

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 874 800**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 13/25 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.06.2018** **PCT/IB2018/054499**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.12.2018** **WO18234986**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.06.2018** **E 18746288 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.03.2021** **EP 3642479**

54 Título: **Estructura flotante para turbina eólica marina**

30 Prioridad:

20.06.2017 ES 201730817

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

05.11.2021

73 Titular/es:

EXPONENTIAL RENEWABLES S.L. (100.0%)
Av. Pedralbes 18-20, 3-1-B
08034 Barcelona, ES

72 Inventor/es:

CASANOVAS BERMEJO, CARLOS y
CASANOVAS RODRÍGUEZ, JUAN

74 Agente/Representante:

INGENIAS CREACIONES, SIGNOS E
INVENCIONES, SLP

ES 2 874 800 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

Estructura flotante para turbina eólica marina

5 Campo técnico

La presente invención pertenece al campo de la energía eólica marina. En particular, la invención se refiere a una estructura flotante para el soporte de un generador de turbina eólica marina (WTG u OWTG marino), más concretamente, un OWTG basado en una turbina eólica de eje horizontal (HAWT), y los subsistemas que lo caracterizan.

Estado de la técnica

El campo de la eólica marina flotante permanece, desde 2017, casi inexistente a nivel comercial, habiéndose sometido solo un puñado de conceptos a una fase de prueba exitosa con un prototipo de alcance general y un único parque eólico precomercial (construido por Statoil). Sin embargo, se han descrito y publicado una variedad de conceptos para subestructuras marinas flotantes en diferentes patentes. Algunas de ellos, particularmente los relacionados con la presente invención, se señalan a continuación.

El documento US 6.294.844 se refiere a una instalación que comprende molinos de viento que están montados en un bastidor, bastidor que está provisto de flotadores y que es capaz de girar alrededor de un eje vertical para hacer girar los molinos de viento hacia el viento. Para mantener los molinos de viento en posición vertical, se disponen medios de soporte, por ejemplo, un cuerpo que se ancla al fondo, a cierta distancia del plano de los molinos de viento. Además, se proporcionan medios para mejorar o simplificar el mantenimiento.

La patente WO02073032 A1 describe otro sistema similar con un sistema de veleta pasiva que permite que toda la estructura gire alrededor de un punto de anclaje que comprende un cojinete que actúa como punto de pivote. Nuevamente se muestra como capaz de soportar múltiples turbinas eólicas, cada una con su propia torre. Se presentan diversas configuraciones posibles, sin detallar cómo se podría realizar el anclaje de dicha estructura, cómo manejar el cable eléctrico, o cómo sustituir uno de los componentes principales, lo que requeriría el uso de buques grúa o remolcar toda la estructura al puerto.

La patente DE3107252 A1 describe otro sistema flotante, que gira pasivamente a modo de veleta alrededor de un punto de anclaje directamente sobre el lecho marino, sin la existencia de un punto de pivote controlado (cojinete). Esto plantea un problema peligroso para el propio sistema de amarre y para el cable eléctrico, que acabaría siendo dañado por la estructura girando sin control.

Otros precedentes obvios en el estado de la técnica son las turbinas eólicas marinas fijas (FOWT), que son versiones "marítimas" de las turbinas eólicas terrestres tradicionales, que comprenden una torre casi invariablemente tubular encima de una cubierta o base monopolo, y una góndola montada encima con un sistema de guiñada activo para garantizar que el eje de la turbina permanece bien alineado con el viento. Si bien las FOWT disfrutaban de velocidades eólicas medias mucho más altas que las disponibles en tierra, tienen costes de instalación, explotación y mantenimiento que son muy superiores a los de las turbinas eólicas terrestres, debido principalmente a la necesidad de utilizar grandes buques grúa para cualquier operación importante.

Por último, se pueden poner de manifiesto algunos de los principales conceptos de las turbinas eólicas marinas flotantes (FOWT) que ya existen en el mercado. De modo casi invariable, utilizan una subestructura flotante heredada de la tecnología para la extracción de petróleo y gas en plataformas marinas. Encima de esta subestructura montan una turbina más o menos convencional con una torre tubular y un sistema de guiñada activo. Específicamente, se pueden señalar algunas patentes:

la patente US9139266 B2 describe el concepto Windfloat, desarrollado por Principle Power. Está basado en una plataforma semisumergible (semisub), muy conocida en el sector de petróleo y gas en mar abierto. Esta estructura presenta el inconveniente de que es muy pesada, con un sistema de amarre de catenaria relativamente complejo que se extiende radialmente y hacia abajo hacia el lecho marino con 6 líneas de amarre que se conectan a la estructura en tensión, lo que hace que la operación sea algo difícil y laboriosa. En caso de avería de la turbina, la plataforma se puede desconectar y llevar a puerto para su explotación y mantenimiento, pero esta operación de desconexión es tan compleja como la conexión inicial, y es necesario colocar una boya temporal para mantener las 6 líneas de amarre y el cable eléctrico cerca de la superficie para poder volver a conectarlos a la plataforma posteriormente.

La patente CA2609745 C describe el concepto Hywind de la empresa Norsk-Hydro, que utiliza una boya de mástil, otra conocida plataforma de petróleo y gas que obtiene su estabilidad a través de un gran contrapeso en el extremo inferior de la boya de mástil largo. Sus principales desventajas son un gran calado de más de 100 m (aproximadamente la misma altura que la turbina eólica que soportan) que es necesario para que el contrapeso sea eficaz, pero que hace imposible un ensamblaje en el puerto de la turbina eólica. Esto debe realizarse en aguas

profundas utilizando grandes buques grúa, que también son necesarios siempre que haya que sustituir un componente principal o desinstalar todo el sistema. También utiliza un sistema de amarre de catenaria con cadenas largas y pesadas.

5 La patente WO2015000909 A1 describe una subestructura de plataforma de patas tensoras (TLP) para soportar una turbina eólica marina. La TLP es otro tipo de plataforma marina muy conocida desarrollada por el sector del petróleo y el gas para sistemas de aguas muy profundas, caracterizada por un sistema de cables verticales (o sujeciones) que mantienen la mayoría de los elementos de flotación totalmente sumergidos gracias a la pretensión de las sujeciones. Su principal problema en su uso como estructura de soporte de turbinas eólicas es su muy
10 compleja y arriesgada instalación en mar abierto. Si la turbina eólica se instala cerca de la costa o en un puerto, entonces todo el sistema es inestable durante el transporte al sitio y durante la instalación y el amarre. Si la TLP se amarra primero y luego se monta la turbina eólica encima, entonces es necesario el uso de grandes buques grúa. De nuevo, la sustitución de cualquier componente principal de la turbina requiere el uso de grandes buques grúa. Si toda la plataforma tiene que enviarse al puerto, se tiene que realizar entonces un complejo proceso de desconexión de la plataforma, y es tan complejo como lo fue la instalación inicial.

El documento WO02/073032 se refiere a una planta de generación de energía eólica flotante en alta mar que desvela todas las características del preámbulo de la reivindicación 1 de esta solicitud de patente.

20 El documento WO2016/083634 desvela una plataforma flotante para aprovechar la energía eólica que comprende una torre con una turbina eólica y dos elementos flotantes cilíndricos horizontales idénticos paralelos a un eje longitudinal e interconectados por estructuras de barras.

25 El documento US2016/0061192 se refiere a una estructura de turbina eólica flotante que comprende tres brazos de soporte que sostienen una góndola por sus partes superiores y las partes inferiores están asociadas con medios en forma de flotadores.

30 El documento WO2010/071433 describe turbinas eólicas marinas extraíbles con un sistema de amarre preinstalado que comprende al menos dos turbinas eólicas montadas sobre una estructura abierta flotante que se amarra al lecho marino con un sistema de amarre.

35 El documento EP2993270 desvela una estructura de soporte activo sumergible para torres de turbinas en instalaciones marinas que comprende cuerpos de hormigón unidos mediante vigas con un sistema de bombeo que regula la inclinación de la estructura basado en el momento de vuelco y provisto de medios para regular la inmersión.

40 Como se ha analizado, un problema habitual a todas las FOWT descritas en el estado de la técnica es que requieren un uso continuado de potentes barcos y pesados buques grúa en varias fases del ciclo de vida del producto. Esto limita el despliegue de FOWT para la generación de energía en áreas más remotas del planeta donde dicha flota de embarcaciones rara vez está disponible, siendo estas áreas en realidad las que más se beneficiarían del acceso a este tipo de plataforma de producción de energía renovable.

45 Un objeto de la presente invención es superar al menos algunos de los problemas analizados anteriormente, a saber, en algunos ejemplos, la eliminación del uso de pesados buques grúa en varias etapas del ciclo de vida de FOWT (instalación, explotación y mantenimiento, desmantelamiento), y en algunos ejemplos para simplificar el sistema de conexión y desconexión de la plataforma para que pueda ser realizado de manera rápida y eficiente por pequeñas tripulaciones. Además, en algunos ejemplos, la plataforma propuesta es muy ligera en comparación con la mayoría de las FOWT del estado de la técnica, lo cual es una gran ventaja en sí.

50 Uno o más de estos objetivos se satisfacen mediante una estructura de FOWT que comprende uno o dos subsistemas clave, de acuerdo con las reivindicaciones adjuntas.

Sumario de la invención

55 De acuerdo con un aspecto de la invención, el subsistema primario comprende el conjunto que controla el giro de guiñada de la estructura para que pueda girar (pasivamente) a modo de veleta siguiendo la dirección del viento predominante, alrededor de un eje sustancialmente vertical. Al ser imposible predecir el número de giros completos que experimentará el sistema de FOWT durante sus 20 o 25 años de vida, la conexión directa de la estructura de veleta al lecho marino realizada directamente con cadenas o cables probablemente fallaría, ya que esta torsión incontrolada del sistema de amarre producirá finalmente una avería mecánica.

60 Convenientemente, de acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, la plataforma FOWT comprende una parte anclada, que no gira a modo de veleta y se une al lecho marino a través de un sistema de amarre (habitualmente, cadena, sujeciones, cables, o cualquier combinación de ellos). Este sistema de amarre conecta la FOWT a uno o más puntos de anclaje, cuya elección depende principalmente del tipo de suelo en el lecho marino. Estos pueden ser, por
65 ejemplo, una serie de orificios perforados con pilas con inyección de lechada (para un lecho marino rocoso), una serie de anclas, si el lecho marino es arenoso, o una base con gravedad, que puede consistir simplemente en un gran

bloque de hormigón con puntos de unión incrustados para las líneas de amarre. El resto de la FOWT sería la parte giratoria, que se conecta a la parte anclada mediante un medio de giro, que puede tener diferentes realizaciones tales como cojinetes lisos, cojinetes de rodillos, o equivalentes, de tal manera que el giro de guiñada de la parte giratoria de la FOWT se controle y alrededor de un eje bien definido, con baja fricción entre la parte anclada y giratoria de la FOWT.

De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona una grúa incorporada en la parte giratoria de la FOWT. En una turbina eólica convencional con una torre tubular, la góndola se coloca en la parte superior de la torre. La góndola en sí incluye habitualmente un pequeño polipasto para facilitar el levantamiento de cargas pequeñas (tales como uno de los motores de guiñada relativamente pequeños), pero no tiene la capacidad de levantar un componente principal, tal como una caja de cambios o un generador. El principal problema es que un polipasto tan grande requeriría una subestructura robusta en la propia góndola, lo que complica el bastidor secundario de la góndola. Independientemente de la cantidad de refuerzos que se añadan al bastidor, un polipasto montado en una góndola nunca podrá levantar obviamente la góndola por sí mismo, lo que sería una característica muy interesante para este subsistema.

Ventajosamente, la FOWT descrita en los ejemplos de la presente invención no presenta una góndola montada en la parte superior de una torre con un sistema de guiñada activo. En cambio, toda la parte giratoria se guiñará siguiendo el viento de forma pasiva (preferentemente), lo cual permite a su vez ensamblar la góndola en una posición que permite a la FOWT incluir posiblemente una grúa que sea capaz de levantar toda la góndola.

Breve descripción de las figuras

Otras características y ventajas de la invención se deducirán mejor al leer la descripción detallada de las realizaciones preferidas, de una estructura para una turbina eólica marina flotante (FOWT) de acuerdo con la invención. Las realizaciones preferidas se describen como ejemplos no limitativos con la ayuda de las figuras adjuntas, en las que:

La Figura 1 es una vista isométrica de un ejemplo de la estructura FOWT (1).

La Figura 2 es una vista lateral de la FOWT (1) del ejemplo de la Figura 1, que muestra también la superficie marina (12) y el lecho marino (13), donde está anclada la estructura. La posición del conjunto rotor-góndola (5) se puede ver justo debajo del vértice de la estructura del mástil. Además, los elementos que constituyen la parte anclada (3) y la parte giratoria (4) de la estructura están resaltados.

La Figura 3 es una vista en sección de la boya pivotante (6) del ejemplo de las Figuras 1 y 2, incluyendo una vista ampliada de los medios de giro (17), el sistema de centrado (20, 21), el sistema de elementos elásticos (22) y el cable coaxial (23).

La Figura 4 muestra, como ejemplo ilustrativo, una posible realización del mecanismo propuesto para aflojar la torsión acumulada en la sección del cable eléctrico (30), incluyendo los medios mecánicos de conexión/desconexión (26), y el motor (27) que actúa sobre los medios de giro (28, 29).

La Figura 5 ilustra una posible realización del sistema que se propone para elevar cualquier componente (32) del conjunto rotor-góndola (5), incluido un motor de grúa (33), que actúa sobre dos cables (35) soportados por poleas (34), montado directamente sobre la estructura de celosía de los mástiles (10). También muestra la posición del vértice (31) y una sección del cable (38) para los medios de elevación (39) para el personal.

La Figura 6 muestra la configuración preferida para los medios de elevación (39), que circulan dentro y a través del mástil (10) que conecta la boya pivotante (6) con el vértice (31) y donde también se encuentra el punto de acceso de helicópteros (40), siendo la propia boya pivotante (6) el punto de acceso para los barcos. Esta figura también muestra más claramente el rotor (36) de la HAWT, y una de las palas (37).

La Figura 7 ilustra un ejemplo de cómo una barcaza semisumergible (41) equipada con soportes adecuados puede controlar el posicionamiento del cuerpo superior (8) de la boya pivotante (6) encima del cuerpo inferior ya instalado (7), para que los medios de centrado macho (interior) y hembra (exterior) (20, 21) estén alineados antes de bajar el cuerpo superior (8), de modo que toda la parte giratoria (4) se pueda bloquear correctamente en su posición de trabajo encima de la parte anclada (3). Cabe señalar que parte del cuerpo superior (7) se ha recortado para hacer esta imagen, para poder hacer visible el medio de centrado exterior (21) en una vista en sección.

Descripción detallada de la invención

La instalación de la FOWT se puede dividir en dos fases. En una primera fase, se instala la parte anclada (3) de la FOWT, incluyendo puntos de anclaje del lecho marino (13) y medios de anclaje (14). En la misma fase, puede producirse la conexión del cable eléctrico submarino (16).

Todos estos elementos deben permanecer preferentemente en el mar durante la vida útil (20-25 años es lo habitual) de la FOWT, preferentemente con mínimos requisitos de operación y mantenimiento. En una segunda fase, se instala

una parte giratoria (4) de la FOWT, incluyendo la propia turbina (5). La parte giratoria puede configurarse para que gire activamente o para que gire pasivamente a modo de veleta. "Girar a modo de veleta", según se usa en el presente documento, se entenderá como el giro de una estructura superior que incluye la turbina eólica con respecto a un eje sustancialmente vertical para alinear la turbina eólica con la dirección predominante del viento.

En un ejemplo, la solución propuesta permite transportar toda la parte giratoria (4) desde el puerto, donde se puede ensamblar completamente, al lugar de instalación, simplemente remolcándolo con barcos y barcas auxiliares, sin necesidad de pesados buques grúa. Una operación importante durante esta segunda fase es la conexión entre la parte giratoria (4) y la parte anclada (3), que idealmente debe ejecutarse de forma rápida y segura.

Para resolver este requisito de una conexión rápida y segura, en este documento se presenta un novedoso subsistema de guiñada que incluye los medios de giro (17) necesarios, así como la capacidad de conexión/desconexión rápida para la parte giratoria (4) de la FOWT. Este subsistema puede comprender uno o más de los siguientes elementos característicos:

- Los propios medios de giro (17), que permiten el movimiento de guiñada libre de la parte giratoria/giratoria (4) de la estructura alrededor de un eje sustancialmente vertical. Estos medios de giro (17) pueden ser en particular cojinetes y podrían tener diferentes realizaciones conocidas en la ingeniería mecánica (cojinetes de rodillos, cojinetes de fricción, etc.) pero habitualmente tendrán un anillo interior (19) que esté conectado a la parte anclada (3), y un anillo exterior (18) conectado a la parte giratoria (4) de la FOWT (1). Dependiendo de la topología específica del diseño, podría ser más conveniente conectar el anillo exterior (18) a la parte anclada en su lugar.
- Un sistema de centrado interior (20) y exterior (21), opcionalmente, un par de cono y contracono, que ayudan a colocar la parte giratoria/giratoria (4) encima de la parte anclada (3) en el momento en que estas deberán conectarse una encima de la otra en el mar. Este tipo de conexión cónica puede ayudar en esta operación de posicionamiento y conexión, ya que justo antes de que contacten entre sí, la parte anclada (3) y la parte giratoria/giratoria (4) están flotando independientemente una de otra. Debido al tamaño de estas estructuras, es muy difícil (y peligroso) tratar de controlar con precisión su movimiento relativo en el mar, incluso en condiciones climáticas suaves. Realizar la conexión mecánica por medio de un cono (en la parte anclada (3)) y un contracono (conectado al anillo interior (19) del medio de giro (17)) autocentra eficazmente la conexión. También es posible disponer los medios de centrado interior (20) en la parte anclada (3) en su lugar, que sería una realización alternativa. Aunque no es necesario que los medios de centrado interior (20) y exterior (21) tengan forma cónica, esta geometría es relativamente fácil de fabricar y de verificar metrológicamente por medición directa, siendo también relativamente resistente a la deformación permanente que podría producirse si hubiese un impacto entre los medios de centrado interior (20) y exterior (21). Los elementos de centrado interior y exterior pueden formar un acoplamiento macho-hembra con superficies complementarias. En particular, las superficies de acoplamiento macho-hembra pueden tener un ancho/diámetro en aumento gradual a lo largo de un eje de acoplamiento.
- Un sistema de elementos elásticos (22), que actúa como interfaz mecánica en un lado del medio de giro (17), convirtiéndose eficazmente en la trayectoria de transferencia de carga mecánica entre la parte anclada (3) y la parte giratoria (4). Este sistema de elementos elásticos (22) también puede tener la función de permitir un giro relativo limitado entre la parte anclada (3) y la parte giratoria (4) en un eje perpendicular al eje de guiñada (2) de la FOWT (1), y además de esto también puede proteger los medios de giro (17) de los inevitables impactos que pueden producirse durante el proceso de instalación. Estos impactos, de otro modo, podrían dañar potencialmente el medio de giro (17), especialmente si se trata de un cojinete de rodillos, independientemente de su capacidad de carga, con el riesgo de comprometer su función de permitir el movimiento de guiñada con baja resistencia, e incluso ocasionar una avería crítica que podría comprometer la estabilidad de toda la FOWT. Ciertamente, la función de permitir pequeños giros sin guiñada se puede lograr, por ejemplo, utilizando un cojinete de rodillos esféricos, pero estos tienen menos capacidad de carga y son particularmente sensibles a cargas de impacto. Por lo tanto, la capacidad de protección contra impactos de los elementos elásticos (22) ofrece ventajas críticas que no son fáciles de obtener de otra manera. En algunos ejemplos, se puede incluir un segundo sistema de elementos elásticos al otro lado del medio de giro (17). Como resultado, el medio de giro (17) "flota" entre dos sistemas de elementos elásticos que trabajan en serie. Esto proporcionaría una capacidad algo mayor para acomodar giros sin guiñada.
- Conexión eléctrica coaxial (23). La posición relativa entre la parte anclada (3) y la parte de veleta/giratoria (4) puede estar garantizada por los medios de centrado (20, 21) en todos los grados de libertad, excepto la posición azimutal con respecto al eje de guiñada (2). En algunos ejemplos, los medios de centrado (20, 21) pueden incluir elementos mecánicos para controlar la posición azimutal entre los medios de centrado (20, 21). Esta es una forma de permitir que se ejecute una conexión eléctrica en cualquier punto de la interfaz entre los medios de centrado (20, 21). Sin embargo, este sistema podría volverse complejo. En otro ejemplo, se permite cualquier posición azimutal y se puede establecer una conexión eléctrica coaxial, dirigiendo preferentemente los cables de forma directa a través de los medios de centrado (20, 21). Se podría optar por una conexión eléctrica que no atravesase físicamente de forma coaxial, pero eso requeriría el uso de una solución de anillo deslizante (o equivalente, es decir, con escobillas) que tendría anillos de conexión eléctrica que, en sí mismos, serían coaxiales con los medios de centrado (20, 21).

Como ya se ha mencionado, puede que sea ventajoso disponer de un sistema para evitar la avería por torsión acumulada del cable eléctrico coaxial (23) que atraviesa desde la parte anclada (3) a la parte giratoria (4). Otra opción es utilizar una conexión giratoria (a través de anillos colectores, o incluso un dispositivo de transmisión sin contacto tal

como un transformador) que puede evitar la acumulación (y liberación necesaria) de torsión. Por otro lado, estos pueden tener importantes pérdidas de energía de hasta el 5 % y son bastante costosos para la potencia y la intensidad que tiene que atravesar en esta aplicación. También son difíciles de mantener o sustituir en caso de avería.

- 5 En un ejemplo de la presente invención, se propone por tanto dejar una sección de cable libre para que pueda acumular una determinada cantidad de torsión sin exceder su ángulo de torsión máximo permitido, con el objetivo de permitir al menos un giro completo de la FOWT alrededor de su eje de guiñada.

10 Los valores habituales para el ángulo de torsión máximo aceptable para este tipo de cable pueden estar alrededor de 100 ° por cada metro de cable libre. Por lo tanto, una sección de cable recta de unos 8 metros ya puede absorber dos vueltas completas de la parte giratoria (4) alrededor de la parte anclada (3). Controlando este ángulo con sensores adecuados, es posible desconectar en el momento adecuado completamente un extremo del cable y girar el extremo libre de dicho cable en la dirección opuesta al giro medido, aliviando la torsión. Después de esto, el extremo libre del cable se puede volver a conectar mecánicamente.

15 Toda esta operación (que se puede hacer a distancia o automáticamente) es en realidad mucho más rápida que girar toda la góndola de una WTG terrestre a través de su sistema de guiñada activo, que es la manera de tratar este problema en WTG tradicionales montadas en torre. Claramente, en la solución propuesta, el cable no puede estar vivo (con voltaje) cuando está conectado o desconectado a través de una clavija adecuada, también es ventajoso tener un interruptor apropiado. Pero dicho cambio es deseable de todos modos para otras operaciones, tal como cuando hay personal alrededor del área del subsistema de guiñada.

20 Un aspecto adicional del subsistema de guiñada (y en particular del cojinete de guiñada) es que, si bien está instalado muy por encima del HAT esperado (marea astronómica más alta), podría ser alcanzado por el agua de una ola en condiciones de tormenta. En ejemplos preferidos, se evita el acceso de agua dentro de la interfaz entre la parte anclada (3) y la parte giratoria (4). Puesto que además del movimiento de guiñada también hay pequeños giros en los ejes perpendiculares al eje de guiñada, esto no es tan simple como tener una junta normal. En un ejemplo preferido, se propone en este caso utilizar un sistema neumático (con uno o más elásticos, cámaras neumáticas en forma de toro), que se pueda presurizar durante condiciones de tormenta para evitar que el agua llegue a los sistemas sensibles
25 incluso cuando esté completamente sumergido.

30 En condiciones climáticas suaves, la presión puede ser cero o cercana a cero, lo que minimiza el desgaste en la cámara neumática que surge de la fricción contra los dos lados que encajan de la interfaz durante el movimiento de guiñada de la FOWT.

35 Un segundo subsistema propuesto es una grúa, capaz de elevar la propia góndola (32), o cualquiera de sus subcomponentes. Con este propósito, la FOWT (1) de acuerdo con este ejemplo evita intencionadamente el uso de una torre vertical. La elevación necesaria del conjunto rotor-góndola (5) se consigue mediante una estructura que comprende mástiles inclinados (10), cada uno conectado a un medio de flotación (6, 9), convergiendo todos ellos en el punto más alto (el vértice (31)) de la estructura de la FOWT (1).

40 Cada medio de flotación también está conectado a al menos uno de los medios de flotación contiguos por medio de pontones sustancialmente horizontales (11), estando estos total o parcialmente sumergidos bajo la superficie del agua (12). La realización de la solución preferida en este caso es utilizar tres medios de flotación (6, 9), con los cuales la estructura acaba teniendo forma de tetraedro. Este tipo de estructura tiene una relación peso-resistencia particularmente buena.

45 Existe al menos un diseño de FOWT conocido que hace uso de dicha estructura, conocido como Tetrafloat. Un aspecto novedoso de la presente divulgación es la posición y conexión del conjunto rotor/góndola (5) con respecto al vértice (31) de la estructura, que se realiza directamente debajo del vértice (31), en lugar de encima, como se ha hecho en la técnica anterior. Al hacerlo, se pierden algunos metros de altura del eje de la turbina y es necesario rediseñar algo la propia góndola (32), pero en general estos cambios dan como resultado una reducción de peso sustancial en la góndola (32) ya que no es necesario tener un bastidor principal que transmita las cargas desde los cojinetes principales del rotor a la torre o estructura de soporte. En cambio, es posible soportar la góndola (32) directamente alrededor del
50 área del bastidor alrededor de dichos cojinetes principales.

Otra ventaja de colocar la góndola (32) de esta manera es que abre la posibilidad de utilizar la estructura del mástil (10) para montar una grúa sobre la parte giratoria (4) de la FOWT (1). La robustez de la estructura del mástil (10) permite montar una grúa suficientemente potente como para bajar y elevar verticalmente todo el conjunto rotor/góndola (5) o, evidentemente, uno de sus componentes principales tal como la góndola (5), la caja de engranajes, el generador o incluso algunas de las palas (37), de forma segura y controlada, desde el suelo (o una plataforma sobre el agua) hasta su posición de trabajo debajo del vértice (31), haciendo la góndola contacto en este punto con las superficies inferiores de los mástiles (10) y/o el vértice (31) de la estructura. Teniendo la FOWT (1) con dicha la grúa montada sobre su propia estructura de mástil (10), no es necesario utilizar grandes buques grúa, que son necesarios para
55 cualquier turbina eólica marina de fondo fijo.

La grúa montada sobre la estructura del mástil (10) también es útil durante la fase de ensamblaje del puerto; solo se requiere una grúa externa para ensamblar los mástiles (10) entre sí. A partir de ese punto, solo se necesitan grúas secundarias para controlar lateralmente las cargas a elevar, pero se evita el uso de grandes grúas (y una vez en el mar, buques grúa). Determinadas operaciones pueden ser arriesgadas de ejecutar bajo el entorno de las olas del océano, pero desconectando la parte giratoria (4) de la FOWT (1) de la parte anclada (3) (siendo esto particularmente simple como se ha descrito en el subsistema de guiñada) el ensamblaje puede remolcarse a aguas tranquilas o un puerto cercano y realizar la operación allí, sin olas.

Por motivos de exhaustividad, a continuación se exponen diversos aspectos del segundo subsistema:

- La elevación de un conjunto rotor/góndola (5) puede lograrse mediante una estructura de mástiles oblicuos (10), que convergen en el vértice (31) de la estructura y estando cada mástil (10) conectado en su base a medios de flotación (6, 9).
- La posición de producción de energía del conjunto rotor/góndola (5) puede estar total o parcialmente debajo del vértice (31) donde convergen los mástiles (10), permitiendo elevar o bajar el conjunto rotor/góndola (5) (o cualquiera de sus componentes (32)) verticalmente sin interferir con la estructura de los mástiles (10).
- Tiene un sistema permanente o extraíble de motores (33), poleas (34), cables (35) y otros elementos de elevación de una grúa, que permite elevar/bajar el conjunto rotor/góndola (5) o cualquiera de sus componentes (32), sin necesidad de utilizar una grúa externa.

En algunos ejemplos, cuando una pala (37) se ha colocado en una posición vertical justo debajo de un rotor (36) de la turbina eólica, se puede pasar uno o más cables (35) a través de un orificio en el rotor (36) situado diametralmente opuesto a dicha pala (37), para poder elevar/bajar dicha pala (37) accionando el motor (33).

En algunos ejemplos, el motor (27) puede actuar sobre un cable (38) para mover los medios de elevación (39) que circulan utilizando uno de los mástiles (10) como soporte, de modo que se pueda elevar al personal y/o cargas desde un punto de acceso (40) hasta la altura del conjunto rotor/góndola (5).

En algunos ejemplos, los mástiles (10) que no disponen de punto de acceso (40) tienen un medio de elevación (39) desde la góndola hasta la base del mástil (10).

Los dos subsistemas descritos anteriormente pueden estar integrados en una FOWT (1) de estructura muy específica en el ejemplo de las Figuras 1-7 que aproveche al máximo sus ventajas, aunque podrían ser posibles otras configuraciones.

La estructura comprende dos medios de flotación principales (9) (preferentemente boyas cilíndricas, que proporcionan la mayor parte de la flotabilidad de la AMF (1)) y un tercer medio de flotación, la boya pivotante (6), que se divide a su vez en un cuerpo inferior (7) integrado en la parte anclada (3) de la FOWT (1), y un cuerpo superior (8), integrado en la parte giratoria/giratoria (4) de la FOWT (1).

La flotación que proporciona la boya pivotante (6) es limitada, y su función es proporcionar un tercer punto de soporte para la FOWT, haciéndola estable. Los principales medios de flotación (9) pueden estar interconectados entre sí y con la boya pivotante por medio de pontones sustancialmente horizontales (11).

Desde cada medio de flotación principal (9) y desde el cuerpo superior (8) de la boya pivotante (6), un mástil inclinado se extiende hacia arriba hacia el vértice de la estructura, donde se conectan los tres mástiles. Dos de estos mástiles (10) pueden estar en el mismo plano sustancialmente vertical que es paralelo al plano del rotor (o ligeramente inclinado a favor del viento). Cabe señalar que el propio rotor está preferentemente en una configuración "a favor del viento", es decir, corriente abajo, en la dirección del viento, del resto de la estructura.

Los mástiles (10) pueden ser estructuras de celosía para reducir las pérdidas aerodinámicas. Los pontones horizontales (11) también pueden ser preferentemente estructuras de celosía, para minimizar el impacto de las olas, que puede producirse cuando una ola golpea una superficie sustancialmente plana y puede ser bastante violento en algunas circunstancias. Estos impactos son pequeños en estructuras de celosía de este tipo, construidas en este caso utilizando tubos cilíndricos de diámetro relativamente pequeño, que no ofrecen superficies planas donde el fenómeno de los impactos puede ser fuerte.

La mencionada configuración a favor del viento del rotor coloca el conjunto rotor/góndola (5) (que tiene la mayor resistencia aerodinámica), lo más lejos posible del eje de guiñada (2), lo que hace que la FOWT (1) responda más rápido a un cambio en la dirección del viento, mejorando la respuesta de un sistema de guiñada pasivo mediante el máximo aprovechamiento del momento de guiñada que alinea la estructura (que es proporcional a la distancia entre el centro de la carga aerodinámica - aproximadamente, el centro del rotor - y el eje de guiñada (2).

Como se ha mencionado, la boya pivotante (6) está dividida en un cuerpo superior (8), integrado en la parte giratoria

(4), y un cuerpo inferior, integrado en la parte anclada (3), que está conectado al lecho marino (13) por medio de tres líneas de amarre sustancialmente verticales (14), con sus puntos de conexión formando un triángulo sustancialmente equilátero.

5 Cada una de las líneas de amarre (14) puede comprender habitualmente una combinación de cadenas (en ambos extremos) y cable de acero (la sección más larga, conectando las secciones de cadena). Por lo tanto, el cuerpo inferior (7) de la boya pivotante (6) puede tener las características de una plataforma de patas tensoras (TLP) de dimensiones reducidas.

10 Esta "mini-TLP" tiene suficiente pretensión de sujeción para limitar notablemente su movimiento, excepto en la traslación horizontal sobre el plano de la superficie del agua (12). Este movimiento se producirá, hasta cierto punto, para compensar el empuje de la turbina. Esta mini-TLP tiene la ventaja de que su punto de anclaje submarino (15) puede ser físicamente un solo cuerpo donde se conecten las tres líneas de amarre (14), reduciendo considerablemente el tiempo de instalación en comparación con otros posibles sistemas de amarre que no tienen las características normales de una TLP.

15 Sin embargo, la presente invención no se limita a su uso con un sistema de amarre de tipo TLP, sino que este sistema tiene características ventajosas para una amplia variedad de profundidades de agua y tipos de lecho marino. Presenta las líneas de amarre más cortas posibles (verticales), con las tres líneas participando para contrarrestar el empuje del rotor de la turbina (a diferencia de que cada línea tenga, en algunas circunstancias, que asumir todo el empuje de la turbina). También restringe el movimiento vertical de la boya pivotante, que, a su vez, en la realización propuesta, limita el movimiento del rotor a lo largo de su propio eje, lo cual es beneficioso para la estabilidad energética de la turbina eólica.

20 Dado que la parte giratoria (4) estará sujeta a pequeños giros en los dos ejes perpendiculares al eje de guiñada (2), la utilidad del sistema de elementos elásticos (22) resulta evidente aquí. La distancia entre los principales medios de flotación (9) entre ellos y con respecto a la boya pivotante (6), puede ser considerable (en el mismo orden de magnitud que la elevación del conjunto rotor/góndola (5) sobre la superficie del agua (12)). A 80 metros y más, el ángulo de cabeceo/balanceo de la estructura puede ser inferior a 10 ° incluso en condiciones de mar fuertes. Esto ya puede ser absorbido por el sistema de elementos elásticos (22), si está diseñado correctamente.

25 Una FOWT como la descrita en el presente documento, pero con dimensiones más pequeñas, es factible en lugares de aguas tranquilas, pero no en aguas de mar abierto como el océano Atlántico Norte, donde puede haber olas de hasta 30 m de altura. Un material preferido para estos elementos elásticos es el caucho natural precargado, debido a sus excelentes propiedades mecánicas e inmunidad a la corrosión, que se conocen bien en el campo de la ingeniería civil, donde se utilizan para soportar puentes de carreteras y trenes durante muchos años, sin necesidad de mantenimiento.

30 Una realización preferida para el subsistema de guiñada se muestra en la vista detallada de la Figura 3. El medio de giro (17) elegido es un cojinete de rodillos cónicos de dos hileras, con la pista de rodadura exterior (18) unida al cuerpo superior (8) de la boya pivotante (6). También sería posible utilizar un cojinete con dos hileras de bolas de cojinetes de contacto angular, que tiene propiedades similares, como los que se utilizan habitualmente para el sistema de guiñada y el sistema de cabeceo, de una turbina eólica terrestre.

35 La pista de rodadura interior (19) del cojinete (17) puede estar firmemente conectada a dos placas circulares (24) que tienen una superficie interior cónica, con ambas placas circulares (24) dispuestas simétricamente con respecto al plano horizontal medial del cojinete (17), una encima y otra debajo de la pista de rodadura interior (19) del cojinete (17). Los elementos elásticos (22) pueden tener forma de mosaico, y distribuirse regularmente a lo largo de la superficie cónica interior de las placas circulares (24), y pueden precargarse a medida que se cierra la conexión atornillada que conecta la primera pista de rodadura interior (19) a las placas circulares (24), atrapando también el contracono de centrado (21) entre las superficies interiores de los elementos elásticos (22), como se muestra en la Figura (3).

40 El ensamblaje del cojinete (17), las placas circulares (24), los elementos elásticos (22) y el contracono de centrado (21) pueden ensamblarse de forma independiente, y montarse debajo del cuerpo superior (8) de la boya pivotante (6) antes de su instalación en el mar. Durante la instalación, este cuerpo superior (8) se eleva por encima del cuerpo inferior (7), que ha sido previamente preensamblado y precargado con el resto de la parte anclada (3) en su configuración de mini-TLP.

45 El cono de centrado (20) en este ejemplo forma parte de este cuerpo inferior (7), que tiene dimensiones bastante generosas. El ángulo del cono de centrado puede diseñarse para evitar el enclavamiento con su contracono (21), y para tener suficiente robustez estructural para manejar las cargas que lo atraviesan.

50 En algunos ejemplos se propone un ángulo de cono de aproximadamente 15 °, aunque son factibles valores entre 10 ° y 30 °. Una vez que el cuerpo superior (8) se coloca encima del cuerpo inferior (7) más o menos concéntricamente, el cuerpo superior (8) se baja y se permite que el cono (20) y el contracono (21) hagan contacto, siendo la energía del impacto absorbida por los elementos elásticos (22). El conjunto se autocentra automáticamente a medida que se cierra

el espacio entre el cono (20) y el contracono (21), mientras el cuerpo superior (8) está descendiendo.

Una vez esté cerrada esta articulación, la parte giratoria (4) ya está unida firmemente a la parte anclada (3), y se puede proceder a asegurar la articulación. En este caso se propone hacer esto por medio de un perno maestro (25), de gran tamaño (puede que sea necesaria una rosca especial M200 o más grande para un sistema MW), y hueca en el interior, para permitir la conexión del cable coaxial (23). Este perno maestro (25) se enrosca directamente en una rosca interna mecanizada en la superficie interior cilíndrica en la punta del cono de centrado (20) y, a medida que se aprieta, bloquea completamente el cono de centrado (20) contra el contracono (21). Debido a la gran superficie de contacto entre estos y al par de apriete sobre el perno maestro (25), la trayectoria de carga para cargas variables atravesará los medios de centrado (20, 21) en lugar de atravesar el perno maestro (25), lo cual es muy conveniente desde el punto de vista de la fatiga.

En cuanto a los medios para controlar la elevación y la bajada del cuerpo superior (8) de la boya pivotante (6), durante el proceso de instalación, se propone en un ejemplo hacerlo por medio de una barcaza (41) especialmente diseñada para unirse a dicho cuerpo superior (y para ayudar en el transporte de la estructura desde el puerto), capaz de proporcionar flotación variable por medio de un sistema de cámaras interiores que pueden inundarse o vaciarse, como un submarino, para controlar el calado. Este tipo de barcaza semisumergible (41) está disponible en el mercado, solo podría diseñarse específicamente un sistema de conexión adecuado al cuerpo superior (8) o los pontones que lo rodean. Como alternativa, el cuerpo inferior (7) se puede sumergir parcialmente en su lugar, porque cuenta ya con un sistema de cámaras. También es posible una combinación de ambos.

El sistema para liberar la torsión del cable puede tener múltiples configuraciones que serían factibles; la Figura 4 muestra una posible realización como ejemplo ilustrativo. Una clavija retráctil (26) está montada en el área superior del cuerpo superior (8) de la boya pivotante (6). En la misma zona está montado un pequeño motor (27), que se acopla a un tornillo sin fin (28), que engrana con una rueda de tornillo sin fin (29) que gira alrededor del mismo eje de guiñada vertical (2) de la FOWT (1).

Una sección de cable eléctrico (30) está unida al lado inferior de la rueda de tornillo sin fin y se extiende verticalmente hacia abajo durante una distancia de, por ejemplo, al menos 8 metros (distancia suficiente para acomodar dos vueltas completas de la FOWT (1) a medida que gira a modo de veleta siguiendo el viento), atravesando luego la parte hueca del perno maestro (25) y conectándose al cable coaxial (23). De esta manera, después de dos giros completos (o más, dependiendo de la longitud de la sección de cable verticalmente hacia abajo (30)) de la parte giratoria (4), la clavija retráctil (26) se puede desconectar físicamente, y luego se acciona el motor (27) para desenrollar el cable (30) en la dirección contraria a la torsión acumulada, después de lo cual se puede volver a enchufar la clavija retráctil (26). El sistema de acuerdo con este ejemplo puede evitar las considerables pérdidas de energía asociadas a una conexión giratoria, lo cual es una alternativa. Y teniendo en cuenta que toda la operación sería mucho más rápida que el equivalente en una turbina eólica terrestre (que requiere el giro de toda la góndola, lo cual es extremadamente lento), las pérdidas de energía asociadas a la parada forzada de la máquina pueden ser menores.

El sistema de grúa montado en la parte giratoria (4) de la FOWT (1) también tiene una variedad de realizaciones posibles. El tren de accionamiento puede estar unido a la estructura debajo del vértice (31) de los mástiles (10), en lugar o encima de una torre, lo que permite utilizar la estructura de los mástiles (10) como estructura de grúa.

La estructura de celosía de los mástiles (10) puede tener una configuración y propiedades similares a las de una grúa tipo Derrick, pero con un brazo de grúa que está fijo con respecto a la parte giratoria (4).

La Figura (5) se incluye como ejemplo ilustrativo, que muestra una operación de elevación hipotética para un componente (32), en este caso, una góndola. En este caso se ha eliminado la última sección de uno de los mástiles (10) para facilitar la visualización. El motor de la grúa (33) se muestra aquí encima del mástil (10) que se conecta a la boya pivotante (6), pero también podría montarse en la parte inferior, como suele pasar en las grúas Derrick. El uso de dos cables de elevación (35) en lugar de uno facilita el control de la carga. También se propone utilizar el mismo motor de grúa (33) para movilizar los medios de elevación (39), es decir, un ascensor, o elevador, con su propio cable (38), que se movería por el mismo mástil (10) donde está montado el motor de la grúa (33), lo que confiere una doble función a este motor de grúa considerablemente potente (33).

Esta doble función se compatibiliza mediante una caja de cambios con ejes independientes para las dos funciones, teniendo un embrague, utilizando el mismo motor. Además de un medio de elevación principal (39), la estructura puede estar provista de medios de elevación secundarios en los mástiles sin punto de acceso (40), con el fin de inspeccionar los propios mástiles (soldaduras, pintura, etc.) todos ellos conectados al motor de la grúa (33), o con pequeños motores secundarios.

La Figura 7 ilustra un ejemplo de cómo una barcaza semisumergible (41) equipada con soportes adecuados puede controlar el posicionamiento del cuerpo superior (8) de la boya pivotante (6) encima del cuerpo inferior ya instalado (7), para que los medios de centrado macho (interior) y hembra (exterior) (20, 21) estén alineados antes de bajar el cuerpo superior (7). Como ya se ha mencionado antes, también se puede lograr un movimiento relativo entre el cuerpo inferior (7) y el cuerpo superior (8) controlando la flotabilidad del cuerpo inferior, en particular, en el caso del cuerpo

inferior que comprende una plataforma de patas tensoras.

5 Cabe señalar que en este ejemplo, antes de juntar el cuerpo superior (8) con el cuerpo inferior (7) en el mar, el cuerpo superior (8) se preensambla con un cojinete, es decir, un medio giratorio y un medio de centrado, en este caso, un acoplamiento hembra (21) adecuado para recibir el cono (20). Es decir, el sistema que se va a encajar con la parte anclada en el mar comprende parte del cuerpo superior (8) que se fija a la parte giratoria de la estructura y parte del cuerpo inferior (7) que se anclará. Después del ensamblaje, ambos medios de centrado forman parte de la parte anclada (3) de la estructura. Los medios de centrado macho-hembra permiten que toda la parte giratoria (4) se pueda bloquear correctamente en su posición de trabajo encima de la parte anclada (3), incluso en el mar.

10

REIVINDICACIONES

1. Una estructura de turbina eólica de eje horizontal marina flotante (1) que comprende una parte anclada (3) anclada a un lecho marino, y una parte giratoria (4), estando la estructura (1) soportada por al menos tres medios de flotación que incluyen una boya pivotante (6, 9), en donde la boya pivotante (6) comprende:
un cuerpo inferior (7) anclado al lecho marino (13) y un cuerpo superior (8) fijado a la parte giratoria (4) de la estructura de la turbina eólica (1),
una conexión eléctrica entre el cuerpo inferior (7) y el cuerpo superior (8) de la boya pivotante (6), y
un sistema de guiñada que conecta el cuerpo superior (8) con el cuerpo inferior (7),
en donde el sistema de guiñada comprende un medio de giro (17) que incluye una pista de rodadura interior (19) conectada a uno del cuerpo superior (8) y el cuerpo inferior (7), y una pista de rodadura exterior (18) conectada al otro del cuerpo superior (8) y el cuerpo inferior del cuerpo (7), y
en donde las pistas de rodadura interior y exterior (18, 19) están configuradas para girar entre sí alrededor de un eje de guiñada vertical (2), estando el sistema de guiñada configurado para permitir una alineación de la parte giratoria (4) de la estructura de la turbina eólica (1) con la dirección predominante del viento, girando alrededor del eje de guiñada vertical (2),
caracterizado por que
el sistema de guiñada comprende además:
un medio de centrado interior (20) y un medio de centrado exterior (21) que son coaxiales con el eje de guiñada (2), y
elementos elásticos (22) dispuestos entre los medios de centrado interiores (20) y la pista de rodadura interior (19) de los medios giratorios, actuando los elementos elásticos (22) como interfaz mecánica en un lado del medio de giro (17), y configurados para transmitir cargas mecánicas a los medios de giro (17), permitiendo un giro relativo limitado entre la parte giratoria (4) y la parte anclada (3) en un eje perpendicular al eje de guiñada (2) y protegiendo los medios giratorios (17) de los impactos que pueden producirse durante un proceso de instalación marítimo de ensamblaje de la parte giratoria (4) y la parte anclada (3).
2. Una estructura de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la conexión eléctrica entre el cuerpo inferior (7) y el cuerpo superior (8) de la boya pivotante (6) es coaxial con el eje de guiñada (2).
3. Una estructura de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el medio de centrado interior (20) es un cono, y el medio de centrado exterior (21) es un contracono.
4. Una estructura de acuerdo con la reivindicación 1, en donde los medios de giro (17) son cojinetes y la pista de rodadura interior (19) de los cojinetes está firmemente conectada a dos placas circulares (24) que tienen una superficie interior cónica, con ambas placas circulares (24) dispuestas simétricamente con respecto al plano horizontal medial del cojinete (17), una encima y la otra debajo de la pista de rodadura interior (19) del cojinete y los elementos elásticos (22) tienen forma de mosaico, y se distribuyen uniformemente a lo largo de la superficie cónica interior de las placas circulares (24), y los elementos elásticos se precargan por medio de una conexión atornillada que conecta la pista de rodadura interior (19) a las placas circulares (24) atrapando también el contracono de centrado (21) entre las superficies interiores de los elementos elásticos (22).
5. Una estructura de acuerdo con la reivindicación 4, en donde los elementos elásticos (22) están hechos de caucho natural precargado.
6. Una estructura de acuerdo con la reivindicación 1, en donde se incluye un segundo sistema de elementos elásticos al otro lado del medio de giro (17).
7. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde el sistema de guiñada es un sistema de guiñada pasivo configurado para permitir que la parte giratoria gire a modo de veleta y se alinee con la dirección predominante del viento.
8. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que la parte anclada (3) comprende una plataforma de patas tensoras que comprende un cuerpo inferior flotante (7) y una pluralidad de líneas de amarre (14).
9. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en donde la conexión eléctrica entre el cuerpo inferior (7) y el cuerpo superior (8) de la boya pivotante (6) comprende una sección del cable eléctrico (30) a través del cual se transmite la electricidad generada por la turbina eólica, y que atraviesa la boya pivotante (6), tiene una longitud axial libre que es suficientemente larga para acomodar la torsión de al menos una vuelta completa de la parte giratoria (4) con respecto a la parte anclada (3), sin exceder un límite de torsión del cable.
10. Una estructura de acuerdo con la reivindicación 9, que comprende además medios mecánicos para la conexión/desconexión (26) del cable eléctrico (30), medios de giro (28, 29) accionados por un motor (27) capaz de hacer girar uno de los extremos del cable eléctrico (30) para compensar la torsión acumulada en el mismo, y un sistema

de control que, habiendo medido un determinado ángulo de giro entre el cuerpo inferior (7) y el cuerpo superior (8) de la boya pivotante (6), desenchufa los medios mecánicos de conexión/desconexión (26), acciona el motor (27) hasta que los medios de giro (28, 29) desenrollan las vueltas medidas por el sistema en el extremo del cable eléctrico (30) en el que actúan, liberando la torsión acumulada en él, y luego se vuelve a enchufar en el medio de conexión/desconexión (26).

5 11. Una estructura de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-8, que comprende una conexión eléctrica giratoria entre la parte giratoria (4) y la parte anclada (3) de la estructura.

10 12. Un método para instalar una estructura de turbina eólica marina flotante de eje horizontal de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-11, que comprende:

anclar el cuerpo inferior (7) de la boya pivotante (6), sosteniendo el cuerpo inferior uno de los medios de centrado interior y exterior,

15 montar los elementos elásticos (22) debajo del cuerpo superior (8) en tierra, antes de la instalación;
colocar el cuerpo superior (8) encima del cuerpo inferior (7), sosteniendo el cuerpo superior el otro de los medios de centrado interior (20) y exterior (21) coaxial con el eje de guiñada (2) y
mover el cuerpo superior (8) y el cuerpo inferior (7) entre sí para que los medios de centrado interior y exterior engranen entre sí.

20 13. Un método de acuerdo con la reivindicación 12, en donde el posicionamiento del cuerpo superior (8) y una bajada del cuerpo superior (8) se realizan con una barcaza semisumergible (41).

25 14. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 12-13, en donde el cuerpo inferior (7) comprende una plataforma de patas tensoras, y en donde se lleva a cabo una elevación del cuerpo inferior (7) controlando una flotabilidad de la plataforma de patas tensoras.

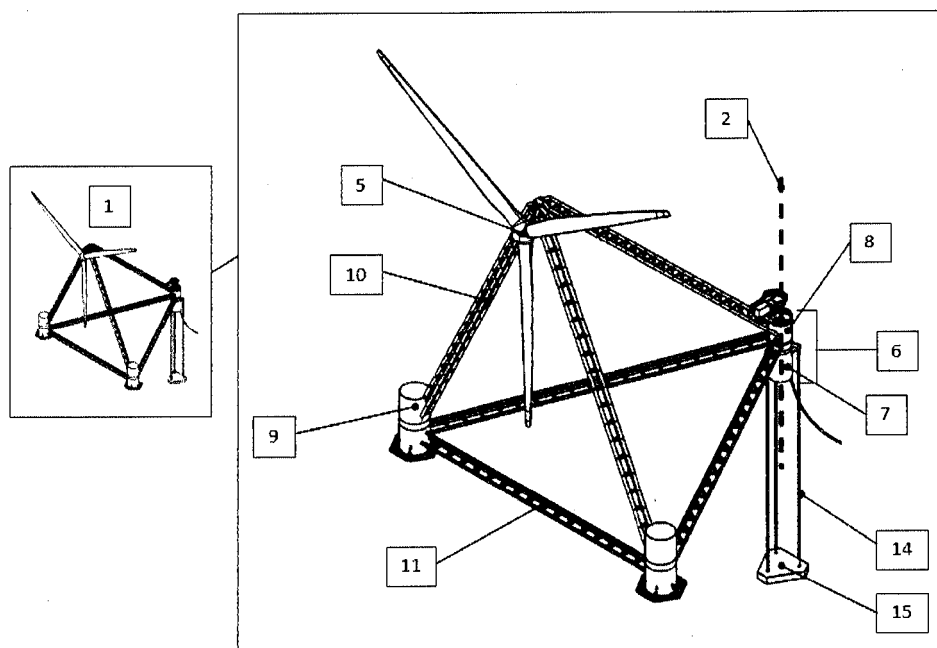


FIG. 1

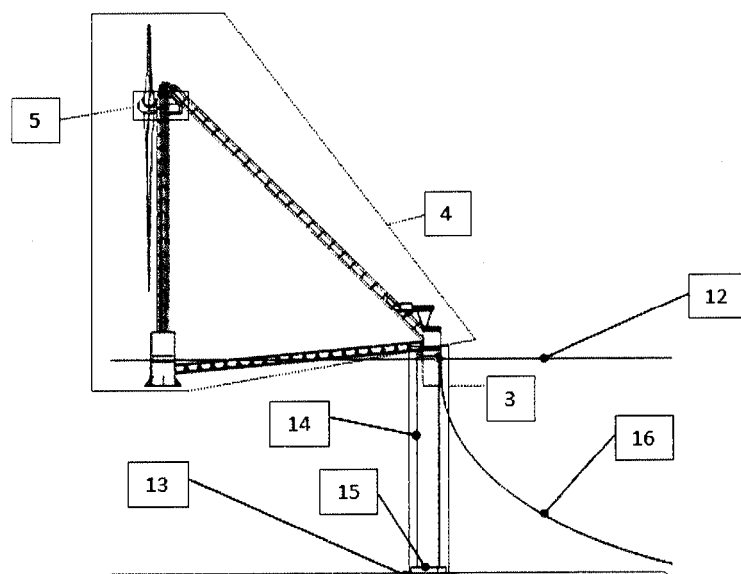


FIG. 2

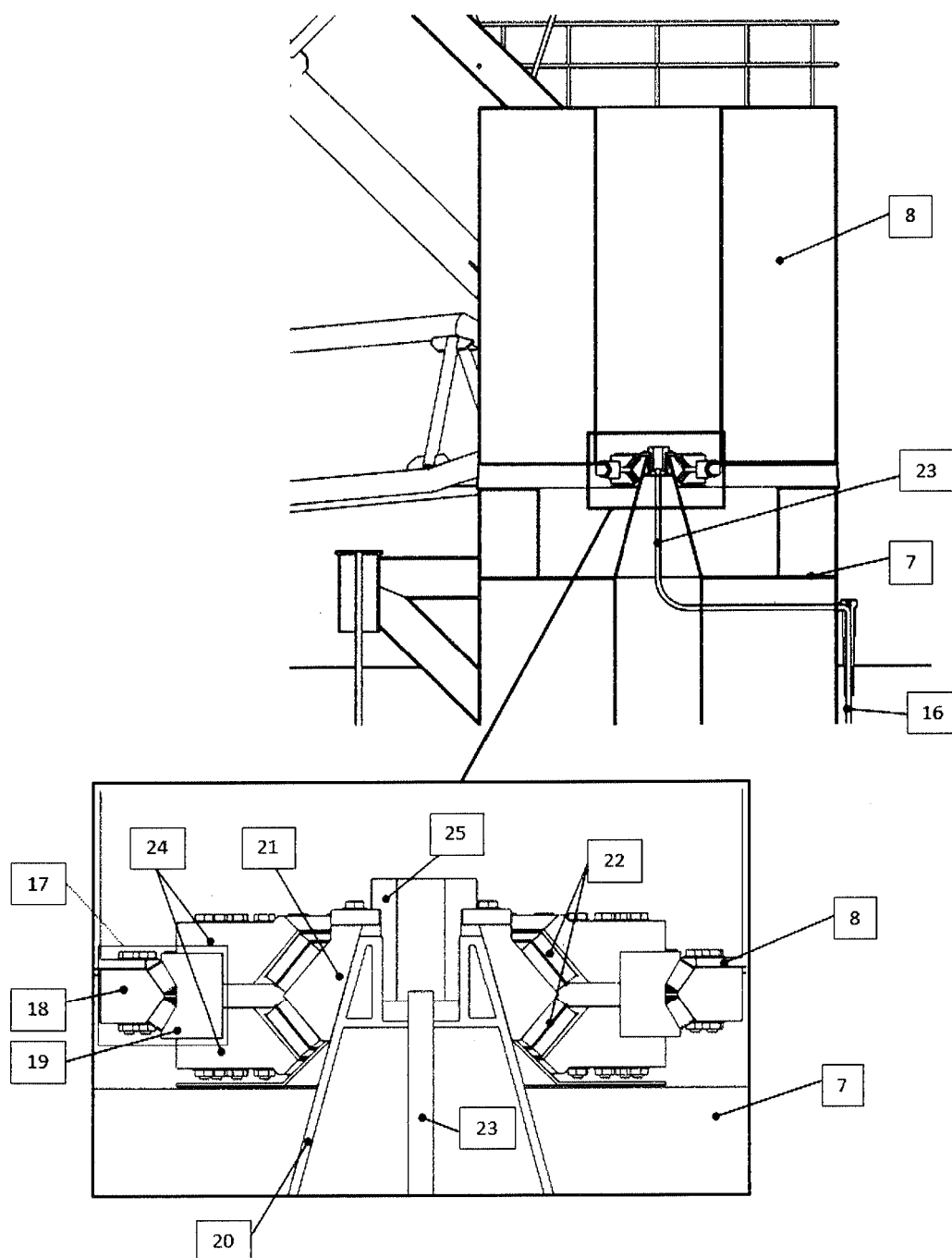


FIG. 3

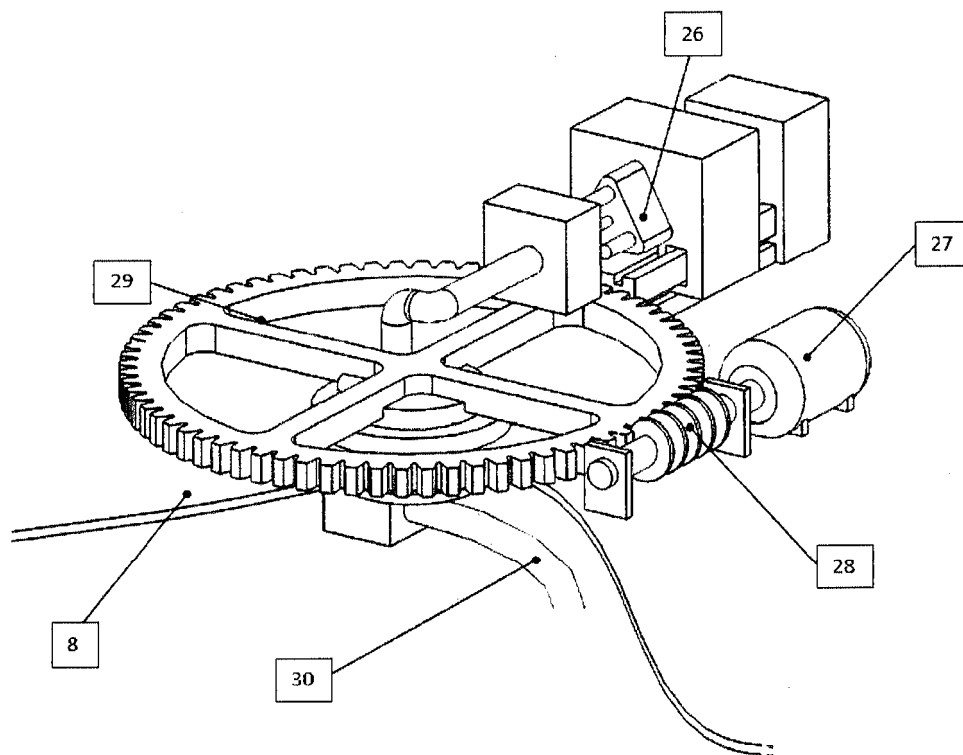


FIG. 4

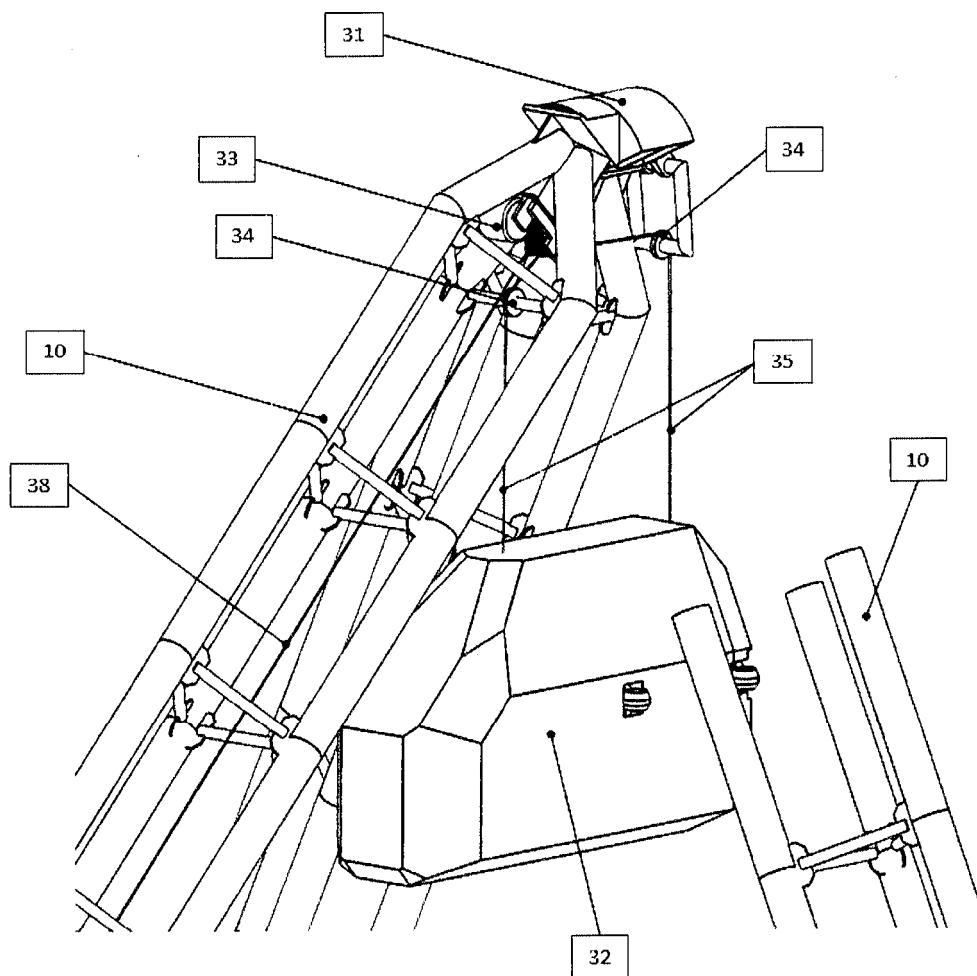


FIG. 5

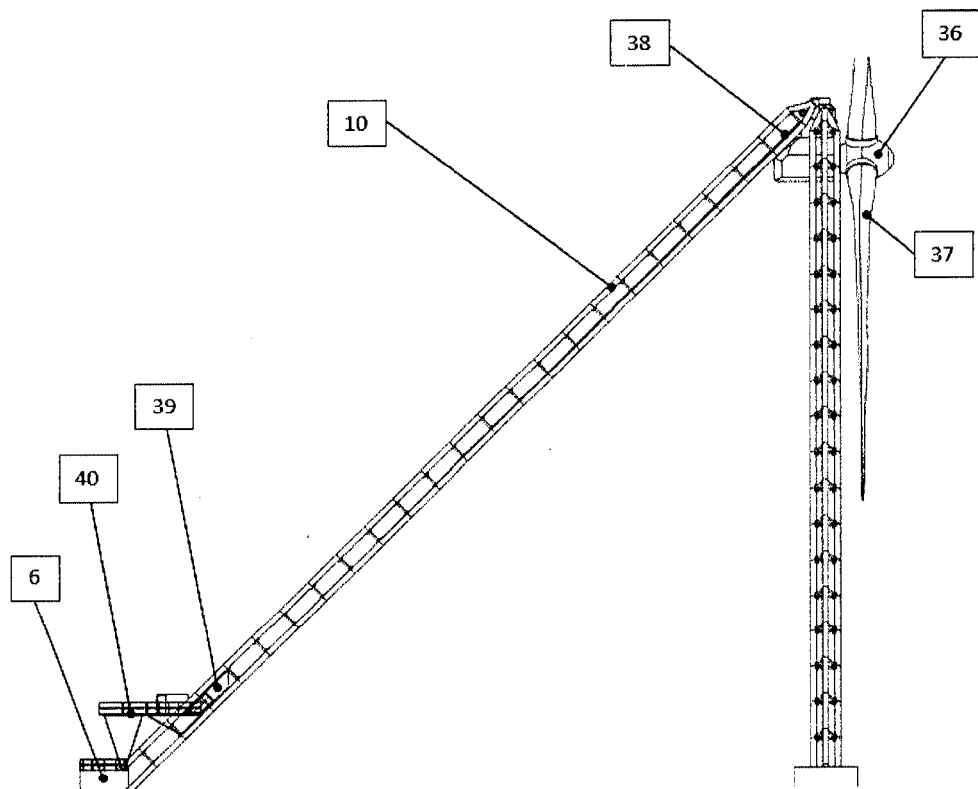


FIG. 6

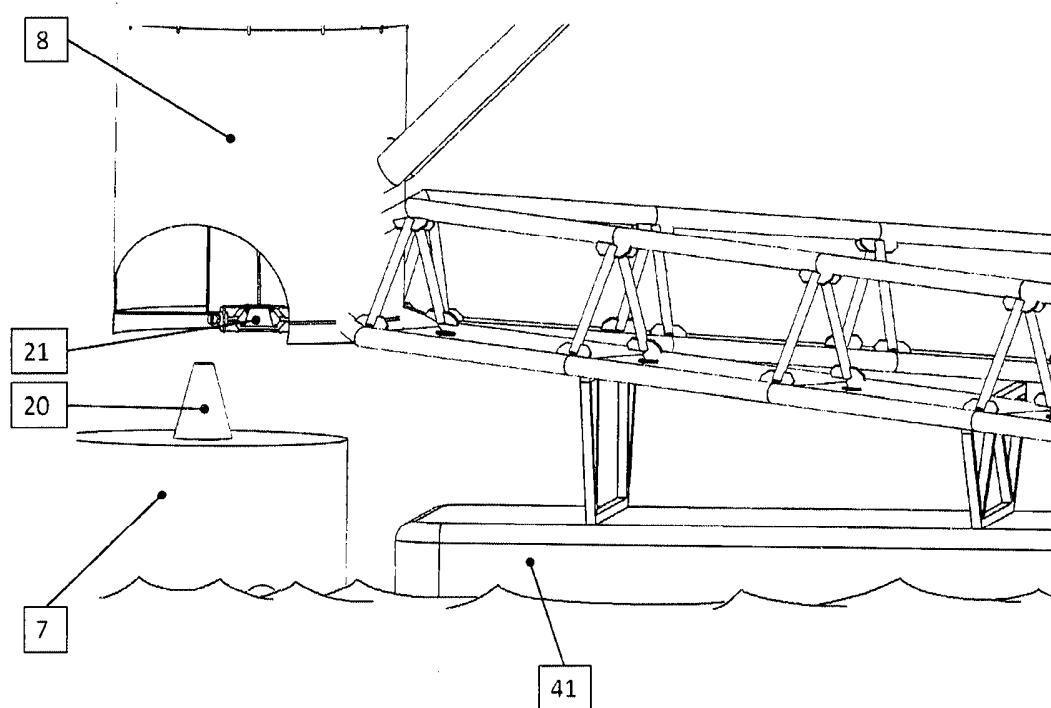


FIG. 7