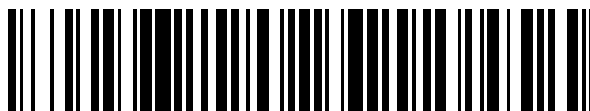


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 756 576**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02** (2006.01)

**F03D 1/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.02.2016 PCT/DK2016/050042**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.08.2016 WO16128005**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.02.2016 E 16705025 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2019 EP 3256723**

54 Título: **Sistema de control para turbina eólica con múltiples rotores dispuestos para controlar la orientación del brazo de soporte**

30 Prioridad:

**12.02.2015 DK 201570082**

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

**27.04.2020**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)  
Hedeager 42  
8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**BAUN, TORBEN LADEGAARD y  
MIRANDA, ERIK CARL LEHNSKOV**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 756 576 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 turbina eólica con múltiples rotores dispuestos para controlar la orientación del brazo de soporte

5 **Campo técnico**

La invención se refiere a un sistema de control de un sistema de turbina eólica que tiene múltiples rotores soportados por disposiciones de brazo de soporte y más particularmente, pero no exclusivamente, al control del ángulo de guiñada de cada disposición de brazo de soporte en una condición de desconexión.

**Antecedentes de la invención**

15 El tipo más común de turbina eólica es la turbina eólica de eje horizontal (HAWT) de tres palas, en la que el rotor de la turbina está en la parte delantera de la góndola y orientado hacia el viento aguas arriba de su torre de soporte. Sin embargo, también se conocen diversos diseños alternativos de turbinas eólicas. Un ejemplo es la turbina eólica de tipo matriz múltiple.

20 El documento EP1483501B1 desvela una turbina eólica de tipo matriz de múltiples rotores en la que se monta una pluralidad de rotores coplanares en una estructura de soporte común. Dicha configuración consigue economías de escala similares que pueden obtenerse con una turbina de rotor único muy grande, pero evita los inconvenientes asociados, como la gran masa de las palas, los componentes electrónicos de potencia aumentados, etc. Sin embargo, aunque una turbina eólica de múltiples rotores coplanares tiene sus ventajas, presenta desafíos para implementar el concepto en la práctica, particularmente en cómo se gestiona la pluralidad de rotores, o góndolas, durante las altas velocidades del viento. El documento WO 2011/131792 A2 desvela una turbina eólica similar.

**Sumario de la invención**

30 En este contexto, la invención proporciona un sistema de turbina eólica que comprende un primer par de turbinas eólicas montadas en una estructura de soporte mediante una primera disposición de brazo de soporte, y un segundo par de turbinas eólicas montadas en la estructura de soporte mediante una segunda disposición de brazo de soporte, en donde la primera y segunda disposiciones de brazo de soporte se montan en la estructura de soporte en una unidad de guiñada respectiva para guiñar alrededor del eje mayor de la estructura de soporte. Un sistema de control se configura para controlar el ángulo de guiñada de cada una de la primera y segunda disposiciones de brazo de soporte, en donde el sistema de control se configura para identificar la presencia de una condición de desconexión predeterminada y, en respuesta, el sistema de control se puede operar para controlar la guiñada ángulos de la primera disposición de brazo de soporte y la segunda disposición de brazo de soporte a un estado seguro predeterminado, en donde el ángulo de guiñada de la primera disposición de brazo de soporte es diferente al ángulo de guiñada de la segunda disposición de brazo de soporte.

40 El sistema de control puede configurarse para controlar una unidad de guiñada respetuosa de cada una de las disposiciones de brazo de soporte con el fin de que puedan guiarse para guiñar alrededor de la estructura de soporte en una posición deseada. Como alternativa, o además, el sistema de control puede configurarse para controlar la inclinación de las palas de las turbinas eólicas con el fin de lograr un empuje diferencial entre las turbinas eólicas de cada par montado en una de las disposiciones de brazo de soporte respectivas. Por lo tanto, el empuje diferencial entre las turbinas eólicas se puede usar por sí solo para controlar el ángulo de guiñada de las disposiciones del brazo de soporte, o se puede usar para soportar la operación de las unidades de guiñada, lo que significa que se pueden usar unidades de guiñada más pequeñas y que consuman menos energía.

50 En general, el sistema de control se configura para controlar la orientación de los brazos de soporte con respecto a la dirección del viento y con respecto a la orientación angular de los brazos individuales entre sí.

Una ventaja de la invención es que las disposiciones del brazo de soporte están configuradas en una posición segura de modo que las condiciones del viento imponen menos tensión estructural sobre la estructura de soporte. Por lo tanto, en caso de detectar una condición de desconexión, el sistema de control puede configurar las disposiciones del brazo de soporte para que la estructura de soporte esté protegida de altos esfuerzos cuando está inactiva. La condición de desconexión puede detectarse en relación con una transición de un estado de producción a un estado no productivo, por ejemplo, estado parado o inactivo. Sin embargo, la condición de desconexión también puede detectarse como un estado estacionario, por ejemplo, como un estado no productor, para mantenerse hasta que se detecte una condición de no desconexión.

En una realización, en el estado seguro, el ángulo de guiñada de la primera disposición de brazo de soporte puede controlarse para que sea sustancialmente paralelo a la dirección del viento.

65 De acuerdo con la invención, el sistema de control se puede operar para configurar los ángulos de guiñada de la primera disposición de brazo de soporte y la segunda disposición de brazo de soporte a una posición segura

predeterminada en la que el ángulo de guiñada de la primera disposición de brazo de soporte es diferente al ángulo de guiñada de la segunda disposición de brazo de soporte. Esto es particularmente adecuado para el sistema en el que cada turbina tiene tres o más palas. La posición de las disposiciones del brazo de soporte es tal que las turbinas eólicas apuntan en diferentes direcciones, lo que reduce la tensión generada en la estructura de soporte.

5 Otras características preferidas y/u opcionales se exponen en las reivindicaciones adjuntas.

### Breve descripción de los dibujos

10 Para que pueda entenderse más completamente, la invención se describirá a continuación a modo de ejemplo solo con referencia a los siguientes dibujos, en los que:

la Figura 1 es una vista frontal de una primera realización de un sistema de turbina eólica de múltiples rotores;

15 la Figura 2 es una vista superior del sistema de turbina eólica de la Figura 1;

la Figura 3 es una vista esquemática de los sistemas de la turbina eólica de la Figura 1;

20 la Figura 4 es una vista frontal del sistema de turbina eólica de la Figura 1, pero configurado en un estado "seguro" que es tolerante a condiciones de viento fuerte;

la Figura 5 es una vista superior del sistema de turbina eólica de la Figura 4;

25 la Figura 6 es un diagrama de flujo que ilustra un proceso que gobierna la configuración del sistema de turbina eólica de la Figura 1 en el estado seguro como se ilustra en las Figuras 4 y 5;

la Figura 7 es una vista frontal de una realización alternativa de un sistema de turbina eólica;

30 la Figura 8 es una vista superior del sistema de turbina eólica de la Figura 7, pero se ilustra en un estado seguro que es tolerante a condiciones de viento fuerte;

35 la Figura 9 es una vista frontal de una realización adicional de un sistema de turbina eólica, en donde la Figura 10a es una vista superior del sistema de turbina eólica de la Figura 9 en un estado operativo, y en donde la Figura 10b es una vista superior, comparable a la de la Figura 10a, pero que muestra el sistema de turbina eólica en un estado seguro; y

la Figura 11 ilustra simulaciones de carga aeroelástica de un modelo de turbina eólica del tipo ilustrado esquemáticamente en la Figura 1.

### 40 Descripción detallada de las realizaciones de la invención

Con referencia a las Figuras 1 y 2, una instalación de turbina eólica o 'sistema' 2 incluye una estructura de soporte en forma de una torre 4 sobre la que se monta una pluralidad de turbinas eólicas 6. Todo el sistema de turbina eólica 2 está soportado sobre una base 8, como es habitual. Tenga en cuenta que el término 'turbina eólica' se usa aquí en el sentido aceptado por la industria para referirse principalmente a los componentes generadores del sistema de turbina eólica y a los que están separados de la torre 4. Las turbinas eólicas pueden denominarse también módulos de turbinas eólicas. Tenga en cuenta también que la base 8 puede ser una gran masa, por ejemplo, hormigón o acero incrustado en el suelo, o puede tener la forma de una estructura monopolar o de camisa en una instalación de parque eólico marino.

50 En esta realización, hay cuatro turbinas eólicas 6, y estas están montadas en la torre 4 en dos pares, cada par incluye dos turbinas eólicas 6 que se montan en la torre 4 en una disposición de brazo de soporte respectiva 10. De modo que, un primer par de turbinas eólicas, etiquetado como 6a, está asociado con una primera disposición de brazo de soporte 10a, y un segundo par de turbinas eólicas, etiquetado como 6b, está asociado con una segunda disposición de brazo de soporte 10b.

60 Puesto que cada par de turbinas eólicas y su disposición de brazo de soporte asociado son esencialmente idénticas, se hará referencia a las mismas a continuación generalmente mediante números de referencia sin sufijos. Esto también se aplica a los componentes de las disposiciones del brazo de soporte. Sin embargo, se hará referencia a una disposición específica del brazo de soporte, turbinas eólicas asociadas o subcomponentes, utilizando los sufijos 'a' o 'b' para referirse a la disposición de brazo de soporte superior o inferior, según corresponda. Sin embargo, por lo general, los pares no necesitan ser idénticos, sino que pueden configurarse en relación con las diferentes alturas de los cubos.

65 Cada disposición de brazo de soporte 10 comprende una porción de montaje 12 y un primer y segundo brazos de soporte 14 que se extienden desde la porción de montaje 12 y que llevan una turbina eólica respectiva 6. Como tal,

cada uno de los brazos de soporte 14 incluye un extremo interno 16 conectado a la porción de montaje 12 y un extremo externo 18 que se conecta a una turbina eólica 6.

5 La disposición de brazo de soporte 10 se monta en la torre 4 en la porción de montaje 12 de modo que la disposición de brazo de soporte 10 puede guiñar alrededor del eje vertical de la torre 4. Se proporciona un sistema de guiñada adecuado (no mostrado) para este fin, y tales sistemas de guiñada se conocen generalmente en la técnica. Por lo tanto, la porción de montaje 12 representa una unidad de guiñada de la disposición de brazo de soporte 10 que puede 'guiñar', es decir, mover angularmente, la disposición de brazo de soporte 10 alrededor del eje mayor de la torre 4. Tenga en cuenta que en la Figura 2, solo se puede ver la parte superior de las disposiciones del brazo de soporte, ya que la inferior está oculta. Además, tenga en cuenta que se hará referencia a las unidades de guiñada utilizando los mismos números de referencia que para las porciones de montaje 12.

15 Cada turbina eólica 6 incluye un rotor 22 que se monta de forma giratoria en una góndola 23 de la manera habitual. El rotor 22 tiene un conjunto de tres palas 24 en esta realización. Los rotores de tres palas son una configuración de rotor común, pero también se conocen diferentes números de palas. Por lo tanto, las turbinas eólicas 6 pueden generar energía a partir del flujo de viento que pasa a través del área barrida o 'disco de rotor' 26.

20 Durante la operación, las fuerzas generadas por las turbinas eólicas 6 excitan la torre 4 y hacen que oscile en diferentes modos; por ejemplo, la torre 4 se balanceará hacia delante y hacia atrás, y también de lado a lado, dando lugar al primer y segundo modos de oscilación. La torre 4 puede experimentar también excitación torsional, debido a la acción del viento, pero también debido a cualquier desequilibrio de empuje entre las turbinas eólicas individuales 6, lo que da lugar a otro modo de oscilación. La oscilación de la estructura de soporte provoca fatiga que puede afectar la vida útil de la instalación en su conjunto. Aunque las disposiciones de la torre y el brazo de soporte están diseñadas para soportar una cierta cantidad de tensión estructural, las altas velocidades del viento pueden causar una tensión excesiva en la estructura durante la operación. Un problema relacionado es que incluso las condiciones moderadas del viento harán que la estructura oscile cuando el sistema de turbina eólica se haya puesto en estado inactivo o parado, por ejemplo, durante un evento de desconexión. La presente invención proporciona una estrategia para gestionar el estrés inducido en la turbina eólica durante tales estados de parada.

30 Las Figuras 1 y 2 muestran los principales componentes estructurales del sistema de turbina eólica 2, aunque la persona experta entendería que la realización ilustrada se ha simplificado para no oscurecer la invención con detalles innecesarios. A continuación, se proporcionará una explicación adicional sobre los componentes del sistema del sistema de turbina eólica 2 con referencia también a la Figura 3.

35 A nivel de sistemas, cada turbina eólica 6 incluye una caja de engranajes 30 y un sistema de generación de energía 31 que incluye un generador 32 y un sistema convertidor 34. Como se sabe, la caja de engranajes 30 aumenta la velocidad de giro del rotor y acciona el generador 32 que, a su vez, alimenta la energía generada a un sistema convertidor 34. Una arquitectura de este tipo es conocida, y otras son posibles, como los tipos 'sin engranaje', también conocidos como 'transmisión directa', así como los tipos de transmisión 'de accionamiento por correa'.

40 También se proporciona un sistema de control de inclinación 36 para controlar la inclinación de las palas con respecto al eje longitudinal de las palas. La configuración precisa del generador 32 y el sistema convertidor 34 no son fundamentales para la invención y no se describirán en detalle. Sin embargo, para los fines actuales, pueden considerarse convencionales y, en una realización, pueden basarse en una arquitectura de convertidor de escala completa (FSC) o una arquitectura de generador de inducción doblemente alimentado (DFIG), aunque el experto conocerá otras arquitecturas.

45 Además, cada una de las turbinas eólicas puede considerarse sustancialmente idéntica, por lo que solo una ha sido etiquetada completamente en la Figura 3 para mayor claridad.

50 En la realización ilustrada, la salida de potencia del convertidor 34 de cada turbina eólica 6 se alimenta a una unidad de distribución 40 que tiene una función para recibir entradas de potencia 42 desde las turbinas eólicas 6 a través del cableado adecuado 44 para su transmisión posterior a una carga 46, que se muestra aquí como la red eléctrica. Aunque no se muestra aquí, debe apreciarse que la unidad central de control y distribución 40 puede ubicarse en cualquier posición adecuada, por ejemplo, dentro de la torre 4. La persona experta sería consciente de que existen diferentes opciones de conversión de energía y transmisión, y estaría dentro de las capacidades de la persona experta especificar un sistema adecuado. Por lo tanto, este aspecto no se describe con más detalle aquí.

60 Cabe señalar en este punto que aquí solo se describe un solo sistema de turbina eólica 2, pero que diversos de estos sistemas pueden agruparse para formar una planta de energía eólica, también conocida como parque eólico o 'parque'. En este caso, se proporcionaría una instalación de control y distribución de la planta de energía (no mostrada) para coordinar y distribuir las salidas de energía de los sistemas de turbinas eólicas individuales a la red más amplia.

65 Puesto que el sistema de turbina eólica 2 incluye una pluralidad de turbinas eólicas 6, cada una de las cuales se puede operar para generar energía eléctrica a medida que el rotor 22 es impulsado por el viento, el sistema de turbina eólica 2 incluye medios de control localizados 49 que son operables para supervisar la operación de aquellas

respectivas de la pluralidad de turbinas eólicas 6 y para emitir órdenes a los mismos para conseguir un conjunto de objetivos de control local. En esta realización, los medios de control localizados 49 se proporcionan en forma de una pluralidad de módulos de control locales 50 que se incorporan como dispositivos informáticos respectivos, cada uno de los que se dedica a una turbina eólica asociada 6. Uno de esos objetivos de control es supervisar la velocidad del rotor y la potencia de salida, y controlar el sistema de control de inclinación 36 y el generador 32 para asegurar que se extraiga la máxima potencia del viento durante una calificación inferior a la nominal y que la velocidad de giro se controle en condiciones de operación sobrevaloradas.

Aunque cada una de las turbinas eólicas 6 incluye un módulo de control local 50, el sistema de turbina eólica 2 también incluye un medio de control centralizado 51 que cumple una función de supervisión para proporcionar una estrategia de control coordinada. En esta realización, los medios de control centralizados 51 son proporcionados por un módulo de control central 52 que es un dispositivo informático incorporado en la unidad de distribución central 40 pero, en general, también puede colocarse separado de la unidad de distribución. Aquí, el módulo de control central 52 está ubicado en la torre 4, por ejemplo, en la torre o en una carcasa adyacente a la torre, aunque se prevé que otras ubicaciones serían aceptables. Como se explicará, el módulo de control central 52 se configura para controlar la operación del sistema de energía eólica 2, es decir, las turbinas eólicas 6 y la torre 4, y para proporcionar órdenes de control centralizados a la pluralidad de turbinas eólicas 6 para conseguir un objetivo de control de supervisión.

El módulo de control central 52 consigue el control sobre cada una de las turbinas eólicas 6 proporcionándoles órdenes de control. Como se muestra en la Figura 3, el módulo de control central 52 emite las primeras órdenes de control 54 que son recibidas por cada una de las turbinas eólicas 6 y, más particularmente, son recibidas por los módulos de control locales 50. Los órdenes de control 54 pueden ser una orden de tipo 'difusión' en el que se envía el mismo orden a cada turbina eólica 6, o las órdenes pueden ser orden de tipo 'dirigido' en el que una orden de control específico se establece en una o más de las turbinas eólicas seleccionadas, pero no en todas 6.

El módulo de control central 52 se configura también para proporcionar una segunda orden de control, mostrada aquí como '56', a la primera unidad de guiñada 12a y a la segunda unidad de guiñada 12b para controlar el ángulo de guiñada de las respectivas disposiciones de brazo de soporte 10a, 10b alrededor de la torre 4.

Se observará que la Figura 3 es una vista esquemática, por lo que la forma en que las órdenes de control 54, 56 se transfieren a las turbinas eólicas 6 no se representa explícitamente. Sin embargo, se apreciará que se puede proporcionar un cableado adecuado para interconectar la unidad de control central 52 a las turbinas eólicas 6, y más específicamente a los módulos de control locales 50. Las interconexiones pueden ser directas o 'punto a punto', o pueden ser parte de una red de área localizada (LAN) operada bajo un protocolo adecuado (CAN-bus o Ethernet, por ejemplo). Además, debe tenerse en cuenta que, en lugar de utilizar el cableado, las órdenes de control 54,56 pueden transmitirse de forma inalámbrica a través de una red inalámbrica adecuada, por ejemplo, operando bajo los estándares WiFi™ o ZigBee™ (IEEE802.11 y 802.15.4 respectivamente).

El objetivo del módulo de control central 52 es implementar una estrategia de control armoniosa para el grupo de turbinas eólicas 6 para que sus interacciones mutuas y las interacciones entre las turbinas eólicas 6 y la estructura de soporte 4 se gestionen de la forma más efectiva. Expresado de otra manera, el módulo de control central 52 aplica una estrategia de control de nivel superior en la operación de la instalación de turbina eólica 2, mientras que los módulos de control locales 50 aplican una estrategia de control de nivel inferior a cada turbina eólica 6 individualmente. Sin embargo, ambos 'niveles' de la estrategia de control operan juntos armoniosamente para optimizar el rendimiento de la instalación de energía eólica 2, tanto en términos de producción de energía absoluta, eficiencia de producción como optimización de fatiga.

El módulo de control central 52 puede configurarse para actuar durante condiciones de viento potencialmente peligrosas, o durante otras condiciones de desconexión relevantes, para establecer las turbinas eólicas en un estado 'seguro' que reduce el estrés causado en las propias turbinas eólicas y en las disposiciones de brazo de soporte 10 y la torre 4.

Las realizaciones de un estado seguro se ilustran en las Figuras 4 y 5a. Como se observará, en las Figuras 1 y 2, el sistema de turbina eólica está en un estado operativo y, como tal, tanto la primera como la segunda disposiciones de brazo de soporte 10a, 10b están orientadas transversalmente a la dirección del viento y de modo que las góndolas 23 y así también los rotores 22 están alineados con la dirección del viento, como se muestra por la serie de flechas 'W' en la Figura 2. Expresado de otra manera, los discos de rotor 26 son sustancialmente perpendiculares a la dirección del viento. En esta descripción, debe entenderse que las referencias a la turbina eólica, la góndola o el rotor 'mirando hacia el viento' significan que el eje de giro del rotor está alineado, es decir, es paralelo, con la dirección en que se mueve el flujo de viento predominante.

Cuando se enfrentan al viento de esta manera, las turbinas eólicas 6 pueden extraer energía del flujo de viento de la forma más eficaz. Sin embargo, comparando esto con las Figuras 4 y 5, se puede ver en estas Figuras que la segunda disposición de brazo de soporte 10b ha guiñado alrededor de la torre 4 para que las turbinas eólicas ya no se orienten hacia el viento. Más específicamente, la unidad de guiñada 12b tiene una posición angular tal que la disposición de brazo de soporte 10b y, por lo tanto, los discos del rotor 26 son paralelos a la dirección del viento. Por

lo tanto, la segunda disposición de brazo de soporte 10b se ha movido angularmente alrededor de la torre 4 de modo que la posición angular de su unidad de guiñada 12b tiene una diferencia de 90 grados en comparación con la posición angular de la primera unidad de guiñada 12a, como se indica mediante la flecha 'A'. En otras palabras, las disposiciones del brazo de soporte están en ángulo recto entre sí. Cabe señalar que en este estado las turbinas eólicas ya no están operativas ya que el módulo de control 52 ha tomado las medidas apropiadas para desconectar la generación de energía.

Una realización adicional de un estado seguro se muestra en la Figura 5b. Aquí, se observará que la segunda disposición de brazo de soporte 10b se ha girado 90 grados con respecto a la primera disposición de brazo de soporte 10a. Sin embargo, tanto la primera disposición de brazo de soporte 10a como la segunda disposición de brazo de soporte 10b se han girado aproximadamente 45 grados con respecto al viento en dirección contraria. Por lo tanto, la primera disposición de brazo de soporte 10a define una posición angular de aproximadamente 45 grados con respecto a la dirección del viento, marcada como flecha 'B', y la segunda disposición de brazo de soporte 10b define una posición angular de aproximadamente 135 grados con respecto a la dirección del viento, marcada nuevamente como flecha 'A', de modo que ni el primer par de turbinas eólicas 6a ni el segundo par de turbinas eólicas 6b se enfrentan al viento. Tenga en cuenta, aquí, que el módulo de control central 52 ha configurado el sistema de turbina eólica en el estado seguro de modo que se mantenga la diferencia de 90 grados en la posición angular entre la primera disposición de brazo de soporte 10a y la segunda disposición de brazo de soporte 10b. Se apreciará en la descripción anterior que las referencias a las diferencias en los ángulos de guiñada entre las disposiciones del brazo de soporte deben interpretarse como cuando el sistema de turbina eólica 2 se ve desde arriba, es decir, en vista en planta.

Beneficiosamente, cuando el sistema de turbina eólica 2 se configura en el estado seguro y las turbinas eólicas 6 se desconectan, los discos del rotor se colocan en posiciones que minimizan el estrés inducido en la torre 4. En efecto, las turbinas eólicas 6b en la segunda disposición de brazo de soporte 10b proporcionan excitaciones en la torre que contrarrestan al menos parcialmente las excitaciones generadas por las turbinas eólicas 6a en la primera disposición de brazo de soporte 10a. Puesto que cada una de las turbinas eólicas apunta en una dirección diferente, la estructura puede ser menos sensible a los cambios en la dirección del viento, lo que reduce las tensiones de la torre y evita la necesidad de que la estructura se desvíe para seguir los cambios en la dirección del viento.

Se describen realizaciones adicionales de los estados seguros en relación con la Figura 11.

La Figura 6 es un diagrama de flujo de una realización de un proceso 100 que gobierna la configuración del sistema de turbina eólica en el estado seguro. En esta realización, el proceso 100 se implementa mediante el módulo de control central 52. Sin embargo, debe apreciarse que el proceso 100 podría implementarse en otro lugar, por ejemplo, en un sistema de control que forme parte de un parque eólico que comprenda muchos de estos sistemas de turbinas eólicas de múltiples rotores 2, o en uno de los módulos de control locales 50 que actúan como un dispositivo 'maestro'.

El proceso 100 se inicia en la etapa 102, que puede ser cuando el sistema de turbina eólica 2 se ha iniciado y antes de que la turbina eólica haya alcanzado un estado de generación de energía. Por lo tanto, el proceso 100 puede proporcionar un nivel de seguridad para verificar que las condiciones de desconexión no estén presentes antes de poner en funcionamiento el sistema de turbina eólica hasta una velocidad operativa.

En la etapa 104, el proceso 100 realiza una verificación de las condiciones de desconexión. Las condiciones de desconexión pueden ser cualquier condición que afecte la operación segura de la turbina eólica. Por ejemplo, la falla de la red puede significar que no hay una fuente de alimentación disponible para proporcionar energía a los consumidores eléctricos del sistema de turbina eólica 2, aunque una fuente de alimentación de respaldo podría proporcionar energía temporal durante un corto período de tiempo a esos consumidores eléctricos, por ejemplo, sistemas de cabeceo y guiñada. Además, el sistema de turbina eólica 2 puede detectar que hay una falla en el sistema de conversión de energía 31 que requiere que el sistema se desconecte. Como alternativa, las condiciones del viento pueden ser tales que no sea seguro continuar la operación de la turbina eólica. En este caso, las condiciones del viento se pueden obtener mediante un sensor de viento 55 montado en la torre 4, por ejemplo. Como alternativa, podría proporcionarse información sobre las condiciones locales del viento al sistema de turbina eólica. Un sensor de viento de este tipo es convencional y los expertos en la técnica lo conocerían como un sensor de velocidad y dirección del viento, por ejemplo, un dispositivo ultrasónico o un anemómetro y veleta, aunque también se conocen diferentes dispositivos en la técnica, por ejemplo, basándose en sensores LIDAR.

Al supervisar las condiciones del viento, la clave es identificar cuándo se considera que las condiciones del viento comprometen la operación segura de la turbina eólica. Como tal, la etapa 104 de verificación de la condición de desconexión puede configurarse para supervisar varios parámetros tales como la velocidad y dirección instantánea del viento, la velocidad y dirección promedio del viento, la velocidad máxima de ráfaga, etc., y comparar estos parámetros con umbrales adecuados para llegar a una decisión sobre si las condiciones de viento predominantes son seguras o inseguras. El sistema también podría configurarse para supervisar condiciones inseguras pronosticadas, por ejemplo, de avisos avanzados de mal tiempo de los servicios meteorológicos, de avisos de otras turbinas o parques eólicos, o de sistemas de detección sísmica cerca de los sistemas de turbinas eólicas que

incorporan instalaciones de detección de clima, por ejemplo.

Si se determina que las condiciones de desconexión son seguras, a continuación, el proceso 100 termina en la etapa 105 para que la operación del sistema de turbina eólica 2 no se vea afectado.

5 Sin embargo, si se determina que las condiciones de desconexión están presentes, el proceso 100 pasa a la etapa 106 en la que el módulo de control central 52 ordena a todas las turbinas eólicas 6 que inicien una secuencia de desconexión en la que se termina la generación de energía y los rotores se llevan a una condición parada o inactiva. Se prevé que una condición inactiva puede ser preferible ya que esto no requeriría la aplicación de un freno mecánico, que puede aplicar altas cargas de engranajes.

15 Una vez que se ha iniciado la secuencia de desconexión en la etapa 106, el módulo de control central 52 ordena a las turbinas eólicas que establezcan la etapa de las palas en una posición que no produce energía en la etapa 108. Por ejemplo, la etapa de las palas puede establecerse en una posición estacionada o 'levantada'. Como sabrá la persona experta, las palas de la turbina eólica se configuran normalmente de modo que su inclinación se pueda cambiar durante la operación para aumentar o disminuir el empuje generado por la pala en el rotor. Normalmente, la inclinación de la pala se puede variar desde un rango predeterminado de ángulo de paso 'negativo' que se usa para proporcionar configuraciones de pérdida para la pala, a través de una posición de paso cero en la que la cuerda de la pala coincide sustancialmente con el plano de giro del disco del rotor 26, y hasta un ángulo de inclinación positivo predeterminado que puede ser igual o mayor que 90 grados. Son los ajustes de ángulo de inclinación positivo los que se utilizan para variar el empuje producido por la pala en el rotor. Un ángulo de inclinación de 90 grados, en el que la cuerda de la pala es sustancialmente perpendicular al plano de giro de la pala, generalmente se considera una posición de estacionamiento o elevada de la pala puesto que en este ángulo la pala no debe producir empuje en el rotor.

25 Aunque la etapa de configuración de inclinación 108 de la pala se muestra como separado de la etapa 106 en la Figura 6, debe apreciarse que la funcionalidad de colocar las palas en una posición elevada puede combinarse en la secuencia de desconexión de la turbina eólica en la etapa 106.

30 Una vez que se han desconectado las turbinas eólicas y se ha regulado la inclinación de las palas para que los rotores ya no produzcan energía, el módulo de control central 52 ordena a las unidades de guiñada 12a, 12b de las disposiciones del brazo de soporte 10a, 10b ir al estado seguro en la etapa 110. Después, con referencia a la Figura 5a, el módulo de control central 52 ordena a la segunda unidad de guiñada 12b que se mueva angularmente en la dirección antihoraria de modo que su ángulo de guiñada difiera del ángulo de guiñada de la primera disposición de brazo de soporte 10a en 90 grados. Como alternativa, y con referencia a la Figura 5b, el módulo de control central 52 ordena a la unidad de guiñada 12b de la segunda disposición de brazo de soporte 10b que se mueva en sentido antihorario en 135 grados y que la unidad de guiñada 12a de la primera disposición de brazo de soporte 12a se mueva en sentido antihorario 45 grados.

40 Una vez que las turbinas eólicas se han orientado hacia el estado seguro en la etapa 110, se realiza una segunda verificación de la condición de desconexión en la etapa 112, como se ha realizado en la etapa 102. Aquí el módulo de control central 52 verifica si las condiciones de desconexión todavía se consideran presentes, o si las condiciones de desconexión se han resuelto de manera que sea seguro reiniciar las turbinas eólicas para la producción de energía. Esta verificación se repite mientras se determine que las condiciones de desconexión están presentes. Sin embargo, una vez que se determina que las condiciones de desconexión no están presentes, el módulo de control central 52 implementa un procedimiento de reinicio de la turbina eólica en la etapa 114 en el que las unidades de guiñada 12a, 12b vuelven a su posición de inicio en la que las turbinas eólicas se enfrentan a la dirección del viento predominante. El proceso 100 termina después en la etapa 116.

50 La descripción anterior explica cómo funciona el módulo de control central para garantizar que la primera y segunda disposiciones de brazo de soporte 10a, 10b se configuren en un estado seguro cuando se detecta una condición de desconexión relevante. En el ejemplo anterior, la primera y segunda disposiciones de brazo de soporte 10a, 10b están configuradas de modo que sus ángulos de guiñada difieran en aproximadamente 90 grados. Sin embargo, como se describe en relación con la Figura 11, existen realizaciones en las que se eligen 90 grados como ángulo mínimo entre las disposiciones del brazo.

Es de esperar que se espere y tolere alguna desalineación angular entre el primer y el segundo dispositivo de brazo de soporte. Actualmente se prevé que un error de ángulo en la región de 10 grados sería aceptable.

60 El proceso 100 que se ha descrito anteriormente está destinado a repetirse continuamente para que las condiciones de desconexión se controlen de cerca. Por lo tanto, se pueden tomar medidas apropiadas de inmediato en caso de que ocurra una condición de desconexión relevante.

65 El experto apreciará que se pueden hacer modificaciones a las realizaciones específicas descritas anteriormente sin apartarse del concepto inventivo como se define en las reivindicaciones.

Por ejemplo, en una realización alternativa se prevé que, en lugar de establecer la inclinación de las palas en la posición elevada durante el proceso de desconexión de la turbina en las etapas 106 y 108, la inclinación de las palas en las turbinas eólicas 6 puede controlarse para producir un empuje diferencial en una disposición de brazo de soporte respectiva 10a, 10b, ayudando así al movimiento de guiñada. Por lo tanto, en lugar de accionar las unidades de guiñada 12a, 12b para mover sus respectivas disposiciones de brazo de soporte, la inclinación de la pala en cada uno de los rotores se regula para controlar el empuje generado por los rotores, controlando así el movimiento angular de las disposiciones de brazo de soporte.

Además, aunque en las realizaciones anteriores, se ha descrito que la estructura de soporte comprende una torre en forma de una estructura tubular de acero o hormigón relativamente delgada, se apreciará que se conocen otras estructuras de torre, aunque son menos comunes, por ejemplo, torres en forma de enrejado o estructuras en forma de marco, o incluso formadas por partes de edificios.

En las realizaciones anteriores, el sistema de turbina eólica 2 comprende cuatro turbinas eólicas que están agrupadas en dos pares, estando cada uno de los pares de turbina eólica acoplado a una respectiva de las disposiciones de brazo de soporte 10a, 10b. Sin embargo, la invención se extiende a otras realizaciones con más de dos disposiciones de brazo de soporte. Por ejemplo, con referencia a las Figuras 7 y 8, un sistema alternativo de turbina eólica 2 se parece mucho a la realización de la Figura 1 pero incluye una tercera disposición de brazo de soporte 10c que lleva un tercer par respectivo de turbinas eólicas 6c.

Además de la disposición del tercer brazo de soporte 10c, el resto del sistema de turbina eólica 2 es el mismo que para las realizaciones anteriores y, por lo tanto, no se describirá nuevamente aquí por brevedad.

La Figura 8 muestra el sistema de turbina eólica 2 configurado en su estado seguro. Para esta descripción, la primera disposición de brazo de soporte 10a, que se encuentra en la parte superior de la torre 4, se considera una disposición de brazo de soporte de 'referencia' con la que se compara la posición de guiñada de la segunda y tercera disposiciones de brazo de soporte 10b, 10c. La disposición de brazo de soporte de referencia 10a es la única que se enfrenta al viento W que se aproxima cuando está en estado seguro.

A continuación, la segunda disposición de brazo de soporte 10b se ha desviado en la dirección antihoraria en 120 grados en comparación con la posición inicial, como se indica con la flecha 'A'. Además, la disposición del tercer brazo de soporte 10c se ha desviado en la dirección contraria a las agujas del reloj en 240 grados como se indica con la flecha 'B' (o como alternativa ha realizado un movimiento de guiñada en la dirección horaria en 120 grados) en comparación con la posición inicial. En efecto, por tanto, la configuración que se muestra en la Figura 8 proporciona una orientación uniforme de las turbinas eólicas para reducir la generación de tensiones que las turbinas eólicas causan a la torre durante las condiciones de parada. Tenga en cuenta que, en esta configuración segura, hay un intervalo angular de aproximadamente 60 grados entre cada brazo de soporte de las disposiciones de brazo de soporte 10a, 10b, 10c. De la misma manera que en la Figura 5b, la posición angular de todas las disposiciones de brazo de soporte 10a, 10b, 10c puede configurarse de modo que ninguno de los discos de rotor 26 de las turbinas eólicas se enfrente al viento, aunque la separación angular entre los brazos de soporte individuales se mantenga igual.

A continuación, se hará referencia a las Figuras 9, 10a y 10b que ilustran otra realización alternativa de la invención. Desde la vista frontal del sistema de turbina eólica 2 de esta realización, se apreciará que el sistema de turbina eólica 2 es similar al sistema de turbina eólica de la Figura 1. Sin embargo, en esta realización, cada rotor 22 comprende dos palas 24 en lugar de una configuración de tres palas de realizaciones anteriores. En todos los demás aspectos, la estructura del sistema de turbina eólica 2 es la misma que en las realizaciones anteriores.

La Figura 9 y la Figura 10a muestran el sistema de turbina eólica 2 en un estado operativo en el que las disposiciones del brazo de soporte 10a, 10b y, por lo tanto, las góndolas 23a, 23b están orientadas de modo que los discos de rotor 26a, 26b sean perpendiculares y, por lo tanto, encajen en, la dirección del viento W. Expresado de otra manera, las góndolas 23a, 23b están alineadas con el viento.

La Figura 10b ilustra un ejemplo, que no cae dentro de la presente invención, de cómo el sistema de turbina eólica puede configurarse en un estado seguro. Debe observarse que tanto la primera como la segunda disposiciones de brazo de soporte 10a, 10b se han guiñado en sentido horario alrededor de la torre 4 lo que tiene el efecto de orientar los discos de rotor 26a, 26b, y también las disposiciones de brazo de soporte 10a, 10b para que estén paralelas a la dirección del viento W. En la realización de la Figura 10b, las disposiciones del brazo de soporte 10a, 10b se han desviado aproximadamente 90 grados en sentido horario, como lo indica la flecha A, por lo que el ángulo de guiñada de ambas disposiciones de brazo de soporte 10a, 10b es sustancialmente el mismo.

Además, el rotor 22 se configura para que las palas 24 estén también alineadas con el viento, es decir, que las palas 24 sean sustancialmente horizontales con respecto al suelo o la base 8, y se bloqueen en esta posición. Además, aunque no se muestra aquí, el ángulo de inclinación de las palas 24 se configura para estar en una posición elevada. El efecto de esto es que la orientación de las palas 24 presenta el perfil más pequeño posible al viento contrario, lo que significa que el viento ejerce menos fuerza sobre la estructura del sistema de turbina eólica a través de las palas



24.

5 Tenga en cuenta que en circunstancias en las que es deseable guiñar cualquiera de las disposiciones del brazo de soporte, sería posible mover las palas fuera de la posición destacada para generar un empuje en las disposiciones del brazo de soporte, proporcionando así una función de guiñada.

10 La Figura 11 ilustra simulaciones de carga aeroelástica de un modelo de turbina eólica del tipo ilustrado esquemáticamente en la Figura 1. Las simulaciones se han realizado a una velocidad del viento relativamente alta de 37,5 m/s (en promedio 10 minutos).

15 La Figura ilustra la desviación estándar y el valor máximo del momento de flexión de la torre inferior medido en kNm. Las simulaciones se han realizado para series de tiempo de 10 segundos y los valores de momento flector se han calculado para cada una de estas series de tiempo. En las simulaciones, la dirección del viento cambia lentamente de 0 a 360 grados (más de 20 minutos) y las diferentes curvas muestran simulaciones con una desalineación de 0, 30, ..., 180 grados entre las disposiciones de los brazos de soporte superior e inferior. El sistema de guiñada está bloqueado para cada serie.

20 En las Figuras, los grados a lo largo del eje horizontal indican el ángulo del brazo inferior con respecto a la dirección del viento. La parte superior del brazo está fija. Sin embargo, las simulaciones se aplican también a una situación intercambiada.

25 Como se puede ver en los gráficos, la diferencia en el ángulo de guiñada de la primera y segunda disposiciones de brazo de soporte puede seleccionarse beneficiosamente para que sea mayor de 90 grados ya que, en particular en el intervalo de 30-90 grados, la desviación estándar y el momento extremo para algunas direcciones del viento son altos. Se observa una carga mínima para una desalineación de al menos 150 grados, y se encuentra que 180 grados es una buena posición. Así, en una realización, la diferencia en el ángulo de guiñada de la primera y segunda disposiciones de brazo de soporte está entre 150 y 210 grados, y puede seleccionarse ventajosamente como 180 grados.

30 Además, en el rango de direcciones del viento entre 240 y 270 grados, la desviación estándar es baja independientemente de la desalineación de guiñada entre barras (todas las curvas están agrupadas y los valores son bajos). Esto muestra que una orientación angular de uno de los brazos de 240 - 270 grados con respecto al viento el riesgo de inestabilidad es menor, independientemente de la desalineación entre los brazos. En una realización, el sistema de control puede configurarse para establecer el ángulo de guiñada del al menos el primer brazo de soporte (o cualquier otro brazo de soporte) a un valor entre 240 y 270 grados con respecto a la dirección del viento.

40 En una realización, basada en las simulaciones, una desalineación de 180 grados es una buena posición. Se puede esperar que la turbina realmente se convierta en posición de retroceso si no está bloqueada. Esto se puede utilizar al proporcionar un bloqueo a prueba de fallos en solo una de las barras de soporte mientras se deja que la otra se oriente libremente. En dicha configuración, se espera que los brazos de soporte terminen automáticamente en una posición de desalineación de 180 grados con viento fuerte, también en caso de que se pierda la rejilla y no se pueda utilizar un movimiento de guiñada activo. Si se necesita un bloqueo de guiñada durante el servicio, los técnicos de servicio pueden traer un bloqueo mecánico para la barra de soporte que no tiene uno. Por lo tanto, en una realización, el sistema de control se puede operar para bloquear la primera unidad de guiñada en un ángulo dado y dejar que la segunda unidad de guiñada se oriente libremente.

## REIVINDICACIONES

1. Un sistema de turbina eólica (2) que comprende un primer par (6a) de turbinas eólicas montadas en una estructura de soporte por una primera disposición de brazo de soporte (10a), y un segundo par (6b) de turbinas eólicas montadas en la estructura de soporte por una segunda disposición de brazo de soporte (10b); en donde la primera y segunda disposiciones de brazo de soporte se montan en la estructura de soporte en una unidad de guiñada respectiva (12) para guiñar alrededor del eje principal de la estructura de soporte; incluyendo además un sistema de control que se configura para controlar el ángulo de guiñada de cada una de la primera y segunda disposiciones de brazo de soporte, en donde el sistema de control se configura para identificar la presencia de una condición de desconexión predeterminada y, en respuesta, el sistema de control se puede operar para controlar los ángulos de guiñada de la primera disposición de brazo de soporte y de la segunda disposición de brazo de soporte para un estado seguro predeterminado caracterizado por que, el sistema de control se puede operar para configurar los ángulos de guiñada de la primera disposición de brazo de soporte y la segunda disposición de brazo de soporte a una posición segura predeterminada en la que el ángulo de guiñada de la primera disposición de brazo de soporte es diferente al ángulo de guiñada de la segunda disposición de brazo de soporte.
2. La turbina eólica de la reivindicación 1, en donde, en condiciones seguras, ambas disposiciones de brazo de soporte se controlan de manera que sean sustancialmente paralelas a la dirección del viento.
3. El sistema de turbina eólica de la reivindicación 1, en donde la diferencia en el ángulo de guiñada de la primera y segunda disposiciones de brazo de soporte es de al menos 90 grados.
4. La turbina eólica de la reivindicación 3, en donde la diferencia en el ángulo de guiñada de la primera y segunda disposiciones de brazo de soporte está entre 150 y 210 grados.
5. El sistema de turbina eólica de las reivindicaciones 1 o 3 a 4, en donde el sistema de control se configura para establecer el ángulo de guiñada de la primera y segunda disposiciones de brazo de soporte en un valor para que ni el primer par de turbinas eólicas ni el segundo par de turbinas eólicas se enfrente al viento.
6. El sistema de turbina eólica de la reivindicación 5, en donde el sistema de control se configura para establecer el ángulo de guiñada de al menos la primera disposición de brazo de soporte en un valor entre 240 y 270 grados con respecto a la dirección del viento.
7. El sistema de turbina eólica de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que incluye un tercer par de turbinas eólicas montadas en una tercera disposición de brazo de soporte, que se monta a su vez en la estructura de soporte mediante una unidad de guiñada.
8. El sistema de turbina eólica de la reivindicación 7, en donde el sistema de control se configura para establecer un ángulo de guiñada de la disposición de tercer brazo de soporte en un valor que es diferente al ángulo de guiñada de la primera y segunda disposiciones de brazo de soporte.
9. El sistema de turbina eólica de las reivindicaciones 1 o 3 a 8, en donde el sistema de control se puede operar para guiñar la primera disposición de brazo de soporte y la segunda disposición de brazo de soporte alrededor de la estructura de soporte al mismo tiempo, mientras se mantiene la misma diferencia de ángulo de guiñada entre las mismas.
10. La turbina eólica de cualquier reivindicación precedente, en donde al controlar el ángulo de guiñada de la primera y segunda disposiciones de brazo de soporte, el sistema de control se puede operar para controlar una unidad de guiñada respectiva de cada una de la primera y segunda disposiciones de brazo de soporte.
11. La turbina eólica de cualquier reivindicación anterior, en donde al controlar el ángulo de guiñada de la primera y segunda disposiciones de brazo de soporte, el sistema de control se puede operar para bloquear la primera unidad de guiñada en un ángulo dado y dejar que la segunda unidad de guiñada se oriente libremente.
12. La turbina eólica de cualquier reivindicación anterior, en donde al controlar el ángulo de guiñada de la primera y segunda disposiciones de brazo de soporte, el sistema de control se puede operar para controlar los ángulos de inclinación diferenciales de las palas de las turbinas eólicas de modo que se produzca un empuje diferencial entre cada par de turbinas eólicas montadas en una respectiva de la primera y segunda disposiciones de brazo de soporte.
13. Un método para controlar un sistema de turbina eólica (2) que tiene un primer par (6a) de turbinas eólicas montadas en una estructura de soporte mediante una primera disposición de brazo de soporte (10a), y un segundo par (6b) de turbinas eólicas montadas en la estructura de soporte mediante una segunda disposición de brazo de soporte (10b), en donde la primera y segunda disposiciones de brazo de soporte se montan en la estructura de soporte en una

- unidad de guiñada respectiva (12) para guiñar alrededor del eje mayor de la estructura de soporte; en donde el método comprende identificar la presencia de una condición de desconexión predeterminada y, dependiendo de ello, controlar los ángulos de guiñada de la primera disposición de brazo de soporte y la segunda disposición de brazo de soporte para un estado seguro predeterminado;
- 5 caracterizado por que los ángulos de guiñada de la primera disposición de brazo de soporte y la segunda disposición de brazo de soporte están configurados en una posición segura predeterminada en la que el ángulo de guiñada de la primera disposición de brazo de soporte es diferente al ángulo de guiñada de la segunda disposición de brazo de soporte.

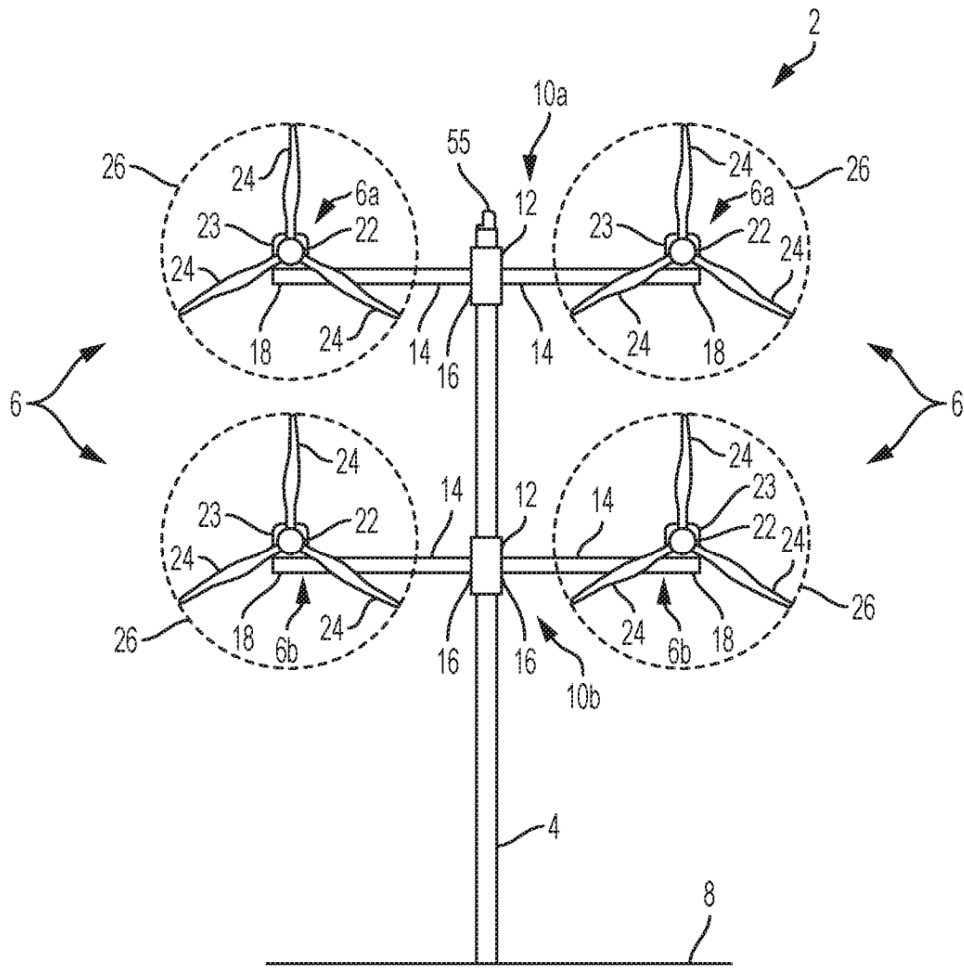


FIG. 1

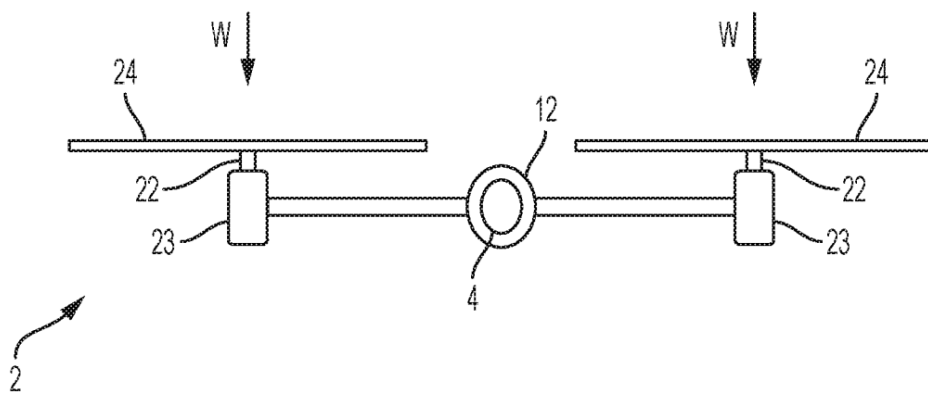


FIG. 2

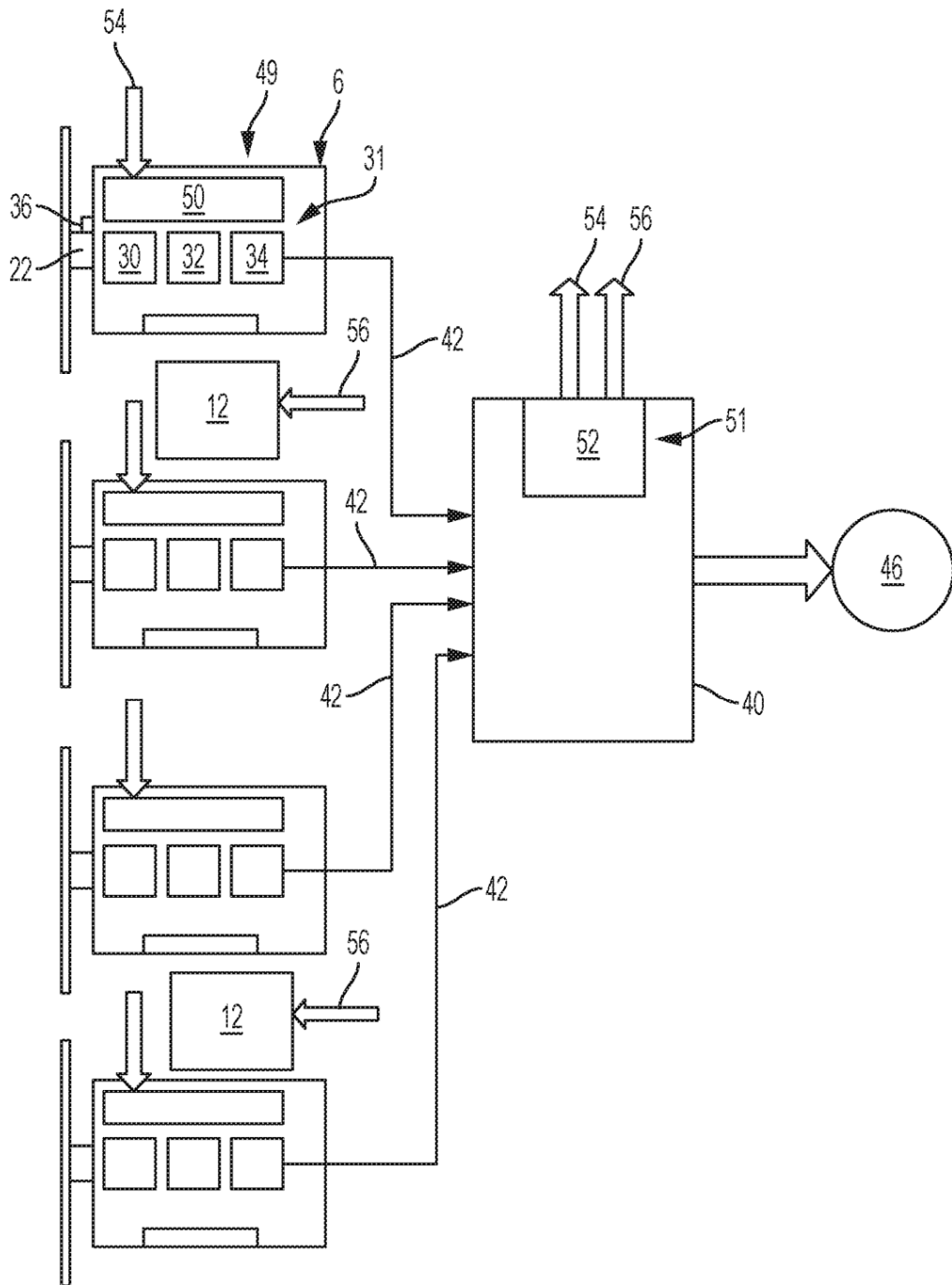


FIG. 3

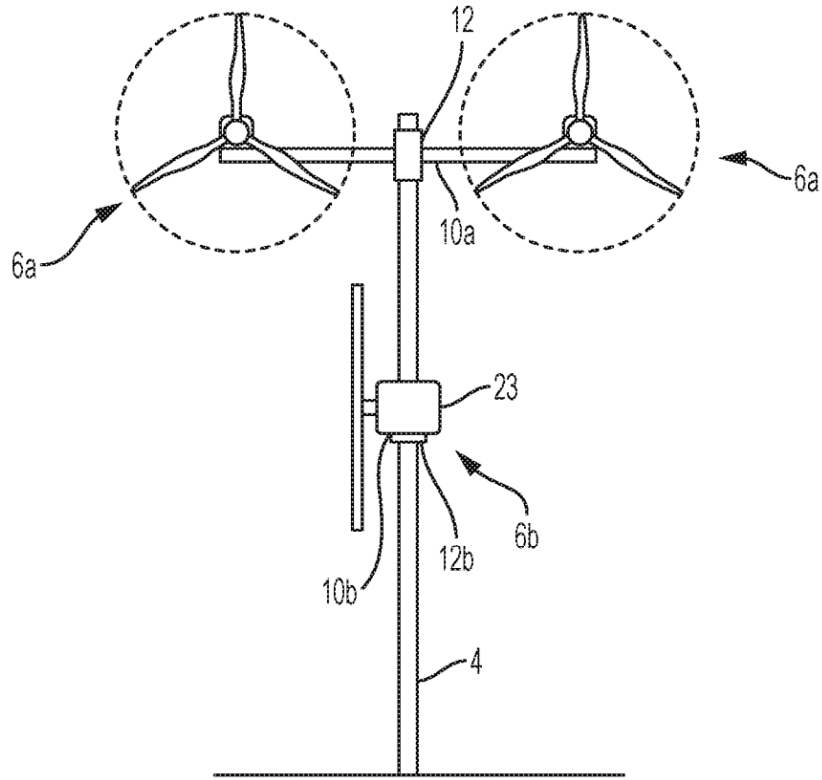


FIG. 4

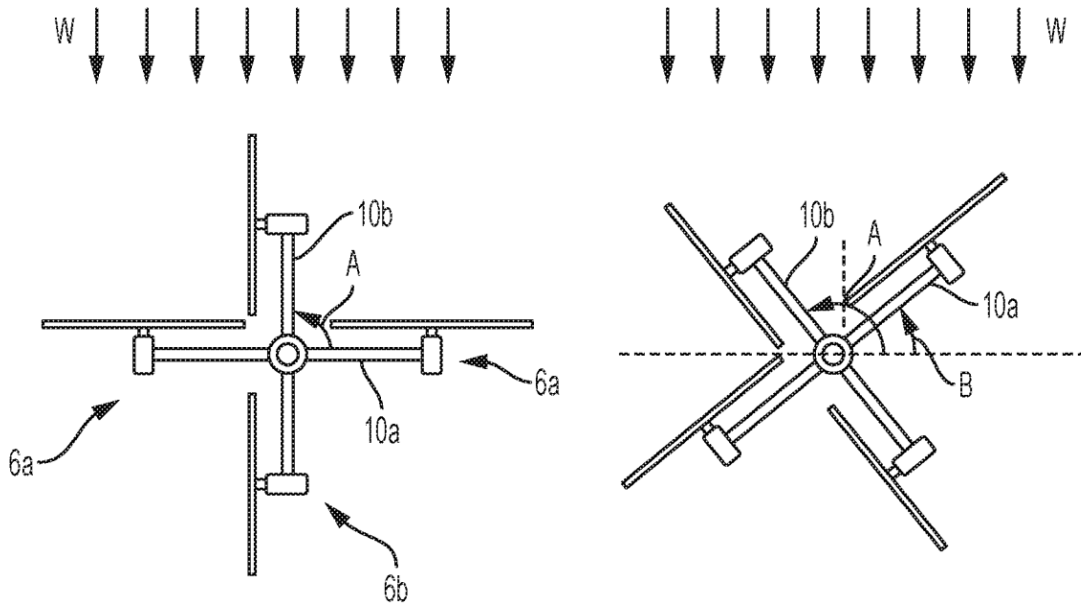


FIG. 5A

FIG. 5B

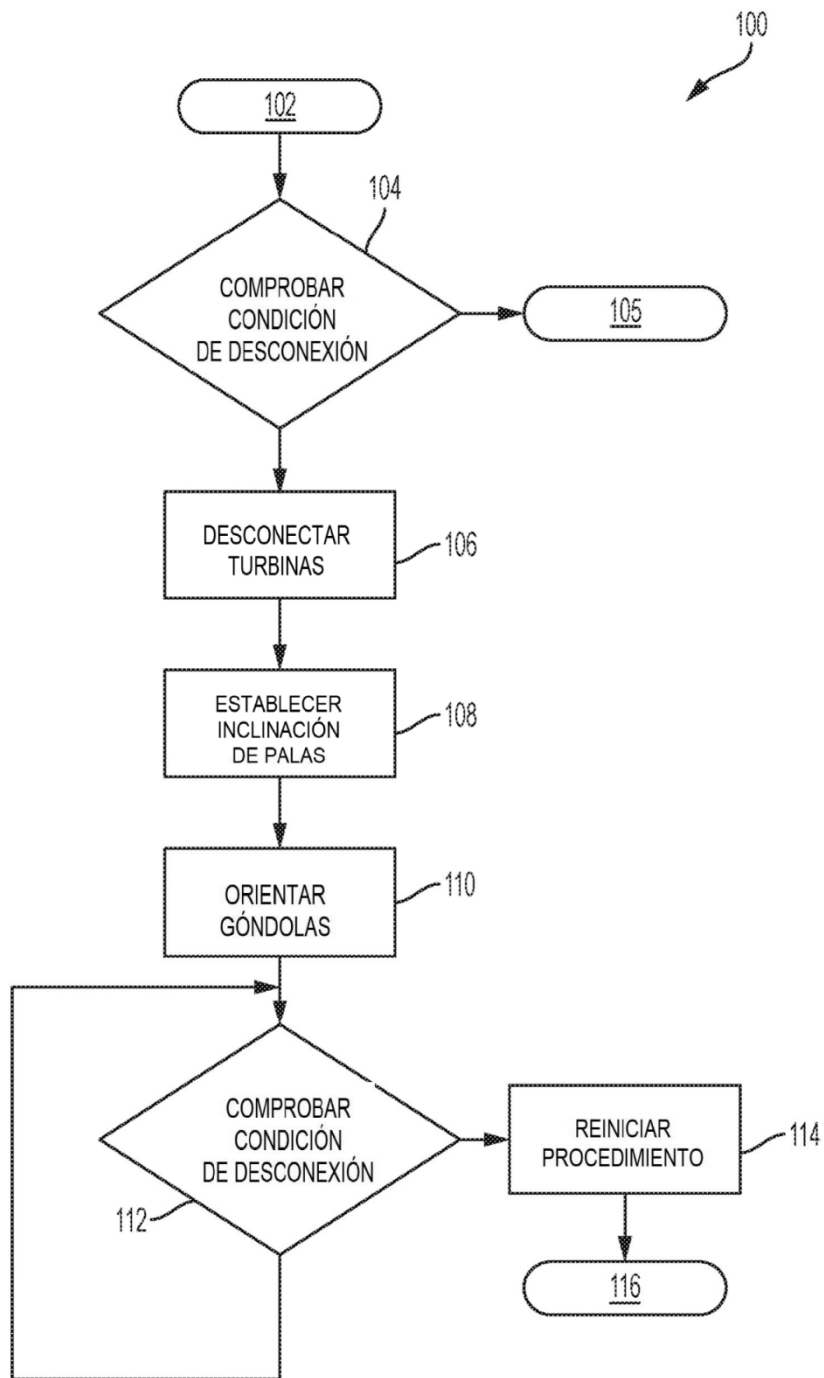


FIG. 6

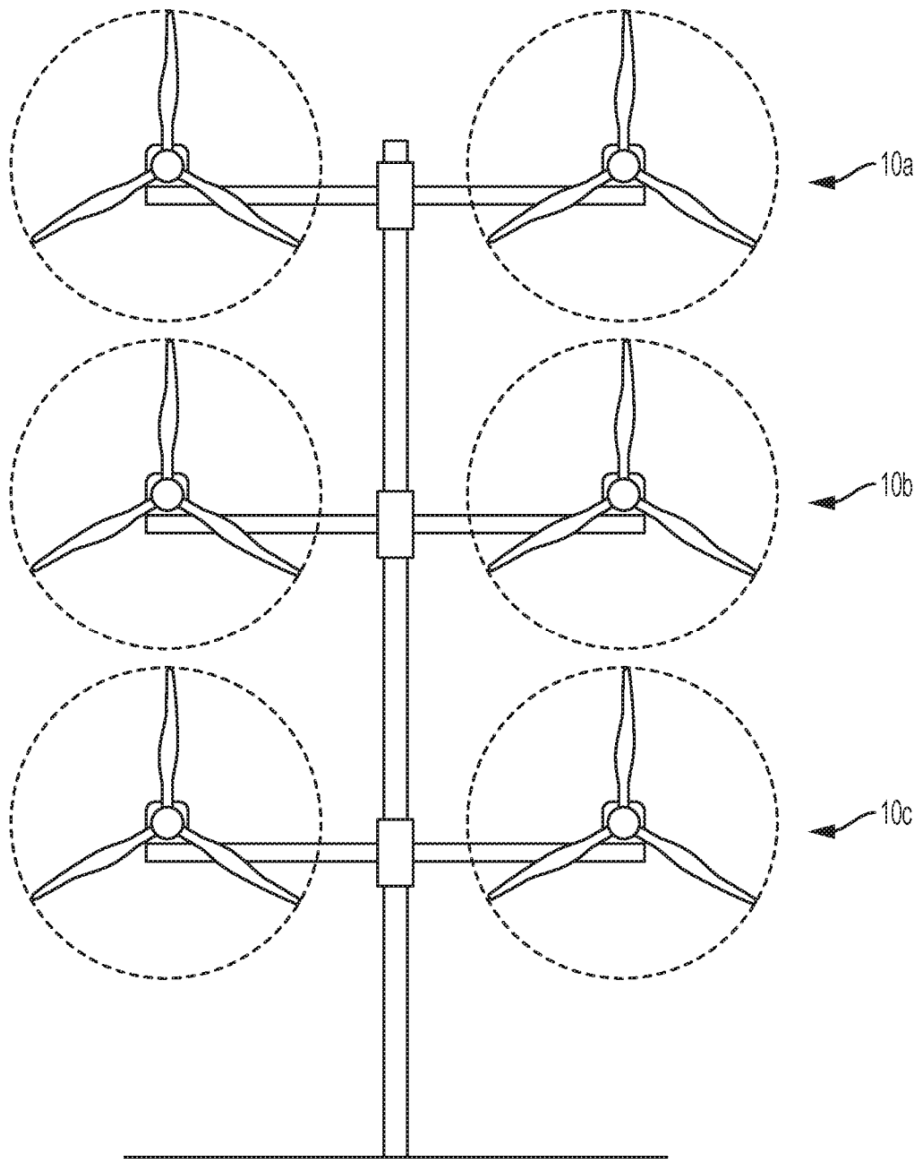


FIG. 7



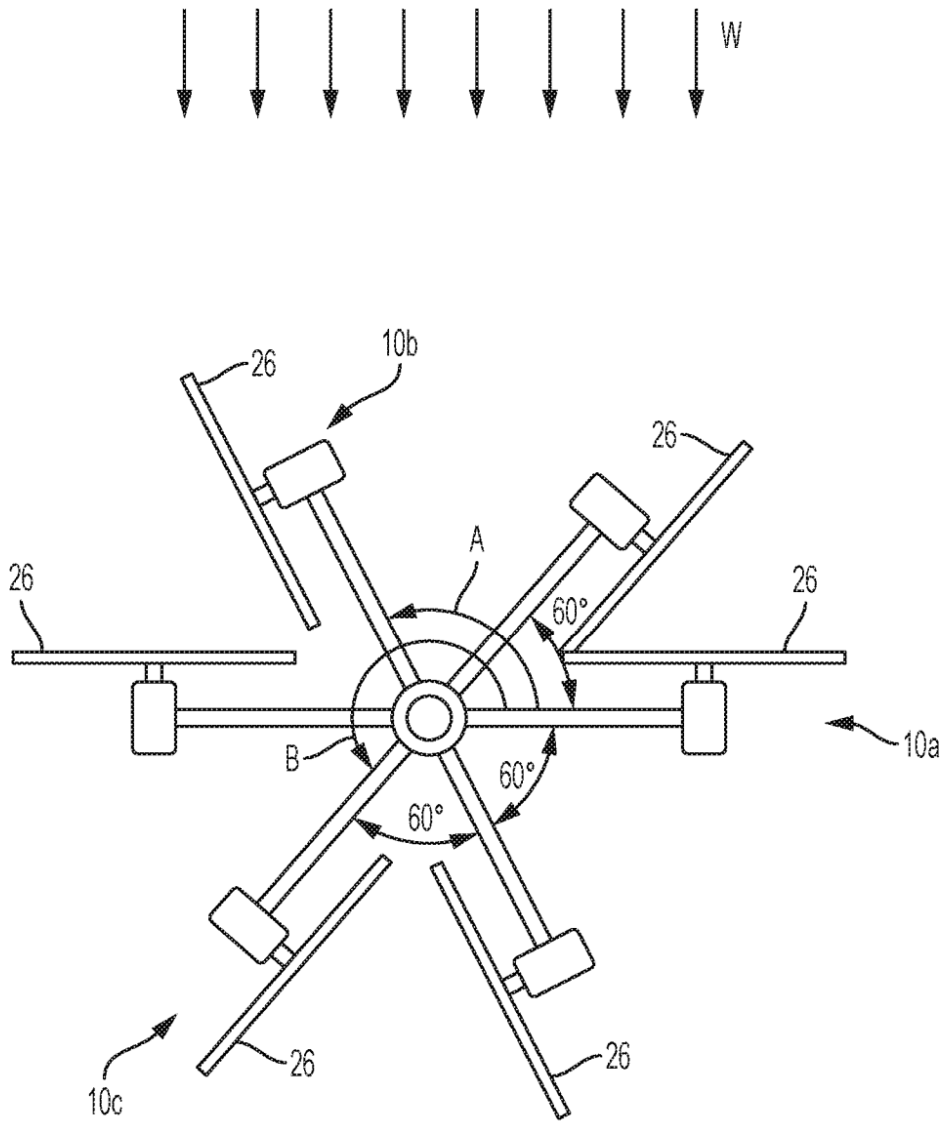


FIG. 8

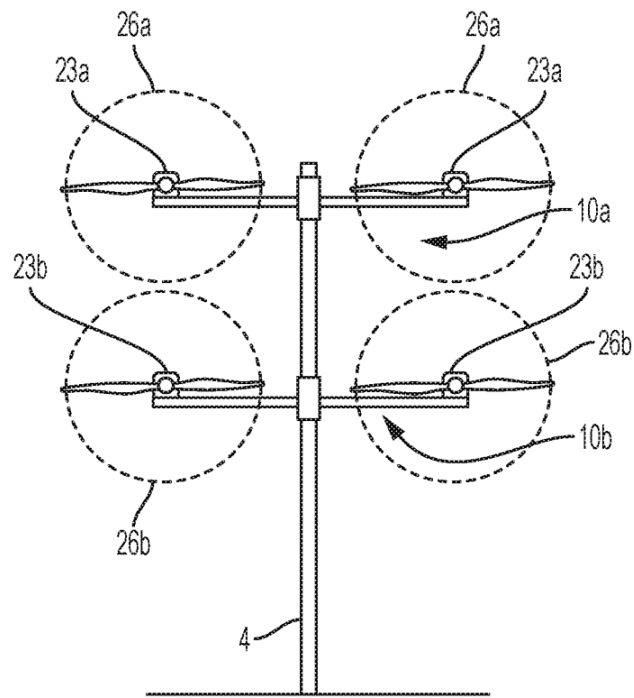


FIG. 9

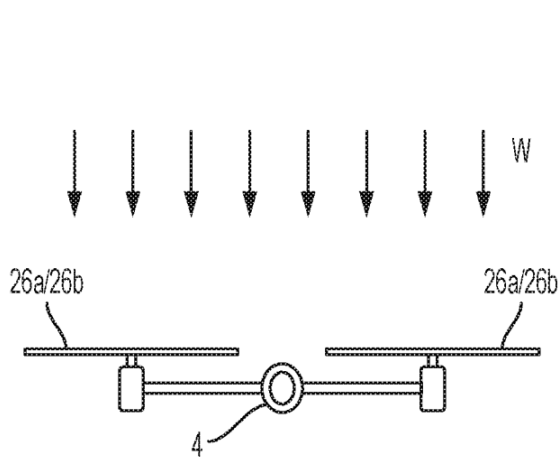


FIG. 10A

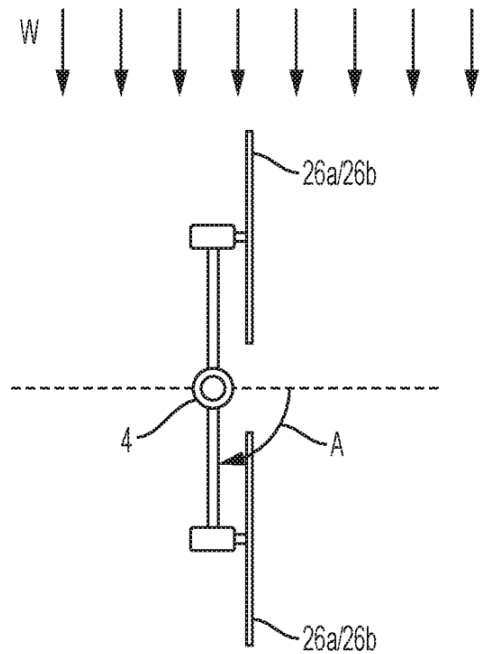


FIG. 10B

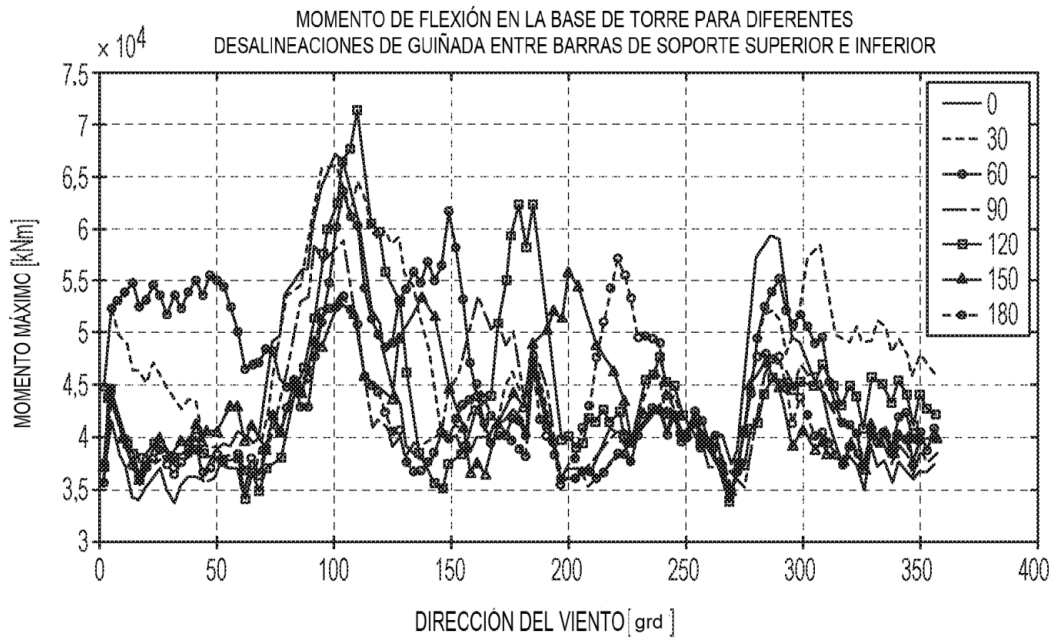
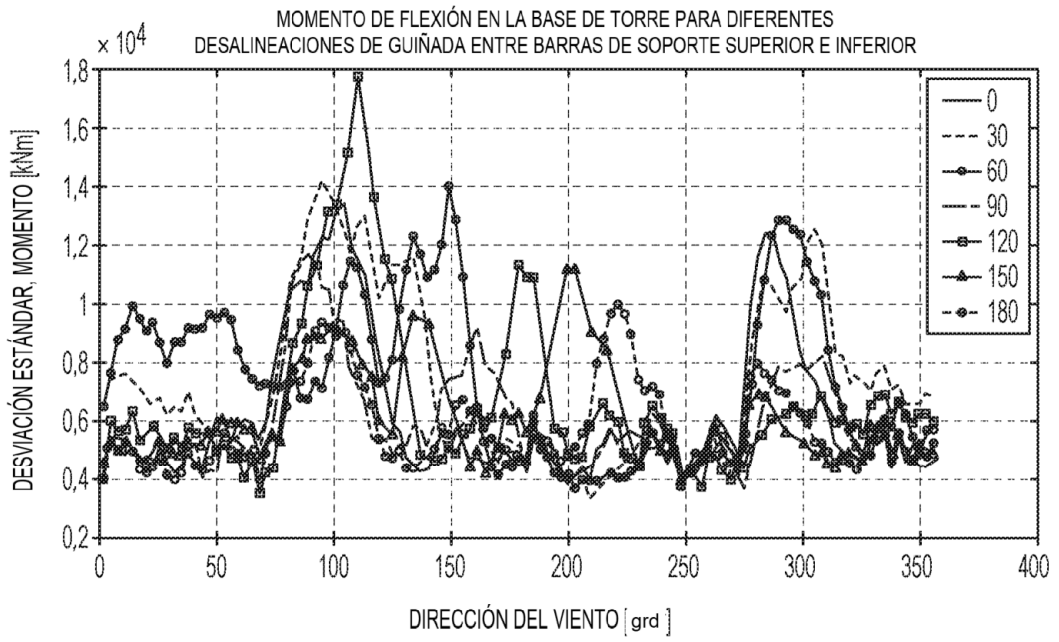


FIG. 11