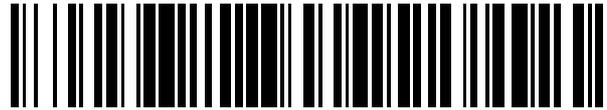


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 397 550**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/04** (2006.01)

**G01B 5/24** (2006.01)

**G01B 7/30** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.09.2010 E 10178768 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.11.2012 EP 2302210**

54 Título: **Sistema de medición del ángulo de acimut**

30 Prioridad:

**29.09.2009 US 569568**

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

**07.03.2013**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)  
1 River Road  
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**MENG, GAO**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 397 550 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 medición del ángulo de acimut

5 Las realizaciones descritas en el presente documento versan, en general, acerca de un sistema de medición del ángulo de acimut y, más en particular, acerca de un sistema de medición del ángulo de acimut para ser utilizado con una turbina eólica.

Al menos algunas de las turbinas eólicas conocidas incluyen góndolas que pivotan en torno a una torre hasta un ángulo de acimut correspondiente a una dirección del viento. Para medir el ángulo de acimut con el que está colocada la góndola, al menos algunas turbinas eólicas conocidas incluyen sistemas de medición del ángulo de acimut.

10 El sistema de medición del ángulo de acimut puede incluir un codificador dentro de los motores de guiñada que cuenta una rotación del motor para calcular el ángulo de acimut. Sin embargo, el codificador es sensible a al menos cierto ruido eléctrico, que afecta a la precisión del cálculo del ángulo de acimut. Además, se requiere que se utilicen motores de guiñada especiales que incluyen el codificador dentro de la turbina eólica para permitir que se calcule el ángulo de acimut.

15 Otro sistema conocido de medición del ángulo de acimut incluye una pluralidad de sensores inductivos de proximidad colocados adyacentes a un anillo dentado de guiñada de la turbina eólica. Los sensores inductivos de proximidad cuentan una rotación de los dientes del anillo de guiñada. Más específicamente, cuando los dientes del anillo dentado de guiñada pasan por cada sensor inductivo de proximidad, se genera una señal de impulsos. La señal de impulsos indica un número de dientes que han rotado por el sensor inductivo de proximidad. Del número de  
20 dientes, se puede calcular un ángulo de rotación de la góndola para determinar el ángulo de acimut de la góndola. En al menos un sistema conocido de medición del ángulo de acimut, hay separados dos sensores inductivos de proximidad en una dirección horizontal para identificar una dirección de rotación basada en qué sensor es accionado en primer lugar en una serie de impulsos.

25 Sin embargo, los sensores inductivos de proximidad son sensibles a las vibraciones en una placa de asiento de la góndola y/o a una contaminación de grasa procedente del anillo dentado de guiñada. Además, la señal de impulsos no puede reflejar directamente un ángulo absoluto de acimut. Más bien, se utiliza una relación entre el ángulo absoluto de acimut y el número de impulsos para determinar indirectamente el ángulo de acimut. Sin embargo, se puede perder la relación entre el ángulo absoluto de acimut y el número de impulsos, especialmente después de un mantenimiento y/o una corriente de sobrevoltaje, tal como una interrupción inesperada de corriente. Además, una  
30 resolución del ángulo de acimut está limitada por un número de dientes del anillo dentado de guiñada, que está fijado por el diseño del anillo dentado de guiñada. Por ejemplo, si el anillo dentado de guiñada incluye 128 dientes, la resolución está fijada a  $360^\circ/128$  dientes, o una resolución de  $2,8^\circ$ . Tal resolución puede ser demasiado baja para cumplir al menos algunos requerimientos de estrategias avanzadas de control. Además, tanto el codificador como los sensores inductivos de proximidad requieren un sistema de guiñada que tiene un accionador de guiñada que  
35 puede no ser aplicable para otros tipos de sistemas de guiñada.

En consecuencia, es deseable proporcionar un sistema de medición del ángulo de acimut que pueda ser utilizado con muchos tipos de sistemas de guiñada. Además, es deseable proporcionar un sistema de medición del ángulo de acimut que es resistente a las vibraciones y/o a las contaminaciones. Además, es deseable proporcionar un sistema de medición del ángulo de acimut que pueda medir directamente el ángulo de acimut con una resolución elevada.

40 En un aspecto según la presente invención, se proporciona un sistema de medición del ángulo de acimut. El sistema de medición del ángulo de acimut incluye un anillo girable, un hilo acoplado en un primer extremo al anillo, un dispositivo de medición de la longitud configurado para medir una longitud de una porción del hilo que se extiende desde el anillo, y un sistema de control configurado para determinar un ángulo de acimut con base en la longitud de la porción del hilo que se extiende desde el anillo.

45 En otro aspecto, se proporciona una turbina eólica. La turbina eólica incluye una torre, una góndola que puede girar con respecto a la torre, y un sistema de medición del ángulo de acimut. El sistema de medición del ángulo de acimut incluye un anillo acoplado a la góndola y configurado para girar con la góndola, un hilo acoplado en un primer extremo al anillo, y un dispositivo de medición de la longitud acoplado con respecto al hilo. El dispositivo de medición de la longitud está configurado para medir una longitud de una porción del hilo que se extiende desde el anillo. El  
50 sistema de medición del ángulo de acimut incluye, además, un sistema de control configurado para determinar un ángulo de acimut con base en la longitud de la porción del hilo que se extiende desde el anillo.

Las realizaciones descritas en el presente documento incluyen un dispositivo de medición de la longitud que mide una longitud de un hilo para determinar un ángulo de acimut con base en una relación entre la longitud del hilo y una cantidad de rotación de una góndola.

55 Se describirán ahora diversos aspectos y realizaciones de la presente invención en conexión con los dibujos adjuntos, en los que:

Las Figuras 1-9 muestran realizaciones ejemplares de los sistemas y del procedimiento descritos en el presente documento.

La Fig. 1 es una vista en perspectiva de una turbina eólica ejemplar.

La Fig. 2 es una vista en planta de una góndola de la turbina eólica mostrada en la Fig. 1 en una posición inicial.

5 La Fig. 3 es una vista en planta de una góndola de la turbina eólica mostrada en la Fig. 1 en una primera posición girada.

La Fig. 4 es una vista esquemática de un sistema ejemplar de medición del ángulo de acimut que puede ser utilizado con la turbina eólica mostrada en la Fig. 1.

10 La Fig. 5 es una vista esquemática en planta de un anillo ejemplar que puede ser utilizado con el sistema de medición del ángulo de acimut mostrado en la Fig. 4.

La Fig. 6 es un diagrama de flujo de un procedimiento que puede ser utilizado con el sistema de medición del ángulo de acimut mostrado en las Figuras 4 y 5.

La Fig. 7 es una vista esquemática del sistema de medición del ángulo de acimut mostrado en la Fig. 6 en la posición inicial.

15 La Fig. 8 es una vista esquemática del sistema de medición del ángulo de acimut mostrado en la Fig. 6 en una primera posición girada.

La Fig. 9 es una vista esquemática del sistema de medición del ángulo de acimut mostrado en la Fig. 6 en una segunda posición girada.

20 Las realizaciones descritas en el presente documento utilizan un dispositivo de medición de la longitud para medir y/o monitorizar un ángulo de acimut de una turbina eólica. Las realizaciones descritas en el presente documento incluyen un anillo, un hilo, un plomo de plomada, y un dispositivo de medición de la longitud para medir directamente el ángulo de acimut. Más específicamente, cuando una góndola de la turbina eólica se encuentra en una posición inicial, se enrolla el hilo varias rotaciones sobre el anillo durante la preinstalación. Cuando la góndola gira desde la posición inicial en una primera dirección, el hilo se desenrollará del anillo y, cuando la góndola gira en una segunda dirección que es opuesta a la primera dirección, el hilo se enrollará sobre el anillo. Un cambio en la longitud del hilo que está desenrollada del anillo indica un cambio en el ángulo de acimut. Como tal, se puede medir y monitorizar la longitud de la porción desenrollada del hilo por medio del dispositivo de medición de la longitud, y se puede colocar la góndola en un ángulo deseado de acimut con base en las mediciones.

25 Según se utiliza en el presente documento, el término "vertical" hace referencia a una dirección que es sustancialmente paralela a un eje Z de la turbina eólica, los términos "arriba", "hacia arriba", "superior", y variaciones de los mismos hacen referencia a una dirección o ubicación relativa a lo largo de un eje Z de la turbina eólica en una dirección positiva, y los términos "abajo", "hacia abajo", "inferior", y variaciones de los mismos hacen referencia a una dirección o ubicación relativa a lo largo del eje Z de la turbina eólica en una dirección negativa.

30 La Fig. 1 es una vista en perspectiva de una turbina eólica ejemplar 10. La Fig. 2 es una vista en planta de una góndola 16 de la turbina eólica 10 en una posición inicial 146. La Fig. 3 es una vista en planta de la góndola 16 en una primera posición girada 148.

35 En la realización ejemplar, la turbina eólica 10 es una turbina eólica de eje casi horizontal, sin embargo, la turbina eólica 10 puede tener cualquier ángulo adecuado de inclinación. De forma alternativa, la turbina eólica 10 puede ser una turbina eólica de eje vertical. En la realización ejemplar, la turbina eólica 10 incluye una torre 12 que se extiende desde una superficie 14 de soporte, una góndola 16 montada de forma giratoria sobre la torre 12, y un rotor 18 que está acoplado a la góndola 16. El rotor 18 incluye un cubo giratorio 20 y al menos una pala 22 acoplada al cubo 20, y que se extiende hacia fuera desde el mismo. En la realización ejemplar, el rotor 18 tiene tres palas 22. En una realización alternativa, el rotor 18 incluye más o menos de tres palas 22. En la realización ejemplar, la torre 12 está fabricada de acero tubular, de forma que una cavidad 24 está definida entre la superficie 14 de soporte y la góndola 40 16. En una realización alternativa, la torre 12 es cualquier tipo adecuado de torre. Se selecciona una altura de la torre 12 con base en factores y condiciones conocidos en la técnica.

45 Las palas 22 están separadas en torno al cubo 20 para facilitar el giro del rotor 18 para permitir que la energía cinética sea transferida del viento en energía mecánica utilizable, y subsiguientemente, en energía eléctrica. La pala 22 está acoplada al cubo 20 al acoplar una porción 26 de raíz de la pala al cubo 20 en una región respectiva 28 de transferencia de carga. Las regiones 28 de transferencia de carga tienen una región de cubo de transferencia de carga y una región de pala de transferencia de carga (ninguna mostrada en la Fig. 1). Las cargas inducidas en las palas 22 son transferidas al cubo 20 por medio de regiones 28 de transferencia de carga.

En la realización ejemplar, las palas 22 tienen una longitud de más de aproximadamente 100 metros (m). De forma alternativa, las palas 22 pueden tener cualquier longitud que permita que la turbina eólica 10 funcione como se describe en el presente documento. Según impacta el viento en las palas 22 desde una dirección 30 del viento, el rotor 18 gira en torno a un eje de rotación 32. Según giran las palas 22 y son sometidas a fuerzas centrífugas, las palas 22 también son sometidas a diversos momentos y fuerzas. Como tal, las palas 22 pueden flexionarse y/o girar desde una posición neutral, o no flexionada, hasta una posición flexionada. Además, se puede cambiar un ángulo de paso de las palas 22, es decir un ángulo que determina una perspectiva de las palas 22 con respecto a la dirección 30 del viento, por medio de un sistema 34 de ajuste del paso para controlar la energía generada por la turbina eólica 10 al ajustar una posición angular de un perfil de al menos una pala 22 con respecto al vector del viento. Se muestran los ejes 36 de paso para las palas 22. En la realización ejemplar, se controla individualmente un paso de cada pala 22 por medio de un sistema 38 de control. De forma alternativa, se puede controlar simultáneamente el paso de pala para todas las palas por medio del sistema 38 de control.

Además, en la realización ejemplar, según cambia la dirección 30 del viento, se puede controlar una dirección de guiñada de la góndola 16 en torno a un eje 40 de guiñada para colocar las palas 22 con respecto a la dirección 30 del viento. En el presente documento se denomina ángulo  $\theta$  de acimut al ángulo descrito por la góndola 16 al girar en torno al eje 40 de guiñada. Se toma el ángulo  $\theta$  de acimut con respecto a un eje X 42 y a un eje Y 44. Un eje Z 46 es paralelo al eje 40 de guiñada y perpendicular al eje X 42 y al eje Y 44. En la realización ejemplar, la góndola 16 gira en un plano X-Y con respecto a un ángulo de acimut que coloca las palas 22 con respecto a la dirección 30 del viento. En una realización, se selecciona el ángulo  $\theta$  de acimut de forma que el eje 32 de rotación es generalmente paralelo a la dirección 30 del viento. Se controla el ángulo  $\theta$  de acimut de la góndola 16 utilizando un sistema 48 de guiñado acoplado entre la góndola 16 y la torre 12. El sistema 38 de control está acoplado en comunicación, tal como una comunicación operativa de control, al sistema 48 de guiñada para el control y/o la monitorización del mismo.

En la realización ejemplar, se muestra que el sistema 38 de control está centralizado dentro de la góndola 16, sin embargo, el sistema 38 de control puede ser un sistema distribuido por toda la turbina eólica 10, sobre la superficie 14 de soporte, en un parque eólico, y/o en un centro remoto de control. Además, en la realización ejemplar, un cable 50 se extiende desde el sistema 38 de control hasta al menos una superficie 14 de soporte a través de la cavidad 24 para proporcionar un enlace de comunicaciones con al menos un dispositivo exterior a la turbina eólica 10.

El sistema 38 de control incluye un procesador 52 configurado para llevar a cabo los procedimientos y/o etapas descritos en el presente documento. Además, muchos de los otros componentes descritos en el presente documento incluyen un procesador. Según se utiliza en el presente documento, el término "procesador" no está limitado a circuitos integrados denominados en la técnica ordenador, pero hace referencia en términos generales a un controlador, a un microcontrolador, a un microordenador, a un controlador lógico programable (PLC), a un circuito integrado de aplicación específica, y a otros circuitos programables, y se utilizan estos términos de forma intercambiable en el presente documento. Se debería comprender que un procesador y/o sistema de control también puede incluir memoria, canales de entrada, y/o canales de salida.

En las realizaciones descritas en el presente documento, la memoria puede incluir, sin limitación, un medio legible por ordenadores, tal como una memoria de acceso aleatorio (RAM), y un medio no volátil legible por ordenadores, tal como memoria *flash*. De forma alternativa, también se puede utilizar un disquete, un disco compacto solo para lectura de memoria (CD-ROM), un disco magnetoóptico (MOD), y/o un disco versátil digital (DVD). Además, en las realizaciones descritas en el presente documento, los canales de entrada pueden incluir, sin limitación, sensores y/o periféricos de ordenador asociados con una interfaz de operario, tal como un ratón y un teclado. Además, en la realización ejemplar, los canales de salida pueden incluir, sin limitación, un dispositivo de control, un monitor de interfaz de operario y/o un medio de visualización.

Los procesadores descritos en el presente documento procesan información transmitida desde una pluralidad de dispositivos eléctricos y electrónicos que pueden incluir, sin limitación, sensores, accionadores, compresores, sistemas de control, y/o dispositivos de monitorización. Tales procesadores pueden estar ubicados físicamente, por ejemplo, en un sistema de control, un sensor, un dispositivo de monitorización, un ordenador de sobremesa, un ordenador portátil, un armario de PLC, y/o un armario de un sistema distribuido de control (DCS). La RAM y los dispositivos de almacenamiento almacenan y transfieren información e instrucciones que van a ser ejecutadas por el o los procesadores. La RAM y los dispositivos de almacenamiento también pueden ser utilizados para almacenar y proporcionar variables temporales, información e instrucciones estáticas (es decir, no cambian), u otra información intermedia a los procesadores durante la ejecución de instrucciones por medio del o de los procesadores. Las instrucciones que son ejecutadas pueden incluir, sin limitación, instrucciones de control de la turbina eólica. La ejecución de secuencias de instrucciones no está limitada a ninguna combinación específica de circuitería de *hardware* y de instrucciones de *software*.

La Fig. 4 es una vista esquemática de un sistema ejemplar 100 de medición del ángulo de acimut que puede ser utilizado con una turbina eólica 10 (mostrada en la Fig. 1). La Fig. 5 es una vista esquemática en planta de un anillo ejemplar 102 que puede ser utilizado con el sistema 100 de medición del ángulo de acimut. En la realización ejemplar, el sistema 100 de medición del ángulo de acimut incluye un anillo 102, un hilo 104, y un dispositivo 106 de

medición de la longitud. Según se hace referencia en el presente documento, el término “hilo” hace referencia a un ligamento que es flexible y sustancialmente inelástico y/o no deformable bajo condiciones normales operativas. Los ejemplos de un hilo, según se denomina en el presente documento, incluyen, sin limitación, se puede utilizar cualquier cable, cordón, línea, cuerda, unión, y/o hilo adecuado como el hilo 104.

5 En la realización ejemplar, el anillo 102 incluye un surco 108 definido en torno a una circunferencia del anillo 102. El surco 108 tiene cualquier configuración adecuada que permita que el hilo 104 sea enrollado en torno a un anillo 102, y sea retenido en el mismo. Además, en la realización ejemplar, el anillo 102 incluye dos segmentos 110 y 111, como se muestra en la Fig. 5. De forma alternativa, el anillo 102 puede estar formado de una pieza unitaria o incluye más de dos segmentos 110 y 111. En la realización ejemplar, el segmento 110 incluye un primer reborde 112 en un primer extremo 114 del mismo y un segundo reborde 116 en un segundo extremo 118 del mismo. De forma similar, el segmento 111 incluye un primer reborde 113 en un primer extremo 115 del mismo y un segundo reborde 117 en un segundo extremo 119 del mismo. Cada reborde 112, 113, 116 y/o 117 incluye cualquier medio adecuado de acoplamiento, tal como un agujero para perno, para acoplar los segmentos 110 y 111 entre sí en los rebordes 112 y 117 y en los rebordes 116 y 113. Cuando están montados, los segmentos 110 y 111 definen una abertura 120 del anillo 102. Haciendo referencia de nuevo a la Fig. 4, el anillo 102 incluye, además, un soporte 122 que acopla el anillo 102 a la góndola 16, por ejemplo, en una placa base 54 de la góndola 16. El soporte 122 fija una posición del anillo 102 con respecto a la placa base 54, de forma que un anillo 102 gira con la placa base 54 y/o la góndola 16.

El hilo 104 tiene un primer extremo 124 que está acoplado al anillo 102 y un segundo extremo 126 que está acoplado a un plomo 128 de plomada. Según se utiliza en el presente documento, la expresión “plomo de plomada” hace referencia a un dispositivo que tensa el hilo 104 cuando la gravedad actúa sobre el dispositivo. Los ejemplos de un plomo de plomada incluyen, sin limitación, un peso, y/o cualquier componente adecuado que elimina la falta de tirantez en el hilo 104, y/o aplica tensión al mismo, mientras que permite que el sistema 100 de medición del ángulo de acimut funcione como se describe en el presente documento. En la realización ejemplar, el plomo 128 de plomada y al menos una porción del hilo 104 están colocados dentro de un tubo 130 de guía que está orientado sustancialmente paralelo al eje Z 46. El hilo 104 y el plomo 128 de plomada son libremente amovibles verticalmente dentro del tubo 130 de guía entre un extremo superior 132 del tubo 130 de guía y un extremo inferior 134 del tubo 130 de guía. El tubo 130 de guía está acoplado a la torre 12 utilizando un soporte 136, de forma que el tubo 130 de guía es estacionario con respecto a la torre 12. Como tal, el anillo 102 y/o la góndola 16 giran con respecto al tubo 130 de guía. En la realización ejemplar, el extremo superior 132 del tubo 130 de guía es próximo al anillo 102, y el extremo inferior 134 del tubo 130 de guía es próximo a un bastidor 138. El tubo 130 de guía está formado de una o más piezas.

En la realización ejemplar, el soporte 136 está acoplado al bastidor 138 que se extiende al interior de la cavidad 24 desde una superficie interna 56 de la torre 12. El bastidor 138 está dimensionado para permitir a una porción 140 del hilo 104 que se extiende desde el anillo 102, y/o no está enrollada en torno al mismo, que esté orientada sustancialmente paralelo al eje Z 46 y con un ángulo sustancialmente recto con respecto a una porción 142 del hilo 104 que está enrollada en torno al anillo 102 y/o a un diámetro D del anillo 102. Aunque se hace referencia a continuación a la porción desenrollada 140, se debería comprender que la porción 140 hace referencia a una porción del hilo 104 que se extiende desde el anillo 102. El dispositivo 106 de medición de la longitud está soportado sobre el bastidor 138 adyacente al extremo inferior 134 del tubo 130 de guía.

El dispositivo 106 de medición de la longitud está configurado para determinar una posición del plomo 128 de plomada dentro del tubo 130 de guía. En la realización ejemplar, el dispositivo 106 de medición de la longitud es un sensor lineal de tipo contacto que está acoplado al plomo 128 de plomada utilizando, por ejemplo, un cable 144. De forma alternativa, el dispositivo 106 de medición de la longitud es un dispositivo de medición de la longitud de tipo sin contacto, tal como un láser, un dispositivo óptico y/o magnético de medición de la longitud, que no está acoplado al plomo 128 de plomada. En la realización ejemplar, el dispositivo 106 de medición de la longitud está acoplado en comunicación con el sistema 38 de control para transmitir una longitud medida de la porción desenrollada 140 del hilo 104 al sistema 38 de control.

Para montar el sistema 100 de medición del ángulo de acimut, hay acoplado un primer segmento 110 del anillo 102 a la placa base 54 utilizando el soporte 122. Un segundo segmento 110 del anillo 102 está acoplado al primer segmento 110, de forma que el cable 50 se extiende a través de la abertura 120 del anillo 102 hasta la superficie 14 de soporte. Entonces, el primer extremo 124 del hilo 104 está acoplado al anillo 102, y el hilo 104 está enrollado al menos parcialmente en torno al anillo 102. El plomo 128 de plomada está acoplado al segundo extremo 126 del hilo 104. El dispositivo 106 de medición de la longitud está acoplado al bastidor 138 directamente por debajo del plomo 128 de plomada cuando la porción desenrollada 140 del hilo 104 y el plomo 128 de plomada cuelgan libremente del anillo 102. El plomo 128 de plomada y al menos parte de la porción desenrollada 140 son insertados en el tubo 130 de guía desde el extremo superior 132, y se inserta el cable 144 del dispositivo 106 de medición de la longitud en el tubo 130 de guía desde el extremo inferior 134. Entonces, se acopla el cable 144 al plomo 128 de plomada. De forma alternativa, el cable 144 se acopla al plomo 128 de plomada y se monta el tubo 130 de guía en torno a la porción desenrollada 140, al plomo 128 de plomada y/o al cable 144. En la realización ejemplar, entonces se acopla el tubo 130 de guía al bastidor 138 utilizando el soporte 136, de forma que el tubo 130 de guía, la porción desenrollada 140, y el cable 144 están alineados de forma sustancialmente vertical.

La Fig. 6 es un diagrama de flujo de un procedimiento ejemplar 200 que puede ser utilizado con el sistema 100 de medición del ángulo de acimut (mostrado en las Figuras 4 y 5). La Fig. 7 es una vista esquemática del sistema 100 de medición del ángulo de acimut en la posición inicial 146. La Fig. 8 es una vista esquemática del sistema 100 de medición del ángulo de acimut en la primera posición girada 148. La Fig. 9 es una vista esquemática del sistema 100 de medición del ángulo de acimut en una segunda posición girada 150.

Al llevar a cabo el procedimiento 200, se determina el ángulo  $\theta$  de acimut de la góndola 16. El procedimiento 200 se lleva a cabo por medio del sistema 38 de control (mostrado en las Figuras 1 y 4) que envía órdenes y/o instrucciones a componentes de la turbina eólica 10. El procesador 52 (mostrado en las Figuras 1 y 4) dentro del sistema 38 de control está programado con segmentos de código configurados para llevar a cabo el procedimiento 200. De forma alternativa, se codifica el procedimiento 200 en un medio legible por un ordenador que es legible por el sistema 38 de control. En tal realización, el sistema 38 de control y/o el procesador 52 están configurados para leer el medio legible por un ordenador para llevar a cabo el procedimiento 200. En la realización ejemplar, se lleva a cabo automáticamente el procedimiento 200 de forma continua y/o en momentos seleccionados. De forma alternativa, el procedimiento 200 se lleva a cabo tras la solicitud de un operario de la turbina eólica 10 y/o cuando el sistema 38 de control determina que ha de llevarse a cabo el procedimiento 200.

Con referencia a las Figuras 1-9, el sistema 100 de medición del ángulo de acimut está montado como se ha descrito anteriormente de forma que el plomo 128 de plomada está acoplado a la góndola 16 utilizando el hilo 104 y el dispositivo 106 de medición de la longitud está acoplado a la torre 12. El procedimiento 200 incluye establecer 202 la posición inicial 146 del plomo 128 de plomada, como se muestra en la Fig. 7, y definir un ángulo de acimut de referencia en la posición inicial 146. Aunque en la Fig. 7 el plomo 128 de plomada está ubicado sustancialmente en el centro 152 del tubo 130 de guía, se puede establecer 202 la posición inicial 146 del plomo 128 de plomada en cualquier ubicación adecuada a lo largo del tubo 130 de guía. Como tal, al establecer 202 la posición inicial 146, el sistema 100 de medición del ángulo de acimut está calibrado para definir el ángulo de referencia, por ejemplo, a  $0^\circ$ . El sistema 100 de medición del ángulo de acimut puede volverse a calibrar en cualquier momento adecuado al volver a establecer la posición inicial 146 del plomo 128 de plomada y al asignar la posición inicial 146 el ángulo de acimut de  $0^\circ$ .

Según gira la góndola 16 en una primera dirección 154 hasta la primera posición girada 148 como se muestra en la Fig. 8, se desplaza 204 el plomo 128 de plomada verticalmente dentro del tubo 130 de guía. Por ejemplo, cuando el hilo 104 está enrollado en torno al anillo 102 en una dirección en un sentido contrario al de las agujas del reloj 158 como se muestra en la Fig. 5, y la góndola 16 gira en la primera dirección 154, el hilo 104 está enrollado en torno al anillo 102 según gira el anillo 102 con la góndola 16. El enrollamiento del hilo 104 desplaza 204 el plomo 128 de plomada hacia arriba a través del tubo 130 de guía. De forma similar, según gira 204 la góndola 16 en una segunda dirección 156 hasta la segunda posición girada 150 como se muestra en la Fig. 9, se desplaza 204 el plomo 128 de plomada verticalmente dentro del tubo 130 de guía. Más específicamente, según gira la góndola 16 en la segunda dirección 156, el hilo 104 es desenrollado del anillo 102 según gira el anillo 102 con la góndola 16. El desenrollamiento del hilo 104 mueve el plomo 128 de plomada hacia abajo a través del tubo 130 de guía. De forma alternativa, cuando se enrolla el hilo 104 en una dirección en el sentido de las agujas del reloj en torno al anillo 102, la rotación de la góndola 16 en la primera dirección 154 desenrolla el hilo 104 del anillo 102, y la rotación de la góndola 16 en la segunda dirección 156 enrolla el hilo 104 en torno al anillo 102.

Según se desplaza 204 el plomo 128 de plomada dentro del tubo 130 de guía, el dispositivo 106 de medición de la longitud determina 206 una longitud de la porción 140 del hilo 104 que se extiende desde el anillo 102. En una realización, el dispositivo 106 de medición de la longitud determina la longitud de la porción 140 al medir una longitud absoluta de la porción desenrollada 140 del hilo 104. En la realización ejemplar, el dispositivo 106 de medición de la longitud determina 206 mediante medición un desplazamiento del plomo 128 de plomada desde la posición inicial 146 y calcula una longitud de la porción desenrollada 140 del hilo 104 desde el desplazamiento del plomo 128 de plomada.

Entonces, se determina 208 el ángulo  $\theta$  de acimut con base en la longitud de la porción 140 del hilo 104 que se extiende desde el anillo 102. Por ejemplo, con base en el diámetro D y/o una circunferencia del anillo 102, el sistema 38 de control calcula una cantidad de rotación de la góndola 16 a partir de la longitud medida de la porción desenrollada 140 del hilo 104. En la realización ejemplar, el sistema 38 de control determina 210 el ángulo  $\theta$  de acimut utilizando la siguiente ecuación:

$$\theta = \frac{\Delta L}{\pi D / 360}, \quad (\text{Ec. 1})$$

en la que  $\Delta L$  es un cambio en la longitud de la porción desenrollada 140 del hilo 104 desde una longitud anterior, o primera longitud, hasta una longitud actual, o segunda longitud, y D es un diámetro del anillo 102. Utilizando la dirección de un movimiento del plomo 128 de plomada, el sistema 38 de control también puede determinar en qué dirección 154 o 156 gira 204 la góndola 16. Más específicamente, el signo (negativo o positivo) del cambio  $\Delta L$  indica una dirección de rotación de la góndola 16.

En la realización ejemplar, una resolución Ra del ángulo de acimut obtenida utilizando las realizaciones descritas en el presente documento es mayor que una resolución del ángulo de acimut de los sistemas conocidos de medición del ángulo de acimut. Más específicamente, se puede conseguir fácilmente una resolución elevada Ra del ángulo de acimut del sistema 100 de medición del ángulo de acimut utilizando las realizaciones descritas en el presente documento. Por ejemplo, cuando el anillo 102 tiene un diámetro D de 300 milímetros (mm) y el dispositivo 106 de medición de la longitud tiene una resolución Rs del sensor de 0,2 mm (una precisión común para dispositivos de medición de la longitud), se determina la resolución Ra del ángulo de acimut del sistema 100 de medición del ángulo de acimut como sigue:

$$\frac{\pi D}{360} = 2,6 \text{ mm/ grado} = R_r, \quad (\text{Ec. 2})$$

$$\frac{R_s}{R_r} < 0,08 \text{ grados} = R_a, \quad (\text{Ec. 3})$$

en las que Rr es una resolución del anillo. Como se comprenderá, se puede cambiar la resolución del ángulo de acimut al cambiar el diámetro D del anillo 102 y una longitud del hilo 104 para corresponderse con un diámetro D del anillo 102. Como tal, no se requiere que cambie la resolución Rs del sensor de la longitud 106 de medición de la longitud para aumentar la resolución Ra del ángulo de acimut del sistema 100 de medición del ángulo de acimut.

Entonces, el sistema 38 de control envía 210 el ángulo determinado  $\theta$  de acimut a una base de datos, a un medio de visualización, a una impresora, a un operario, y/o a cualquier otra ubicación adecuada. Se puede utilizar el ángulo determinado  $\theta$  de acimut para controlar la turbina eólica 10 de forma más eficaz, para reducir una carga de la turbina eólica 10, y/o generar más energía a partir del viento. En realizaciones particulares, después de la calibración del sistema 100 de medición del ángulo de acimut en una instalación inicial, se puede determinar un ángulo absoluto de acimut durante una operación de guiñada y grabarlo por medio de un codificador absoluto dentro del dispositivo 106 de medición de la longitud. Entonces, el dispositivo 106 de medición de la longitud transmite el desplazamiento medido al sistema 38 de control para determinar 210 al menos el ángulo  $\theta$  de acimut.

Las realizaciones descritas anteriormente determinan un ángulo de acimut al convertir el movimiento giratorio en movimiento lineal por medio de un anillo, un hilo, y un plomo de plomada. Como tal, se puede determinar directamente el ángulo de acimut desde una longitud de una porción desenrollada del hilo del anillo y/o una posición del plomo de plomada. Más específicamente, el dispositivo de medición de la longitud y/o el sistema de control descritos anteriormente están relacionados con a un ángulo absoluto de acimut con respecto a una longitud desenrollada de hilo. Tal relación es una correlación de uno a uno entre el ángulo absoluto de acimut y la longitud desenrollada de hilo.

Además, las realizaciones descritas anteriormente son tolerantes a vibraciones y/o contaminación, colocadas para evitar el ruido eléctrico, e independientes de un sistema de guiñada de la turbina eólica. Por ejemplo, al colocar el dispositivo de medición de la longitud alejado de un sistema de guiñada en el bastidor descrito anteriormente, se retira el dispositivo de medición de la longitud de un entorno que puede contaminar el dispositivo de medición de la longitud y/o de vibraciones causadas por el sistema de guiñada, de la placa base, y/o de la góndola. Además, el anillo segmentado descrito anteriormente permite que el sistema de medición del ángulo de acimut descrito en el presente documento sea instalado en una turbina eólica recién construida o en una turbina eólica existente.

Los diversos efectos técnicos de ciertos sistemas y del procedimiento descritos en el presente documento incluyen al menos uno de: (a) medir un desplazamiento de un plomo de plomada desde una posición inicial utilizando un dispositivo de medición de la longitud; (b) determinar un ángulo de acimut con base en un desplazamiento de un plomo de plomada; y (c) enviar un ángulo determinado de acimut.

Las realizaciones ejemplares de un sistema de medición del ángulo de acimut están descritas anteriormente con detalle. El procedimiento y el sistema no están limitados a las realizaciones específicas descritas en el presente documento, sino que, más bien, se pueden utilizar independientemente y por separado los componentes de sistemas y/o etapas de los procedimientos de otros componentes y/o etapas descritos en el presente documento. Por ejemplo, los procedimientos también pueden ser utilizados en combinación con otros sistemas y procedimientos de medición del ángulo, y no están limitados a la práctica únicamente con los sistemas y procedimientos de turbina eólica descritos en el presente documento. Más bien, la realización ejemplar puede ser implementada y utilizada en conexión con muchas otras aplicaciones de medición de ángulos.

Aunque se pueden mostrar las características específicas de diversas realizaciones de la invención en algunos dibujos y no en otros, esto solo es en aras de la conveniencia. Según los principios de la invención, se puede hacer referencia a cualquier característica de un dibujo y/o puede ser reivindicada en combinación con cualquier característica de cualquier otro dibujo.

5 Esta descripción escrita utiliza ejemplos para dar a conocer la invención, incluyendo el modo preferente, y también para permitir a cualquier experto en la técnica a poner en práctica la invención, incluyendo la realización y el uso de cualquier dispositivo o sistema y llevar a cabo cualquier procedimiento incorporado. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la técnica. Se pretende que tales otros ejemplos se encuentren en el alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieran del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales del lenguaje literal de las reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema (100) de medición del ángulo de acimut, que comprende:
  - un anillo giratorio (102);
  - un hilo (104) acoplado en un primer extremo (114) a dicho anillo;
  - un dispositivo (106) de medición de la longitud configurado para medir una longitud de una porción de dicho hilo que se extiende desde dicho anillo; y
  - un sistema (38) de control configurado para determinar un ángulo de acimut con base en la longitud de la porción de dicho hilo que se extiende desde dicho anillo.
2. Un sistema (100) de medición del ángulo de acimut según la reivindicación 1, en el que dicho anillo (102) comprende al menos dos segmentos (110, 111).
3. Un sistema (100) de medición del ángulo de acimut según cualquier reivindicación precedente, en el que dicho sistema (38) de control está configurado para establecer un punto de referencia en una longitud inicial de la porción de dicho hilo (104).
4. Un sistema (100) de medición del ángulo de acimut según cualquier reivindicación precedente, en el que dicho sistema (38) de control está configurado para determinar el ángulo de acimut con base en un cambio desde la longitud inicial de la porción del hilo (104).
5. Un sistema (100) de medición del ángulo de acimut según cualquier reivindicación precedente, que comprende, además, un plomo (128) de plomada acoplado a un segundo extremo (118, 119) de dicho hilo (104), estando acoplado dicho dispositivo (106) de medición de la longitud a dicho plomo de plomada para medir un desplazamiento de dicho plomo de plomada.
6. Una turbina eólica (10), que comprende:
  - una torre (12);
  - una góndola (16) que puede girar con respecto a la torre; y,
  - un sistema (100) de medición del ángulo de acimut que comprende:
    - un anillo (102) acoplado a dicha góndola y configurado para girar con dicha góndola;
    - un hilo (104) acoplado en un primer extremo (114) a dicho anillo;
    - un dispositivo (106) de medición de la longitud acoplado con respecto a dicho hilo, configurado dicho dispositivo de medición de la longitud para medir una longitud de una porción de dicho hilo que se extiende desde dicho anillo; y
    - un sistema (38) de control configurado para determinar un ángulo de acimut con base en la longitud de la porción de dicho hilo que se extiende desde dicho anillo.
7. Una turbina eólica (10) según la reivindicación 6, que comprende, además, un plomo (128) de plomada acoplado a un segundo extremo (118, 119) de dicho hilo (104).
8. Una turbina eólica (10) según la reivindicación 6 o 7, que comprende, además, un tubo (130) de guía acoplado operativamente a dicha torre (12), colocado dicho plomo (128) de plomada dentro de dicho tubo de guía para limitar el movimiento de dicho plomo de plomada a una dirección vertical que es sustancialmente paralela a un eje (40) de guiñada de dicha turbina eólica.
9. Una turbina eólica (10) según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, que comprende, además, un bastidor (138) acoplado a una superficie interna (56) de dicha torre (12), acoplado dicho dispositivo (106) de medición de la longitud a dicho bastidor, de forma que dicho anillo (102) gira con respecto a dicho dispositivo de medición de la longitud.
10. Una turbina eólica (10) según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 9, en la que dicho sistema (38) de control está calibrado con una longitud inicial de dicho hilo (104).

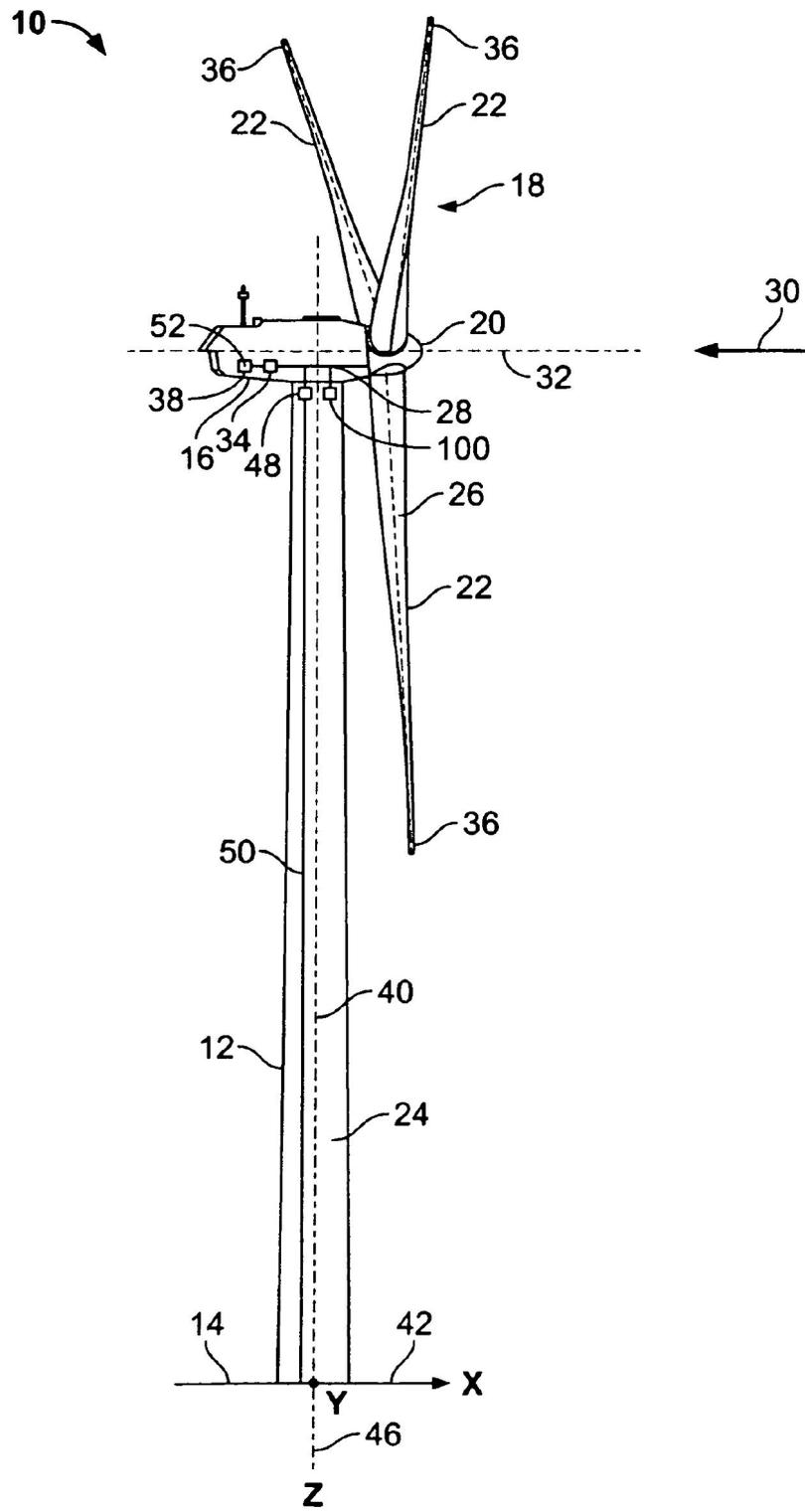
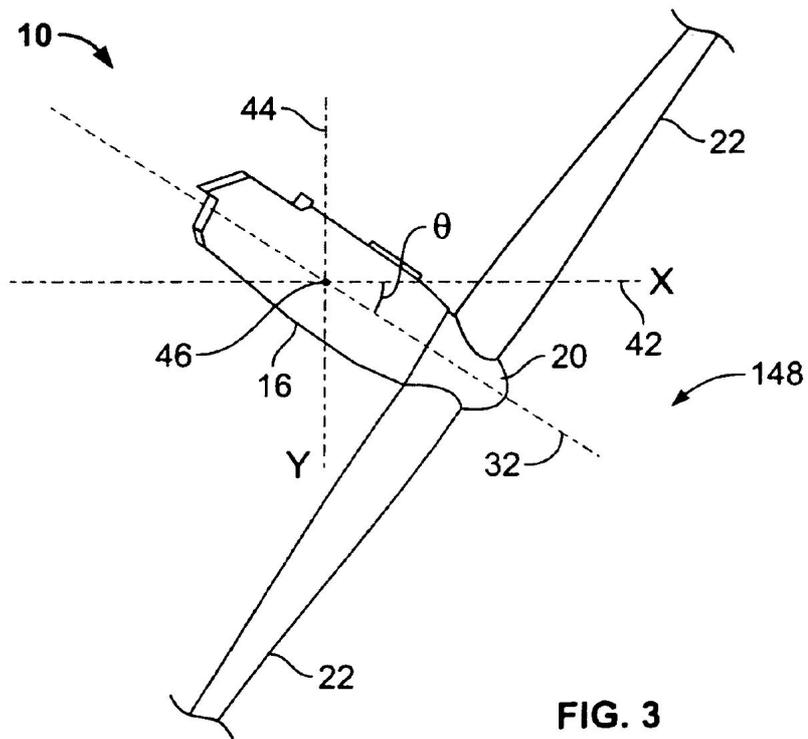
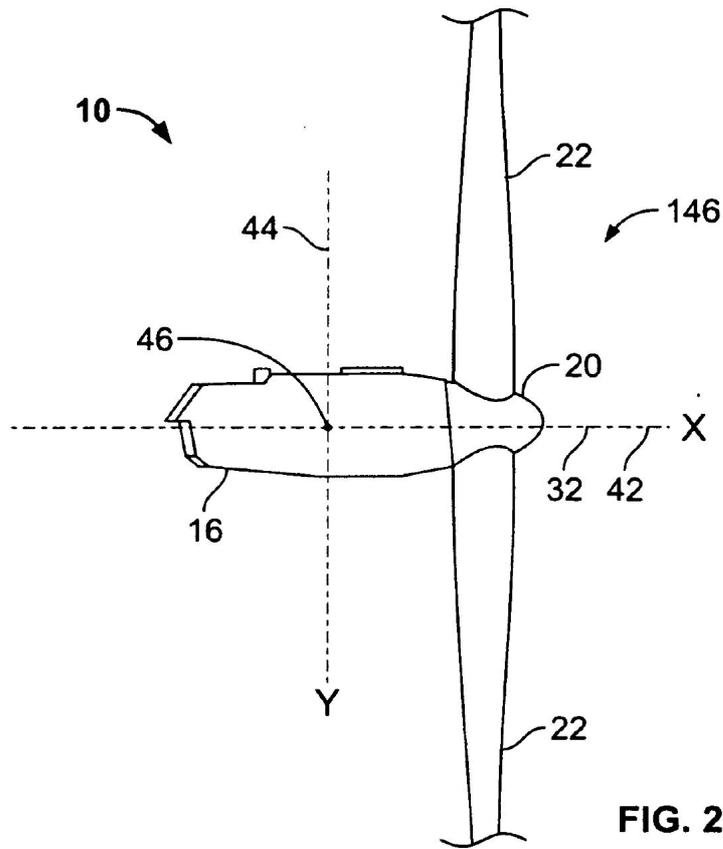


FIG. 1



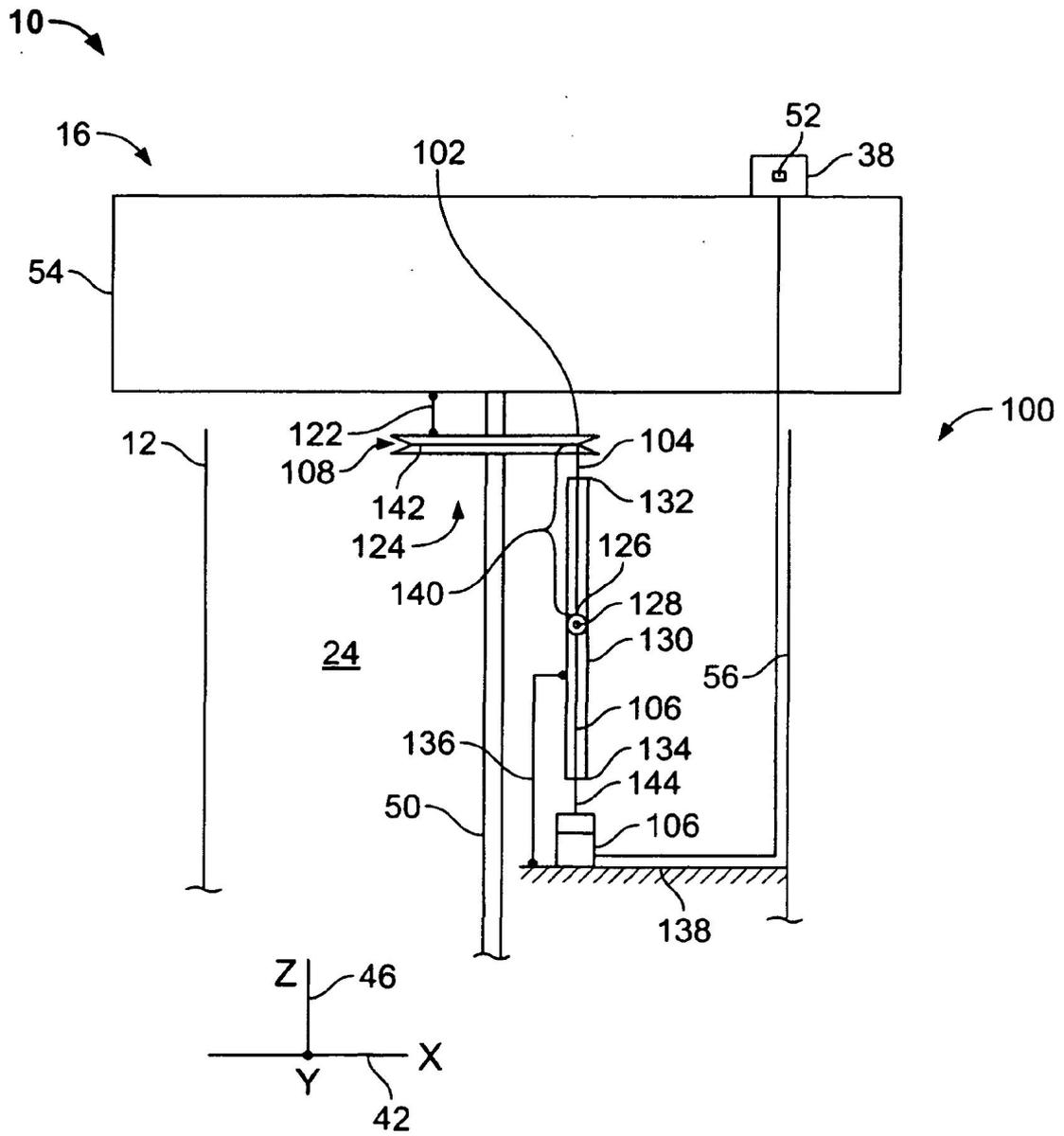


FIG. 4

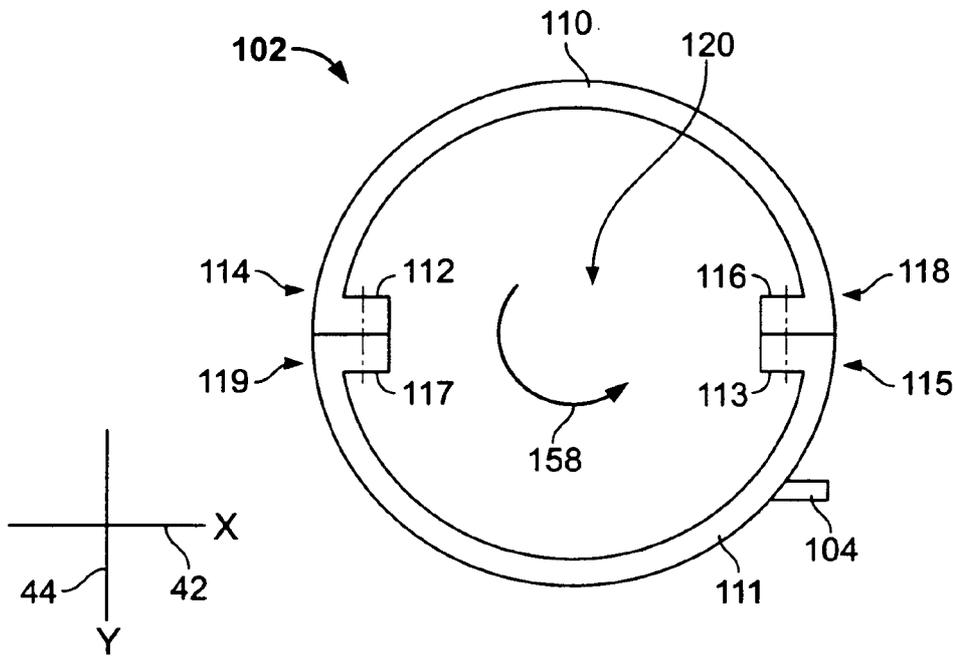


FIG. 5

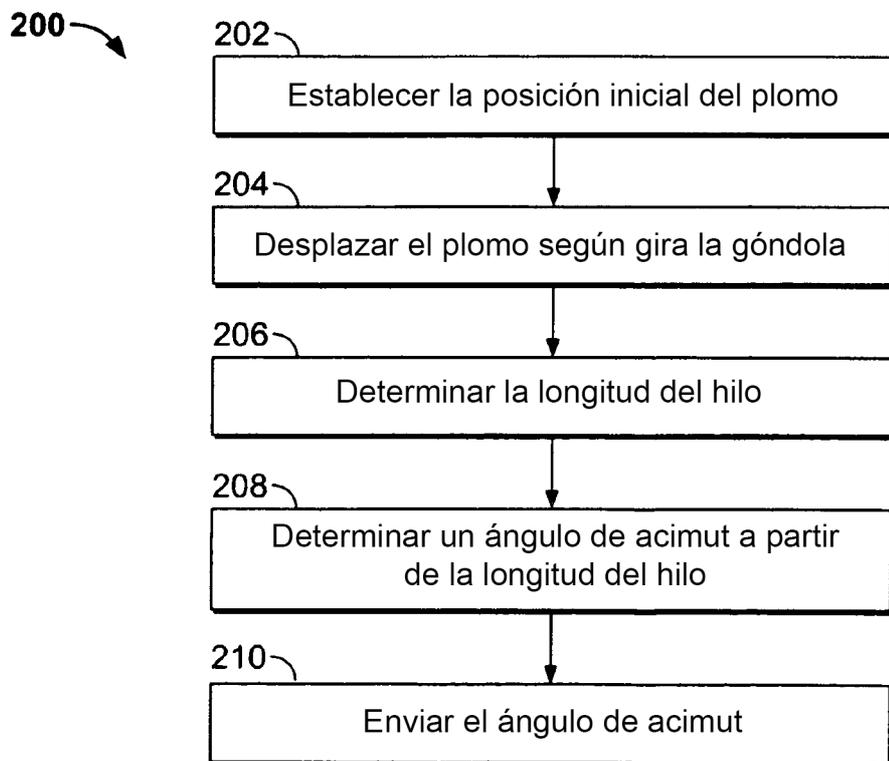


FIG. 6

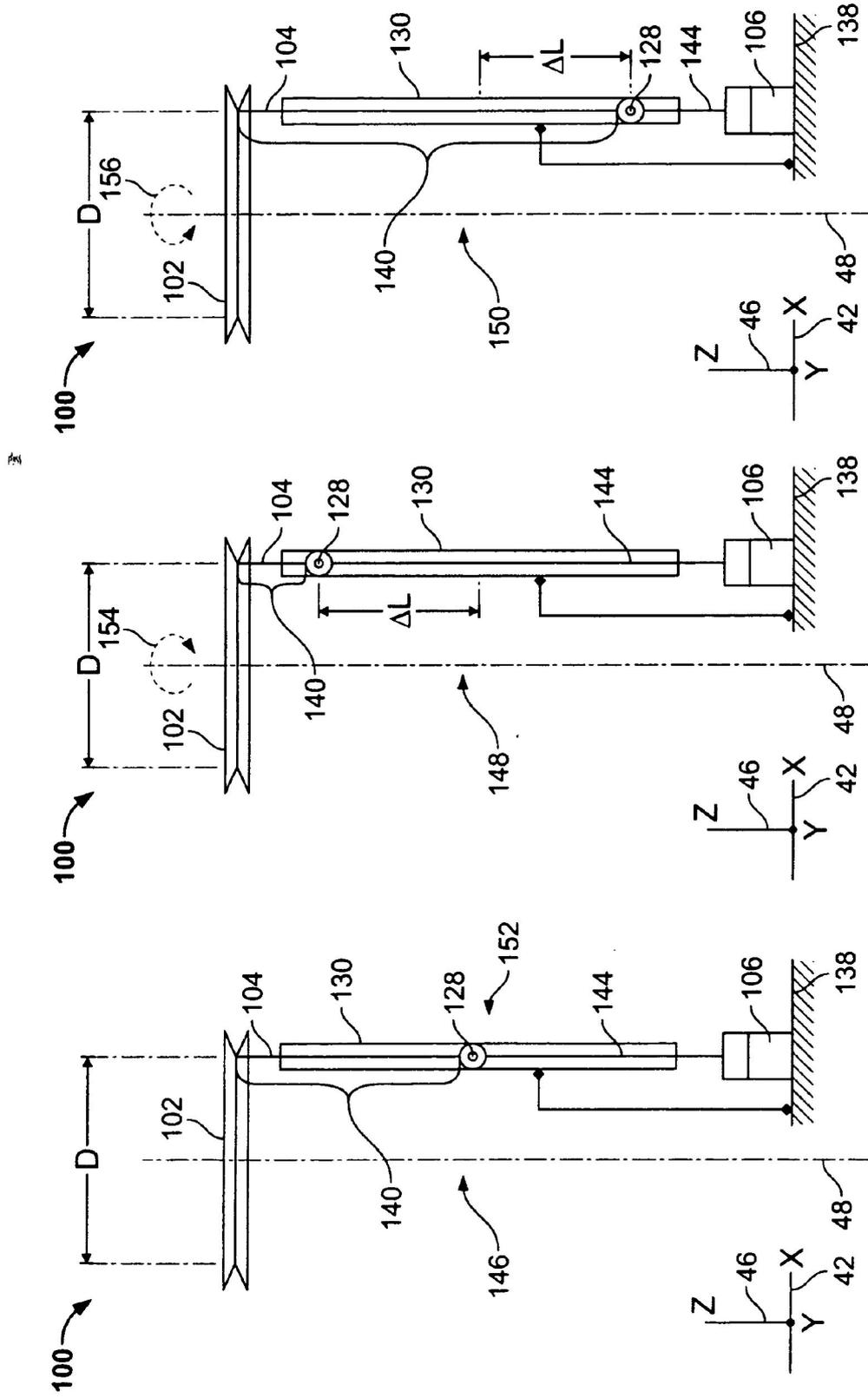


FIG. 7

FIG. 8

FIG. 9