbol giratorio principal 26. En un modo de realización, por ejemplo, el sensor 82 puede monitorizar la velocidad angular del árbol giratorio principal 26. El sensor 82 se puede configurar además para enviar una señal al controlador 66 indicativa de la velocidad angular medida. Dicho sensor 82 se conoce generalmente en la técnica y está comercialmente disponible. Por consiguiente, se considera innecesaria una descripción adicional del sensor 82. El controlador 66 puede tener preprogramado en el mismo la velocidad angular umbral en la cual el conjunto de cojinete principal 28 se configura para cambiar entre los modos de funcionamiento hidrostático e hidrodinámico. Se debe apreciar que el valor umbral depende de diversos factores, incluyendo el tamaño de la turbina eólica 10, el tipo de fluido lubricante utilizado en el cojinete plano, y otros factores. En cualquier caso, el experto en la técnica reconocerá cómo determinar la velocidad angular umbral para la turbina eólica y sistema concretos.

Si la velocidad angular medida del árbol giratorio principal 26, como se indica por el sensor 82, se encuentra en o por encima del valor umbral, entonces el conjunto de cojinete principal 28 se puede configurar para funcionar en un modo de funcionamiento hidrodinámico de acuerdo con lo descrito anteriormente. Más concretamente, el controlador 66 puede activar el actuador 64, la válvula 74, y/o la bomba 70, como sea necesario, para pasar al modo de funcionamiento hidrodinámico. Sin embargo, si la velocidad angular medida del árbol giratorio principal 26 se encuentra por debajo del valor umbral, entonces el conjunto de cojinete principal 28 se puede configurar para funcionar en un modo de funcionamiento hidrostático de acuerdo con lo descrito anteriormente. De nuevo, el controlador 66 puede activar el actuador 64, la válvula 74, y/o la bomba 70, como sea necesario, para pasar al modo de funcionamiento hidrostático. Aunque en el modo de realización ejemplar descrito aquí la velocidad angular del árbol giratorio principal 26 se utiliza como el criterio para cambiar entre los modos de funcionamiento hidrostático e hidrodinámico, la invención no está limitada por ello, ya que otros parámetros o parámetros adicionales se pueden utilizar para definir un criterio con el cual se inicia la transición entre modos de funcionamiento.

El funcionamiento del conjunto de cojinete principal 28, y los beneficios conseguidos mediante el diseño convertible del cojinete plano se ilustran esquemáticamente en la fig. 6, que correlaciona generalmente la capacidad de carga de un cojinete plano como función de la velocidad angular del árbol. A este respecto, la curva A se considera como característica de la relación para una superficie de cojinete ideal (es decir, sin cavidades de fluido y con una

topología sustancialmente lisa de la superficie del cojinete) que funciona en un modo hidrodinámico sin presurización externa. Como tal, está curva representa un cojinete plano tal que funciona con su eficiencia óptima. La curva B se considera característica de la relación para una superficie de cojinete que tiene cavidades de fluido, pero sin presurización externa (es decir, no está en comunicación fluida con la bomba de modo que se presurice la película de fluido). Una comparación entre las curvas A y B demuestra el impacto negativo de la formación de cavidades en la superficie del cojinete sobre el rendimiento del cojinete plano. Dicho de otro modo, la formación de cavidades de fluido en la superficie del cojinete distorsiona el desarrollo de fuerzas hidrodinámicas lo que da como resultado una reducción significativa de la capacidad de carga del cojinete plano. Estas dos curvas demuestran porqué puede ser indeseable utilizar un cojinete concavidades de fluido cuando el cojinete está funcionando en un régimen que soportaría de otro modo un cojinete hidrodinámico.

La curva C se considera como característica de la relación para una superficie de cojinete que tiene cavidades de fluido y que tiene un cierto nivel de presurización externa (es decir, la película de fluido está en comunicación fluida con la bomba y es presurizada por la misma). Comparando las curvas B y C, queda claro que la capacidad de carga del cojinete ha aumentado debido a la presurización de la bomba. Sin embargo, la pendiente de la curva C permanece relativamente baja, indicando que la formación de cavidades y la presurización de las mismas impacta negativamente en el desarrollo de fuerzas hidrodinámicas que contribuirían de otro modo a soportar la carga (por ejemplo, compárense las curvas A y C a velocidades más altas del rotor). Adicionalmente, la pendiente de la curva C puede ser incluso menor que la de la curva B, lo que indica que los efectos de la presurización (en oposición a tan solo la formación de cavidades) pueden impactar todavía más negativamente el desarrollo de fuerzas hidrodinámicas que contribuirían de otro modo a soportar la carga.

La curva D se considera característica de la relación para una superficie de cojinete que tiene cavidades de fluido y que tiene un nivel de presurización externa mayor que el de la curva C. Así pues, la capacidad de carga del cojinete ha aumentado debido a la presurización aumentada de la película de fluido por la bomba. Sin embargo, la cantidad de energía y fluido necesarios para el alto nivel de presurización externa asociado con la curva D pueden convertir dicha solución en impráctica. Además, algo característico de cojinetes hidrostáticos, la pendiente de la curva D permanece relativamente baja y puede ser similar a la pendiente de la curva C lo que indica, por ejemplo, que el efecto de presurización de las cavidades de fluido en la hidrodinámica puede disminuir para una presurización aumentada.

En contraste con estas curvas, la curva E se considera característica de la relación para un cojinete convertible de acuerdo con aspectos de la invención (y que funciona con una presurización externa en el modo hidrostático utilizada en la curva C, por ejemplo). La curva E demuestra claramente una región hidrostática 90, una región hidrodinámica 92, y una región de transición 94. En la región hidrostática 90, la curva E tiene una pendiente relativamente pequeña característica del funcionamiento hidrostático (que sigue generalmente la curva C), pero tiene una capacidad de carga mayor de la que se conseguiría mediante un cojinete optimizado para condiciones hidrodinámicas (curva A; sin cavidades de fluido). En la región hidrodinámica 92, la curva E tiene una pendiente relativamente grande, característica del funcionamiento hidrodinámico (que sigue generalmente la curva A) y tiene una capacidad de carga mayor de la que se conseguiría bajo condiciones hidrostáticas (curva C). La región de transición 94, que se sitúa aproximadamente alrededor de la velocidad angular umbral, se caracteriza por un cambio relativamente rápido de la pendiente de la curva E a medida que el cojinete plano cambia su modo de funcionamiento. Aunque la curva en esta región se ilustra como una esquina relativamente aguda, se debe reconocer que la curva puede ser más suave y arqueada dependiendo de cómo de rápido se realiza la transición entre modos de funcionamiento, por ejemplo.

En la fig. 6, la región 100 representa los beneficios de hacer funcionar un cojinete plano en un modo hidrostático (con cavidades de fluido) en lugar de un modo hidrodinámico (sin cavidades de fluido) para condiciones dinámicas bajas. De modo similar, la región 102 representa los beneficios de hacer funcionar un cojinete plano en un modo hidrodinámico en lugar de un modo hidrostático para condiciones dinámicas altas. Así pues, el conjunto de cojinete principal 28 puede aprovecharse de ambas de estas regiones ventajosas 100, 102 ilustradas en la fig. 6 como resultado de su capacidad de transición entre modos de funcionamiento hidrostático e hidrodinámico. Consecuentemente, el conjunto de cojinete principal 28 es capaz de funcionar con una eficiencia óptima durante condiciones dinámicas altas y es capaz además de evitar el desgaste y otros daños en condiciones dinámicas bajas. Como resultado, el diseño convertible descrito aquí representa un diseño mejorado que se espera que prolongue la vida en funcionamiento del conjunto de cojinete principal 28, y por lo tanto reduce los costes de funcionamiento globales (por ejemplo, costes de recambio, costes de mantenimiento, etc.) de la turbina eólica 10.

Aunque el conjunto de cojinete principal 28 ilustrado y descrito anteriormente está dirigido a un diseño de cojinete cilíndrico, es decir, la superficie del cojinete 46 y el árbol giratorio principal 26 tienen configuraciones cilíndricas correspondientes de diámetro constante enfrentadas, la invención no está limitada de este modo. En un modo de realización alternativo, el conjunto de cojinete principal se pude configurar como un cojinete plano esférico. Un cojinete plano esférico puede tener ventajas adicionales en comparación con cojinetes planos cilíndricos. A este respecto, por ejemplo, cojinetes cilíndricos, ya sean cojinetes con elementos de rodadura o cojinetes planos, requieren generalmente un alineamiento relativamente preciso del árbol a través del paso definido por la superficie del cojinete y no son suficientemente robustos en su diseño para adaptarse a desalineamientos del árbol. Los desalineamientos del árbol pueden provocar que el cojinete se desgaste más rápidamente. Sin embargo, debido a

las simetrías de las configuraciones esféricas, cojinetes esféricos tales como cojinetes esféricos con elementos de rodadura, son capaces de aceptar un cierto grado de desalineamiento del árbol a través del cojinete. Las simetrías obtenidas por geometrías esféricas se pueden implementar en modos de realización de la presente invención para proporcionar de modo similar un grado de robustez en relación al alineamiento del árbol giratorio principal a través del conjunto de cojinete principal. Tal diseño esférico puede proporcionar igualmente otras ventajas, como se discutirá en mayor detalle a continuación.

Con este fin, y en referencia a la fig. 7, en la cual números de referencia similares se refieren a elementos similares en las figs. 3-5B, el conjunto de cojinete principal 28a se puede configurar como un cojinete plano esférico. En este modo de realización, el árbol giratorio principal 26a incluye secciones 110 generalmente cilíndricas de diámetro constante acopladas en lados opuestos de una sección intermedia 112 generalmente esférica. El árbol giratorio principal 26a puede ser un árbol unitario (por ejemplo, mecanizado o procesado de otro modo para tener una configuración monolítica). Alternativamente, el árbol giratorio principal 26a se puede formar a partir de componentes separados que se acoplan subsiguientemente mediante un proceso adecuado (por ejemplo, soldadura) para tener la configuración indicada. La sección esférica 112 es generalmente más grande que las secciones cilíndricas 110 de modo que define generalmente resaltos anulares 114. La superficie del cojinete 46a, que puede formarse en un inserto 42a del cojinete o alternativamente formarse de modo integral con el alojamiento 34a del cojinete, tiene una configuración generalmente correspondiente. A este respecto, la superficie del cojinete 46a incluye porciones de superficie 116 generalmente cilíndricas de diámetro constante, configuradas para enfrentarse a secciones cilíndricas 110 del árbol giratorio principal 26a, y una porción de superficie esférica intermedia 118 configurada para enfrentarse a la sección esférica 112. Como tal, la porción de superficie esférica 118 se sitúa generalmente radialmente hacia fuera de las porciones de superficie cilíndricas 116, de tal modo que los resaltos 114 se enfrenten a una porción de la porción de superficie esférica 118.

En un modo de realización ejemplar, el conjunto de cojinete principal 28a puede ser convertible selectivamente entre modos de funcionamiento hidrostático e hidrodinámico de modo similar al explicado anteriormente. Así pues, la superficie del cojinete 46a puede incluir una porción de superficie del cojinete estacionaria 56 y una porción de superficie del cojinete móvil 58 , que se puede definir, por ejemplo, mediante uno o más patines 60a (se muestran dos) que tienen una superficie interna 62a. En el modo de realización ejemplar, los patines 60a se sitúan a lo largo de la porción de superficie esférica 118. Sin embargo, se debe reconocer que el número de patines 60a y la posición de los mismos en la superficie del cojinete 46a puede variar dependiendo de la aplicación y deseos específicos del fabricante de cojinetes y no debe estar limitada al número o posiciones concretos mostrados aquí. Como el experto en la técnica apreciará fácilmente el funcionamiento del (de los) patín(es) 60a y el funcionamiento del conjunto de cojinete principal 28a en los modos de funcionamiento hidrostático e hidrodinámico basados en la descripción anterior del cojinete plano cilíndrico, se considera innecesaria una descripción más exhaustiva del cojinete plano esférico para una comprensión completa y total de este modo de realización. Sin embargo, se reconoce que el conjunto de cojinete principal 28a se beneficiará del aspecto convertible similar al descrito anteriormente.

Además de ser capaz de aceptar desalineamientos del árbol, el cojinete plano esférico puede proporcionar ventajas adicionales. A este respecto, se debe reconocer que cojinetes planos cilíndricos son capaces de aceptar cargas radiales en el árbol, aunque son generalmente incapaces de aceptar cargas axiales o longitudinales del árbol. Por consiguiente, un segundo mecanismo separado se utiliza típicamente para soportar o aceptar la carga longitudinal del árbol. A diferencia de ello, sin embargo, un cojinete plano esférico es capaz generalmente de aceptar tanto cargas radiales como longitudinales del árbol. En el caso instantáneo, el conjunto de cojinete principal 28a es capaz generalmente de aceptar tanto cargas radiales como longitudinales del árbol giratorio principal 26a. Más concretamente, la carga longitudinal en el árbol giratorio principal 26a es soportada por la película de fluido 69a entre los resaltos 114 y las porciones correspondientes de la superficie del cojinete 46a que se enfrentan a los resaltos 114. Así pues, en este modo de realización, la película de fluido 69a soporta tanto cargas radiales como longitudinales del árbol giratorio principal 26a y puede no necesitarse mecanismos separados para aceptar las cargas longitudinales.

La capacidad de aceptar tanto cargas longitudinales como radiales del árbol giratorio principal no se limita al conjunto de cojinete principal configurado como un cojinete plano esférico, como se describió anteriormente. Son posibles igualmente otras configuraciones. A este respecto, la fig. 8 es una vista en sección trasversal de un conjunto de cojinete principal 28b de acuerdo con aún otro modo de realización de la invención. En este modo de realización, el conjunto de cojinete principal 28b se puede configurar como un cojinete plano cilíndrico, pero con una modificación que acepta cargas longitudinales del árbol giratorio principal 26b así como cargas radiales.

Con este fin, el árbol giratorio principal 26b incluye secciones generalmente cilíndricas de diámetro constante 130 acopladas en lados opuestos de una sección intermedia cilíndrica de diámetro constante 132. El árbol giratorio 26b puede ser un árbol unitario o estar formado a partir de componentes separados que se acoplan substancialmente mediante un proceso adecuado de modo que tenga la configuración indicada. El diámetro de la sección cilíndrica intermedia 132 es generalmente mayor que el diámetro de las secciones cilíndricas 130 de modo que define generalmente una pareja de superficies de apoyo anulares opuestas, generalmente planas 134. La superficie del cojinete 46b, que se puede formar en un inserto del cojinete 42b, o formarse alternativamente de modo integral con el alojamiento del cojinete 34b, tiene generalmente una configuración correspondiente. A este respecto, la superficie del cojinete 46b incluye porciones de superficie generalmente cilíndrica de diámetro constante 136, configuradas

para enfrentarse con secciones cilíndricas 130 del árbol giratorio principal 26b, y una porción de superficie cilíndrica intermedia 138 configurada para enfrentarse con la sección cilíndrica intermedia 132. La porción de superficie cilíndrica intermedia 138 se sitúa generalmente radialmente hacia fuera de las porciones de superficie cilíndricas 136, de tal modo que las superficies de apoyo 134 se enfrentan a una porción de la porción de superficie intermedia 138.

En un modo de realización ejemplar, el conjunto de cojinete principal 28b se puede convertir selectivamente entre los modos de funcionamiento hidrostático e hidrodinámico de modo similar al explicado anteriormente. Así pues, la superficie del cojinete 46b puede incluir una porción de superficie del cojinete estacionaria 56 y una porción de superficie del cojinete móvil 58 , que se puede definir, por ejemplo, mediante uno o más patines 60b (se muestran dos) que tienen una superficie interna 62b. En el modo de realización ejemplar, el (los) patín(es) 60b se pueden situar a lo largo de la porción de superficie cilíndrica intermedia 138. Sin embargo, se debe reconocer que el número de patines 60b y la posición de los mismos en la superficie del cojinete 46b puede variar dependiendo de la aplicación y deseos concretos del fabricante de cojinetes y no debe limitarse al número o posiciones concretos mostrados aquí. Como el experto en la técnica apreciará fácilmente el funcionamiento del (de los) patín(es) 60b y el funcionamiento del conjunto de cojinete principal 28b en los modos de funcionamiento hidrostático e hidrodinámico basados en la descripción anterior del cojinete plano cilíndrico se considera innecesaria una descripción más en profundidad del conjunto de cojinete principal 28b para una comprensión completa y total de este modo de realización. Sin embargo, se reconoce que el conjunto de cojinete principal 28b se beneficiará del aspecto convertible similar al descrito anteriormente.

Adicionalmente, en este modo de realización, la película de fluido 69b soporta tanto carga radial como longitudinal del árbol giratorio principal 26b y pueden no ser necesario mecanismos separados para aceptar las cargas longitudinales. Las superficies de apoyo anulares 134 pueden incluir incluso inclinaciones fijas, fluido u otras geometrías no planas que contribuyan a mantener la película de fluido 69b bajo diversas condiciones de funcionamiento.

Los cojinetes planos como se describió anteriormente se pueden implementar en diversas combinaciones. A modo de ejemplo, los cojinetes planos pueden trabajar conjuntamente con diversos dispositivos para aceptar la carga longitudinal del árbol giratorio principal. Dicho de otro modo, la película de fluido dispuesta entre el árbol y la superficie del cojinete, en combinación con la geometría específica del árbol y la superficie del cojinete, pueden no ser los únicos medios para soportar la carga longitudinal. En su lugar, se puede utilizar igualmente un dispositivo separado, tal como un segmento de empuje, para aceptar sustancialmente toda o una porción de la carga longitudinal. En uno de tales modos de realización, la película de fluido puede aceptar la carga radial y carga longitudinal en una primera dirección longitudinal, y el segmento de empuje estacionario puede aceptar la carga longitudinal en una segunda dirección longitudinal opuesta a la primera dirección longitudinal.

La fig. 9 ilustra un modo de realización ejemplar que tiene un dispositivo separado para contribuir al soporte de cargas longitudinales. En este modo de realización, en el cual números de referencia similares se refieren a elementos similares en las figs. 3-5B, un conjunto de cojinete principal 28c coopera con un árbol giratorio principal 26c que tiene secciones 150 generalmente cilíndricas de diámetro constante acopladas en lados opuestos de una sección esférica truncada intermedia 152. El árbol giratorio principal 26c puede ser un árbol unitario o puede estar formado a partir de componentes separados que se acoplan subsiguientemente mediante un proceso adecuado tal que tenga la configuración indicada. La sección esférica truncada 152 es generalmente más grande que las secciones cilíndricas 150, de modo que define generalmente una superficie de apoyo anular 154 generalmente plana, y resaltos 156. La superficie del cojinete 46c, que se puede formar en un inserto 42c del cojinete o alternativamente formarse integralmente con el alojamiento 34c del cojinete, tiene una configuración similar. A este respecto, la superficie del cojinete 46c incluye porciones de superficie 158 generalmente cilíndricas de diámetro constante, configuradas para enfrentarse a secciones cilíndricas 150 del árbol giratorio principal 26c, y una porción de superficie esférica intermedia 160, configurada para enfrentarse al aspecto esférico de la sección esférica truncada 152. El aspecto truncado de la porción esférica truncada 152 define un hueco o cavidad 162 entre el árbol giratorio principal 26c y la superficie del cojinete 46c.

Como se muestra en la fig. 9, la cavidad 162 se configura para recibir un segmento de empuje 164 en la misma que tiene generalmente una superficie de apoyo anular 166 generalmente plana dispuesta para enfrentarse a la superficie de apoyo 154 de la sección esférica truncada 152. Con esta disposición, la carga longitudinal del árbol giratorio principal 26c en una primera dirección longitudinal L1 puede ser aceptada por la película de fluido 69c entre los resaltos 156 y la porción correspondiente de la superficie del cojinete 46c que se enfrenta a los resaltos 156. La carga longitudinal del árbol giratorio principal 26c en una segunda dirección longitudinal L2 puede ser aceptada mediante el acoplamiento entre las superficies de apoyo 154, 166 de la sección esférica truncada 152 y el segmento de empuje 164, respectivamente. Se debe reconocer que en lugar de la película de fluido 69c configurada para soportar carga en la primera dirección longitudinal L1 y el segmento de empuje 164 configurado para soportar carga en la segunda dirección longitudinal L2, en un modo de realización alternativo el segmento de empuje 164 se puede configurar para soportar la carga en la primera dirección longitudinal L1 y película de fluido 69c se puede configurar para soportar la carga en la segunda dirección longitudinal L2.

En un modo de realización ejemplar, el conjunto de cojinete principal 28c se puede convertir selectivamente entre modos de funcionamiento hidrostático e hidrodinámico de modo similar al explicado anteriormente. Así pues, la superficie del cojinete 46c puede incluir una porción de superficie del cojinete estacionaria 56 y una porción de superficie del cojinete móvil 58 , que se puede definir, por ejemplo, mediante uno o más patines 60c (se muestra uno) que tienen una superficie interna 62c. En el modo de realización ejemplar, el (los) patín(es) 60c se puede(n) situar en correspondencia con el aspecto esférico de la sección esférica trucada 152. Sin embargo, se debe reconocer que el número de patines 60c y la posición de los mismos en la superficie del cojinete 46c puede variar dependiendo de la aplicación y de los deseos concretos del fabricante de cojinetes y no debe quedar limitada al número o posiciones concretos mostrados aquí. Como el experto en la técnica apreciará fácilmente el funcionamiento del (de los) patín(es) y el funcionamiento del conjunto de cojinete principal 28c en los modos de funcionamiento hidrostático e hidrodinámico basados en la anterior descripción del cojinete cilíndrico plano se considera innecesaria una descripción más en profundidad del cojinete plano esférico para una comprensión completa y total de este modo de realización. Sin embargo, se reconoce que el conjunto de cojinete principal 28c se beneficiará del aspecto convertible similar al descrito anteriormente. En este modo de realización, la carga radial y al menos parte de la carga longitudinal quedan soportadas por la película de fluido 69c. Sin embargo, se incorpora un mecanismo separado en el conjunto de cojinete principal 28c para aceptar una porción restante de la carga longitudinal. Además, el conjunto de cojinete principal 28c puede aceptar desalineamientos del árbol, como resultado del aspecto esférico del conjunto de cojinete principal 28c.

Otro modo de realización ejemplar se ilustra en la fig. 10, en la que se utilizan segmentos de empuje para aceptar la carga tanto en la primera como en la segunda dirección longitudinal L1, L2. En este modo de realización, en el cual números de referencia similares se refieren a elementos similares en las figs. 3-5B, el árbol giratorio principal 26d incluye secciones 180 generalmente cilíndricas de diámetro constante acopladas en lados opuestos de una sección intermedia 182 cilíndrica de diámetro constante. El árbol giratorio principal 26d puede ser un árbol unitario o se puede formar a partir de componentes separados que se acoplan subsiguientemente mediante un proceso adecuado de modo que tenga la configuración indicada. El diámetro de la sección cilíndrica intermedia 182 es generalmente mayor que el diámetro de las secciones cilíndricas 180, de modo que definen dos superficies de apoyo anulares 184 opuestas, generalmente planas. El conjunto de cojinete principal 28d incluye una superficie 46d del cojinete, que se puede formar en un inserto 42d del cojinete o alternativamente se pueden formar integralmente con el alojamiento 34d del cojinete, que tiene una configuración similar. A este respecto, la superficie 46d del cojinete incluye porciones de superficie 186 generalmente cilíndricas de diámetro constante, configuradas para enfrentarse a secciones cilíndricas 182 del árbol giratorio principal 26d, y una porción de superficie cilíndrica intermedia 182 configurada para enfrentarse a la sección cilíndrica intermedia 182.

Además, se pueden formar cavidades cilíndricas 190 en la superficie 46d del cojinete y dispuestas entre la porción de superficie cilíndrica intermedia 188 y porciones de superficie cilíndricas 186 respectivas. El diámetro de las cavidades 190 puede ser sustancialmente igual o superior al diámetro de la porción de superficie cilíndrica intermedia 188, de modo que no impida el movimiento longitudinal del árbol giratorio principal 26d. Como se muestra en la fig. 10, las cavidades 190 se configuran para recibir segmentos de empuje, mostrados esquemáticamente en 192, que están acoplados o casi acoplados con la superficie de apoyo 184 de la sección cilíndrica intermedia 182. Como se reconocerá, los segmentos de empuje 192 aceptan la carga del árbol giratorio principal 26d en las direcciones longitudinales primera y segunda L1 y L2. La carga radial del árbol giratorio principal 26d, sin embargo, puede ser aceptada por la película de fluido 69d.

El conjunto de cojinete principal 28d se puede convertir selectivamente entre modos de funcionamiento hidrostático e hidrodinámico de modo similar a lo explicado anteriormente. Así pues, la superficie 46d del cojinete puede incluir una porción de superficie del cojinete estacionaria 56 y una porción de superficie del cojinete móvil 58 , que pueden quedar definidas, por ejemplo, por uno o más patines 60d (se muestran dos) que tiene una superficie interna 62d. En el modo de realización ejemplar, el (los) patín(es) 60d se puede(n) situar a lo largo de la porción cilíndrica intermedia 188. Sin embargo, se debe reconocer que el número de patines 60c y la posición de los mismos en la superficie 46d del cojinete puede variar dependiendo de la aplicación y de los deseos concretos del fabricante de cojinetes y no debe quedar limitada al número o posiciones concretos mostrados aquí. Como el experto en la técnica apreciará fácilmente el funcionamiento del (de los) patín(es) y el funcionamiento del conjunto de cojinete principal 28d en los modos de funcionamiento hidrostático e hidrodinámico basados en la anterior descripción del cojinete cilíndrico plano se considera innecesaria una descripción más en profundidad del conjunto de cojinete principal 28d para una comprensión completa y total de este modo de realización. Sin embargo, se reconoce que el conjunto de cojinete principal 28c se beneficiará del aspecto convertible similar al descrito anteriormente. Además, aunque la carga radial está soportada por la película de fluido 69d, se incorporan mecanismos separados en el conjunto de cojinete principal 28d para aceptar la carga longitudinal.

Aunque los modos de realización en las figs. 4A-10 se han mostrado y descrito como cojinetes planos convertibles, la invención no está limitada de este modo. A modo de ejemplo, en ciertas aplicaciones, las configuraciones de cojinete mostradas en los modos de realización anteriores se pueden configurar como cojinetes planos hidrostáticos o hidrodinámicos sin la capacidad de convertir entre ambos. Aunque tales modos de realización pueden no proporcionar el abanico completo de ventajas que permiten los cojinetes planos convertibles, tales cojinetes planos hidrostáticos o hidrodinámicos pueden proporcionar todavía ciertas ventajas con respecto a cojinetes con elementos

de rodadura convencionales utilizados en la actualidad, y por lo tanto tales cojinetes planos están dentro del ámbito de la presente invención. Los expertos en la técnica reconocerán que para modos de realización de cojinetes planos hidrodinámicos únicamente, los patines 60, 60a, 60b, 60c y 60d de los anteriores modos de realización se omitirían de modo que las superficies 46, 46a, 46b, 46c y 46d tengan una topología sustancialmente lisa. Los expertos en la técnica reconocerán además que para modos de realización de cojinetes planos hidrostáticos únicamente, los patines 60, 60a, 60b, 60c y 60d se pueden sustituir con formaciones permanentes en la pared que define las superficies 46, 46a, 46b, 46c y 46d de los cojinetes de modo que definan los alojamientos o cavidades de fluido.

A modo de ejemplo, y como se ilustra esquemáticamente en las figs. 11A-11C, un cojinete plano hidrostático 200 puede incluir una superficie del cojinete 202 que tiene cavidades 204 con diversas configuraciones. A este respecto, la fig. 11A ilustra un cojinete plano hidrostático 200a que tiene una superficie del cojinete 202a con una cavidad de fluido 204a permanente formada en la misma. En este modo de realización, la cavidad 204a tiene una configuración rectangular con paredes laterales 206a (se muestra una) generalmente opuestas, paredes terminales 208a generalmente opuestas, y una pared inferior 210a. Se indica que las cavidades de fluido formadas en los cojinetes planos convertibles discutidos anteriormente (por ejemplo, cavidades 76) tienen tal configuración cuando están en el modo hidrostático. La fig. 11B ilustra un modo de realización alternativo de un cojinete plano hidrostático 200b que tiene una superficie del cojinete 202b con una cavidad 204b permanente formada en la misma. En este modo de realización, la cavidad 204b tiene una configuración curvada o arqueada que incluye, por ejemplo, una única pared inferior 210b que intercepta la superficie del cojinete 202b en ambos de sus extremos. Todavía en un modo de realización alternativo adicional ilustrado en la fig. 11C, un cojinete plano hidrostático 200c puede incluir una superficie del cojinete 202c que tiene una cavidad 204c con una configuración de cuña. En este modo de realización, la pared inferior 210c intercepta a la superficie 202c del cojinete en uno de sus extremos, pero está separada de la superficie 202c del cojinete en su extremo opuesto de modo que defina paredes laterales 206c opuestas (se muestra una) y una pared terminal 208c. Esto le proporciona a la cavidad 204c una profundidad variable. El perfil en cuña puede ser en la dirección del giro del árbol o puede ser opuesto a la dirección de giro del árbol.

Además de lo anterior, el número y posición de las cavidades 204 en la superficie del cojinete 202 puede variar dependiendo de la aplicación concreta y el tipo de cojinete plano. De hecho, este es el caso ya sea el cojinete plano un cojinete plano convertible o únicamente un cojinete plano hidrostático. Así pues, aunque los anteriores modos de realización ilustran típicamente dos patines que forman cavidades de fluido correspondientes, y los patines se formarían típicamente en la porción inferior de las superficies del cojinete, la invención no se limita de este modo. A modo de ejemplo y sin limitación, las figs. 12A-12C ilustran un patrón de cavidad de fluido alternativa para un cojinete plano hidrostático cilíndrico similar al mostrado en las figs. 5A y 5B.

A este respecto, un árbol principal (no mostrado) similar al árbol 26 se extiende a través de un conjunto de cojinete principal 220 que tiene un alojamiento 222 del cojinete que define una superficie de 224 del cojinete que se enfrenta al árbol principal. El conjunto de cojinete principal 220 se configura como un cojinete plano hidrostático y por lo tanto incluye una pluralidad de cavidades de fluido 226 que se forman permanentemente en la superficie del cojinete 224. En un modo de realización ejemplar, puede haber seis cavidades de fluido 226 formadas en la superficie del cojinete 224. Las cavidades de fluido 226 se pueden configurar como cualquiera de las ilustradas en las figs. 11A-11C o una combinación de las mismas. En un modo de realización, el patrón de cavidades puede ser simétrico con relación a un plano medio 228 paralelo al campo gravitacional g y a través del centro del conjunto de cojinete 220, pero asimétrico con relación a un plano medio 229 perpendicular al plano medio 228 y a través del centro del conjunto de cojinete (figura 12B). Por consiguiente, solo la mitad de la superficie del cojinete 224 se describirá en detalle. Se debe reconocer, sin embargo, que en modos de realización alternativos, el patrón de cavidades puede ser simétrico alrededor del plano medio 228. Adicionalmente, se debe indicar que la simetría del patrón de cavidades tiene en cuenta el número y posición pero no la propia geometría de la cavidad. Todas las cavidades de fluido 226, por ejemplo, pueden tener la configuración en forma de cuña de la fig. 11C con el perfil en cuña en la dirección del giro del árbol.

En referencia a la fig. 12C, dos cavidades 226a se pueden situar en una porción inferior de la superficie del cojinete 224, y una cavidad 226b individual se puede situar en una porción superior de la superficie del cojinete 224. Las porciones superior e inferior se definen con referencia al plano medio 229. En un modo de realización ejemplar, las cavidades 226a tiene sustancialmente la misma posición circunferencial a lo largo de la superficie del cojinete 224, detalles de las cuales se discuten a continuación, pero están separadas en la dirección longitudinal (por ejemplo, a lo largo del eje longitudinal L), de modo que sean sustancialmente paralelas entre sí. Las cavidades 226a pueden tener una anchura en la dirección longitudinal de, aproximadamente, 85 mm y estar separadas por igual de extremos 230 opuestos de la superficie del cojinete 224. Por ejemplo, las cavidades 226a pueden estar separadas alrededor de 87 mm de los extremos 230 de la superficie del cojinete 224. Cada cavidad 226a se extiende en una dirección generalmente circunferencial y se sitúa en una región que comienza a, aproximadamente, 15° y termina a, aproximadamente, 60°. Más concretamente, cada cavidad 226a puede incluir un primer borde 232 a, aproximadamente, 20,5° y un segundo borde 234 a, aproximadamente, 57°. En un modo de realización ejemplar, las cavidades 226a pueden tener una profundidad máxima de, aproximadamente, 4 mm, aunque otros valores son posibles.

La cavidad 226b en la porción superior de la superficie del cojinete 224 puede tener una anchura en la dirección longitudinal similar a las cavidades 226a (por ejemplo, 85 mm) y situarse centralmente en la superficie del cojinete

224 con relación a la dirección longitudinal. Por ejemplo, la cavidad 226b se puede situar en la superficie del cojinete 224 entre las cavidades 226a y puede estar en el punto medio longitudinal entre extremos 230. La cavidad 226b puede extenderse de modo similar en una dirección generalmente circunferencial (de modo que sea generalmente paralela a las cavidades 226a) y estar situada en una región que comienza a, aproximadamente, 85° y termina a, aproximadamente, 130°. En un modo de realización concreto, la cavidad 226b puede incluir un primer borde 236 a, aproximadamente, 90° y un segundo borde 238 a, aproximadamente, 125°. La cavidad 226b puede ser configurada para tener una profundidad máxima similar a la de las cavidades 226a, aunque no se limita de este modo. Como se indicó anteriormente, el patrón de cavidades es simétrico alrededor del plano medio 228 y por lo tanto el patrón de cavidades en un segundo lado del plano medio 228 es una reflexión especular del patrón de cavidades en el primer lado del plano medio 228.

El patrón de cavidades ilustrado en las figs. 12A-12C no es sino una configuración ejemplar que puede ser ventajosa para diseños de cojinete plano. Los expertos en la técnica apreciarán que el patrón (por ejemplo, el número, posición y tipo) y dimensiones físicas proporcionados anteriormente pueden variar dependiendo de la aplicación y configuración concretas del cojinete plano. Por ejemplo, las figs. 13A-13C ilustran un patrón de cavidad que puede ser más adecuado para un cojinete plano hidrostático que tiene una configuración esférica similar a la mostrada en la fig. 7.

A este respecto, un árbol principal (no mostrado), similar al árbol 26a se extiende a través del conjunto de cojinete principal 250 que tiene un alojamiento 252 del cojinete que define una superficie del cojinete 254 que se enfrenta al árbol principal. El conjunto de cojinete principal 250 se configura como un cojinete plano hidrostático y por lo tanto incluye una pluralidad de cavidades 256 formadas permanentemente en la superficie del cojinete 254. En un modo de realización ejemplar, puede haber ocho cavidades de fluido 256 formadas en la superficie del cojinete 254. Las cavidades de fluido 256 se pueden configurar como cualquiera de aquellas ilustradas en las figs. 11A-11C o una combinación de las mismas. En un modo de realización, el patrón de cavidades puede ser simétrico con relación a un plano medio 258 paralelo al fluido gravitacional g y a través del centro del conjunto de cojinete principal 250, aunque asimétrico con relación a un plano medio 259 perpendicular al plano medio 258 y a través del centro del conjunto de cojinete (figura 13B). Por consiguiente, tan solo la superficie del cojinete 254 en un lado del plano simétrico (plano medio 258) se describirá en detalle. Se debe reconocer, sin embargo, que en modos de realización alternativos, el patrón de cavidades puede ser asimétrico con respecto al plano medio 258 y/o simétrico con respecto al plano medio 259.

En referencia a las figs. 13A-13C, un primer grupo 260 de cavidades 256a está espaciado circunferencialmente alrededor de la superficie del cojinete 254 en una primera posición longitudinal (por ejemplo, un plano P1) contigua a un primer extremo 262 de la superficie del cojinete 254, y un segundo grupo 264 de cavidades 256b está espaciado circunferencialmente alrededor de la superficie del cojinete 254 en la segunda posición longitudinal (por ejemplo, un plano P2) contigua a un segundo extremo 266 de la superficie del cojinete 254. En un modo de realización, el segundo grupo 264 puede incluir más cavidades de fluido en comparación con el primer grupo 260 con el fin de aceptar más fácilmente la carga longitudinal del árbol provocada por el viento en interacción con las palas 22.

El primer grupo 260 de cavidades 256a incluye una primera cavidad 256a1 en la porción inferior de la superficie del cojinete 254 y una segunda cavidad 256a2 en una porción superior de la superficie del cojinete 254 (por ejemplo, una porción lateral superior), definiéndose las porciones superior e inferior con referencia al plano medio 259. Las cavidades 256a pueden tener una anchura en la dirección longitudinal de, aproximadamente, 125 mm y estar separadas del primer extremo 262 de la superficie del cojinete 254 en, aproximadamente, 81 mm. Las cavidades 256a se pueden extender en una dirección generalmente circunferencial. Con este fin, en la dirección circunferencial, la línea media 268 de la primera cavidad 256a1 comienza a 0° y tiene un primer borde 270 que termina a, aproximadamente, 15°, y más concretamente, aproximadamente, a 12°. La segunda cavidad 256a2 se sitúa en una región que comienza a, aproximadamente, 115° y termina a, aproximadamente, 155°. Más concretamente, en un modo de realización, la segunda cavidad 256a2 puede incluir un primer borde 272 a, aproximadamente, 120° y un segundo borde 274 a, aproximadamente, 150°. En un modo de realización ejemplar, las cavidades 256a pueden tener una profundidad máxima de, aproximadamente, 4 mm, aunque otros valores son posibles.

El segundo grupo 264 de cavidades 236b incluye una primera cavidad 256b1 en la porción inferior de la superficie del cojinete 254, una segunda cavidad 256b2 en la porción superior de la superficie del cojinete 254 entre los planos medios 256 y 259, y una tercera cavidad 256b3 en la porción superior de la superficie del cojinete 254 que intercepta el plano medio 258. Las cavidades 256b pueden tener una anchura en la dirección longitudinal de, aproximadamente, 101 mm y estar separadas del segundo extremo 266 de la superficie del cojinete 254 en aproximadamente 81 mm. Las cavidades 256b pueden extenderse igualmente en una dirección generalmente circunferencial. Con este fin, en la dirección circunferencial, la primera cavidad 256b1 se sitúa en una región que comienza a, aproximadamente, 5° y termina a, aproximadamente, 70°. Más concretamente, en un modo de realización, la primera cavidad 256b1 puede incluir un primer borde 276 a, aproximadamente, 8° y un segundo borde 278 a, aproximadamente, 66°. La segunda cavidad 256b2 se sitúa en una región que comienza a, aproximadamente, 90° y termina a, aproximadamente, 130°. Más concretamente, en un modo de realización, la segunda cavidad 256b2 puede incluir un primer borde 280 a, aproximadamente, 94° y un segundo borde 282 a, aproximadamente, 124°. Finalmente, la tercera cavidad 256b3 se puede situar en una región que comienza a,

aproximadamente, 145º. Por ejemplo, la tercera cavidad 256b3 puede incluir un primer borde 284 a, aproximadamente, 150° y tener una línea media 286 a 180°. En un modo de realización ejemplar, las cavidades 256b pueden tener una profundidad máxima similar a la de las cavidades 256a, aunque no está limitada de este modo. Como se indicó anteriormente, el patrón de cavidades es simétrico alrededor del plano medio 258 y, por lo tanto, el patrón de cavidades en un segundo lado del plano medio 258 es una reflexión especular del patrón de cavidades en el primer lado del plano medio 258. De nuevo, sin embargo, el patrón de cavidades es asimétrico alrededor del plano medio 259.

El patrón de cavidades ilustrado en las figs. 13A-13C no es sino una configuración ejemplar que puede ser ventajosa para diseños de cojinetes planos esféricos. Aquellos expertos en la técnica apreciarán que el patrón (por ejemplo, número y posición), tipo y dimensiones físicas como se indicó anteriormente puede variar dependiendo de la aplicación y configuración concretas del cojinete plano. Se debe reconocer que el patrón y el tipo de cavidades en la superficie del cojinete se pueden optimizar para la configuración concreta del cojinete plano, ya sea un cojinete plano cilíndrico, un cojinete plano esférico o alguna otra configuración. Las configuraciones ejemplares discutidas anteriormente se consideran que están particularmente adecuadas para las condiciones de carga asociadas con turbinas eólicas.

En un aspecto adicional, la turbina eólica 10 puede incluir un sistema de control que tiene un controlador de la turbina eólica, mostrado esquemáticamente en 300 (figs. 15 y 16), acoplado funcionalmente al conjunto de cojinete principal para controlar el funcionamiento de la turbina eólica 10 basándose en ciertas condiciones en el conjunto de cojinete principal. En un modo de realización ejemplar, cuando existen condiciones potencialmente dañinas o indeseables en el conjunto de cojinete principal, el controlador 300 se puede configurar para cambiar el estado dinámico de la turbina eólica 10 o adicional o alternativamente modificar un elemento o característica del propio conjunto de cojinete principal de modo que se reduzca la probabilidad de daños al conjunto de cojinete principal. De este modo, se extenderá la vida en funcionamiento del conjunto de cojinete principal. Se debe entender que el controlador 300 se puede configurar para funcionar como un conjunto de cojinete que se configura como un cojinete plano hidrodinámico, un cojinete plano hidrostático, o un cojinete plano convertible. Así pues, aunque los modos de realización discutidos a continuación ilustran cojinetes planos convertibles, se debe reconocer que el controlador 300 se puede utilizar igualmente con diseños de cojinetes planos no convertibles también, tales como aquellos ilustrados en las figs. 12A-13C. Así pues, el sistema de control como se describe aquí no se limita a cojinetes planos convertibles.

Con este fin, el controlador 300 de la turbina eólica se puede acoplar funcionalmente a uno o más subsistemas (que tienen controladores que pueden ser distintos o integrados con el controlador 300) para alterar efectivamente el estado dinámico de la turbina eólica 10. A modo de ejemplo y sin limitación, el controlador 300 se puede acoplar funcionalmente a: i) un controlador de guiñada (no mostrado) para controlar la guiñada del rotor 16 alrededor de la torre 12; ii) un controlador de orientación (no mostrado) para controlar la orientación de las palas 22 con relación a la dirección del viento; y/o ii) un sistema de frenado (no mostrado) para oponerse al giro del rotor 16 alrededor del eje longitudinal 24. Estos diversos subsistemas tienen la capacidad de afectar al estado dinámico de la turbina eólica 10. Más concretamente, y como se discute en mayor detalle a continuación, estos sistemas tienen la capacidad de afectar a la carga en el árbol giratorio principal, que a su vez afecta al funcionamiento del conjunto de cojinete principal. Los subsistemas proporcionados anteriormente son ejemplares y aquellos expertos en la técnica pueden reconocer otros subsistemas que afectan al estado dinámico de la turbina eólica 10. Además de lo anterior, el controlador 300 de la turbina eólica puede estar acoplado funcionalmente además al conjunto de cojinete principal y ser capaz de afectar al estado del conjunto de cojinete principal de modo que acepte mejor las cargas en el árbol giratorio principal.

De acuerdo con un aspecto de la invención, y con referencia a la fig. 14, el controlador 300 puede monitorizar uno o más parámetros asociados con el funcionamiento del conjunto de cojinete principal, como en la etapa 302. En un modo de realización ejemplar, el (los) parámetro(s) monitorizado(s) es (son) indicativo(s) de las cargas aplicadas al árbol giratorio principal, se describen diversos ejemplos en mayor detalle a continuación. El (los) parámetro(s) monitorizado(s) se compara(n) entonces con un (unos) valor(es) umbral(es) almacenado(s) en el controlador 300, como en la etapa 304. Si el (los) parámetro(s) monitorizado(s) es (son) menor(es) que el valor(es) umbral(es), entonces la turbina eólica continúa funcionando sin intervención de este sistema de control en concreto. Si, por otro lado, el (los) parámetro(s) monitorizado(s) satisface(n) o supera(n) el (los) valor(es) umbral(es), entonces el controlador 300 se configura para alterar el funcionamiento de la turbina eólica 10 de modo que reduzca la carga en el árbol giratorio principal, o cambie el estado de funcionamiento del conjunto de cojinete principal de modo que acepte más fácilmente la carga en el árbol. Esta decisión puede depender del tipo de cojinete plano o el modo de funcionamiento el caso de un conjunto de cojinete principal convertible, como se indica en 306 en la fig. 14.

Si el conjunto de cojinete principal es un cojinete plano hidrodinámico o es un cojinete plano convertible, tal como de acuerdo con lo que se describió anteriormente, funcionando en el modo hidrodinámico y el (los) parámetro(s) monitorizado(s) satisface(n) o supera(n) el (los) valor(es) umbral(es), entonces el controlador 300 se puede configurar para alterar el estado dinámico de la turbina eólica 10 para reducir la carga en el árbol, como se indica en 308. A este respecto, el controlador 300 se puede configurar para alinear el rotor 16 con relación a la torre 12 de modo que gire el rotor 16 fuera del viento, como se indica en 310. Adicional o alternativamente, el controlador 300 se puede configurar para orientar las palas del rotor 22 fuera del viento de modo que se reduzca la fuerza de

accionamiento del rotor 16 y así la carga en el árbol giratorio principal, como en 312. Aún más, adicional o alternativamente, el controlador 300 se puede configurar para aplicar un freno y disminuir así la velocidad angular del árbol giratorio principal, como en 314. Los expertos en la técnica reconocerán otros modos de reducir la carga en el árbol giratorio principal 26 tras alcanzar el (los) valor(es) umbral(es) en el (los) parámetro(s) monitorizado(s) y los modos de realización de la invención no se limitan a aquellos identificadas anteriormente. En cualquier caso, una alteración del estado dinámico de la turbina eólica 10 de tal modo se configura para impedir o reducir la probabilidad de daños al conjunto de cojinete principal y acortar su vida en funcionamiento.

Si el conjunto de cojinete principal es un cojinete plano hidrostático o un cojinete plano convertible que funciona en un modo hidrostático, entonces otra opción puede estar disponible para accionar la turbina eólica 10 en el caso de que el (los) valor(es) un umbral(es) del (de los) parámetro(s) se supere(n). A este respecto, y como se ilustra adicionalmente en la fig. 14, si el (los) valor(es) umbral(es) se supera(n) y el cojinete o modo de funcionamiento es hidrostático, entonces el controlador 300 se puede configurar para aumentar la presurización de la película de fluido entre el árbol y la superficie del cojinete, como se indica en 316, de modo que el conjunto de cojinete principal pueda aceptar mejor la carga en el árbol. Esto se puede conseguir, por ejemplo, aumentando la salida de la bomba 70. De modo similar a lo anterior, la alteración de la presurización de la película de fluido en el conjunto de cojinete principal se configura para impedir o reducir la probabilidad de daños en el conjunto de cojinete principal y el acortamiento de su vida en funcionamiento.

En un modo de realización, el (los) parámetro(s) monitorizado(s) puede(n) ser una indicación directa de la carga en el árbol giratorio principal. Esto puede ser el caso concretamente cuando la carga que está siendo monitorizada es la carga longitudinal, que puede no depender, por ejemplo, de la película de fluido para su soporte en el conjunto de cojinete principal. Así pues, por ejemplo, tal técnica directa puede ser adecuada cuando los segmentos de empuje se utilizan para aceptar la carga longitudinal del árbol giratorio principal, tal como en las figs. 9 y 10. Tal modo de realización ejemplar se ilustra en la figura 15, en la que un controlador 300 se incorpora en el modo de realización mostrado en la fig. 10. Como se ilustra en esta figura, cada uno de los segmentos de empuje 192 puede estar acoplado funcionalmente a una célula de carga 320 para indicar las cargas longitudinales en el árbol giratorio principal 26d. Tales células de carga 320 son generalmente conocidas en la técnica y están disponibles comercialmente. Así pues, se considera innecesaria una descripción detallada de las células de carga 320. Las células de carga 320 están acopladas funcionalmente al controlador 300 de la turbina eólica y se configuran para enviar una señal indicativa de las cargas longitudinales en el árbol giratorio principal 26d. Como se explicó anteriormente, si las cargas longitudinales, ya sea en las direcciones L1 o L2, superan un valor umbral, entonces el funcionamiento de la turbina eólica 10 se puede alterar cambiando el estado dinámico de la turbina eólica 10 o cambiando el estado de funcionamiento del conjunto de cojinete principal 28d, como se explicó anteriormente.

Aunque tal técnica directa para indicar la carga puede ser conducida cuando se utilizan segmentos de empuje, se pueden implementar otras técnicas cuando la carga en el árbol giratorio principal está siendo soportada por la película de fluido (por ejemplo, tal como en una dirección radial). En un modo de realización y con referencia a la fig. 16, en la que números de referencia similares se refieren a elementos similares en la fig. 7, se pueden implementar diversas técnicas indirectas en las que una o más propiedades de la película de fluido 69a se monitoriza para proporcionar una indicación de la carga en el árbol 26a. A este respecto, uno o más sensores, ilustrados esquemáticamente en 322, pueden estar en comunicación con la película de fluido 69a entre el árbol 26a y la superficie del cojinete 46a para monitorizar al menos una propiedad de la película de fluido 69a. Los sensores 322 pueden estar acoplados funcionalmente además al controlador 300 para afectar al funcionamiento de la turbina eólica 10 en el caso de que pueda existir un estado potencialmente dañino o indeseable en el conjunto de cojinete principal 28a.

En un modo de realización, la propiedad de la película de fluido que se monitoriza mediante sensores 322 es la presión. A este respecto, los sensores 322 pueden ser transductores de presión capaces de medir la presión de la película de fluido 69a en ciertas posiciones, que se pueden seleccionar situando uno o más orificios 324 adecuados en la superficie del cojinete 46. Tales transductores de presión son generalmente conocidos en la técnica y están disponibles comercialmente. Así pues, se considera innecesaria una descripción detallada de los transductores de presión. Los orificios 324 se pueden situar estratégicamente de modo que se correspondan a emplazamientos de fallo potenciales en el caso de que un árbol giratorio principal 26a sufra una sobrecarga. Por ejemplo, los orificios 324 se pueden situar en la dirección del campo gravitacional g. Alternativamente, los orificios 324 se puede situar contiguamente a los resaltos 114. Igualmente son posibles otras posiciones tales como contiguamente a los patines 60a. Los transductores de presión se acoplan funcionalmente al controlador 300 y se configuran para enviar una señal de presión indicativa de la carga en el árbol giratorio principal 26a. Si la presión, como se indica mediante el transductor de presión, supera un valor umbral, entonces el funcionamiento de la turbina eólica 10 se puede alterar cambiando el estado dinámico de la turbina eólica 10 o presurizado la película de fluido 69A, como se explicó más completamente en lo anterior.

En otro modo de realización, la propiedad de la película de fluido que es monitorizada por los sensores 322 es la temperatura. A este respecto, los sensores 322 pueden ser sensores de temperatura capaces de medir la temperatura de la película de fluido 60a en ciertas posiciones, que se pueden seleccionar situando uno o más orificios 324 adecuados en la superficie del cojinete 46a. Tales sensores de temperatura son conocidos generalmente en la técnica y están disponibles comercialmente. Así pues, se considera innecesaria una descripción

detallada de los sensores de temperatura. Los sensores de temperatura se acoplan funcionalmente al controlador 300 y se configuran para enviar una señal de temperatura indicativa de la carga en el árbol giratorio principal 26a. Si la temperatura, como se indica mediante los sensores de temperatura, supera un valor umbral, entonces el funcionamiento de la turbina eólica 10 se puede alterar cambiando el estado dinámico de la turbina eólica 10 o presurizado la película de fluido, como se explicó anteriormente.

En aún otro modo de realización, la propiedad de la película de fluido que es monitorizada por los sensores 322 es el grosor de la película. A este respecto, los sensores 322 pueden ser sensores de grosor de la película o sensores de proximidad capaces de medir o indicar el grosor de la película de fluido 69a (es decir, la proximidad del árbol a la superficie del cojinete) en ciertas posiciones. Por ejemplo, y sin limitación, los sensores de grosor de la película pueden funcionar en una teoría inductiva o capacitiva (por ejemplo, sensores de proximidad). Tales sensores son conocidos generalmente en la técnica y están disponibles comercialmente. Así pues, se considera innecesaria una descripción detallada de los tipos de sensores. Otros sensores que funcionan basándose en un abanico de otros principios o teorías se pueden utilizar igualmente. Los sensores de proximidad se acoplan funcionalmente al controlador 300 y se configuran para enviar una señal de distancia indicativa de la carga en el árbol giratorio principal 26a. Si el grosor de la película, como se indica mediante los sensores de proximidad, supera un valor umbral (por ejemplo, cae por debajo de un valor umbral), entonces el funcionamiento de la turbina eólica 10 se puede alterar cambiando el estado dinámico de la turbina eólica 10 o aumentando la presurización de la película de fluido 69a, como se explicó más completamente en lo anterior.

Al monitorizar, ya sea directa o indirectamente, la carga en el árbol giratorio principal, entonces se puede evitar el funcionamiento de la turbina eólica 10 durante situaciones potencialmente dañinas para el conjunto de cojinete principal. Tal sistema de control aumentaría la vida en funcionamiento del conjunto de cojinete principal y por lo tanto reduciría los costes de recambio y mantenimiento asociados con el funcionamiento global de la turbina eólica.

Aunque la invención se ha ilustrado mediante una descripción de diversos modos de realización y aunque estos modos de realización se han descrito en considerable detalle, no es la intención del solicitante restringir o limitar en modo alguno el ámbito de las reivindicaciones adjuntas a tales detalles. Ventajas y modificaciones adicionales serán evidentes para los expertos en la técnica. Por ejemplo, aunque el conjunto de cojinete convertible se describió y se mostró como en posesión de alojamientos de fluido formados en la superficie del cojinete, se debe reconocer que los alojamientos de fluido pueden formarse alternativamente en el árbol. Adicionalmente, aunque el conjunto de cojinete convertible se mostró y describió aquí como un conjunto de cojinete principal para una turbina eólica, se reconocerá además que los conjuntos de cojinetes dados a conocer aquí se pueden implementar en otras posiciones de la turbina eólica, incluyendo, por ejemplo y sin limitación, la caja de engranajes, el sistema de guiñada, el sistema de orientación de las palas, u otras posiciones que se basan convencionalmente en cojinetes con elementos de rodadura. La invención en sus aspectos más amplios no se limita por lo tanto a los detalles específicos, procedimientos representativos, y ejemplos ilustrativos mostrados y descritos. Por consiguiente, se puede partir de tales detalles sin alejarse del espíritu del concepto inventivo general, como se define en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de funcionamiento de una turbina eólica (10) que tiene un conjunto de cojinete (28), un árbol (26) recibido en el conjunto de cojinete, y al menos un subsistema capaz de alterar un estado dinámico de la turbina eólica, que comprende:

permitir que la turbina eólica sea accionada por el viento de tal modo que el árbol gire en el conjunto de cojinete y al menos una porción del conjunto de cojinete soporte el árbol sobre una película de fluido (69);

monitorizar al menos un parámetro de la película de fluido indicativo de una carga en el árbol;

comparar el al menos un parámetro con un criterio umbral; y

realizar al menos una de las siguientes etapas cuando el al menos un parámetro satisface el criterio umbral: i) alterar el estado dinámico de la turbina eólica para reducir la carga en el árbol; y ii) alterar el estado del conjunto de cojinete de modo que acepte mejor la carga en el árbol.

2. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, en el que monitorizar al menos un parámetro de la película de fluido comprende además monitorizar una presión de la película de fluido que soporta el árbol.

3. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que monitorizar al menos un parámetro de la película de fluido comprende además monitorizar una temperatura de la película de fluido que soporta el árbol.

4. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que monitorizar al menos un parámetro de la película de fluido comprende además monitorizar un grosor de la película de fluido que soporta el árbol.

5. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que alterar el estado dinámico de la turbina eólica para reducir la carga en el árbol comprende además al menos uno de: i) guiñar la góndola con relación a la torre; ii) orientar las palas de la turbina eólica; y iii) aplicar un freno para disminuir la velocidad del rotor.

6. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en el que alterar el estado del conjunto de cojinete de modo que acepte mejor la carga en el árbol comprende además aumentar la presión en la película de fluido que soporta el árbol.

7. Un procedimiento de funcionamiento de una turbina eólica (10) que tiene un conjunto de cojinete (28) convertible entre un modo de funcionamiento hidrostático y un modo de funcionamiento hidrodinámico, un árbol (26) recibido en el conjunto de cojinete, y al menos un subsistema capaz de alterar un estado dinámico de la turbina eólica, que comprende:

monitorizar al menos un parámetro indicativo de una carga en el árbol;

comparar el al menos un parámetro con un criterio umbral;

determinar si el conjunto de cojinete está en un modo de funcionamiento hidrostático o un modo de funcionamiento hidrodinámico; y

realizar al menos una de las siguientes etapas cuando el al menos un parámetro satisface el criterio umbral: i) alterar el estado dinámico de la turbina eólica para reducir la carga en el árbol cuando el conjunto de cojinete está en el modo de funcionamiento hidrodinámico; y ii) alterar el estado del conjunto de cojinete de modo que acepte mejor la carga en el árbol cuando el conjunto de cojinete está en el modo de funcionamiento hidrostático.

8. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende además alterar adicional o alternativamente el estado dinámico de la turbina eólica para reducir la carga en el árbol cuando el conjunto de cojinete está en el modo de funcionamiento hidrostático.

9. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7 u 8, en el que monitorizar al menos un parámetro indicativo de una carga en el árbol comprende además monitorizar una presión de una película de fluido (69) que soporta el árbol.

10. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7-9, en el que monitorizar al menos un parámetro indicativo de una carga en el árbol comprende además monitorizar una temperatura de una película de fluido que soporta el árbol.

11. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7-10, en el que monitorizar al menos un parámetro indicativo de una carga en el árbol comprende además monitorizar un grosor de una película de fluido que soporta el árbol.

12. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7-11, en el que alterar el estado dinámico de la turbina eólica para reducir la carga en el árbol comprende además al menos uno de: i) guiñar la góndola con relación a la torre; ii) orientar las palas de la turbina eólica; y iii) aplicar un freno para disminuir la velocidad del rotor.

13. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7-11, en el que alterar el estado del conjunto de cojinete de modo que acepte mejor la carga en el árbol comprende además aumentar la presión en la película de fluido que soporta el árbol.

14. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 7-13, en el que monitorizar al menos un parámetro indicativo de la carga comprende además monitorizar directamente una carga en el árbol.

15. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 14, en el que la carga que se monitoriza es una carga longitudinal en el árbol.

16. Un sistema de control para una turbina eólica que tiene un conjunto de cojinete, un árbol recibido en el conjunto de cojinete, en el que el árbol está configurado para girar en el conjunto de cojinete y para estar soportado en el mismo al menos en parte mediante una película de fluido, y al menos un subsistema capaz de alterar un estado dinámico de la turbina eólica, que comprende:

un controlador (66) acoplado funcionalmente al conjunto de cojinete y el al menos un subsistema;

al menos un sensor (82) para monitorizar al menos un parámetro de la película de fluido indicativo de una carga en el árbol, el al menos un sensor acoplado funcionalmente al controlador y configurado para enviar una señal al controlador que corresponde a un valor en el al menos un parámetro,

en el que el controlador está configurado para enviar una señal al al menos un subsistema para alterar el estado dinámico de la turbina eólica de modo que se reduzca la carga en el árbol cuando el valor del al menos un parámetro enviado por el al menos un sensor satisface un criterio umbral.

17. Un sistema de control de acuerdo con la reivindicación 16, en el que el controlador está configurado adicional o alternativamente además para enviar una señal al conjunto de cojinete para alterar el estado del conjunto de cojinete de modo que acepte mejor la carga en el árbol cuando el valor del al menos un parámetro enviado por el al menos un sensor satisface el criterio umbral.

18. Un sistema de control de acuerdo con la reivindicación 16 o 17, en el que el al menos un sensor está seleccionado del grupo que consiste en una célula de carga, un transductor de presión, un sensor de temperatura, un sensor de grosor de la película, o una combinación de los mismos.

19. Una turbina eólica (10), que comprende:

una torre (12);

una góndola (14) situada contiguamente a una parte superior de la torre;

un rotor (16) que tiene un buje (20) y una pluralidad de palas (22) que se extienden desde el mismo y configuradas para interaccionar con el viento para girar el rotor;

un árbol giratorio principal (26) acoplado al rotor y que se extiende dentro de la góndola;

un conjunto de cojinete principal (28) situado en la góndola para soportar el árbol al menos en parte mediante una película de fluido (69);

al menos un subsistema capaz de alterar el estado dinámico de la turbina eólica; y

un sistema de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 16-18 para controlar el funcionamiento de la turbina eólica.

20. Una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 19, en la que el al menos un subsistema está seleccionado del grupo que consiste en un sistema de control de guiñada para controlar el giro de la góndola con relación a la torre, un sistema de control de orientación para controlar la orientación de la pluralidad de palas, un sistema de frenado para reducir la velocidad del rotor, o combinaciones de los mismos.

21. Una turbina eólica de acuerdo con las reivindicaciones 19 o 20, en la que el conjunto de cojinete principal está configurado como un cojinete plano convertible selectivamente convertible entre un primer modo de funcionamiento y un segundo modo de funcionamiento, funcionando el conjunto de cojinete como un cojinete hidrostático en el primer modo de funcionamiento y funcionando como un cojinete hidrodinámico en el segundo modo de funcionamiento.

22. Una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 21, en la que el controlador está configurado para alterar el estado dinámico de la turbina eólica para reducir la carga en el árbol cuando el valor del al menos un parámetro satisface el criterio umbral y el conjunto de cojinete está en el segundo modo de funcionamiento.

23. Una turbina eólica de acuerdo con las reivindicaciones 21 o 22, en la que el controlador está configurado para alterar el estado del conjunto de cojinete para aceptar mejor la carga en el árbol cuando el valor del al menos un parámetro satisface el criterio umbral y el conjunto de cojinete está en el primer modo de funcionamiento.

24. Una turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 21-23, que comprende además una bomba (70) acoplada funcionalmente al controlador y al conjunto de cojinete, activando el controlador la bomba para aumentar la presión de una película de fluido que soporta el árbol cuando el valor del al menos un parámetro satisface el criterio umbral y el conjunto de cojinete está en el primer modo de funcionamiento.

25. Una turbina eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 21-24, que comprende además un elemento móvil movible entre una primera posición y una segunda posición, estando el conjunto de cojinete en el primer modo de funcionamiento cuando el elemento móvil está en la primera posición y estando en el segundo modo de funcionamiento cuando el elemento móvil está en la segunda posición.

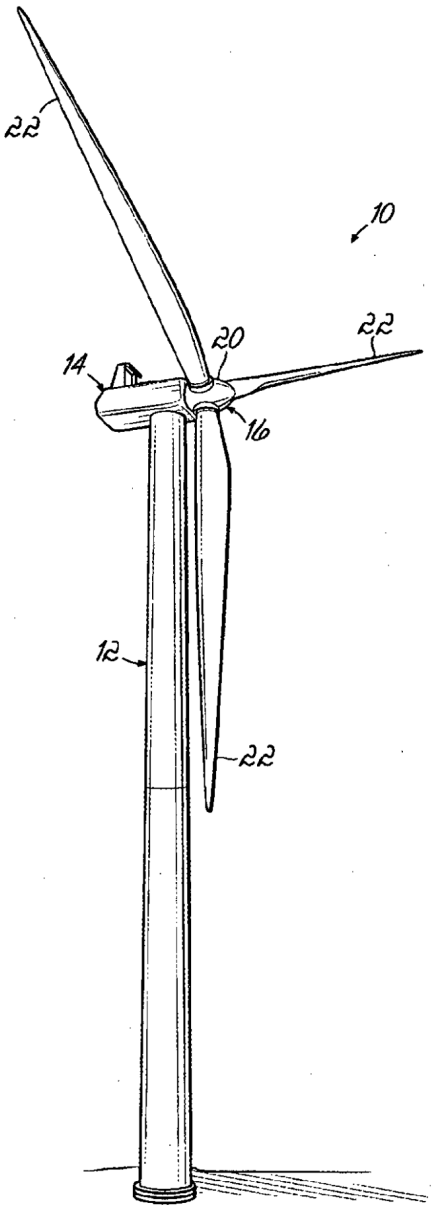

FIG. 1

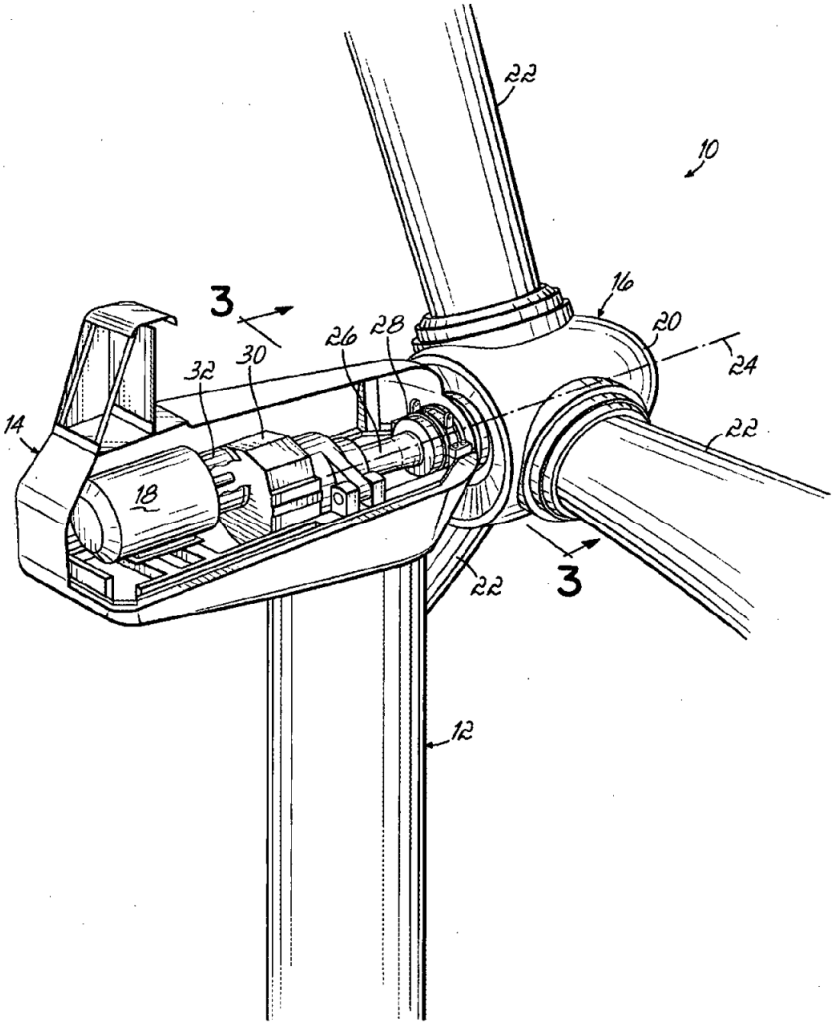

FIG. 2

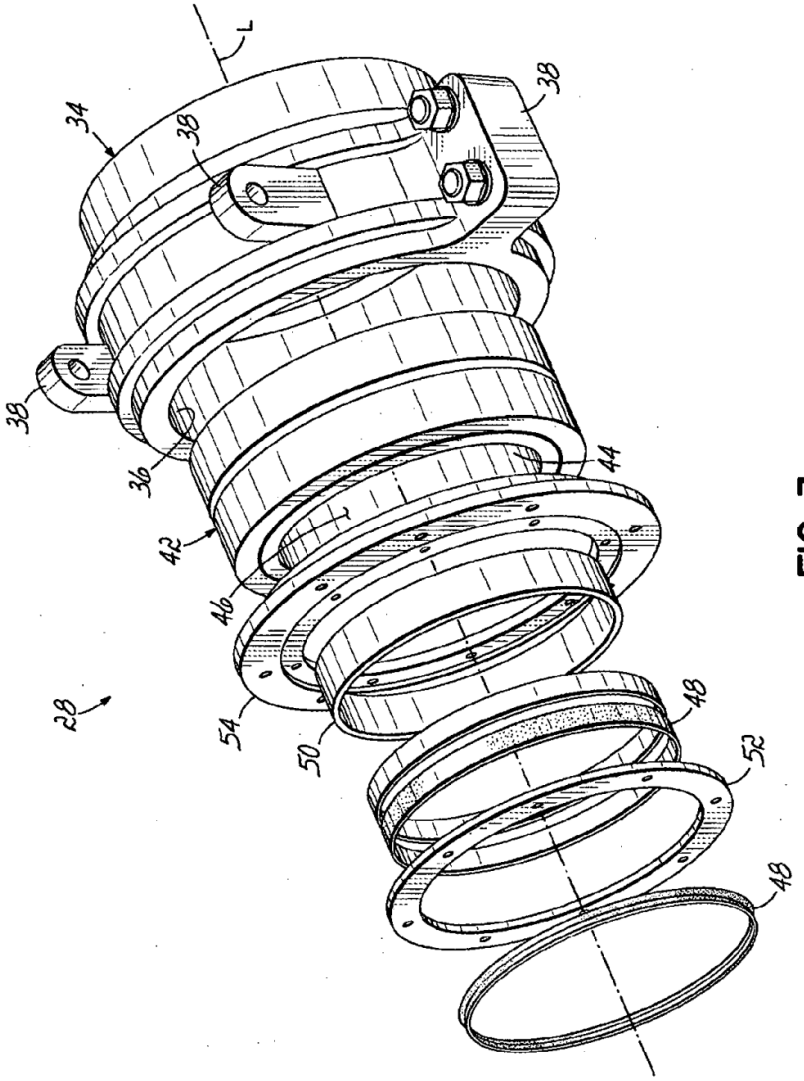

FIG. 3

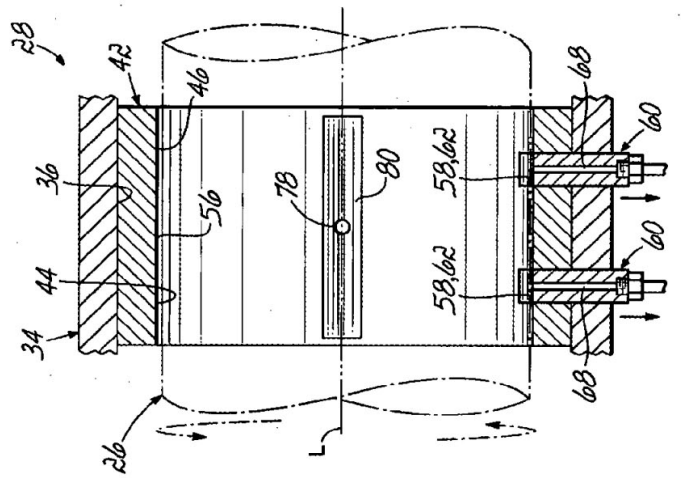
28
42
46
36
56
44
34
26
78
80
58,62
60
68
L

FIG. 4B

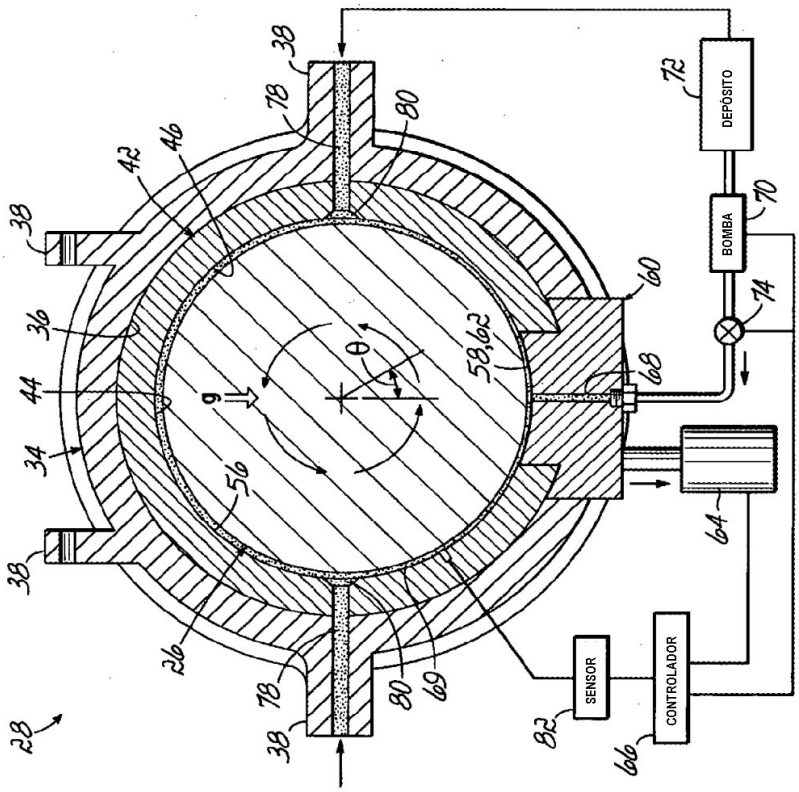
28
38
42
46
36
44
34
56
26
78
80
69
58,62
60
68
θ
g
DEPÓSITO
72
BOMBA
70
74
64
SENSOR
82
CONTROLADOR
66

FIG. 4A

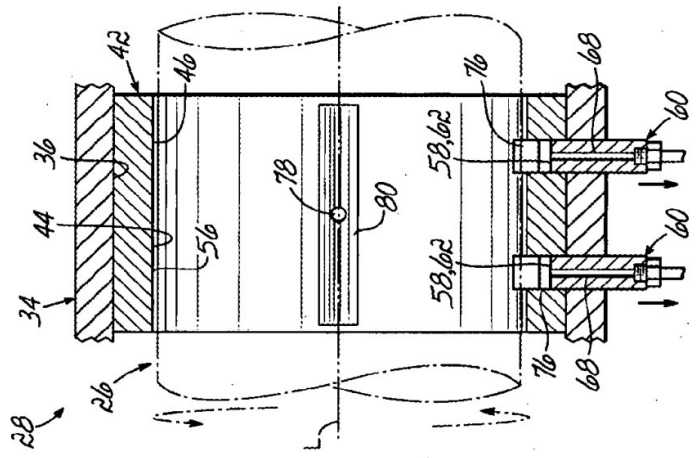
28
26
34
36
44
42
46
56
78
80
58,62
76
68
60
L

FIG. 5B

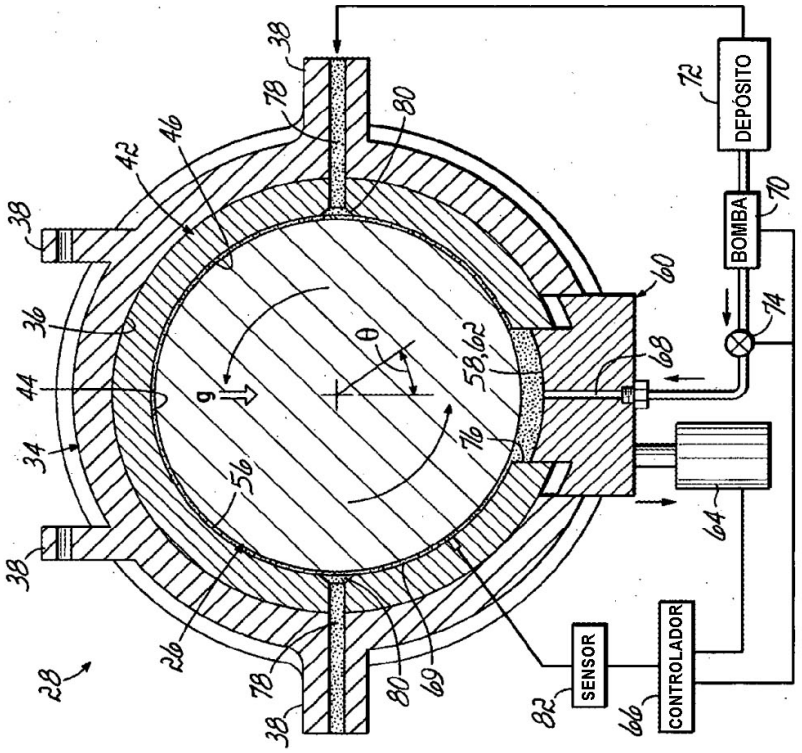
28
26
34
36
44
38
42
46
56
78
80
58,62
76
68
60
69
θ
g
SENSOR
CONTROLADOR
BOMBA
DEPÓSITO
64
66
70
72
74
82

FIG. 5A

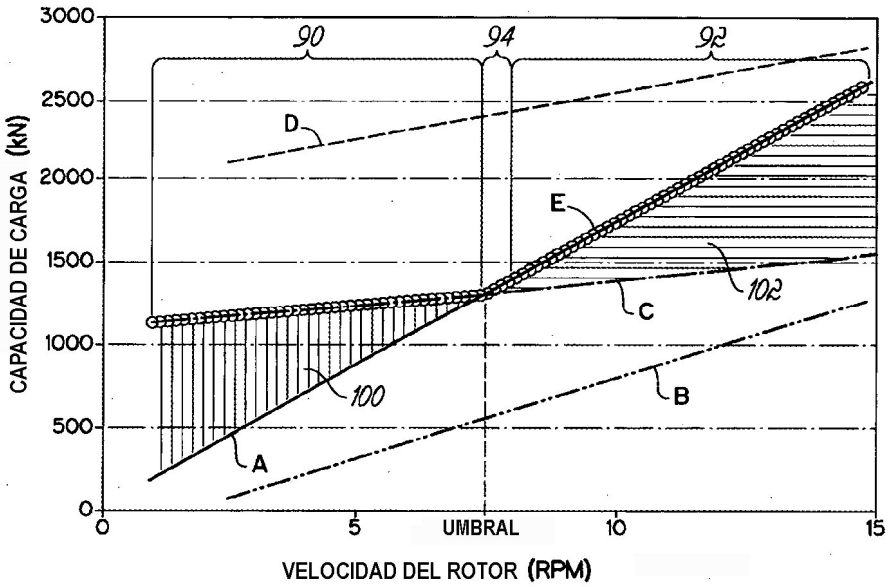
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
CAPACIDAD DE CARGA (kN)
90
94
92
D
E
C
B
A
100
102
0
5
UMBRAL
10
15
VELOCIDAD DEL ROTOR (RPM)

FIG. 6

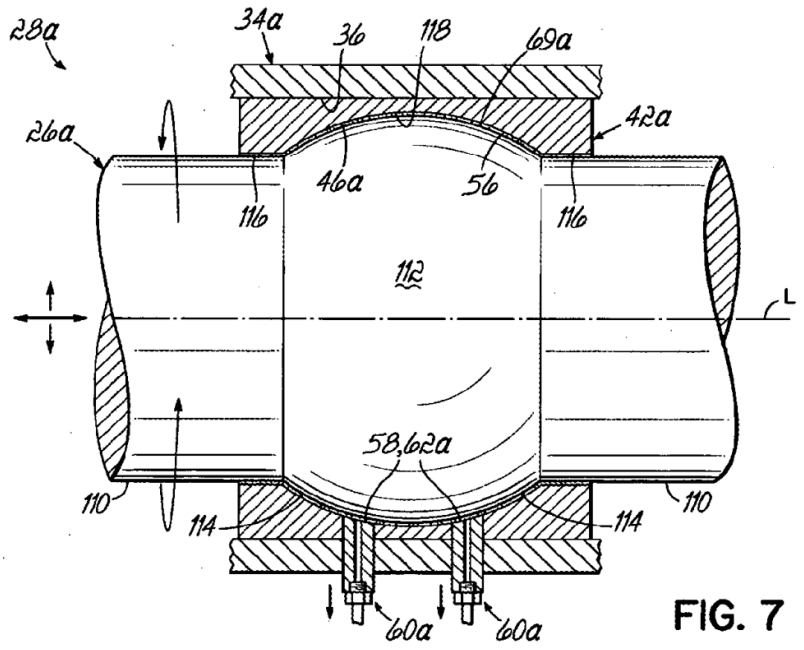
28a
34a
36
118
69a
42a
26a
46a
56
116
116
112
L
58,62a
110
114
114
110
60a
60a

FIG. 7

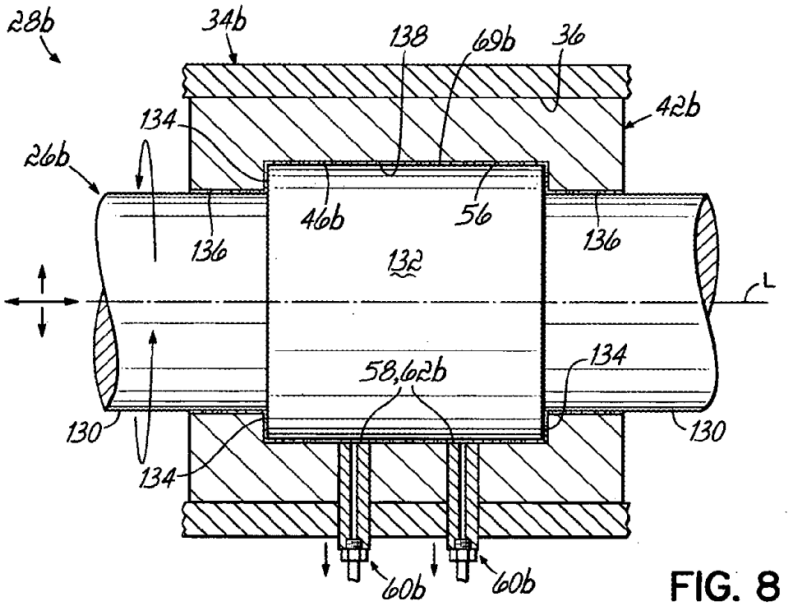
28b
34b
138
69b
36
42b
134
26b
46b
56
136
136
132
L
58,62b
134
130
130
134
60b
60b

FIG. 8

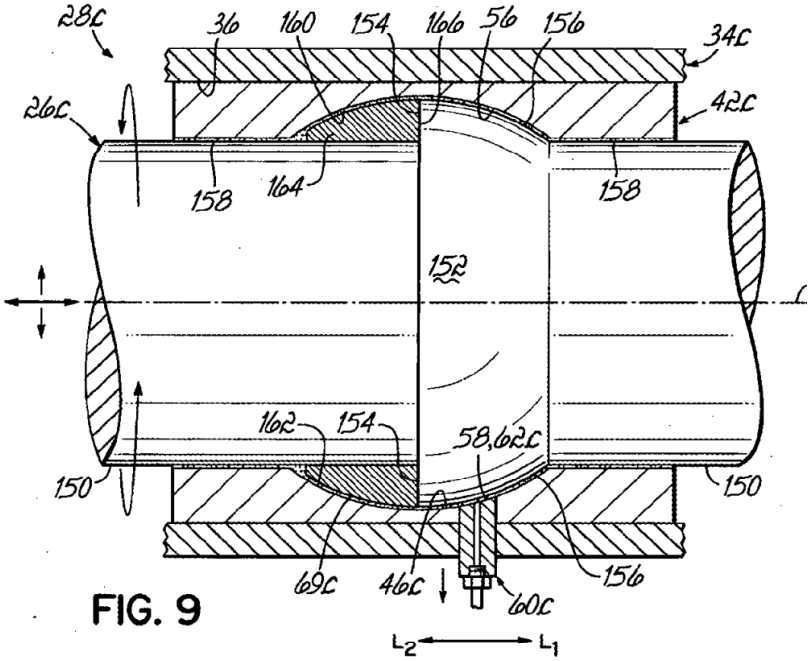
28c
36
160
154
166
56
156
34c
26c
42c
158
164
158
152
162
154
58,62c
150
150
69c
46c
60c
156
L2
L1

FIG. 9

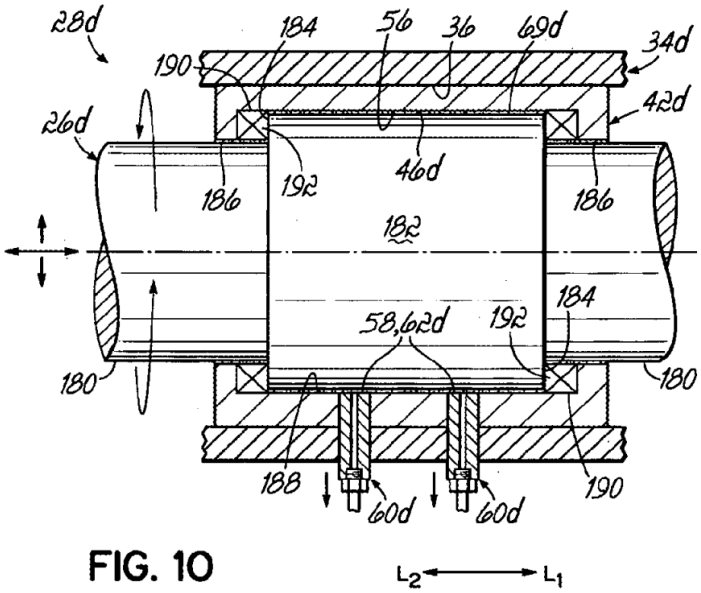
28d
184
56
36
69d
34d
190
42d
26d
186
192
46d
186
182
184
58,62d
192
180
180
188
60d
60d
190
L2
L1

FIG. 10

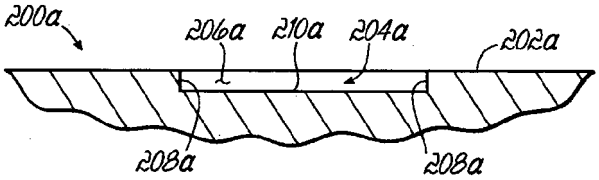

FIG. 11A

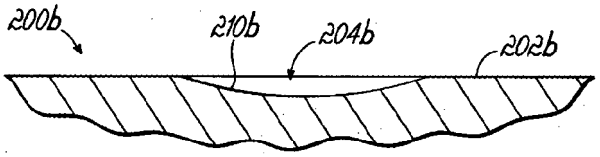

FIG. 11B

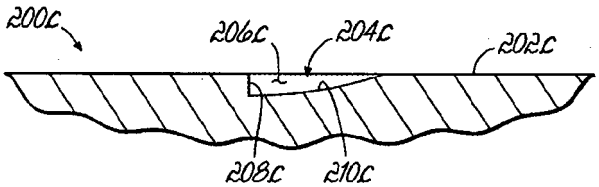

FIG. 11C

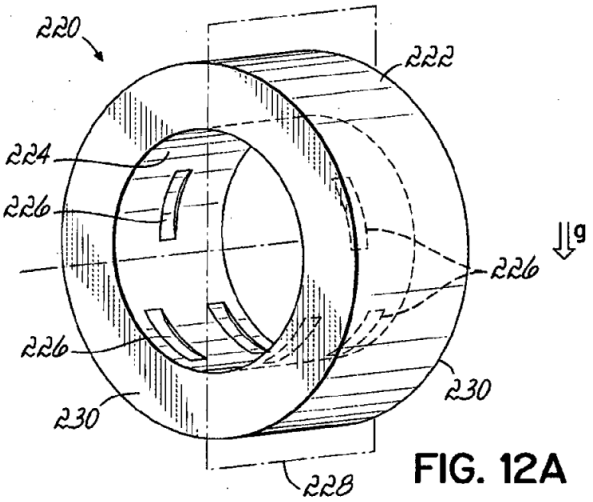

FIG. 12A

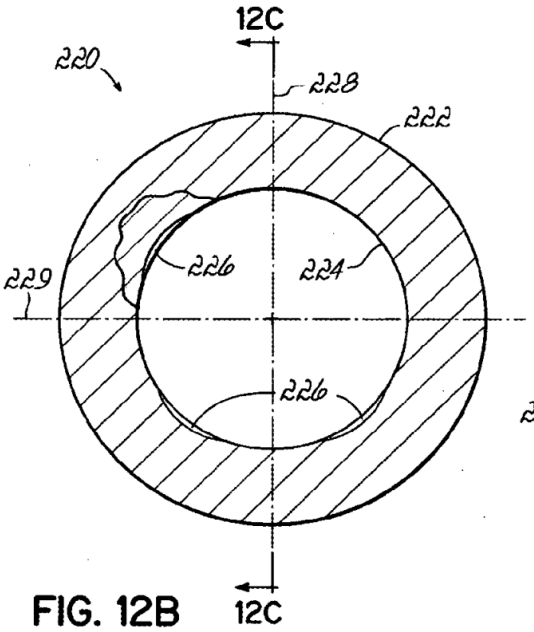

FIG. 12B

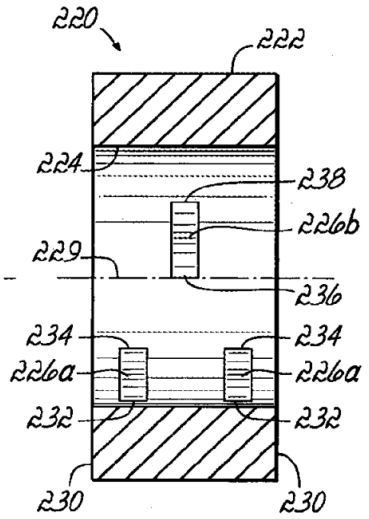

FIG. 12C

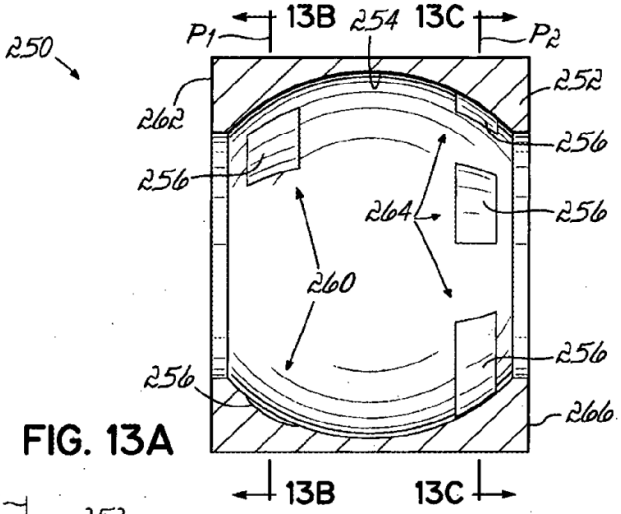

FIG. 13A

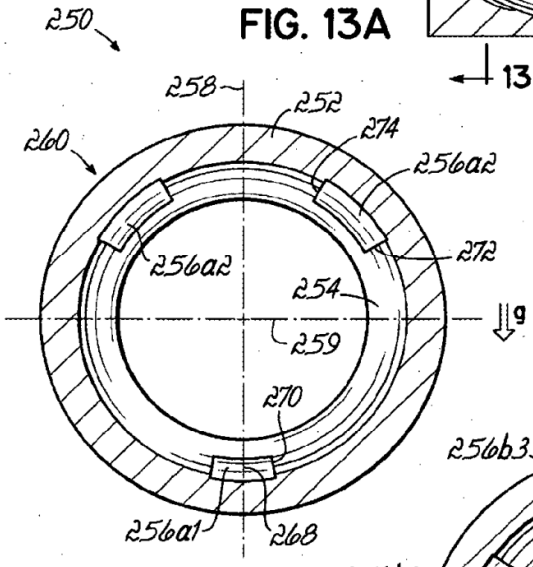

FIG. 13B

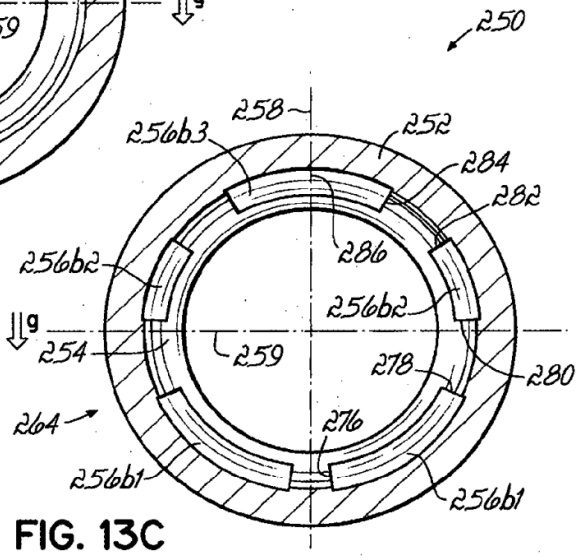

FIG. 13C

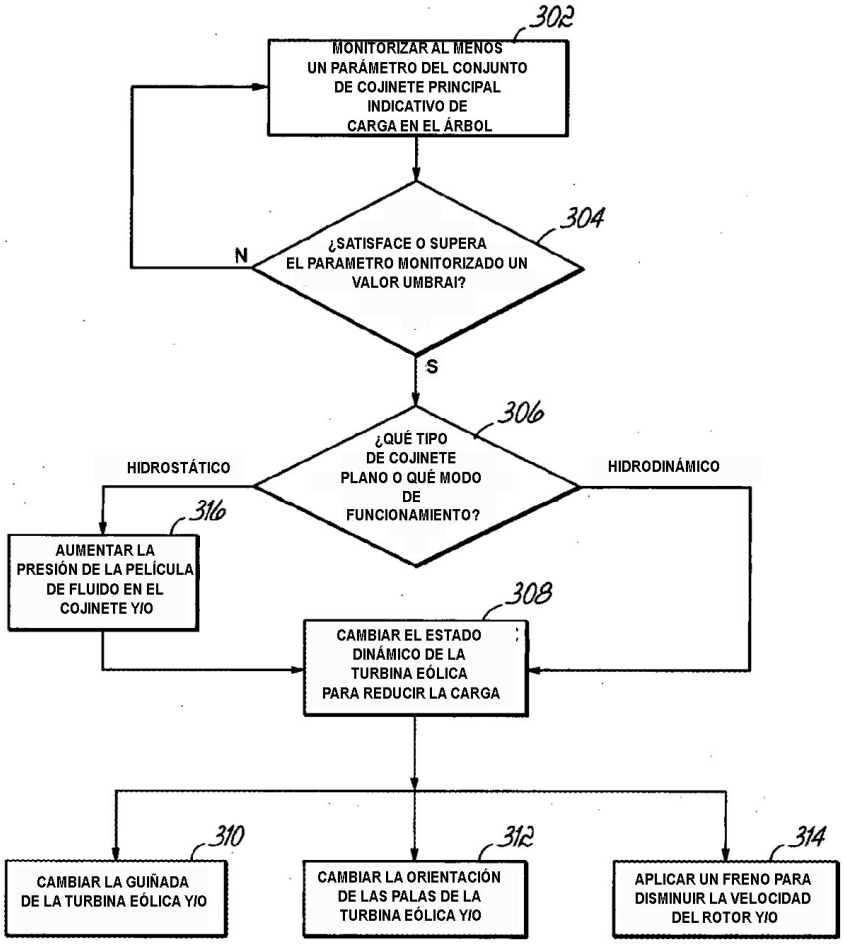
302
MONITORIZAR AL MENOS UN PARÁMETRO DEL CONJUNTO DE COJINETE PRINCIPAL INDICATIVO DE CARGA EN EL ÁRBOL
304
¿SATISFACE O SUPERA EL PARAMETRO MONITORIZADO UN VALOR UMBRAI?
N
S
306
¿QUÉ TIPO DE COJINETE PLANO O QUÉ MODO DE FUNCIONAMIENTO?
HIDROSTÁTICO
HIDRODINÁMICO
316
AUMENTAR LA PRESIÓN DE LA PELÍCULA DE FLUIDO EN EL COJINETE Y/O
308
CAMBIAR EL ESTADO DINÁMICO DE LA TURBINA EÓLICA PARA REDUCIR LA CARGA
310
CAMBIAR LA GUIÑADA DE LA TURBINA EÓLICA Y/O
312
CAMBIAR LA ORIENTACIÓN DE LAS PALAS DE LA TURBINA EÓLICA Y/O
314
APLICAR UN FRENO PARA DISMINUIR LA VELOCIDAD DEL ROTOR Y/O

FIG. 14

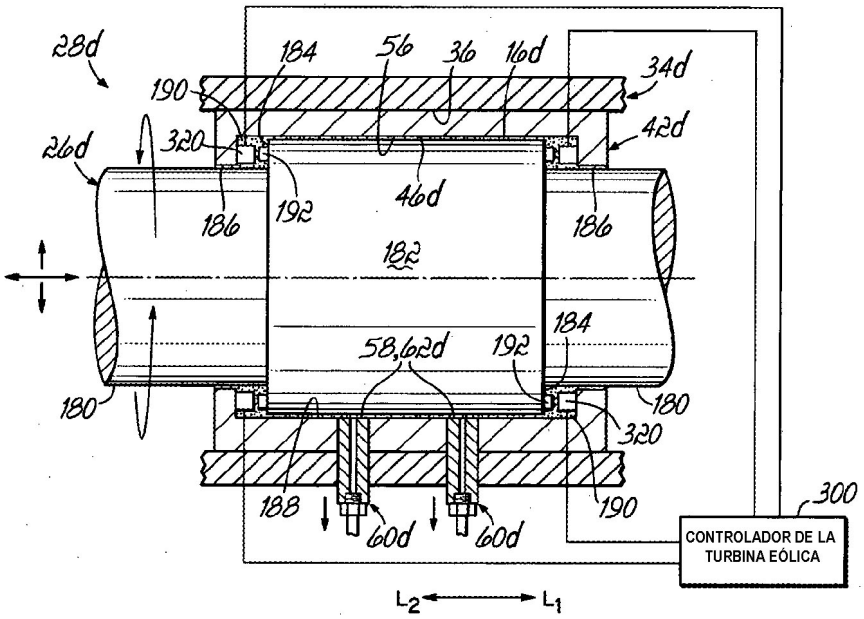
28d
184
56
36
16d
34d
190
42d
26d
320
46d
186
192
186
182
184
58,62d
192
180
180
320
188
190
60d
60d
300
CONTROLADOR DE LA TURBINA EÓLICA
L2
L1

FIG. 15

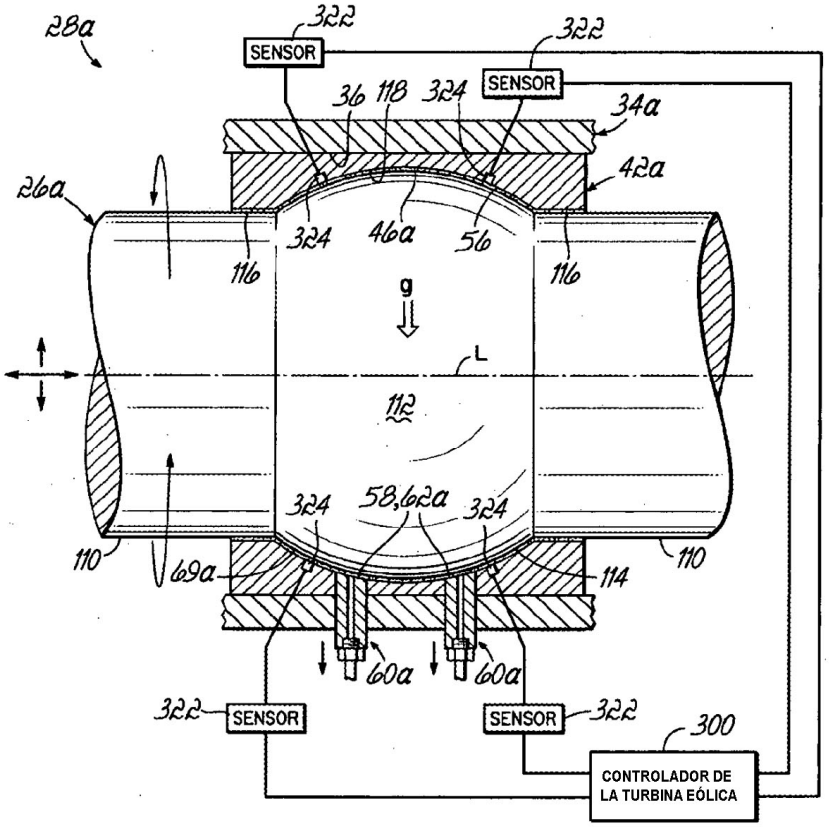
28a
322
SENSOR
322
SENSOR
36
118
324
34a
42a
26a
324
46a
56
116
116
g
L
112
324
58,62a
324
110
69a
114
110
60a
60a
322
SENSOR
SENSOR
322
300
CONTROLADOR DE
LA TURBINA EÓLICA

FIG. 16