

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 982 587**

51 Int. Cl.:

**B63B 21/50** (2006.01)

**B63B 35/44** (2006.01)

**B63B 39/02** (2006.01)

**F03D 13/25** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **05.09.2019 PCT/EP2019/073752**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.03.2020 WO20057997**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.09.2019 E 19765697 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.04.2024 EP 3853118**

54 Título: **Turbina eólica flotante con posición de guiñada controlable**

30 Prioridad:

**20.09.2018 FR 1858540**

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

**16.10.2024**

73 Titular/es:

**EOLINK (100.0%)  
115 Rue Claude Chappe  
29280 Plouzané, FR**

72 Inventor/es:

**GUYOT, MARC**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

ES 2 982 587 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**

Turbina eólica flotante con posición de guiñada controlable

5 El campo de la invención es el del diseño y fabricación de medios de producción de energía en un medio marino.

Más concretamente, la invención se refiere a un conjunto de producción de energía en un medio marino que comprende una turbina eólica del tipo autoorientable, es decir capaz de moverse según la dirección del viento.

10 Para permitir la producción de energía renovable, se utilizan comúnmente turbinas eólicas que aprovechan la fuerza del viento.

15 Según un diseño clásico, las turbinas eólicas constan de un mástil sobre el que está montada una turbina provista de una hélice y de una unidad para transformar el movimiento de la hélice en corriente eléctrica.

20 Las turbinas eólicas se instalan generalmente en campos de cultivo o en espacios dedicados, en forma de parques eólicos.

Sin embargo, para los residentes que viven cerca de las turbinas eólicas, éstas presentan muchas desventajas.

25 En primer lugar, las turbinas eólicas generan ruido durante su funcionamiento. Este ruido es especialmente molesto cuando las turbinas eólicas funcionan de noche, cuando los residentes locales quieren dormir.

Además, aunque se han hecho esfuerzos por hacerlos estéticos, las turbinas eólicas forman una gran masa que distorsiona los paisajes.

30 Además, el espacio necesario para la instalación de una turbina eólica terrestre es considerable. Por lo tanto, puede resultar imposible instalar una turbina eólica terrestre en determinados lugares o imponerse un límite al número de turbinas eólicas terrestres que se pueden instalar en detrimento de la capacidad de producción de electricidad.

35 Por último, las condiciones del viento pueden no ser óptimas en tierra. Por otro lado, se ha demostrado que en el mar los vientos son más fuertes y más regulares, lo que resulta beneficioso para la producción de electricidad.

40 Para limitar las molestias a los residentes locales y mejorar las capacidades de producción de electricidad, se han diseñado turbinas eólicas destinadas a ser instaladas en el mar.

Existen varios tipos de turbinas eólicas marinas.

45 El primer tipo se refiere a las llamadas turbinas eólicas marinas clásicas, es decir, turbinas eólicas como las que se instalan en tierra, pero que están ligeramente modificadas para poder instalarse en el mar.

Dado que la dirección del viento puede cambiar, este primer tipo de turbina eólica marina incluye una turbina montada móvil sobre el mástil para adaptarse a la dirección del viento.

50 Sin embargo, la turbina constituye un peso importante en la parte superior de la turbina eólica, lo que, en consecuencia, genera un brazo de palanca considerable y provoca importantes limitaciones de inclinación. Por lo tanto, es necesario prever una estructura de anclaje para la turbina eólica que debe resistir las tensiones vinculadas al viento y al peso de la turbina eólica.

55 Hasta la fecha, la mayoría de las turbinas eólicas marinas, denominadas "offshore", descansan en el fondo del mar, a excepción de algunos prototipos de turbinas eólicas flotantes del segundo y tercer tipo, que se describen a continuación. Por lo tanto, el mástil de las turbinas eólicas marinas suele descansar sobre un tubo metálico profundamente enterrado en el subsuelo submarino y, más raramente, sobre una estructura de celosía metálica denominada "jacket".

60 Las turbinas eólicas marinas de este primer tipo son generalmente muy pesadas y su instalación, incluida la estructura de anclaje, puede resultar larga y tediosa.

65 Las turbinas eólicas marinas flotantes permiten explotar inmensas extensiones de mar. A diferencia de las turbinas eólicas marinas fijas antes mencionadas, las turbinas eólicas flotantes pueden instalarse más allá de

los 50 m de profundidad, y el montaje entre la turbina y los cimientos puede realizarse ventajosamente en tierra y no en el mar, donde las condiciones son más difíciles.

Las turbinas eólicas flotantes se mantienen en su lugar de producción mediante sistemas de anclaje.

Estos sistemas de anclaje de las turbinas eólicas deben soportar las condiciones normales y las condiciones extremas. Generalmente se componen de anclajes (ancla de arrastre, anclaje de succión, placas enterradas o incluso peso muerto), líneas de anclaje (cadena, cable metálico, materiales sintéticos como poliéster, polietileno de alta densidad o incluso poliamida).

Un segundo tipo se refiere a turbinas eólicas similares al primer tipo, pero sostenidas por una estructura flotante conectada al fondo marino. Durante la producción, las turbinas eólicas del segundo tipo están sujetas a las corrientes y al oleaje, que pueden provocar un ángulo de guiñada de la turbina eólica, es decir, una rotación de la turbina eólica flotante con respecto a un eje vertical.

Para luchar contra este ángulo de guiñada, las turbinas eólicas flotantes del segundo tipo incluyen un sistema eléctrico de ajuste de la guiñada. Por ejemplo, motores eléctricos o un sistema de deriva de sotavento permiten girar la turbina con respecto al mástil para posicionar el eje de rotación de la hélice de la turbina en el eje del viento.

Para mejorar la resistencia estructural de las turbinas eólicas flotantes, el documento de patente publicado con el número EP2 986 848 describe un tercer tipo de turbina eólica flotante que incluye una estructura flotante que soporta una turbina eólica de eje horizontal mediante varios brazos. La góndola de la turbina está fijada con relación a la estructura flotante de la turbina eólica flotante de modo que ya no puede orientarse de frente al viento independientemente de la estructura flotante para compensar el ángulo de guiñada debido a las fuerzas del mar. En resumen, es el conjunto de la turbina eólica flotante lo que se enfrenta al viento, girando alrededor de un medio de anclaje tal como una boya o un carrete.

Por lo tanto, este tercer tipo se refiere a las turbinas eólicas marinas denominadas de tipo autoorientable.

Estas turbinas eólicas son generalmente más pequeñas y ligeras que las del primer tipo y las del segundo tipo.

La invención tiene como objetivo particularmente superar los inconvenientes de la técnica anterior.

Más precisamente, la invención tiene como objetivo proponer un conjunto de producción de energía en un medio marino, que permita contrarrestar las fuerzas del mar y del viento para estabilizar la turbina eólica para asegurar una buena orientación de la turbina y garantizar un alto rendimiento de producción de la turbina eólica.

La invención también tiene como objetivo proporcionar un conjunto de este tipo en el que se pueda obtener rápidamente la estabilidad de la turbina eólica.

La invención también tiene como objetivo proporcionar un conjunto de este tipo que sea sencillo de operar y autónomo.

Estos objetivos, así como otros que aparecerán posteriormente, se consiguen gracias a la invención que tiene como objetivo un conjunto de producción de energía en un medio marino que comprende:

- medios de anclaje destinados a fijarse al fondo marino;
- una turbina eólica flotante que comprende una turbina que tiene un eje de rotación fijo de una hélice con respecto a una estructura flotante de la turbina eólica flotante, la turbina eólica flotante está unida a los medios de anclaje y está destinada a pivotar alrededor de estos de manera que el eje de la rotación de la turbina sea sustancialmente paralelo a una dirección del viento,
- medios para determinar la dirección del viento;

caracterizado porque comprende:

- medios para detectar una orientación de la turbina eólica flotante con respecto a la dirección del viento;
- medios para detectar una inclinación de la turbina eólica flotante alrededor de un eje paralelo al eje de rotación de la hélice de la turbina;
- medios para controlar la inclinación de la turbina eólica flotante;
- una unidad de cálculo, destinada a recibir información procedente de los medios para determinar la dirección del viento, de los medios para detectar la inclinación de la turbina eólica flotante y de los medios para detectar la orientación de la turbina eólica flotante con respecto a la dirección del viento, para

transmitir una instrucción a los medios de control de la inclinación de la turbina eólica flotante y modificar la orientación de la turbina eólica flotante con respecto a la dirección del viento.

5 Gracias al control de la inclinación de la turbina eólica flotante, es posible garantizar una mejor eficiencia de la turbina eólica flotante en términos de producción de electricidad.

Además, se reduce o incluso se elimina la fatiga y, por lo tanto, la rotura o el daño prematuro de la turbina eólica flotante.

10 Además, la modificación de la inclinación de la turbina eólica flotante se realiza mediante una modificación del ángulo de balanceo de esta última, es decir una modificación de la inclinación de la turbina eólica flotante según el eje de rotación fijo de la hélice. Por una relación de causa y efecto, la modificación del ángulo de balanceo de la turbina eólica flotante permite actuar y modificar su ángulo de guiñada, es decir su orientación según un eje sustancialmente perpendicular a la superficie del mar y al eje de rotación de la hélice de la turbina.

15 En efecto, la posición del centro de empuje del viento (cerca del centro de la hélice de la turbina), definida por el barrido de las palas, se modifica cuando se modifica el ángulo de balanceo. Esto tiene el efecto de modificar la posición de la turbina eólica y en particular su ángulo de guiñada con respecto a la dirección del viento. Por lo tanto, se mejora la producción de energía eléctrica, aunque las condiciones del mar sean desfavorables para una explotación de las turbinas eólicas.

20 Es decir, para modificar el ángulo de guiñada no se actúa directamente sobre él, por ejemplo, ajustando la tensión de los amarres que conectan la turbina eólica flotante a los medios de anclaje, sino sobre otros parámetros más fáciles de modificar y menos restrictivos para la estructura de la turbina eólica flotante.

25 Según una primera realización ventajosa, los medios de control de la inclinación comprenden un sistema de lastre que comprende:

- 30 - un primer tanque y un segundo tanque cada uno unido a una estructura de la turbina eólica flotante y cada uno dispuesto a cada lado del eje de rotación de la turbina, y pueden actuar sobre la inclinación de la turbina eólica flotante;
- 35 - medios de bombeo configurados para permitir la transferencia de un peso en forma líquida o semilíquida del primer tanque al segundo tanque o viceversa.

El uso de tanques para formar lastres permite una ejecución rápida en la modificación de la orientación de la turbina eólica flotante.

40 Además, bombear o descargar agua directamente al mar y/o de un lastre a otro asegura una modificación rápida de la orientación de la turbina eólica flotante para aumentar aún más su rendimiento.

Según un segundo modo de realización ventajoso, los medios de control de la inclinación comprenden:

- 45 - una masa móvil montada sobre una estructura de la turbina eólica flotante;
- medios para guiar el desplazamiento de la masa, que definen una trayectoria de guía que se extiende a ambos lados del eje de rotación de la turbina;
- medios motores para permitir el desplazamiento de la masa sobre los medios de guía.

50 Ventajosamente, tales medios de control son rápidos de implementar, ya que un simple desplazamiento de la masa a un lado o al otro de la turbina eólica flotante asegura su cambio de inclinación. Además, al usar medios de guía predeterminados, es posible modificar la inclinación de la turbina eólica flotante con gran delicadeza.

55 Según una tercera realización, los medios de control de la inclinación comprenden medios de regulación del par de la turbina para variar el par de la turbina en función de una instrucción procedente de la unidad de cálculo.

60 Controlando el par de la turbina, es posible modificar la inclinación de balanceo de la turbina eólica flotante en función de las fuerzas debidas al viento. En otras palabras, con un viento fuerte y por lo tanto una inclinación importante, ajustar el par de la turbina (reduciendo el par) para limitar los efectos del viento sobre la inclinación de la turbina eólica flotante permite mantener una potencia de producción eléctrica igual (también se habla de isotencia).

65 Ventajosamente, los medios para determinar la dirección del viento incluyen una veleta.

Una veleta es a la vez sencilla de implementar y de instalar y es relativamente precisa para permitir la orientación correcta de la turbina eólica flotante.

Según una primera realización alternativa, la veleta está unida a la turbina eólica flotante.

Según una segunda variante de realización, la veleta está unida a los medios de anclaje.

De este modo, es posible colocar la veleta bien sobre los medios de anclaje o bien sobre la turbina eólica flotante sin que esto afecte a la calidad de orientación de la turbina eólica flotante. Así, independientemente de su ubicación, la veleta puede proporcionar información fiable que permite orientar correctamente la turbina eólica flotante según la dirección del viento.

Ventajosamente, los medios de detección de la inclinación de la turbina eólica flotante comprenden una unidad inercial unida a la turbina eólica flotante.

Una unidad inercial permite conocer la inclinación de la turbina eólica flotante según varios ejes. Eso permite especialmente un ajuste preciso de la orientación de la turbina eólica flotante en función de la dirección del viento y, por lo tanto, un rendimiento de producción significativo.

La invención también se refiere a un método para modificar la orientación de una turbina eólica flotante implementado por un conjunto de producción de energía en un medio marino según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende las etapas que consisten en:

- determinar la dirección del viento;
- detectar la orientación de la turbina eólica flotante con respecto a la dirección del viento;
- definir una instrucción para modificar la inclinación de la turbina eólica flotante en función de la dirección del viento y de la orientación de la turbina eólica flotante;
- actuar sobre la inclinación de la turbina eólica flotante mediante dicha instrucción para modificar la inclinación de la turbina eólica flotante.

Otras características y ventajas de la invención aparecerán más claramente con la lectura de la siguiente descripción de un modo de realización preferente de la invención, dada a título de ejemplo ilustrativo y no limitativo, y de los dibujos adjuntos entre los que:

- La figura 1 es una vista lateral esquemática de un conjunto de producción de energía en un medio marino, según la invención;
- La figura 2 es una vista superior esquemática de una estructura de una turbina eólica flotante del conjunto de producción de energía en un medio marino, según la invención, según una primera realización;
- La figura 3 es una vista superior esquemática de una estructura de una turbina eólica flotante del conjunto de producción de energía en un medio marino, según la invención, según una segunda realización;
- La figura 4 es una vista lateral esquemática de un conjunto de producción de energía en un medio marino, según la invención, según una realización alternativa;
- La figura 5 es un diagrama que muestra la evolución del ángulo de guiñada según diferentes hipótesis de uso de la turbina eólica flotante del conjunto de producción de energía en un medio marino, según la invención, durante una campaña de pruebas;
- Las figuras 6a a 6d son representaciones esquemáticas de la turbina eólica flotante del conjunto de producción de energía en un medio marino, según la invención, durante la campaña de pruebas, en vista superior para las figuras 6a y 6c, y en vista frontal para las figuras 6b y 6d.

En la figura 1 se muestra un conjunto de producción de energía 1 en un medio marino, según la invención.

El conjunto de producción de energía 1 comprende:

- medios de anclaje 2 destinados a fijarse a un fondo marino 3;
- una turbina eólica flotante 4 del tipo autoorientable.

Los medios de anclaje 2 comprenden una boya 21 y un dispositivo de anclaje 22 de la boya 21 al fondo marino 3.

La turbina eólica flotante 4 comprende:

- una estructura flotante 5;
- una estructura aérea 6 montada sobre la estructura flotante 5;
- una turbina 7 soportada por la estructura aérea 6.

La estructura flotante 5 comprende al menos tres flotadores 51, y en este caso cuatro flotadores 51.

Los flotadores 51 están unidos entre sí mediante un enrejado 52 formado por vigas 521, por ejemplo, vigas metálicas 521.

5 La estructura aérea 6 comprende cuatro patas 61. Cada pata 61 tiene un primer extremo 62 fijado a uno de los flotadores 51 y un segundo extremo 63 fijado a la turbina 7.

La turbina 7 comprende una hélice 71 y una góndola 72 sobre la cual está montada la hélice 71 para girar alrededor de un eje A-A de rotación que está fijo con respecto a la estructura flotante 5 de la turbina eólica flotante 4.

10 En términos generales, la hélice 71 está compuesta por un cubo central sobre el cual están montadas de forma giratoria palas. Las palas son independientes entre sí para permitir su orientación en tiempo real si es necesario, en particular, para variar la resistencia de la hélice 71 al viento y por lo tanto al par de la turbina 7. Para mayor claridad, a continuación, se hablará de una hélice en lugar de un conjunto de cubo central y pala.

15 Como se ilustra en la figura 1, la turbina 7 está unida a la estructura aérea 6 mediante la cooperación de la góndola 72 con el segundo extremo 63 de las patas.

20 Finalmente, la turbina eólica flotante 4 está unida a los medios de anclaje 2 por medios de unión 53, y más particularmente mediante al menos un amarre.

25 Los amarres permiten que, durante su funcionamiento, la turbina eólica flotante 4 pueda girar alrededor de la boya 22 de los medios de anclaje 2 para posicionarse en una dirección del viento V (ilustrada en la figura 1 mediante flechas). En el caso de un único amarre, el centro de giro de guiñada de la turbina eólica flotante 4 es la unión entre el amarre y la turbina eólica flotante 4.

En otras palabras, la boya 2 forma un eje de rotación alrededor del cual gira la turbina eólica flotante 4 para asegurar la producción de energía.

30 Se define un sistema de referencia ortonormal en relación con la turbina eólica flotante 4, que comprende:

- un eje X paralelo al eje A de rotación;
- un eje Y perpendicular al eje X y que se extiende en dirección babor-estribor de la turbina eólica flotante 4;
- 35 - un eje Z que forma con los ejes X y Y un triedro directo o sistema de referencia ortonormal.

En relación con este sistema de referencia ortonormal, se definen tres ángulos de rotación, a saber, un ángulo de balanceo alrededor del eje X, un ángulo de cabeceo alrededor del eje Y y un ángulo de guiñada alrededor del eje Z.

40 Durante la producción de energía, la turbina eólica flotante 4 está sometida a fuerzas externas que tienden a desestabilizarla e inclinarla.

45 Entre estas fuerzas externas, la corriente y el oleaje provocan una desorientación de la turbina eólica flotante 4 que perjudica la productividad de la energía eléctrica.

Además, cuando el viento ejerce un empuje sobre la turbina, la turbina eólica tiende a cabecear, es decir, a pivotar alrededor del eje Y.

50 Cuando el oleaje está alineado con el viento V, éste influye en el cabeceo de la turbina eólica de forma alternativa y cíclica. Se entiende por esto que, con los valles y crestas del oleaje, la turbina eólica flotante se desplaza y luego vuelve a su posición de forma cíclica.

55 Cuando el oleaje es perpendicular al viento, las fuerzas de primer orden (las más importantes), es decir la componente principal de las fuerzas en general, generan un balanceo alternativo y cíclico.

60 Las fuerzas del oleaje a lo largo del eje Y son nulas en promedio en el primer orden (anulación del desplazamiento (en una cresta) por el retorno a la posición (en un valle)), no empujan la turbina eólica flotante 4 a lo largo del eje Y, ni modifican el ángulo de guiñada de la turbina eólica flotante 4 con respecto a la dirección del viento.

Las fuerzas de segundo orden (vistas en detalle) posiblemente generan una fuerza de deriva de la turbina eólica flotante 4, que toma la forma de un ángulo de guiñada.

Por otro lado, una corriente a lo largo del eje Y puede ser perjudicial, y mucho más cuando esta corriente es elevada. Esto se explica en particular por el arrastre que genera la corriente sobre la estructura flotante 5 de la turbina eólica flotante 4.

5 De hecho, la turbina eólica flotante 4 se encuentra entonces descentrada, lo que perjudica su rendimiento de producción de energía eléctrica.

10 Para reducir la influencia del oleaje y de la corriente sobre la productividad de la turbina eólica flotante 4, la invención tiene como objetivo modificar la posición del centro de empuje del viento P. El centro de empuje del viento P de la turbina eólica flotante 4 se define como el baricentro de la suma de todas las fuerzas relacionadas con el viento V aplicadas sobre la estructura aérea 6 (principalmente sobre la hélice 71).

15 Modificando la posición del centro de empuje del viento P, la turbina eólica flotante 4 se desplaza a lo largo del eje Y y se genera un ángulo de guiñada  $\alpha_1$ .

Una de las razones de este mecanismo es la siguiente: el vector de viento V que pasa a través de un centro de giro en guiñada de la turbina eólica flotante 4 (por ejemplo, los medios de anclaje) debe ser colineal con la fuerza de empuje del viento P.

20 Este ángulo de guiñada  $\alpha_1$  permite corregir una desalineación con el viento V, o crear una desalineación con el viento V en el caso de que se desee orientar la estela de la turbina eólica flotante 4 en una dirección específica (por ejemplo, para evitar que no se dirija hacia otra turbina eólica flotante 4 situada aguas abajo, lo que alteraría su rendimiento).

25 En otras palabras, se crea voluntariamente un ángulo de guiñada  $\alpha_1$  aceptable para evitar interrumpir el funcionamiento de una turbina eólica flotante 4 adyacente situada aguas abajo en la dirección del flujo de viento V.

30 Por aceptable se entiende que el ángulo de guiñada  $\alpha_1$  creado no perjudica el rendimiento de producción de la turbina eólica flotante 4 descentrada voluntariamente.

Para permitir la corrección o la creación del ángulo de guiñada  $\alpha_1$ , y por lo tanto un buen rendimiento de producción de la turbina eólica flotante 4, el conjunto de producción 1 comprende:

- 35 - medios de determinación 8 de la dirección del viento V;  
 - medios de detección 81 de una orientación de la turbina eólica con respecto a la dirección del viento;  
 - medios de detección 9 de una inclinación de la turbina eólica flotante 4;  
 - medios de control 10 de la inclinación de la turbina eólica flotante, ilustrados esquemáticamente en las figuras 2 y 3;  
 40 - una unidad de cálculo 11, que se comunica con los medios de determinación 8, los medios de detección 9 y los medios de control 10.

45 Los medios de determinación 8 de la dirección del viento V adoptan, por ejemplo, la forma de una veleta, y los medios para determinar la orientación de la turbina eólica flotante 4 con respecto a la dirección del viento V adoptan, por ejemplo, la forma de una cámara orientada en la dirección del viento V y destinados a capturar la posición de un punto de referencia.

50 A modo de ejemplo, la cámara está unida a los medios de amarre y el punto de referencia está unido a la turbina eólica flotante 4.

Los medios de determinación 8 de la dirección del viento V pueden montarse sobre la turbina eólica flotante 4, como se ilustra en la figura 1, o sobre los medios de amarre 2 y más particularmente sobre la boya 21, como se ilustra en la figura 4.

55 Los medios de detección 9 de la inclinación de la turbina eólica flotante 4 toman, por ejemplo, la forma de una brújula o un acelerómetro y están colocados sobre la turbina eólica flotante 4. Preferiblemente, los medios de detección 9 de la inclinación de la turbina eólica flotante toman la forma de una unidad inercial.

60 La unidad de cálculo 11 está destinada a adquirir información procedente de los medios de determinación 8 de la dirección del viento y de los medios de detección 9 de la inclinación de la turbina eólica flotante 4, para transmitir una instrucción a los medios de control 10 de la inclinación de la turbina eólica flotante 4.

Según una primera realización ilustrada en la figura 2, los medios de control 10 de la inclinación de la turbina eólica flotante 4 comprenden un sistema de lastre 12 que tiene:

- 65 - un primer tanque 121 y un segundo tanque 122;

- medios de bombeo 123.

Más precisamente, el primer tanque 121 y el segundo tanque 122 están unidos cada uno a la estructura 5 de la turbina eólica flotante 4 y cada uno está dispuesto a cada lado del eje de rotación A-A de la turbina 7.

5

Cuando uno del primer tanque 121 y el segundo tanque 122 se llena con una cantidad mayor que el otro, entonces puede actuar sobre la inclinación de la turbina eólica flotante 4 y en particular sobre el ángulo de balanceo, es decir hace girar la turbina eólica flotante 4 alrededor del eje Y.

10

Por otra parte, cuando no actúa ninguna fuerza para modificar la inclinación de la turbina eólica flotante 4, el primer tanque 121 y el segundo tanque 122 pueden llenarse cada uno o, por el contrario, vaciarse cada uno. Cada tanque tiene entonces una masa idéntica a la del otro, de modo que la turbina eólica flotante 4 se estabiliza automáticamente.

15

Los medios de bombeo 123 están configurados para permitir la transferencia de un peso en forma líquida o semilíquida desde el primer tanque 121 al segundo tanque 122 o viceversa.

20

Preferiblemente, el peso es del agua bombeada directamente al mar por los medios de bombeo 123. Los medios de bombeo 123 están configurados además para permitir que el agua contenida en cada uno del primer tanque 121 y el segundo tanque 122 sea rechazada para permitir que se vacíen completamente.

Además, los medios de bombeo están controlados por la unidad de cálculo 11 como se describe a continuación.

25

Según una segunda realización ilustrada en la figura 3, los medios de control 10 de la inclinación de la turbina eólica flotante 4 comprenden:

30

- una masa 13;
- medios de guía 14 del desplazamiento de la masa 13;
- medios motores 15.

La masa 13 está montada de forma móvil sobre la estructura 5 de la turbina eólica flotante 4.

35

Más particularmente, la masa 13 está montada de manera móvil sobre los medios de guía 14 del desplazamiento de la masa 13, ellos mismos unidos a la estructura 5 de la turbina eólica flotante.

Los medios de guía 14 definen una trayectoria de guía que se extiende a ambos lados del eje de rotación A-A de la turbina 7.

40

Según una primera realización, los medios de guía 14 toman la forma de un carril rectilíneo 141 que se extiende sustancialmente perpendicular al eje de rotación A-a de la turbina 7. Por lo tanto, la masa 13 es capaz de desplazarse sobre este carril rectilíneo 141 para ir de izquierda (babor) a derecha (estribor) o viceversa.

45

Según una segunda realización, los medios de guía 14 toman la forma de un carril circular 142 cuyo punto central está situado sobre un eje vertical que pasa por un centro de gravedad de la estructura 5 de la turbina eólica flotante 4, de modo que en ausencia de la masa 13, el carril circular 142 no influye por sí solo en la inclinación de la turbina eólica flotante 4.

50

Por lo tanto, la masa 13 es capaz de desplazarse sobre este carril circular 142 para ir de izquierda (babor) a derecha (estribor) o viceversa.

55

Para permitir el desplazamiento de la masa 13 sobre los medios de guía 14, los medios motores 15, por ejemplo, un motor acoplado a una o más ruedas, están montados unidos a la masa 13.

60

Cada rueda de los medios motores 15 está destinada entonces a cooperar con los medios de guía 14 por fricción o por engranaje, por ejemplo. En el caso de cooperación por engranaje, cada rueda de los medios motores 15 es una rueda dentada, y los medios de guía 14 comprenden una línea dentada (para el carril rectilíneo 141), o una corona dentada (para el carril circular 142).

Cuando se accionan los medios motores 15, estos aseguran el desplazamiento de la masa 13 a lo largo de los medios de guía 14.

65

Los medios motores 15 son controlados por la unidad de cálculo 11 para ser accionados.

Según una tercera realización ilustrada en las figuras 1 y 4, los medios de control 10 de la inclinación comprenden medios de ajuste 16 del par de la turbina 7.

5 Más precisamente, los medios de ajuste 16 del par de la turbina 7 están situados en la góndola 72 de la turbina 7 y actúan, por ejemplo, a través de una caja de cambios, sobre la velocidad de rotación de la hélice 71, para variar el par de la turbina 7 según una instrucción procedente de la unidad de cálculo 11.

10 En funcionamiento, el ordenador 11 recibe información de los medios de determinación 8 de la dirección del viento y los medios de detección 9 de la inclinación de la turbina eólica flotante 4, para integrarlos y determinar una instrucción de control de la inclinación de la turbina eólica flotante 4.

15 La unidad de cálculo 11 transmite entonces la instrucción de control a los medios de control 10 por medios ad hoc, actuando entonces los medios de control directamente sobre la inclinación de la turbina eólica flotante mediante:

- llenado o vaciado de uno o cada uno del primer tanque 121 y el segundo tanque (figura 2);
- desplazamiento de la masa 13 sobre los medios de guía 14 (figura 3), y/o
- ajuste del par de la turbina 7 (figura 4).

20 Aunque esto no se ilustra en las figuras, la turbina eólica flotante 4 podría comprender varios medios de control 10 diferentes. De hecho, es posible combinar al menos dos, o incluso los tres, de los modos de realización antes mencionados.

25 Por ejemplo, la turbina eólica flotante 4 podría comprender primeros medios de control 10 en forma de lastres (figura 2) y/o segundos medios de control 10 en forma del desplazamiento de una masa (13) sobre la estructura flotante 5 (figura 3), y/o terceros medios de control 10 en forma de medios de ajuste 16 del par motor (figura 4).

30 Con referencia a la figura 5, se han llevado a cabo pruebas experimentales donde las condiciones de explotación de la turbina eólica representan un caso raro y problemático para el funcionamiento de la turbina eólica flotante, por ejemplo, un oleaje de tormenta.

35 Estos ensayos tienen como objetivo en particular estudiar el comportamiento de la turbina eólica flotante 4 cuando se modifica el ángulo de balanceo (rotación de la turbina eólica flotante 4 alrededor del eje X en las figuras 1 a 4).

El comportamiento de la turbina eólica flotante 4 se ilustra esquemáticamente en las figuras 6a a 6d.

40 En las figuras 6a y 6c, la turbina eólica flotante 4 está representada esquemáticamente por una línea recta que se extiende entre un punto A y un punto B, y en las figuras 6b y 6d, la turbina eólica flotante 4 es vista de frente. El punto C en las figuras 6a y 6c representa el centro de giro de la turbina eólica flotante 4.

45 En la figura 6a, la turbina eólica flotante 4 se esquematiza en una configuración óptima de funcionamiento, es decir, que no se aplica ningún oleaje ni corriente a la turbina eólica flotante 4. Por lo tanto, el vector de dirección del viento V y el empuje del viento P están alineados y no se genera ningún ángulo de guiñada.

50 Para cada prueba, representada por una de las curvas C1 a C3 en el gráfico de la figura 5, las condiciones de evolución de la turbina eólica flotante 4 son idénticas, es decir, se produce un oleaje muy importante (caso no representativo de las condiciones generales de producción) a 90° con respecto a la dirección del viento V.

55 La curva C1 muestra que en estas condiciones y sin controlar el ángulo de balanceo  $\alpha_2$ , la turbina eólica flotante 4 tiene un ángulo de guiñada de aproximadamente 30°. La turbina eólica flotante 4 es entonces sustancialmente paralela a la superficie del agua (lo que significa que en la figura 6b el segmento AB es horizontal).

En estas condiciones de desarrollo, la dirección del viento V y el empuje del viento P ya no están alineados.

60 Modificando la posición del centro de empuje del viento P, gracias a los medios de control 10, la turbina flotante 4 se desplaza a lo largo del eje Y, y se genera el ángulo de guiñada  $\alpha_1$  (figura 6c).

Una de las razones de este mecanismo es la siguiente: el vector de la dirección del viento V que pasa a través de un centro de giro de guiñada de la turbina eólica flotante 4 (por ejemplo, los medios de anclaje) debe ser colineal con la fuerza de empuje del viento P.

65 Este ángulo de guiñada  $\alpha_1$ , creado voluntariamente, permite por lo tanto corregir la desalineación con el viento V, lo que aumenta el rendimiento de producción de la turbina eólica flotante 4.

La curva C2 ilustra la turbina eólica flotante 4 en estas mismas condiciones, con la diferencia de que se agrega un peso al punto A de la estructura flotante 4 mediante los medios de control 10 (la adición de peso se muestra esquemáticamente en la figura 6d). Por lo tanto, se aprecia que el ángulo de guiñada  $\alpha_1$  está entre  $5^\circ$  y  $10^\circ$ .

5

Finalmente, la curva C3 ilustra la turbina eólica flotante 4 todavía en estas mismas condiciones, con la diferencia de que en el punto 1 de la estructura flotante 4 se añade un peso dos veces mayor que para la curva C2. Por lo tanto, se aprecia que el ángulo de guiñada está entre  $0^\circ$  y  $5^\circ$ .

10

Por lo tanto, estos ensayos permiten validar el hecho de que el control del ángulo de guiñada  $\alpha_1$  puede realizarse mediante uno de los medios de control 10 de la inclinación de la turbina eólica flotante 4 como se describió anteriormente, estos medios de control 10 influyen entonces sobre el ángulo de balanceo  $\alpha_2$  de la turbina eólica flotante 4.

REIVINDICACIONES

1. Conjunto de producción de energía (1) en medio marino que comprende:
  - 5 - medios de anclaje (2) destinados a unirse a un fondo marino (3);
  - una turbina eólica flotante (4) que comprende una turbina (7) que tiene un eje de rotación (A-A) fijo de una hélice (71) con respecto a una estructura flotante (5) de la turbina eólica flotante (4), la turbina eólica flotante (4) está unida a los medios de anclaje (2) y está destinada a pivotar
  - 10 alrededor de estos de manera que el eje de rotación (A-A) de la turbina (7) sea sustancialmente paralelo a una dirección del viento (V),
  - medios de determinación (8) de la dirección del viento (V);

caracterizado porque comprende:

  - 15 - medios de detección (81) de una orientación de la turbina eólica flotante (4) con respecto a la dirección del viento (V);
  - medios de detección (9) de una inclinación de la turbina eólica flotante (4) alrededor de un eje paralelo al eje de rotación (A-A) de la hélice (71) de la turbina (7);
  - 20 - medios de control (10) de la inclinación de la turbina eólica flotante (4);
  - una unidad de cálculo (11), destinada a recibir información procedente de los medios de determinación (8) de la dirección del viento (V), de los medios de detección (9) de la inclinación de la turbina eólica flotante (4) y de los medios de detección (81) de la orientación de la turbina eólica flotante (4) con respecto a la dirección del viento (V), para transmitir una instrucción a los medios de control (10) de la inclinación de la turbina eólica flotante (4) y modificar la orientación de la
  - 25 turbina eólica flotante (4) con respecto a la dirección del viento (V).
2. Conjunto según la reivindicación 1, caracterizado porque los medios de control (10) de la inclinación comprenden un sistema de lastre que tiene:
  - 30 - un primer tanque (121) y un segundo tanque (122) cada uno fijado a una estructura flotante (5) de la turbina eólica flotante (4) y cada uno dispuesto a cada lado del eje de rotación (A-A) de la turbina (7), y que pueden actuar sobre la inclinación de la turbina eólica flotante (4);
  - medios de bombeo (123) configurados para permitir la transferencia de un peso en forma líquida o semilíquida del primer tanque (121) al segundo tanque (122) o viceversa.
3. Conjunto según la reivindicación 1, caracterizado porque los medios de control (10) de la inclinación comprenden:
  - 40 - una masa (13) montada de forma móvil sobre una estructura flotante (5) de la turbina eólica flotante (4);
  - medios de guía (14) del desplazamiento de la masa (13), que definen una trayectoria de guía que se extiende a ambos lados del eje de rotación (A-A) de la turbina (7);
  - medios motores (15) para permitir el desplazamiento de la masa (13) sobre los medios guía (14).
4. Conjunto según la reivindicación 1, caracterizado porque los medios de control (10) de la inclinación comprenden medios de ajuste (16) del par de la turbina (7) para variar el par de la turbina (7) en función de una instrucción procedente de la unidad de cálculo (11).
5. Conjunto según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los medios de determinación (8) de la dirección del viento comprenden una veleta.
6. Conjunto según la reivindicación anterior, caracterizado porque la veleta está unida a la turbina eólica flotante (4).
7. Conjunto según la reivindicación 6, caracterizado porque la veleta está unida a los medios de anclaje (2).
8. Conjunto según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los medios de detección (9) de la inclinación de la turbina eólica flotante (4) comprenden una unidad inercial unida a la turbina eólica flotante (4).
9. Método para modificar la orientación de una turbina eólica flotante (4) implementado por un conjunto de producción de energía (1) en medio marino según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende las etapas que consisten en:
  - 65 - determinar la dirección del viento (V);

- detectar la orientación de la turbina eólica flotante (4) con respecto a la dirección del viento (V);
- definir una instrucción para modificar la inclinación de la turbina eólica flotante (4) en función de la dirección del viento (V) y la orientación de la turbina eólica flotante (4);
- actuar sobre la inclinación de la turbina eólica flotante (4) mediante dicha instrucción de modificación de la inclinación de la turbina eólica flotante (4).

5

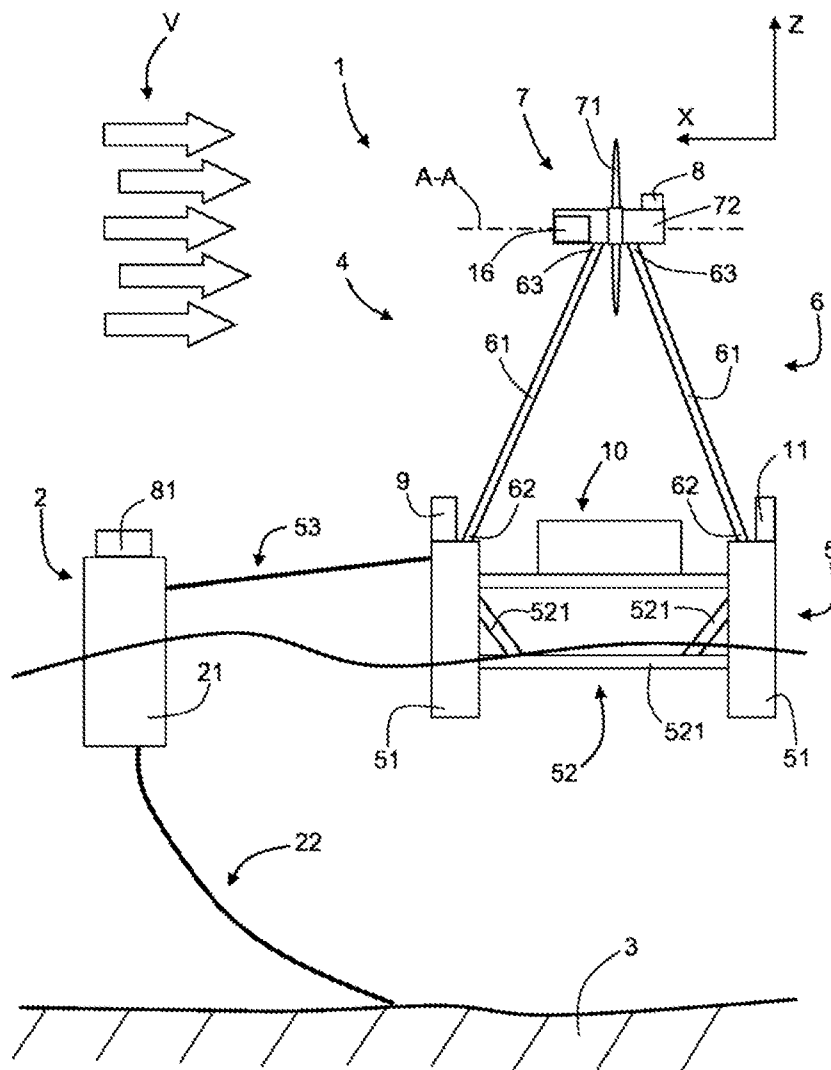
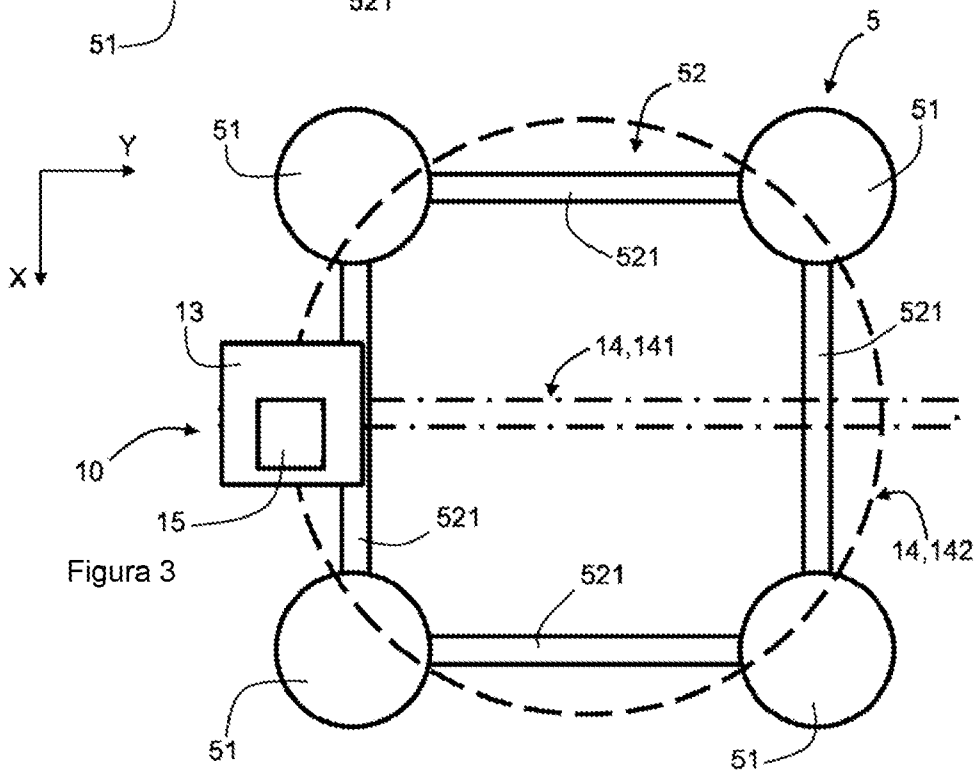
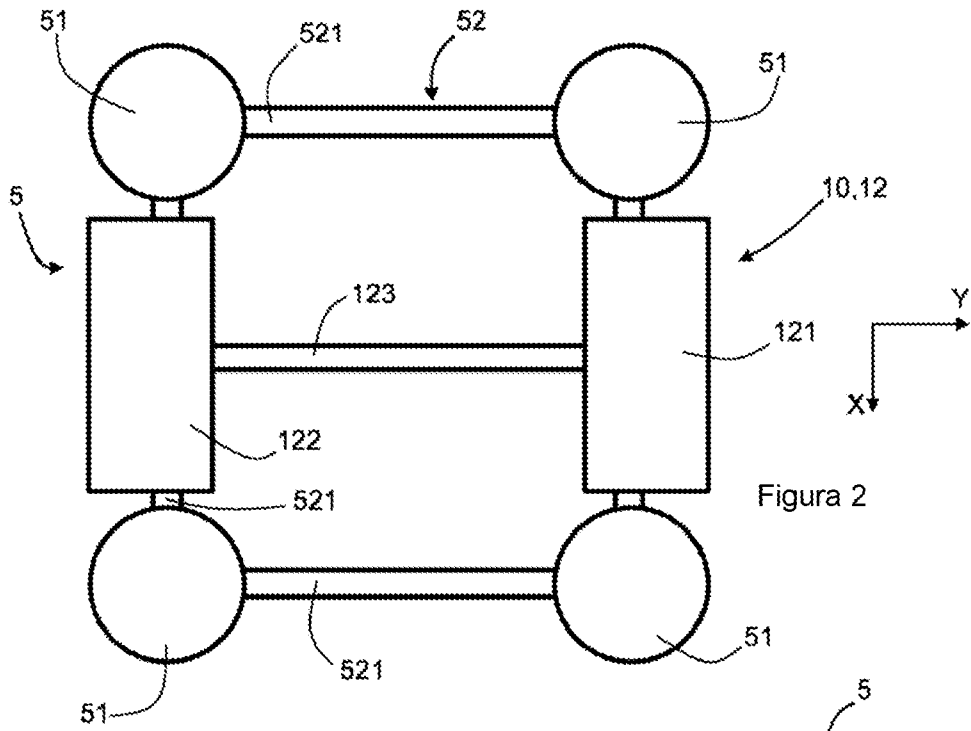


Figura 1



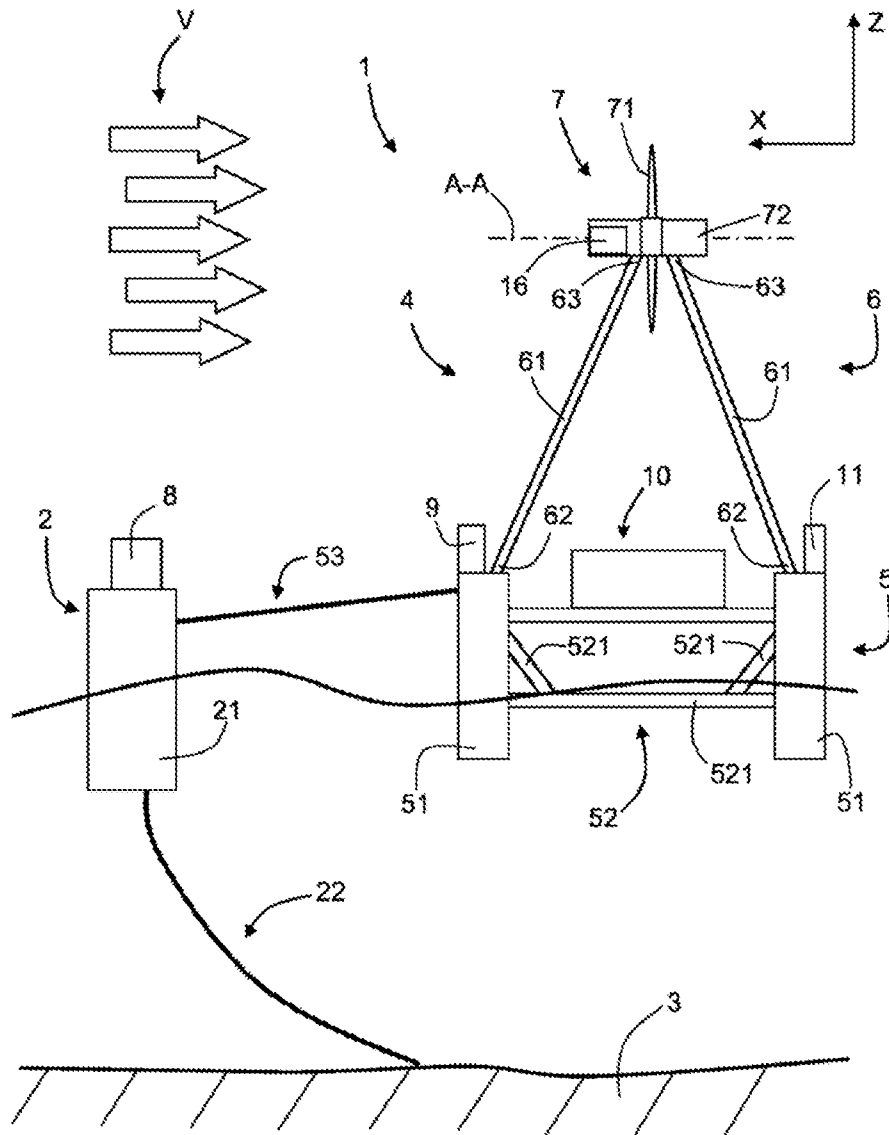


Figura 4

