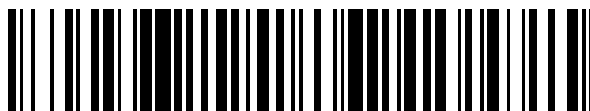


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 729 383**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F16D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.09.2014** **PCT/US2014/057590**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.04.2015** **WO15048372**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.09.2014** **E 14846914 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.04.2019** **EP 2989340**

54 Título: **Acoplamiento de turbina eólica para mitigar las inversiones de par**

30 Prioridad:

26.09.2013 US 201361882856 P

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

04.11.2019

73 Titular/es:

PT TECH, LLC (100.0%)
1441 Wolf Creek Trail, P.O. Box 305
Sharon Center, Ohio 44274, US

72 Inventor/es:

HEIDENREICH, DAVID C.;
COLE, JR., RICHARD E. y
SADLER, DUSTIN J.

74 Agente/Representante:

TORO GORDILLO, Ignacio

ES 2 729 383 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

Acoplamiento de turbina eólica para mitigar las inversiones de par

5 CAMPO TÉCNICO

La presente invención se refiere en el presente documento a acoplamientos interpuestos entre turbinas eólicas y generadores eléctricos. En particular, la invención se refiere a un acoplamiento de este tipo configurado para disipar los efectos adversos de las inversiones de par en los cojinetes de la caja de engranajes en un sistema generador de turbina eólica.

TÉCNICA ANTECEDENTE

En la última década, se han instalado más de 100.000 megavatios y turbinas eólicas de varios megavatios, casi todas utilizando un sistema de transmisión similar que incorpora una caja de engranajes como acelerador, posicionado entre las palas de la turbina y el generador. Las cajas de engranajes están diseñadas para una vida útil de 20 años, pero normalmente necesitan reparación o reemplazo en 5 a 10 años o menos. El agrietamiento axial de los cojinetes de la caja de engranajes se está convirtiendo en un factor de coste importante en el retorno de la inversión de los parques eólicos. La carga de impacto durante las inversiones transitorias de par se ha reconocido como la causa principal de este daño. Una investigación reciente ha demostrado que un modo inusual de daño en los cojinetes, denominado daño de áreas con marcas de fatiga (WEA), está causando el agrietamiento axial de los cojinetes. El daño WEA es en realidad una alteración microscópica del material que crea inclusiones súper duras como astillas justo debajo de la pista de rodadura del cojinete donde las grietas pueden iniciarse y crecer. Se sospecha una deformación plástica microscópica severa y rápida como la causa del daño WEA.

Durante una inversión de par, la zona de carga de los cojinetes de la caja de engranajes cambia repentinamente 180 grados. Los rodamientos impactan radialmente en la pista junto con una inversión de carga axial simultánea elevada de los engranajes helicoidales. Tanto la magnitud como la velocidad de las cargas de impacto y las cargas de tracción superficial axial determinan el potencial de deformación plástica WEA en la pista de rodadura interna del cojinete. Cuanto mayor sea la frecuencia natural torsional del sistema de masa de resorte del tren de transmisión, mayor será la tasa de cambio del par, y por lo tanto, mayor será la tasa de deformación cuando los rodamientos impacten la pista de rodadura interna del cojinete. A medida que las turbinas eólicas aumentan de tamaño, la alta tasa de deformación durante las rápidas inversiones en la zona de carga del cojinete, junto con la alta tensión de impacto, parece exceder un umbral en el que se inicia el daño WEA en la pista de rodadura interna del rodamiento. Una vez que se inicia, la carga normal del rodamiento puede causar agrietamiento axial y fallos de los cojinetes en tan solo un año o dos.

En un sistema aerogenerador, la alta inercia caracteriza a todo el sistema, desde las palas de la turbina, el eje principal, el acoplamiento de alta velocidad de la caja de engranajes y hasta el propio generador. De hecho, la inercia más alta típicamente está en los extremos opuestos del sistema: en las palas y en el generador. En la inversión de par, la alta inercia del sistema puede afectar significativamente a todos los componentes del sistema, y particularmente a la caja de engranajes. El sistema de embrague de limitación de par asimétrico descrito en la publicación de solicitud de patente de Estados Unidos US 2012/045335 A1 describe una solución a este problema. Una solución alternativa contempla aumentar el enrollamiento torsional del sistema (incluyendo algunos como las palas, un eje principal, una caja de engranajes, un eje/acoplamiento de alta velocidad y un generador) lo que reducirá la frecuencia natural. Si esto se hiciera solo, podría causar otros problemas en el sistema de transmisión de la turbina; tales como problemas de frecuencia resonante en otras partes de la turbina. Por ejemplo, se sabe que el espaciador de acoplamiento entre la caja de engranajes y el generador puede tener una frecuencia natural axial problemática que puede causar la resonancia y la destrucción del elemento espaciador. Cualquier cambio en la frecuencia natural del sistema durante el funcionamiento normal puede requerir una recertificación de la turbina.

El aumento del enrollamiento torsional debe realizarse de manera que no afecte al funcionamiento normal de la turbina. Esto podría lograrse con una alta capacidad de deslizamiento por fricción en paralelo con una alta capacidad de enrollamiento y/o desplazamiento torsional. Por ejemplo, si el ajuste del par de rozamiento fuera del 40% del par nominal de la turbina, no habría deslizamiento durante el funcionamiento normal entre el 20% y el 100% del par nominal de la turbina como se muestra en la Figura 1. La única vez que el deslizamiento por fricción ocurrirá es cuando el sistema de transmisión detecte una variación de par total que exceda el 80% del par nominal de la turbina, por ejemplo, durante breves periodos durante los arranques y las paradas. El deslizamiento significativo solo se producirá durante las raras inversiones de par de torsión transitorias que excedan el ajuste de deslizamiento por

fricción. Se contempla que el ajuste del par de rozamiento debe ser tal que permita un pequeño deslizamiento durante la operación normal de arranque y parada para mantener las superficies de fricción limpias y libres de corrosión.

- 5 Si el enrollamiento torsional alto se realiza mediante un resorte torsional, como se contempla en una forma de realización de la invención, la velocidad de resorte torsional puede ser asimétrica, de manera que la velocidad de resorte inversa podría ser más baja o cercana a cero para una porción del desplazamiento. Cualquier evento de par de torsión inverso se deslizaría con una resistencia de fricción de solo el 40% del par normal de la turbina. El ángulo de recorrido inverso debería ser suficiente para absorber la energía de enrollamiento transitoria inversa del sistema de transmisión. Esto puede requerir un movimiento torsional de 10 a 50 grados o más para las turbinas típicas con generadores que funcionan a 1000 rpm o más. Para turbinas con velocidades operativas de generador más bajas, el desplazamiento torsional requerido será menor, en el intervalo de 1 a 5 grados por 100 rpm.

- 15 Los sistemas de acoplamiento típicos de las turbinas eólicas existentes están diseñados con una capacidad significativa de desalineación de ejes paralela, angular y axial entre la caja de engranajes y el generador para alojar la flexión de la estructura ligera de la placa base. Estos sistemas de acoplamiento típicamente tienen una holgura nula y son muy rígidos a la torsión con muy poca capacidad de enrollamiento. Las características torsionales son de importancia crítica para evitar problemas de vibración resonante en el sistema de transmisión y los componentes de la turbina. Algunos sistemas de acoplamiento están equipados con limitadores de par de rozamiento establecidos entre el 150 y el 200% del par nominal de la turbina. Están diseñados para proteger el acoplamiento de las sobrecargas de par muy elevadas, tal como cortocircuitos del generador. Estos limitadores de par han demostrado ser ineficaces para proteger el sistema de transmisión y especialmente la caja de engranajes de las inversiones de par transitorias cuyas cargas de impacto en los cojinetes de la caja de engranajes pueden acortar drásticamente la vida útil.

- 25 Los sistemas de acoplamiento que utilizan enrollamiento torsional en paralelo con amortiguación de baja fricción, tal como la patente de Spaetgens número 2.909.911 y la patente de Lech número 4.5548.311, han existido durante mucho tiempo. Generalmente se utilizan en motores de combustión interna. Su capacidad de enrollamiento torsional se utiliza para ajustar las frecuencias naturales del sistema para que estén fuera del intervalo operativo del equipo. Su componente de amortiguación por fricción que está en paralelo con el enrollamiento torsional es típicamente muy pequeño y se usa para controlar la placa de embrague y el ruido y los daños del traqueteo de los engranajes durante el ralentí y los cambios. Estos tipos de acoplamientos generalmente están integrados con el embrague del motor cuyo ajuste de deslizamiento por fricción es muy alto y está en serie con la capacidad de enrollamiento torsional, no en paralelo. Lech es un buen ejemplo. El componente de fricción que está en paralelo tiene un ajuste de deslizamiento por fricción muy bajo.

- Una clave del éxito de la presente invención es un sistema de acoplamiento con una alta capacidad de enrollamiento y/o desplazamiento torsional, junto con una alta capacidad de deslizamiento por fricción para amortiguar el sistema significativamente solamente durante un evento de inversión de par transitorio (véase la Figura 1). Una turbina típica con un generador de alta velocidad que opera de 1000 a 1800 rpm requerirá al menos 10 grados de deslizamiento inverso con un ajuste de par de al menos el 10% del par nominal de la turbina. Idealmente, el deslizamiento inverso excederá 20 grados a un 40% de par inverso. En ninguna parte de la técnica anterior existe un sistema de transmisión con tal combinación de desplazamiento y/o enrollamiento torsional con amortiguación de fricción torsional capaz de dominar las altas inversiones de par. Esto ciertamente no es cierto para las reversiones de turbinas eólicas que presentan un desafío único.

- El documento US 2012/201679 A1 describe un sistema de generación de energía de turbina eólica que comprende una caja de engranajes de velocidad creciente que tiene un eje de salida, un generador eléctrico que tiene un eje de entrada, un sistema de acoplamiento que interconecta dichos ejes de entrada y salida y un servicio adicional de embrague de limitación de par como embrague de limitación de par inverso que tiene un deslizamiento característico como una fracción del par nominal experimentado por el primer embrague de limitación de par, en paralelo con un mecanismo de sobrecarga, en el que los embragues de limitación de par actúan como un componente de amortiguación torsional y son un componente de deslizamiento por fricción, y en el que el primer embrague de limitación tiene un par de deslizamiento de 1,2 a 2 veces el par nominal y el embrague de limitación de par adicional tiene un par de deslizamiento menor que el del primer embrague de limitación de par. El documento EP 0 860 623 A1 describe un embrague de limitación de par que tiene el recorrido del par dividido entre un enrollamiento torsional y un componente de desplazamiento.

RESUMEN DE LA INVENCION

A la luz de lo anterior, un primer aspecto de la invención es proporcionar un acoplamiento de turbina eólica mejorado con un comportamiento torsional asimétrico en sistemas de transmisión de turbina eólica para proteger los cojinetes de la caja de engranajes contra daños debidos a inversiones torsionales.

5

Un aspecto adicional de la invención es proporcionar un sistema de acoplamiento de turbina eólica que tenga muy poco desplazamiento de enrollamiento o torsional durante el funcionamiento normal en la dirección de avance y que aún tenga un enrollamiento y/o desplazamiento torsional significativo en la dirección inversa.

- 10 Otro aspecto más de la invención es proporcionar un sistema de acoplamiento de turbina eólica que sea fácilmente adaptable a los acoplamientos de turbina eólica existentes para mejorar el funcionamiento y la durabilidad.

Otro aspecto de la invención es proporcionar un sistema de acoplamiento de turbina eólica con capacidad de deslizamiento por fricción en paralelo con un enrollamiento y/o desplazamiento torsional.

15

Otro aspecto de la invención es proporcionar un sistema de acoplamiento de turbina eólica que tenga una capacidad de deslizamiento por fricción lo suficientemente alta como para que haya poco o ningún deslizamiento durante el funcionamiento normal.

- 20 Otro aspecto más de esta invención es proporcionar un sistema de acoplamiento de turbina eólica con una pequeña cantidad de deslizamiento por fricción durante el arranque hasta el par nominal total y una parada.

Otro aspecto de la invención es proporcionar un acoplamiento de turbina eólica que tenga suficiente deslizamiento por fricción durante una inversión de par para absorber la energía dañina de una carga de impacto que, de lo contrario, podría iniciar el agrietamiento axial en los cojinetes de la caja de engranajes.

25

Otro aspecto más de la invención es proporcionar un acoplamiento de turbina eólica que se restablezca automáticamente a la posición operativa de avance tras reiniciar la turbina a un par completo.

- 30 Un aspecto adicional de la invención es proporcionar un acoplamiento de turbina eólica de diseño simétrico que pueda funcionar de una manera asimétrica descrita anteriormente, de manera que el dispositivo se pueda usar tanto en la dirección de avance en sentido horario como antihorario del aerogenerador.

- 35 Los aspectos anteriores y otros de diversas formas de realización de la invención, tomados por separado o en combinación, se logran mediante la mejora en un sistema de generación de energía de turbina eólica que comprende una turbina eólica conectada a una caja de engranajes de velocidad creciente que tiene un eje de salida de alta velocidad y un generador eléctrico que tiene un eje de entrada, comprendiendo además el sistema de generación de energía de turbina eólica: un sistema de acoplamiento que interconecta dichos ejes de entrada y salida, teniendo dicho sistema de acoplamiento una porción de su recorrido del par dividido entre al menos uno de
40 un componente de enrollamiento y desplazamiento torsional, teniendo cualquiera o ambos un componente de amortiguación torsional. El componente de amortiguación torsional es un componente de deslizamiento por fricción fijado en la dirección de avance al menos al 10% del par nominal de la turbina. De manera similar, el ajuste de deslizamiento por fricción en la dirección de marcha atrás puede ser igual al menos al 10% del par nominal de la turbina. El movimiento de desplazamiento de rotación torsional en dirección inversa se toma del grupo de al menos
45 10 a 60 grados para turbinas con generadores que funcionan a 1000 rpm o más, y para turbinas con generadores que funcionan a velocidades de generador inferiores a 1000 rpm en el intervalo de 1 a 5 grados por 100 rpm. Se puede proporcionar una conexión sin holgura entre una placa de presión y una placa terminal en el sistema de acoplamiento.

- 50 En una forma de realización preferida de la invención para velocidades de generador que exceden de 1000 rpm, el enrollamiento y el deslizamiento por fricción paralelos están ubicados en el eje del generador y se proporciona una placa adaptadora para adaptar el acoplamiento flexible existente de la turbina para facilitar la seguridad y la readaptación. De acuerdo con la invención, una porción del movimiento de rotación es yb deslizamiento por fricción sin enrollamiento torsional de avance o inverso y en el que la porción solo de deslizamiento por fricción es de al
55 menos 10 grados. Se contempla que se proporcione una parada forzosa después de que se exceda un umbral de par en una dirección de avance, y ese umbral se contempla a más del 120% del par nominal de la turbina.

El movimiento torsional del sistema de acoplamiento tiene una acción asimétrica durante la operación, de tal forma que el único momento en que se acopla una banda muerta es durante una inversión de par que excede un umbral

de deslizamiento por fricción. Se prefiere particularmente que la acción asimétrica se produzca automáticamente y que el ajuste de deslizamiento por fricción sea mayor del 20% del par nominal de la turbina, pero menor del 100% del mismo. El diseño del deslizamiento por fricción y los elementos de enrollamiento es preferiblemente simétrico para permitir su uso en turbinas eólicas que tienen diseños de caja de engranajes que pueden impulsar el generador en sentido horario o antihorario en rotación de avance normal.

Durante el funcionamiento, el sistema de acoplamiento es de diseño simétrico y, sin embargo, asimétrico en su respuesta a las inversiones de par con una capacidad de deslizamiento prolongado en cualquier dirección de rotación del eje, y el ajuste del par de deslizamiento es lo suficientemente alto como para que solamente tenga lugar durante eventos torsionales transitorios que típicamente incluirán inversiones de par y eventos de par transitorios. El movimiento torsional durante los arranques y paradas normales es normalmente inferior a 10 grados para velocidades del generador que exceden 1000 rpm, mientras que el movimiento torsional durante las inversiones de par transitorias excede de 10 grados. Si bien se prefiere un resorte torsional para la acción de enrollamiento, también se contempla que el resorte torsional se puede reemplazar con un material elastomérico en cizallamiento, un material elastomérico en compresión, resortes metálicos en compresión, resortes metálicos en flexión, y resortes de gas. En cualquier caso, se desea que los mismos componentes de enrollamiento torsional proporcionen enrollamiento en ambas direcciones de avance e inversa.

La invención también contempla un método para proporcionar amortiguación torsional en un sistema de transmisión de turbina eólica para reducir la magnitud y la rapidez de las inversiones de par, y mitigar las cargas de impacto dañinas resultantes en los componentes del sistema de transmisión tras experimentar una inversión de par del sistema de transmisión que exceda un primer umbral preestablecido, comprendiendo dicho método: reaccionar a dicha inversión de par del sistema de transmisión que excede dicho primer umbral preestablecido mediante la disipación de la energía de enrollamiento torsional en el sistema de transmisión mientras se mantiene dicho par inverso en dicho primer umbral preestablecido; experimentar un par positivo que excede un segundo umbral preestablecido; y devolver el sistema de transmisión de turbina a la operación de avance. El sistema de transmisión funciona en una dirección de avance, produciendo energía eléctrica sin afectar a las características torsionales de avance básicas del sistema, mientras que proporciona una amortiguación torsional en la dirección inversa, y el primer umbral al que se hace referencia se establece en menos del 100% del par de la turbina a una potencia nominal del generador. Nuevamente, la detección de inversión de par y la disipación del enrollamiento torsional se logran automáticamente con deslizamiento por fricción, lo que reduce eficazmente la magnitud del par inverso y disminuye la velocidad del aumento de la magnitud de inversión de par.

En ciertas formas de realización de la invención, el primer y segundo umbrales preestablecidos son los mismos y la acción de deslizamiento por fricción se proporciona en paralelo con resortes torsionales que se desvían durante el funcionamiento de avance normal, de tal forma que la carga de par y el sistema de transmisión del aerogenerador se comparte tanto por deslizamiento por fricción como por deformación del resorte. El deslizamiento por fricción proporciona una amortiguación de histéresis con respecto al enrollamiento y desenrollado de los componentes del sistema de transmisión, teniendo los resortes torsionales preferiblemente una banda muerta de carga de par cero para al menos una porción de un movimiento de desplazamiento torsional durante una inversión de par, y donde la acción de resorte de deformación torsional inversa adicional se produce al final del movimiento de la banda muerta. Se proporciona una acción de resorte torsional inversa adicional que es simétrica a la acción de resorte torsional de avance, logrando de este modo la operación bidireccional de la unidad.

La invención también contempla un método para readaptar un aerogenerador con amortiguación torsional para reducir la magnitud y la rapidez de las inversiones de par, que comprende: retirar el cubo de acoplamiento en el eje del generador; instalar un nuevo cubo de acoplamiento que permite que el sistema de transmisión del aerogenerador funcione en la dirección de avance, produciendo energía eléctrica sin afectar a las características torsionales de avance básicas del sistema, proporcionando al mismo tiempo amortiguación torsional en la dirección inversa mediante la detección de inversión de par del sistema de transmisión que excede un umbral preestablecido, disipando dicho nuevo cubo de acoplamiento la energía de enrollamiento torsional en el sistema mientras se mantiene dicho par inverso en dicho umbral preestablecido, se detecta un par positivo, se devuelve el sistema de transmisión de la turbina a la operación de avance; y seleccionar e instalar una placa adaptadora para acoplar un espaciador de acoplamiento existente.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para una comprensión completa de los diversos aspectos, estructuras y funcionamiento de la invención, se debe hacer referencia a la siguiente descripción detallada y a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 es un esquema funcional de un sistema de acoplamiento de turbina eólica entre la caja de engranajes y el generador, particularmente adaptado como una readaptación para los sistemas de acoplamiento existentes;

la Figura 2 es un gráfico del par de acoplamiento de transmisión como un porcentaje del par nominal en función del ángulo de desplazamiento para la presente invención en comparación con la rigidez torsional del cubo de acoplamiento existente típico que reemplaza, indicado por la línea vertical de puntos y guiones, durante el funcionamiento normal;

la Figura 3 es el mismo gráfico de par en función del ángulo de desplazamiento que en la Figura 2, pero muestra el par y el desplazamiento durante una inversión de par y el reinicio de la turbina, mostrándose la rigidez torsional y la holgura nula de los sistemas de acoplamiento existentes con la línea de puntos y guiones;

la Figura 4 es el mismo gráfico de par en función del ángulo de desplazamiento que en las Figuras 2 y 3, pero si la turbina girara en la dirección opuesta a la rotación de avance, por ejemplo, en sentido antihorario frente al sentido horario, lo que demuestra un diseño simétrico con comportamiento asimétrico;

la Figura 5 es una vista en sección transversal del acoplamiento adaptado para la implementación del sistema;

la Figura 6 es una vista en sección transversal del acoplamiento que muestra uno de los resortes de compresión que proporciona la deformación torsional;

la Figura 7 es una vista en sección de un acoplamiento de la invención que muestra los resortes de compresión para la deformación torsional, junto con las ranuras para los pernos de torsión en la placa de fricción, y los resortes Belleville para controlar la fuerza sobre los elementos de fricción;

la Figura 8 es una vista del cubo de entrada que muestra los orificios para los pernos de torsión y las ranuras para permitir el recorrido de rotación de los resortes de compresión de enrollamiento torsional sin compresión, junto con los extremos de las ranuras de resorte que proporcionan la compresión de los resortes de enrollamiento torsional en cada extremo del recorrido;

la Figura 9 es una vista de la placa terminal que muestra los orificios de los pernos de torsión, junto con las ranuras para el movimiento y la compresión de los resortes de enrollamiento torsional y rebajes para un resorte Belleville;

la Figura 10 muestra la placa de fricción con material de fricción adherido y las aberturas para el resorte de tipo de compresión que se usa para el enrollamiento torsional, junto con las ranuras para permitir que los pernos de torsión se desplacen en rotación con respecto a la placa de fricción; y

la Figura 11 es la placa de presión que encaja en la placa terminal con una unidad de holgura cero para transferir el par entre las dos.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE FORMAS DE REALIZACIÓN PREFERIDAS

Con referencia ahora a los dibujos, y más particularmente a la Figura 1, se puede ver que un sistema de acoplamiento de turbina eólica entre el eje de salida de la caja de engranajes y el eje de entrada del generador realizado de acuerdo con la técnica anterior se designa generalmente con el número 10. El sistema incluye una caja de engranajes 12 acoplada al generador 19 mediante un acoplamiento de espaciador 14. La presente invención 16 reemplaza el cubo de acoplamiento existente en el eje del generador y se adapta al espaciador del sistema de acoplamiento existente. El dibujo muestra ilustrativamente una capacidad de deslizamiento por fricción 17 en paralelo con una capacidad de deformación y/o desplazamiento torsional 18.

Con referencia a la Figura 2, se puede obtener una apreciación en cuanto al comportamiento torsional de un cubo de acoplamiento de turbina eólica existente en comparación con el comportamiento torsional de una forma de realización preferida de la invención. Los cubos de acoplamiento existentes se caracterizan por una rigidez torsional y una holgura cero prácticamente sin ningún enrollamiento torsional o desplazamiento angular útil, como se muestra con la línea de puntos y rayas casi vertical. En contraposición, la forma de realización preferida tiene un nivel útil de enrollamiento torsional (aumento del par con el desplazamiento angular) y/o parte de desplazamiento torsional significativo. En paralelo con el enrollamiento y/o desplazamiento torsional, la capacidad de deslizamiento por fricción se establece preferiblemente para permitir un ligero desplazamiento torsional durante el arranque y la parada. Se muestra un ajuste de deslizamiento del 40% del par nominal de la turbina para permitir este ligero deslizamiento por fricción durante el arranque y la parada y, por lo tanto, mantener la interfaz de fricción en condiciones óptimas. La Figura 2 también muestra un potencial de gran desplazamiento angular, pero no se activa hasta una inversión de par, como se muestra en la Figura 3. Los expertos en la técnica pueden apreciar que un ajuste de deslizamiento por fricción que fue mucho mayor del 50% del par nominal de la turbina podría evitar el deslizamiento en la dirección de avance. Todavía podría funcionar en el modo de inversión torsional, que es un

evento raro en las turbinas modernas típicas y, por lo tanto, la interfaz de fricción tendría que estar bien protegida contra la corrosión y otros cambios en la interfaz por fricción que podrían causar un comportamiento de adherencia/deslizamiento o un aumento no deseado en su ajuste de liberación de deslizamiento de par estático.

5 La Figura 3 muestra el comportamiento de la forma de realización preferida durante una inversión de par que excede el umbral de ajuste de par de rozamiento. Muestra el efecto de proporcionar una gran cantidad de desplazamiento angular u holgura en combinación con la capacidad de enrollamiento torsional que actúa en paralelo con la capacidad de deslizamiento por fricción. Se sabe que las inversiones de par causan inversiones en la zona de carga en los cojinetes de la caja de engranajes que dan como resultado que los rodamientos en las pistas de rodadura de
10 los cojinetes. Esto puede conducir al agrietamiento y fallo de las pistas de los cojinetes. Al diseñar un desplazamiento angular significativo, el deslizamiento por fricción puede absorber la mayor parte o la totalidad de la energía de impacto que podría causar daños en los rodamientos. La mayoría de las inversiones de par se producen durante eventos graves de detención. La Figura 3 muestra que tras reiniciar la turbina, una forma de realización preferida regresa automáticamente al funcionamiento normal cuando el par de avance en el sistema excede el
15 umbral de deslizamiento por fricción. La forma de realización preferida también tiene una capacidad de enrollamiento torsional al final del desplazamiento angular inverso. Esto proporciona amortiguación en caso de que la cantidad de desplazamiento angular diseñada no sea suficiente para absorber completamente la energía de inversión de par. También pueden diseñarse algunas paradas forzosas para limitar el enrollamiento torsional y proteger los resortes de enrollamiento torsional contra daños.

20 La Figura 4 muestra otra razón para proporcionar la capacidad de enrollamiento torsional en sentido inverso: la simetría del diseño. La Figura 4 es de nuevo igual que las Figuras 2 y 3, pero muestra otra ventaja de diseñar la capacidad de enrollamiento torsional en la dirección inversa: el diseño se vuelve simétrico, por lo que la unidad puede funcionar igual si la dirección normal de rotación del eje del generador es en sentido horario o antihorario.
25 Esto elimina la necesidad de fabricar y almacenar dos unidades diferentes para un turbina eólica del mismo tamaño con diferentes direcciones de rotación en el generador.

Con referencia ahora a la Figura 5, se puede obtener una apreciación de la invención a partir de una vista en sección que muestra los detalles de la forma de realización preferida. El adaptador 20 conecta el espaciador de
30 acoplamiento 14 al cubo de entrada 22. Los pernos de torsión 24 sujetan la placa terminal 26 al cubo de entrada 22 con el espaciado controlado por los espaciadores de perno 25. La placa terminal 26 retiene los resortes Belleville 32 que proporcionan la fuerza necesaria sobre la placa de presión 28 contra el material de fricción 30 para controlar el ajuste del par de deslizamiento. El material de fricción se fija a la placa de fricción 34, que se fija al cubo de salida 40 con los pernos 38. El cojinete 36 mantiene la concentricidad de la entrada a la salida. Un dispositivo 42 de bloqueo
35 del eje del "disco de contracción" sujeta la salida al eje del generador.

La Figura 6 es una vista en sección similar a la Figura 5 que muestra uno de una pluralidad de resortes de compresión 50 que proporciona un medio para el enrollamiento torsional. La Figura 7 es una vista final en sección que muestra uno de los resortes de compresión 50 comprimido en la posición operativa normal con los pernos de
40 torsión 24 cerca del final del recorrido en las ranuras 52 en la placa de fricción 34. Los extremos de las ranuras proporcionan una parada forzosa contra los pernos de torsión para proteger los resortes de compresión de una tensión excesiva. También se muestra una pluralidad de resortes Belleville 32. Estos proporcionan la fuerza axial necesaria para el par de deslizamiento característico sobre las superficies de fricción 30.

45 La Figura 8 muestra los detalles del cubo de entrada 22 con orificios 58 para acomodar los pernos de torsión 24. Las ranuras 54 proporcionan espacio para que los resortes de compresión 50 permitan el movimiento de rotación entre la entrada y la salida cuando el umbral de par de fricción establecido por los resortes Belleville 32 se supera. Los extremos de ranura 56 entran en contacto con los resortes de compresión 50 en los extremos del desplazamiento angular para proporcionar las capacidades de enrollamiento torsional deseadas en cada extremo del desplazamiento
50 torsional.

La Figura 9 es una vista de la placa terminal 26 que muestra las ranuras 60 que coinciden con las ranuras 54 para el movimiento de rotación con respecto a los resortes de compresión. También se muestran extremos de ranura similares. También se muestran los rebajes 62 para los resortes Belleville.

55 La Figura 10 es una vista de la placa de fricción 34 que muestra las ranuras 66 para el movimiento relativo de los pernos de torsión y las aberturas 68 para contener los resortes de compresión 50.

La Figura 11 es una vista de la placa de presión 28 con lengüetas 70 mostradas como un medio para llevar el par de

torsión a la placa terminal.

Se contempla que diversas formas de realización tendrán típicamente una combinación de enrollamiento torsional y desplazamiento torsional que excederá los 10 grados y preferiblemente será del orden de 20 a 60 grados o más para turbinas típicas con generadores que funcionen a 1000 rpm o más. Para turbinas con velocidades de generador más bajas, el desplazamiento torsional requerido será menor, en el intervalo de 1 a 5 grados por 100 rpm.

También se contempla que diversas formas de realización tendrán típicamente un ajuste de par de fricción que exceda el 10% del par de la turbina, de manera que las fluctuaciones normales del par de la turbina no causen un deslizamiento y desgaste innecesarios. El ajuste del par de fricción estaría preferiblemente en el intervalo del 20 al 50%, pero también podría estar en un exceso del 50%. El ajuste más preferido sería del 30 al 45% para proporcionar una pequeña cantidad de deslizamiento durante un arranque y parada normales. Eso mantiene a la interfaz de fricción en su rendimiento óptimo durante los raros eventos de inversión de par que pueden dañar a los cojinetes.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de generación de energía de turbina eólica que comprende una turbina eólica conectada a una caja de engranajes de velocidad creciente (12) que tiene un eje de salida de alta velocidad y un generador eléctrico (19) que tiene un eje de entrada, comprendiendo además el sistema de generación de energía de turbina eólica:
un sistema de acoplamiento (10) que interconecta dichos ejes de entrada y salida, en el que dicho sistema de acoplamiento (10) tiene una porción de su recorrido de par dividido entre al menos uno de a) un componente de enrollamiento torsional y b) un componente de desplazamiento, teniendo cualquiera o ambos un componente de amortiguación torsional, siendo dicho componente de amortiguación torsional un componente de deslizamiento por fricción fijado en la dirección de avance hasta al menos el 10% del par nominal de la turbina, y el movimiento de desplazamiento de rotación torsional en una dirección inversa tomada del grupo de al menos 10 a 60 grados para turbinas con generadores que funcionan a 1000 rpm o más y, para turbinas con generadores que funcionan a velocidades de generador inferiores a 1000 rpm, en el intervalo de 1 a 5 grados por 100 rpm.
2. El sistema de generación de energía de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el ajuste de deslizamiento por fricción en la dirección de marcha atrás es igual al menos al 10% del par nominal de la turbina.
3. El sistema de generación de energía de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 2, en el que hay una conexión sin holgura entre la placa de presión (28) y la placa terminal (26).
4. El sistema de generación de energía de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en el que una porción del movimiento de rotación es deslizamiento por fricción sin enrollamiento torsional de avance o inverso.
5. El sistema de generación de energía de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en el que hay una parada forzosa después de que se supera un umbral de par en una dirección de avance.
6. El sistema de generación de energía de una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 4, en el que el movimiento de rotación tiene una acción asimétrica durante el funcionamiento, de tal forma que la única vez que se acopla una banda muerta es durante una inversión de par que excede un umbral de deslizamiento por fricción.
7. El sistema de generación de energía de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el sistema de acoplamiento (10) tiene un diseño simétrico y una respuesta asimétrica a las inversiones de par con una capacidad de deslizamiento prolongado en cualquier dirección de rotación del eje.
8. El sistema de generación de energía de la turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el ajuste del par de deslizamiento es lo suficientemente alto como para que solo se produzca durante eventos torsionales transitorios.
9. Un método para proporcionar amortiguación torsional en un sistema de transmisión de turbina eólica para reducir la magnitud y la rapidez de las inversiones de par, y mitigar las cargas de impacto dañinas resultantes en los componentes del sistema de transmisión tras experimentar una inversión de par del sistema de transmisión que excede un primer umbral preestablecido, estando dicho método caracterizado por:
reaccionar a dicha inversión de par del sistema de transmisión que excede dicho primer umbral preestablecido mediante la disipación de la energía de enrollamiento torsional en el sistema de transmisión al tiempo que se mantiene dicho par inverso en dicho primer umbral preestablecido; experimentar un par positivo que excede un segundo umbral preestablecido; y devolver el sistema de transmisión de turbina a la operación de avance.
10. El método de acuerdo con la reivindicación 9, que permite que un sistema de transmisión de aerogenerador funcione en una dirección de avance produciendo energía eléctrica sin afectar a las características de torsión de avance básicas del sistema, mientras que proporciona amortiguación torsional en una dirección inversa.
11. El método de acuerdo con la reivindicación 10, en el que dicho primer umbral se establece en menos

del 100% del par de la turbina a una potencia nominal del generador (19).

12. El método de acuerdo con la reivindicación 11, en el que la detección de inversión de par y la disipación del enrollamiento torsional se logran automáticamente con deslizamiento por fricción.

5

13. El método de acuerdo con la reivindicación 12, en el que dicha acción de deslizamiento por fricción es paralela a los resortes torsionales que se desvían durante la operación normal de avance, de tal forma que la carga de torsión en el sistema de transmisión del aerogenerador es compartida por el deslizamiento por fricción y la deformación del resorte.

10

14. El método de acuerdo con la reivindicación 13, en el que el deslizamiento por fricción proporciona una amortiguación por histéresis para un enrollamiento y desenrollado de los componentes del sistema de transmisión.

15. Un método para readaptar un aerogenerador con amortiguación torsional para reducir la magnitud y la rapidez de las inversiones de par, que comprende:

quitar el cubo de acoplamiento en el eje de generador;
 instalar un nuevo cubo de acoplamiento que permite que el sistema de transmisión del aerogenerador funcione en la dirección de avance, produciendo energía eléctrica sin afectar a las características básicas torsionales de avance básicas del sistema, proporcionando al mismo tiempo amortiguación torsional en la dirección inversa mediante la detección de una inversión de par del sistema de transmisión que supera un umbral preestablecido, estando el nuevo cubo de acoplamiento caracterizado por que disipa la energía de enrollamiento torsional en el sistema mientras mantiene dicho par inverso en dicho umbral preestablecido, detecta un par positivo, y devuelve el sistema de transmisión de la turbina a la operación de avance; y
 seleccionar e instalar una placa adaptadora para acoplar un espaciador de acoplamiento existente.

20

25

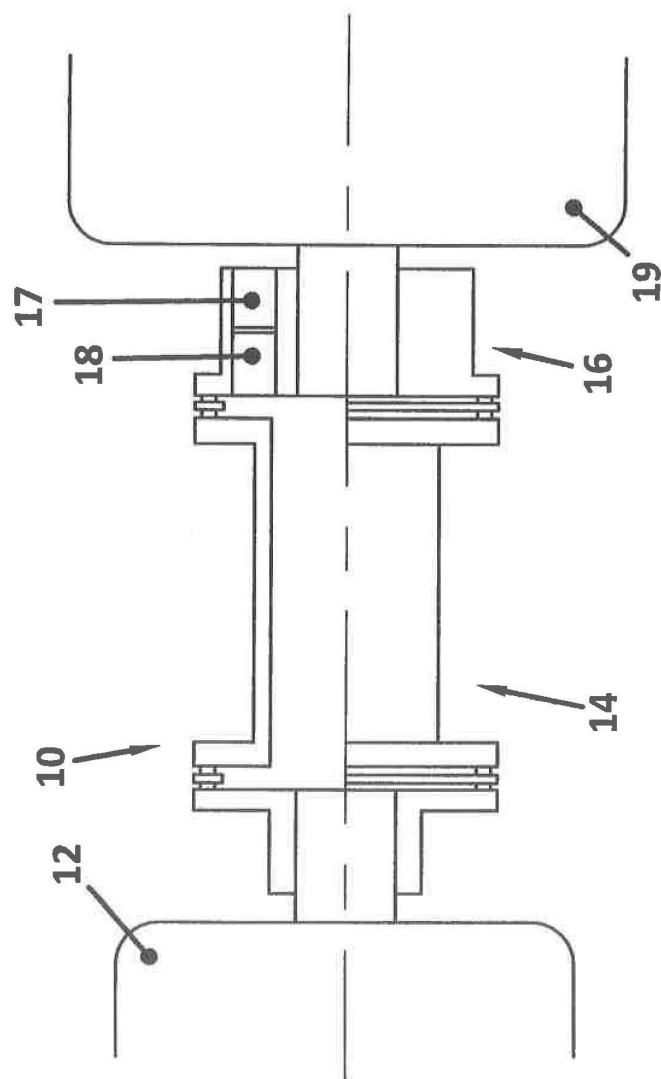


Fig. 1

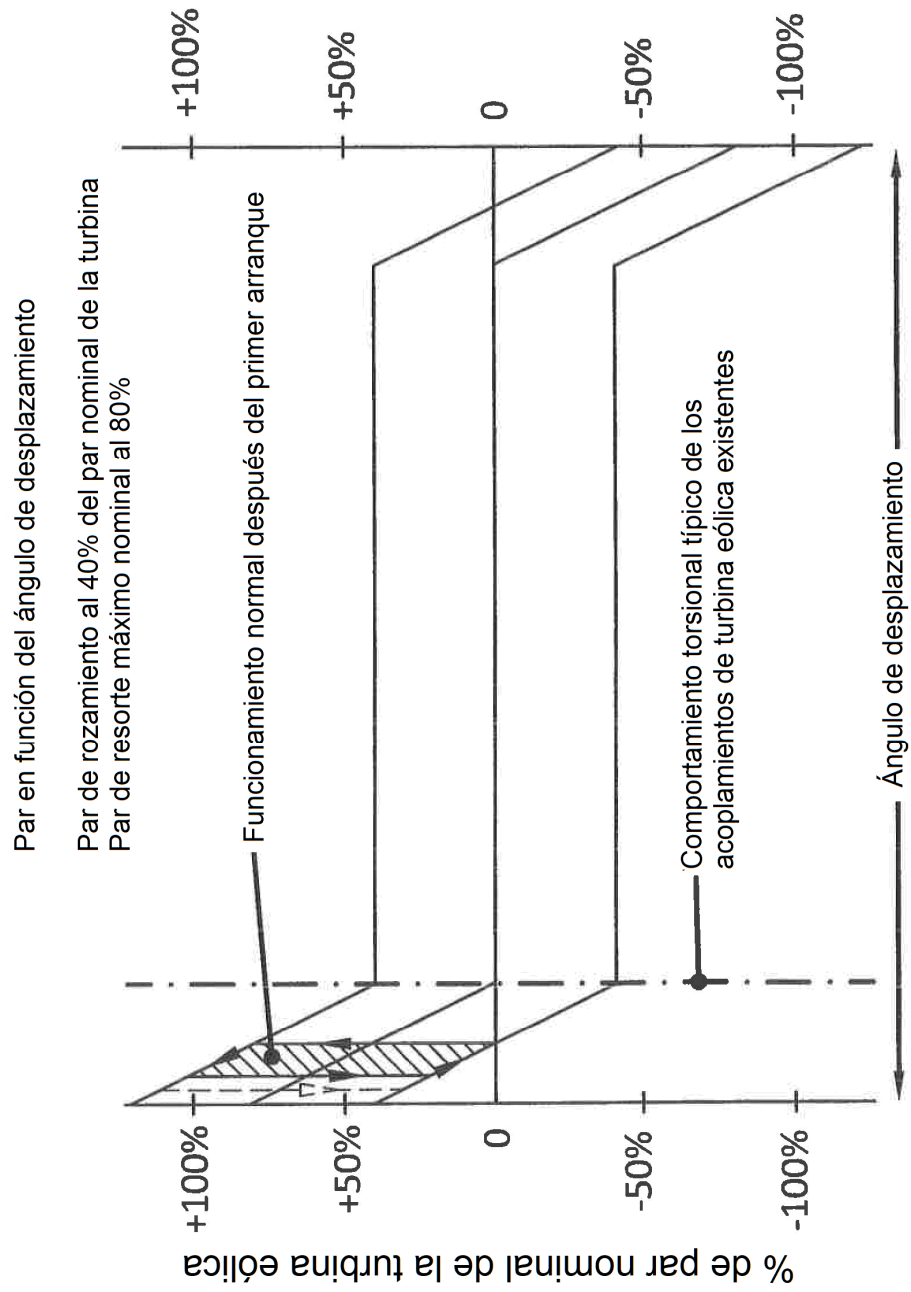


Fig. 2

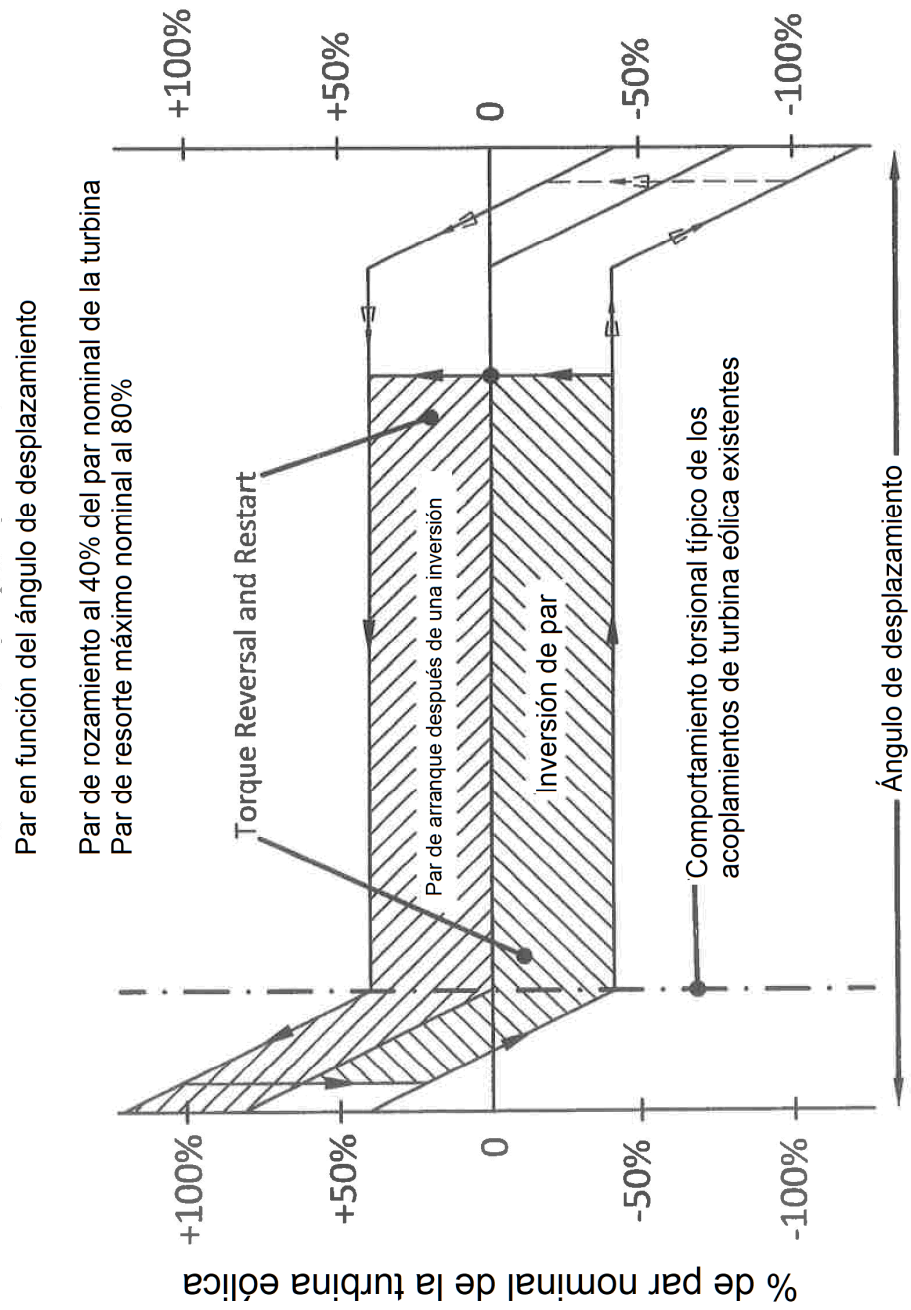


Fig. 3

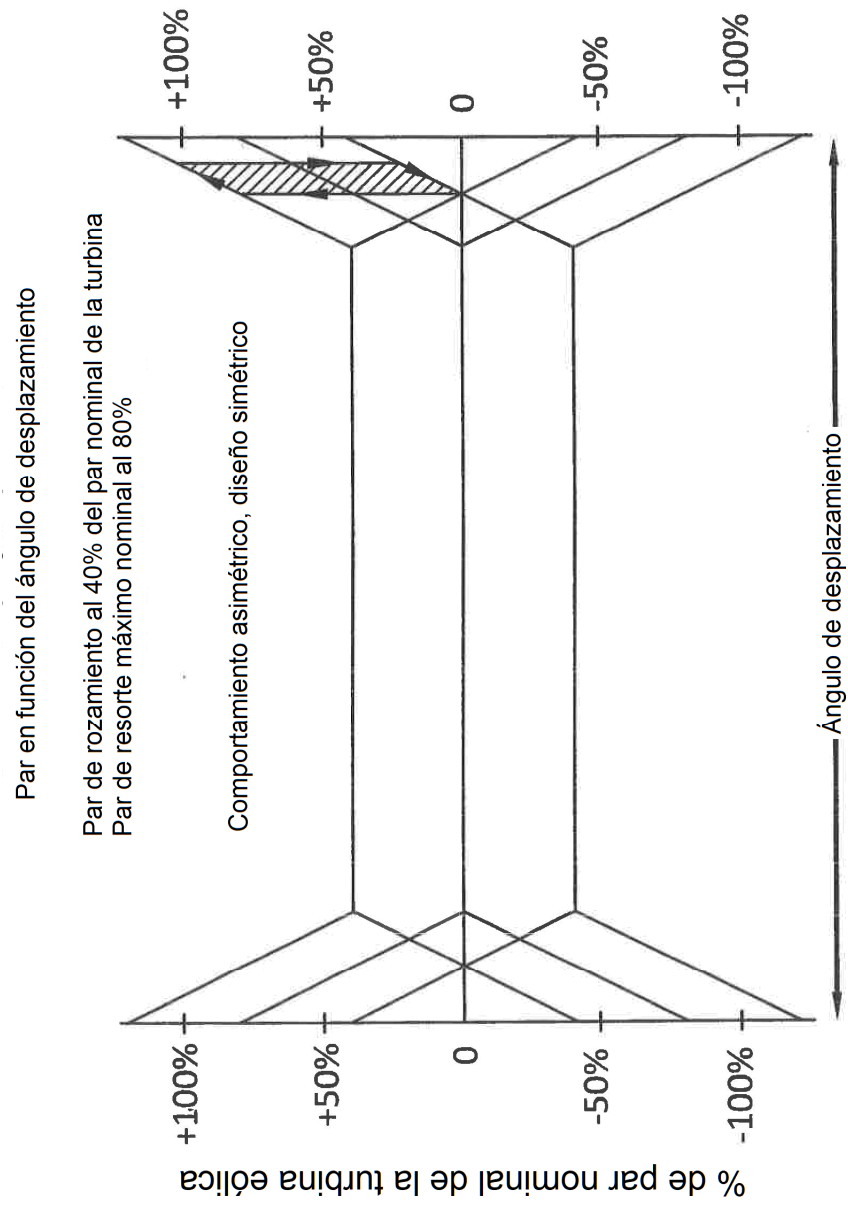


Fig. 4

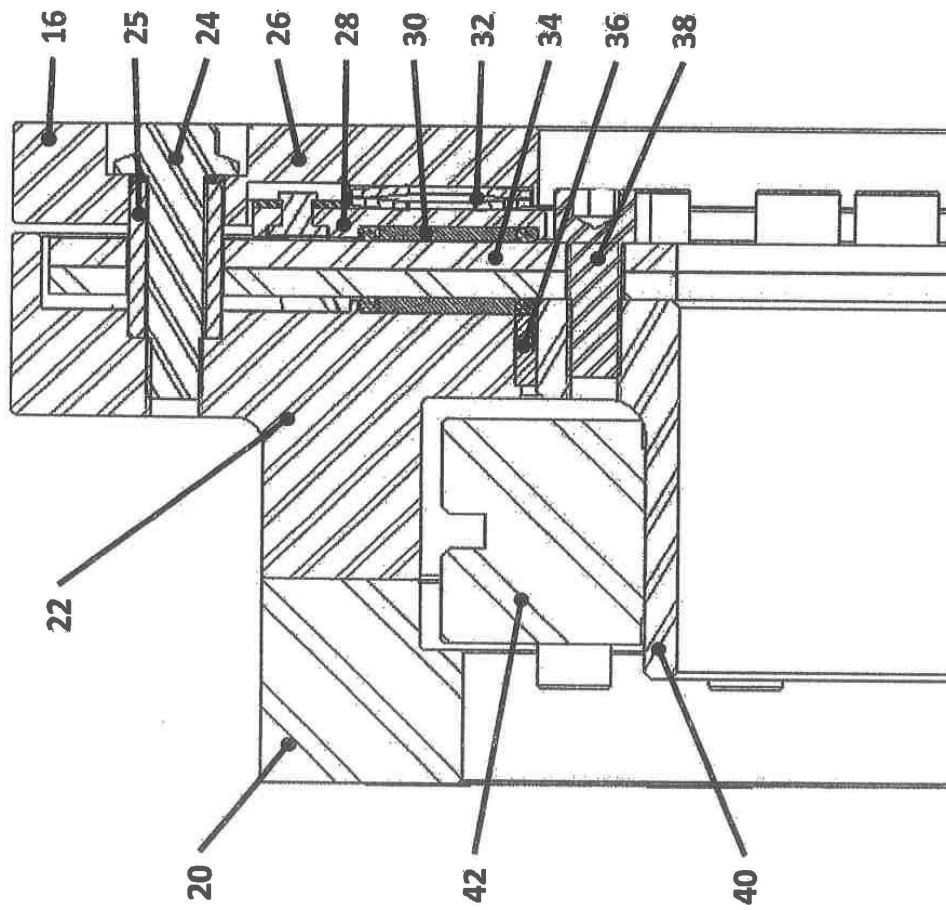


Fig. 5

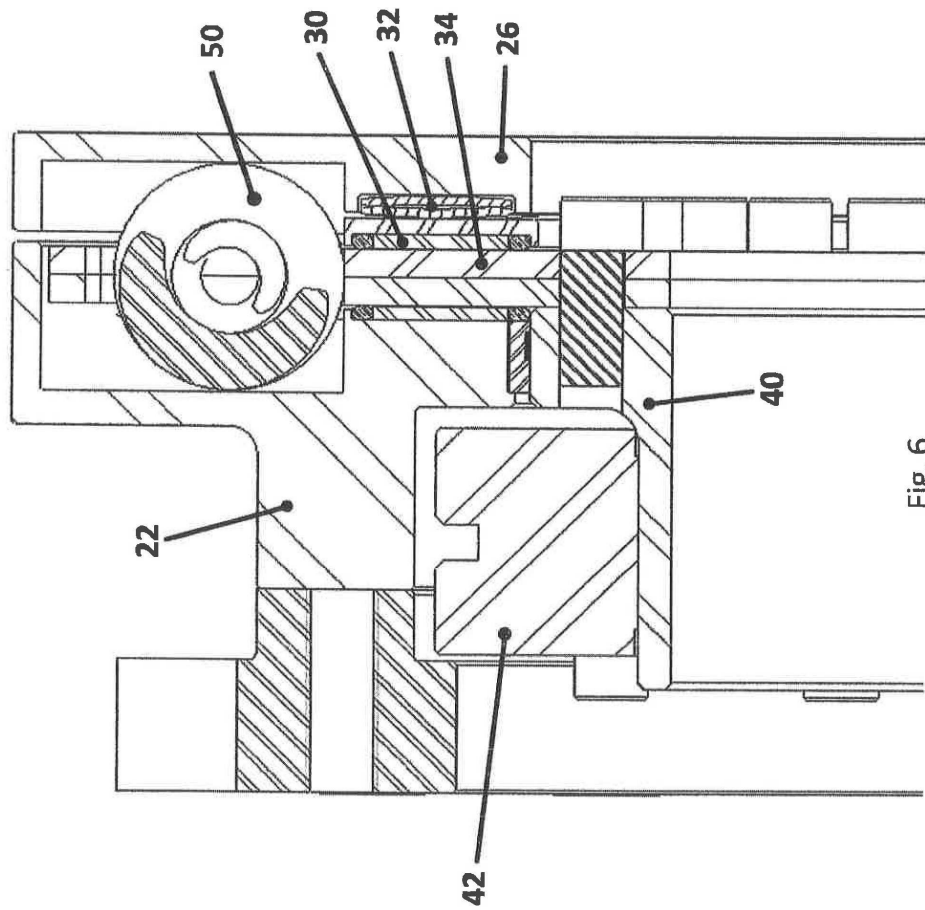


Fig. 6

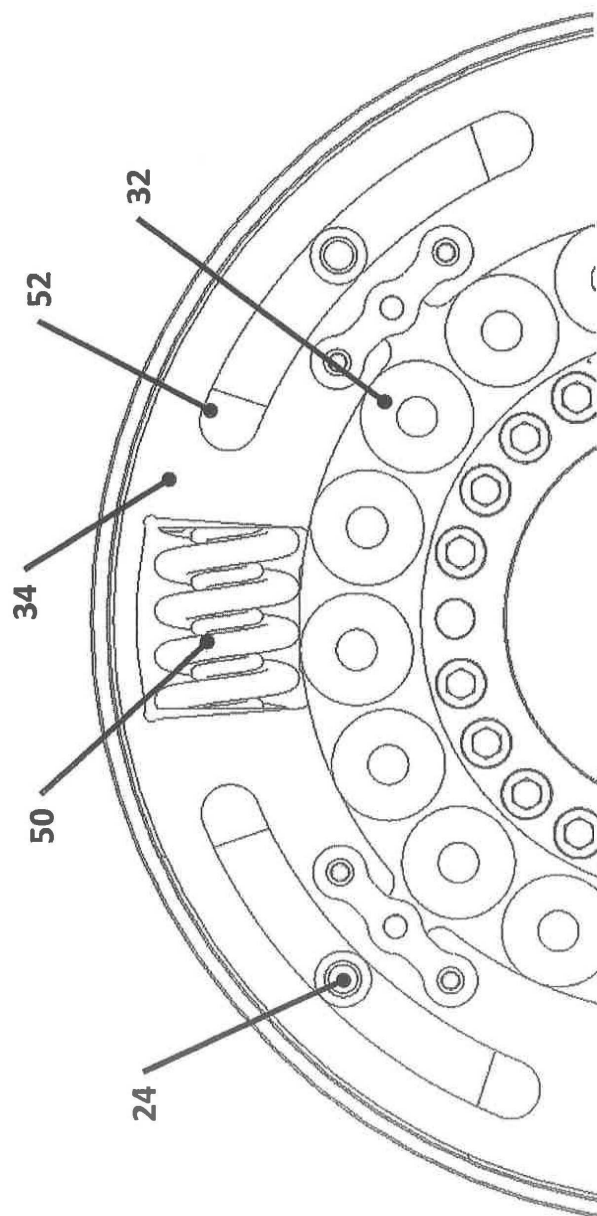


Fig. 7

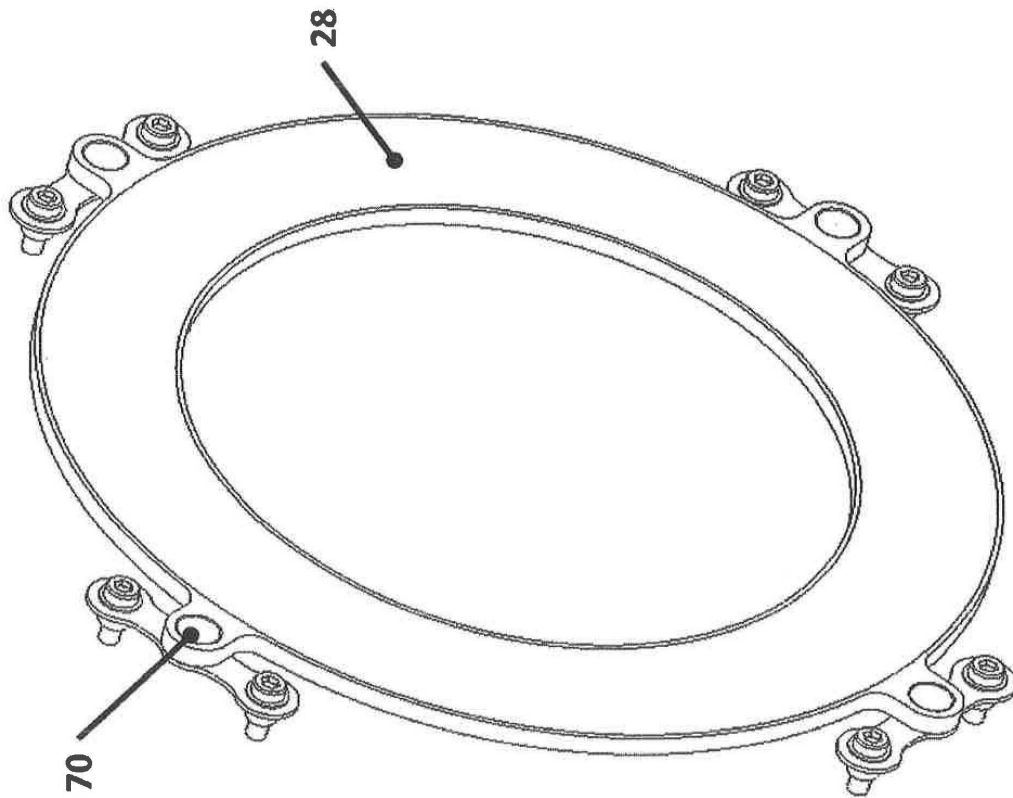


Fig. 11

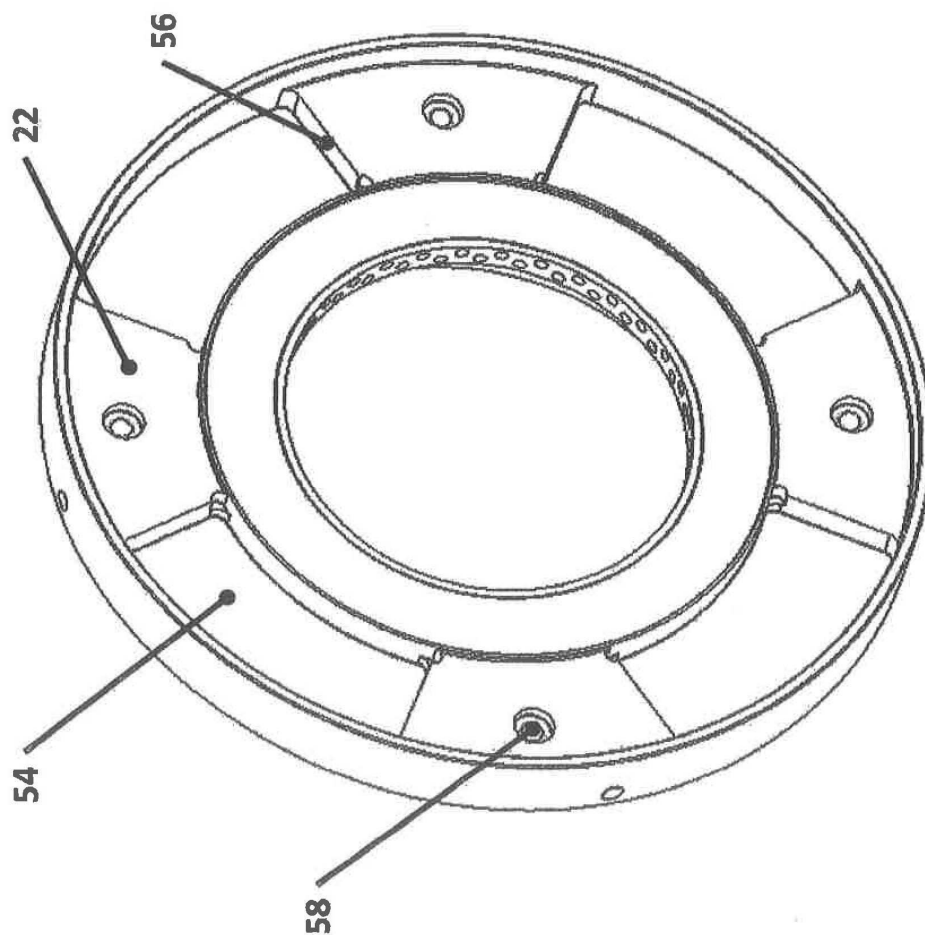


Fig. 8

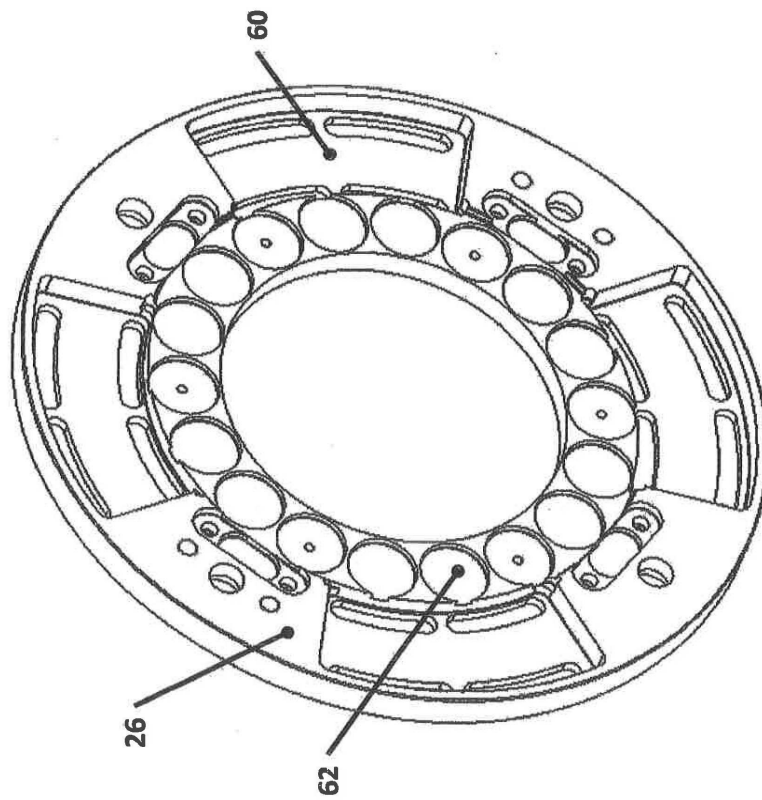


Fig. 9

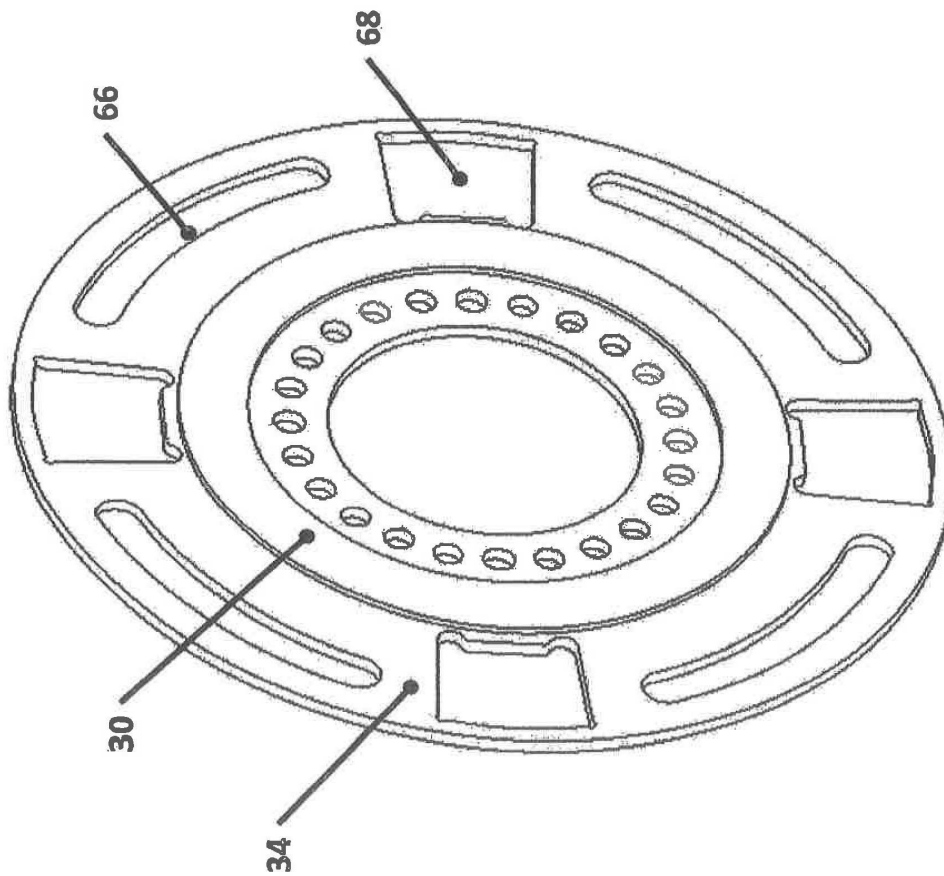


Fig. 10