

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 534 241**

51 Int. Cl.:

F03D 1/00 (2006.01)

B63B 21/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.08.2009 E 09784855 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.01.2015 EP 2318701**

54 Título: **Método y aparato para remolcar turbinas eólicas mar adentro**

30 Prioridad:

11.08.2008 GB 0814648

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

20.04.2015

73 Titular/es:

**HYWIND AS (100.0%)
Forusbeen 50
4035 Stavanger , NO**

72 Inventor/es:

NIELSEN, FINN, GUNNAR

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 534 241 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

Método y aparato para remolcar turbinas eólicas mar adentro

La presente invención se refiere al campo de las turbinas eólicas y, en particular, a un método y aparato para mover una turbina eólica flotante mar adentro.

- 5 Tal como se usa aquí, el término “turbina eólica flotante” significa una estructura de turbina eólica del tipo diseñado para flotar en una extensión de agua de agua cuando está en uso. Las turbinas eólicas flotantes convencionales comprenden un cuerpo flotante que tiene en su extremo superior una barquilla, que contiene un generador eléctrico y otros componentes, y un rotor. El cuerpo es generalmente largo y tiene una forma aproximadamente cilíndrica.
- 10 Las turbinas eólicas flotantes de mar adentro son unas estructuras muy grandes, el cuerpo típicamente tiene una longitud de 100-200 metros y la de las palas del rotor están en el intervalo de longitud de 40-70 metros. Son montadas en tierra o en aguas protegidas y es un reto importante moverlas a su lugar deseado en el mar.
- Un planteamiento es remolcarlas a sus lugares de instalación a través del agua, mientras que flotan en la misma posición, generalmente vertical, en la que son usadas. Esto impide que el generador sea sumergido en el agua o que sea salpicado, lo que podría dañar sus componentes.
- 15 Con este método, la elección de un lugar de instalación para la turbina eólica y las posibles rutas hacia él están por lo tanto limitadas por la profundidad del agua a través de la cual tiene que pasar la turbina eólica. Si el agua en una zona es demasiado poco profunda, la turbina eólica flotante no puede ser remolcada a través de esa zona, lo que hace inalcanzables algunos sitios para su instalación, o solamente alcanzables por medio de una ruta indirecta más larga.
- 20 Como una alternativa, son conocidos unos métodos de transporte de turbinas eólicas en una posición esencialmente horizontal. No obstante, estos métodos requieren un navío grande en el que la turbina eólica sea soportada con el fin de mantener los componentes delicados del rotor y el generador alejados del agua. Por ejemplo, el documento GB 2.423.108 describe unas estructuras de montaje, tales como las turbinas eólicas de mar adentro, que usan unas cimentaciones sobre soportes. La estructura de montaje es transportada al soporte en una posición esencialmente horizontal (reclinada), a bordo de otro navío. En otro ejemplo, el documento GB 2.344.843 describe un sistema de seguridad gravimétrico para equipos generadores de mar adentro. El equipo generador es remolcado al sitio de instalación en una posición esencialmente horizontal (reclinada), de nuevo a bordo de otro navío. Se apreciará que el uso de tales navíos aumenta el coste de transporte de la turbina eólica y su tamaño puede también limitar la elección de la ruta o el sitio de instalación.
- 25 El documento WO/2006/080850 describe un dispositivo para transportar estructuras sobre agua, así como el desmontaje o la instalación de las estructuras. El dispositivo comprende una estructura basculante alargada conectada mediante unas articulaciones en un punto de giro a un navío. La estructura basculante está diseñada para adoptar una posición ligeramente basculada y que es capaz de bascular con respecto a la articulación hasta una posición esencialmente vertical, que corresponde a una posición operativa de elevación.
- 30 De acuerdo con la presente invención se ha proporcionado un método para el desplazamiento de una turbina eólica con relación a una extensión de agua, en el que la turbina eólica flotante que tiene un cuerpo flotante con una barquilla en su extremo superior, el método comprende mantener a flote la turbina eólica flotante en la extensión de agua y remolcar la turbina eólica flotante mientras que mantiene el cuerpo en una posición inclinada por la que la barquilla es mantenida libre de agua.
- 35 De este modo, los inventores han admitido que es posible mantener a flote una turbina eólica mientras que es transportada de tal modo que su calado pueda ser significativamente reducido mientras que se mantienen los componentes delicados dentro de la barquilla libres del agua. Puede por consiguiente ser colocada en la configuración vertical convencional antes de uso. De esta forma puede pasar a través de aguas menos profundas todavía que si fuera remolcada en una posición vertical, y el número de lugares de instalación posibles aumenta debido a esto. Al mismo tiempo, se evita la necesidad de un navío lo suficientemente grande para transportar toda la turbina eólica.
- 40 El ángulo de inclinación con la superficie del agua sería importante con el fin de proporcionar una reducción útil del calado. El ángulo preciso de inclinación (desde la superficie) puede variar dependiendo de las circunstancias y puede estar en el intervalo de 20° a 60°. Usualmente 30° a 50° será apropiado con el fin de conseguir una reducción útil del calado mientras que se mantiene la turbina libre de agua. Estos ángulos representan el ángulo promedio. Será evidente que habrá algún grado de oscilación con respecto a la media debido al efecto de las olas y el viento.
- 45 El cuerpo de la turbina eólica forma su estructura de soporte. La estructura de soporte típicamente comprende una estructura de soporte inferior, que cuando está instalada, en su mayor parte sumergida, y una torre, que cuando está instalada, está generalmente por encima de la línea del agua. En la presente invención, con el fin de colocar una
- 50 turbina eólica flotante en una posición inclinada, se puede unir un miembro flotante a la estructura de soporte inferior. El miembro flotante permite que el sistema de la turbina eólica sea colocado y mantenido en una posición
- 55

- 5 inclinada ejerciendo una fuerza ascendente sobre la estructura de soporte inferior. El miembro flotante podría ser cualquier estructura flotante apropiada, por ejemplo un tanque flotante. Cuando la turbina eólica llega al lugar de instalación, el miembro flotante puede ser retirado y la turbina eólica puede adoptar una posición esencialmente vertical, apropiada para operación. El miembro flotante es por lo tanto preferiblemente separable, aunque podría permanecer en su sitio y ser provisto de lastre, por ejemplo inundándolo con agua.
- Se prefiere que mientras la turbina eólica está inclinada, la fuerza procedente del miembro flotante pueda ser ajustada para mantener la turbina eólica en equilibrio estático. La fuerza puede ser ajustada proveyendo de lastre el miembro flotante, por ejemplo con agua.
- 10 Adicional o alternativamente al miembro flotante, se puede unir un peso a la torre para facilitar más la colocación y el mantenimiento del sistema de la torre eólica en una posición inclinada deseada ejerciendo una fuerza hacia abajo sobre la torre. Si se aplica un peso, preferiblemente debería ser unido a la torre justo encima de la línea del agua con el fin de minimizar los momentos flectores ejercidos sobre la estructura de soporte, los cuales, si son excesivos, podrían provocar daños estructurales. No obstante, lo más preferido es que no debería añadirse tal peso, con el fin de evitar que el sistema de la turbina eólica llegara a estar demasiado sumergido, lo que supondría un riesgo de
- 15 daños al generador de la turbina eólica. Si se añade un peso, por los motivos antes discutidos en relación con el miembro flotante, es preferible que el peso deba ser separable.
- El miembro flotante puede ser unido a la estructura de soporte por un cabo, por ejemplo un cable trenzado, una cadena o un cable. Con el fin de mover la turbina eólica desde una posición vertical a una posición inclinada, la longitud del cabo puede ser reducida, por ejemplo tirando de él con un cabrestante al interior del miembro flotante o
- 20 de la estructura de soporte.
- Además, se puede aplicar una pareja de fuerzas casi horizontales (es decir, un par) al sistema con el fin de superar el momento enderezador de la turbina eólica mientras que está colocada en ángulos de inclinación intermedios. Tales fuerzas casi horizontales pueden ser aplicadas, por ejemplo, por un remolcador o (cuando se está cerca de la
- 25 costa) por un cabrestante con un cable trenzado fijado en tierra. En esta discusión, una "fuerza casi horizontal" significa una fuerza con una componente horizontal que es bastante mayor que su componente vertical.
- Como se ha indicado previamente, un generador de turbina eólica comprende típicamente una barquilla y un rotor. El centro de gravedad combinado de estos componentes está generalmente desplazado del eje longitudinal de la estructura de soporte. Como los centros de gravedad y de flotabilidad de la estructura de soporte están situados
- 30 cerca del eje longitudinal de la estructura de soporte, la turbina eólica puede estar en un equilibrio inestable y puede tender a rotar con respecto al eje longitudinal de la estructura de soporte. Esto puede ser un problema ya que es importante mantener el generador de la turbina eólica fuera del agua para evitar dañarlo.
- Con el fin de hacer frente a este problema se puede usar una disposición de "cordaje de sujeción" o "brida" de cabos para unir el cabo desde el miembro flotante a la estructura de soporte. Ésta puede estar formada por dos cabos, por
- 35 ejemplo unas longitudes de cable trenzado o cable, que conectan uno u otro lado de la estructura de soporte al cabo desde el miembro flotante para formar una disposición de cabos en forma de Y. Esto ayudará a asegurar la estabilidad rotacional del sistema con respecto al eje longitudinal de la estructura de soporte.
- Durante el remolque del sistema de la turbina eólica las olas pueden excitar el sistema y hacer que oscile. Es deseable minimizar o eliminar cualquier excitación del sistema para impedir daños al generador.
- 40 Las olas con más energía tienen generalmente un período de alrededor de 5 a 20 segundos. Por lo tanto, con el fin de reducir o eliminar la excitación del sistema debida al movimiento de subida y bajada (casi un puro desplazamiento vertical del sistema), los períodos de oscilación naturales del sistema inclinado deberían estar preferiblemente fuera del intervalo de aproximadamente 5 a 20 segundos, es decir no igual al período de las olas con más energía. Preferiblemente, los períodos naturales del sistema deberían ser mayores que 20 segundos. No obstante, en
- 45 algunos casos, tal como cuando la rigidez del sistema es demasiado grande para que esto sea una elección práctica, algunos de los períodos del sistema podrían ser menores de 5 segundos.
- Con el fin de conseguir tales períodos naturales del sistema y minimizar la interacción dinámica entre los movimientos de subida y bajada y de cabeceo, la distancia desde el centro de gravedad a la línea del agua con respecto al soporte de la estructura debería ser idealmente casi igual a la distancia desde el centro de gravedad al punto de unión del tanque de flotabilidad.
- 50 Con el fin de reducir o eliminar la excitación del sistema debida al cabeceo (rotación del sistema con respecto a su centro de gravedad), el centro de flotabilidad del sistema debería idealmente estar cerca de su centro de gravedad.
- De este modo, se verá que la invención en su más amplio sentido se refiere a la provisión de una turbina eólica flotante en una posición inclinada mediante la cual pueda ser remolcado a través del agua con un menor calado que el que tendría en la configuración vertical en la que se usa, mientras que la barquilla permanece libre del agua.
- 55 La invención también se extiende a una turbina eólica flotante en tal configuración y a una que está adaptada para ser mantenida en tal configuración por la provisión de uno o más flotadores y opcionalmente uno o más pesos.

Además, la invención se extiende a un método de instalación de una turbina eólica flotante de mar adentro que comprende la construcción de la turbina eólica flotante de mar adentro, transportarla a su lugar de instalación de acuerdo con el método previamente descrito, colocar la turbina eólica flotante en su configuración vertical e instalarla. El último paso generalmente comprende el atado o amarre de la estructura al lecho marino.

5 A continuación se describirán a modo de ejemplo las realizaciones preferidas de la invención solamente y con referencia a los siguientes dibujos, en los que:

la Figura 1 ilustra las fuerzas que actúan sobre una realización preferida de una turbina eólica flotante en una posición inclinada;

10 la Figura 2 ilustra las fuerzas que actúan en una realización preferida de una turbina eólica flotante con un miembro flotante unido a ella;

la Figura 3 ilustra las fuerzas que actúan en una realización preferida de una turbina eólica flotante con un miembro flotante unido a ella y unas fuerzas casi horizontales aplicadas al sistema;

la Figura 4 muestra el lugar del centro de gravedad del sistema en una sección transversal vertical en la dirección longitudinal de la torre;

15 la Figura 5 es otra sección transversal vertical a través de una torre, con un dispositivo de cordaje de sujeción aplicado a ella, en un plano ortogonal al mostrado en la Figura 4;

La Figura 1 muestra las fuerzas que actúan sobre una realización preferida de una turbina eólica flotante (en adelante "turbina eólica") 1 en una posición inclinada. La turbina eólica 1 comprende una estructura 2 de soporte y un generador 3 de la turbina eólica. La estructura 2 de soporte comprende una estructura 4 de soporte inferior y una torre 5. El generador 3 de la turbina eólica comprende una barquilla 10 y un rotor 11. F_G es el peso de la turbina eólica 1. F_B es la fuerza de flotabilidad de la turbina eólica 1.

20 Con el fin de mantener la turbina eólica 1 en una posición inclinada, se requiere una fuerza F_1 dirigida hacia arriba. Como se ha ilustrado en la Figura 1, F_1 debería actuar desde una posición sobre la estructura 4 de soporte inferior que esté debajo del centro de gravedad de la turbina eólica 1. Opcionalmente, una fuerza F_2 dirigida hacia abajo que actúe sobre el centro de flotabilidad puede también ser aplicada a la turbina eólica 1.

25 La posición flotante inclinada de la turbina eólica 1 debería ser estable. Esto requiere un equilibrio estable de fuerzas y momentos en el plano vertical a través del eje longitudinal de la estructura 2 de soporte. Considerando las fuerzas indicadas en la Figura 1, esto significa que:

$$F_B + F_1 - F_G - F_2 = 0 \quad (1)$$

30 y

$$F_1 x_1 - F_G x_G + F_B x_B - F_2 x_2 = 0 \quad (2)$$

en donde F_B , F_1 , F_G y F_2 están definidas antes y en la Figura 1, y x_1 , x_G , x_B y x_2 son las coordenadas horizontales del sitio donde las fuerzas F_1 , F_G , F_B y F_2 , respectivamente, actúan sobre la turbina eólica 1.

35 Las fuerzas F_1 y F_2 podrían ser aplicadas a la turbina eólica 1, mediante, por ejemplo, un tanque 6 de flotabilidad unido a la estructura 4 de soporte inferior, como se muestra en la Figura 2, y un conjunto de pesos (no mostrado) unido a la torre 5 cerca de la línea 12 del agua, respectivamente. Si el conjunto de pesos estuviera unido más arriba en la torre 5, contribuiría más efectivamente con respecto a inclinar la turbina eólica pero podría introducir unos grandes momentos flectores en la torre 5, que podrían flexionar o dañar la estructura de la torre 5.

40 Un problema adicional asociado con la aplicación de una fuerza exterior F_2 a la turbina eólica 1, es que puede dar lugar a una mayor inmersión no deseable de la turbina eólica 1 (a menos que se realicen más modificaciones en su flotabilidad). Por lo tanto, se prefiere que en la mayoría de los casos F_2 debería ser fijada igual a cero y debería unirse un conjunto de pesos o similar.

45 Idealmente, la turbina eólica 1 debería ser diseñada (para esta parte de la operación) tal que su centro de gravedad G debería estar lo más cerca posible prácticamente al centro de flotabilidad B (véase la Figura 2). Situando G y B lo más cerca posible uno de otro, esto reduce la magnitud requerida de F_1 . La magnitud requerida de F_1 puede también ser reducida haciendo que F_1 actúe sobre la turbina eólica 1 lo más lejos posible de la estructura 4 de soporte inferior, como se muestra en la Figura 1.

50 Como se muestra en la Figura 2, el tanque 6 de flotabilidad puede contener un lastre 7, tal como agua. Alterando la cantidad del lastre 7 en el tanque 6 de flotabilidad, se puede ajustar la magnitud de la fuerza F_1 . Esto puede conseguirse también ajustando la longitud L_1 de un cabo 8 mostrado en la Figura 2.

El tanque 6 de flotabilidad está conectado a la estructura 2 de soporte por medio del cabo 8. La longitud del cabo 8 puede ser acortada o alargada por medio de un cabrestante (no mostrado) unido al tanque 6 de flotabilidad o a la estructura 6 de soporte inferior. Tirando con un cabrestante del cabo 8 hacia dentro o afuera, se puede variar la profundidad L_1 del extremo de la estructura 2 de soporte inferior debajo de la línea 12 del agua.

5 La turbina eólica 1 puede ser colocada en una posición inclinada ajustando la longitud del cabo 8 para variar la profundidad L_1 hasta que la turbina eólica 1 tenga el ángulo α deseado, como se muestra en la Figura 2.

10 Con el fin de mover la turbina eólica 1 desde una posición vertical inicial hasta una posición inclinada para remolque, el cabo 8 inicialmente es relativamente largo. La profundidad L_1 se reduce entonces tirando con un cabrestante del cabo 8. Simultáneamente, como se muestra en la Figura 3, se aplica un par de fuerzas casi horizontales F_{H1} y F_{H2} a la turbina eólica 1 con el fin de superar el momento enderezador de la turbina eólica 1 en los ángulos de inclinación intermedios, mientras que está siendo movida desde una posición sustancialmente vertical a una posición inclinada estable.

15 El par de fuerzas casi horizontales F_{H1} y F_{H2} puede ser aplicado usando un remolcador o un cabrestante conjuntamente con un cable trenzado fijado en tierra, por ejemplo. La magnitud requerida de estas fuerzas F_{H1} y F_{H2} puede ser determinada considerando el equilibrio estático de la turbina eólica 1 en todos los ángulos de inclinación desde 90 grados hasta la posición inclinada actual.

20 El ángulo α de inclinación actual se elige considerando la profundidad del agua a través de la que la turbina eólica 1 va a ser remolcada, la longitud de la turbina eólica 1 debajo de la línea 12 del agua y la altura de la barquilla 10 y del rotor 11 del generador 3 de la turbina eólica encima de la línea 12 del agua. Idealmente, la turbina eólica 1 debería estar en una posición inclinada de modo que hubiera un espacio suficiente simultáneamente encima de la línea 12 del agua para la barquilla 10 y el rotor 11 de modo que no se humedecieran y una reducción suficiente del calado.

La turbina eólica 1 inclinada debería idealmente ser estable con respecto a la rotación con respecto a su eje longitudinal.

25 Si la turbina eólica 1 es remolcada en una posición inclinada como está ilustrado en la Figura 1, el centro de gravedad combinado de la barquilla 10 y del rotor 11 en la mayoría de los casos estará situado encima del eje longitudinal 13 de la estructura 2 de soporte. El centro de gravedad de la estructura 2 de soporte está usualmente situado cerca del eje longitudinal 13. El centro de flotabilidad de la estructura 2 de soporte está también usualmente colocado cerca del eje longitudinal 13. No obstante, como el centro de gravedad combinado de la barquilla 10 y del rotor 11 está usualmente colocado encima del eje longitudinal 13, el centro de gravedad G de toda la turbina eólica 1 está por tanto también colocado ligeramente encima del eje longitudinal 13, como se muestra en la Figura 4. Por lo tanto, cualquier ligero movimiento de la turbina eólica 1 con respecto al eje longitudinal 13 tenderá de este modo a provocar la rotación de la turbina eólica 2 con respecto al eje longitudinal 13. Debido a este equilibrio inestable, la turbina eólica 1 tendería a terminar en una posición flotante con el rotor 11 colocado debajo del eje longitudinal 13 y por lo tanto más cerca de la línea 12 del agua, en la que puede ser más probablemente salpicada por las olas, o posiblemente incluso quedar sumergida.

Con el fin de evitar que esto suceda, el tanque 6 de flotabilidad puede ser usado para introducir un momento enderezador suficiente para compensar el momento introducido por la asimetría de la distribución del peso de la turbina eólica 1 con respecto al eje horizontal 13.

40 Como se ha ilustrado en la Figura 4, el centro de flotabilidad B de la turbina eólica 1 está colocado aproximadamente sobre el eje longitudinal 13 y el centro de gravedad G de la turbina eólica 1 está colocado a una distancia y_G desde el eje 13. Cuando la estructura 2 de soporte está inclinada un ángulo α con la horizontal, hay un momento M_G desde el peso de la turbina eólica 1 con respecto al eje 13, que puede ser escrito como sigue:

$$M_G = -\theta m g y_G \cos \alpha \quad (3)$$

45 en donde m es la masa de la turbina eólica 1, g es la aceleración debida a la gravedad, y θ es el ángulo de rotación con respecto al eje 13. Se supone que θ es pequeño en las consideraciones de la estabilidad. El signo negativo indica que el momento M_G es desestabilizador.

50 El momento M_G puede estar compensado por cualquier momento de la fuerza de flotabilidad F_1 (y posiblemente el peso F_2 , si está presente). El tanque 6 de flotabilidad puede estar conectado a la estructura de soporte por una única línea 8 en una distancia y_F del eje 13. El momento de enderezamiento M_{F1} de la fuerza de flotabilidad F_1 puede entonces ser escrito como sigue:

$$M_{F1} = -\theta F_1 y_F \cos \alpha. \quad (4)$$

Con el fin de que el sistema sea estable con respecto a la rotación con respecto al eje 13, esto por lo tanto requiere que:

$$M_{F1} + M_G > 0 \quad (5)$$

y

$$F_1 y_F > m g y_G. \quad (6)$$

5 En la mayoría de los casos $m g \gg F_1$. Por lo tanto, de acuerdo con el requerimiento (6), se debería requerir que $y_F \gg y_G$ con el fin de asegurar la estabilidad. Si y_F no es suficientemente grande, puede ser aumentado usando un cordaje de sujeción 9 en el extremo del cabo 8 entre el tanque 6 de flotabilidad y la estructura 2 de soporte, como se muestra en la Figura 5.

Cuando se usa un cordaje de sujeción 9, el momento M_{F_1} con respecto al eje 13 de la fuerza de flotabilidad F_1 puede ser escrito como sigue:

$$M_{F_1} = \theta F_1 r \cos \alpha \quad (7)$$

10 en donde r es la distancia vertical desde el eje 13 de la estructura 2 de soporte al punto superior 14 del cordaje de sujeción 9. Como $r > y_F$, la estabilidad rotacional del sistema con respecto al eje 13 se aumenta usando el cordaje de sujeción 9.

15 La ecuación (7) es válida cuando $\theta \cos \alpha < t g \beta$ (suponiendo ángulos θ de rotación pequeños), en donde β es la mitad del ángulo entre los dos cabos 15 del cordaje de sujeción 9, como está indicado en la Figura 5. Si el ángulo de rotación θ supera a $t g \beta / \cos \alpha$, entonces uno de los cabos 15 del cordaje de sujeción 9 estará flojo y el efecto del cordaje de sujeción 9 desaparecerá. No obstante, como el ángulo θ de rotación es generalmente pequeño, el cordaje de sujeción 9 puede ser un medio efectivo para conseguir la requerida estabilidad en relación con la rotación con respecto al eje 13 de la estructura 2 de soporte.

20 La estabilidad puede también ser obtenida o mejorada ajustando la posición del lastre interno contenido dentro de la estructura 2 de soporte. De este modo se puede obtener que $y_G < 0$ (es decir, el centro de gravedad está colocado debajo del eje longitudinal 13 de la estructura 2 de soporte).

25 Al igual que la estabilidad estática del sistema, también es importante considerar su estabilidad dinámica. Las olas pueden ser las fuentes más importantes de excitación dinámica durante el remolque de una turbina eólica 1. La respuesta dinámica de una turbina eólica 1 debería idealmente estar limitada al máximo posible con el fin de evitar el posible mojado de la barquilla 10 y del rotor 11 y con el fin de limitar la posible carga dinámica sobre la torre 5 y la estructura 4 de soporte.

30 Una valoración total de las cargas dinámicas sobre el sistema causadas por las olas requiere un análisis conjunto, en el que el efecto de de la turbina eólica 1 propiamente dicha, el tanque 6 de flotabilidad y el posible conjunto de pesos, así como las disposiciones de todos los cables trenzados que incluyen el cable trenzado de remolque estén incluidos en el análisis. Las fuerzas de las olas, la masa hidrodinámica y la amortiguación también deberían ser consideradas.

Sin embargo, en general, es importante para los períodos naturales del sistema que estén fuera del intervalo de períodos de las olas con más energía, es decir fuera del intervalo de aproximadamente 5 a 20 segundos.

35 Una estimación inicial de los períodos naturales del sistema puede ser obtenida considerando un sistema no conjunto. Los parámetros del tanque 6 de flotabilidad y su situación pueden ser ajustados de modo que se cumplan los requerimientos del equilibrio estático y dinámico.

El movimiento de subida y bajada es casi totalmente un desplazamiento vertical del sistema. La inercia implicada en tal oscilación puede ser escrita como sigue:

$$M_{33} = m + A_{33} \cong m + \rho V \cos^2 \alpha \quad (8)$$

40 en donde M_{33} es la masa efectiva para las oscilaciones verticales de subida y bajada, m es la masa total seca del sistema (que incluye el tanque 6 de flotabilidad y el posible conjunto de pesos), A_{33} es la masa hidrodinámica en el movimiento de subida y bajada de la estructura 2 de soporte y ρV es la masa del agua desplazada. Por simplicidad, se supone que el desplazamiento y la masa añadida del tanque de flotabilidad y el posible conjunto de pesos son mucho menores que los correspondientes valores para la turbina eólica 1.

45 El coeficiente C_{33} de la fuerza restablecedora en la dirección del movimiento de subida y bajada puede ser determinado a partir del área plana del agua de la estructura 2 de soporte inclinada y del tanque 6 de flotabilidad como sigue:

$$C_{33} = \rho g \left(\frac{\pi R^2}{\cos \alpha} + A_1 \right) \quad (9)$$

en donde R es el radio de la estructura 2 de soporte (que, por simplicidad, se supone aquí que tiene una sección transversal circular) y A_1 es el área plana del agua del tanque 6 de flotabilidad.

El período natural T_3 del sistema para un puro movimiento de subida y bajada no amortiguado puede entonces ser escrito como sigue:

$$5 \quad T_3 \cong 2\pi \sqrt{\frac{M_{33}}{C_{33}}} \quad (10)$$

Con el fin de evitar el intervalo de períodos de las olas con más energía (es decir, de aproximadamente 5 a 20 segundos), T_3 debería idealmente ser mayor que aproximadamente 20 segundos.

10 Con el fin de evitar un acoplamiento demasiado fuerte entre el movimiento de subida y bajada y de cabeceo, los dos términos de la ecuación (9) para C_{33} deberían ser aproximadamente iguales. Por otra parte, la distancia desde el centro de gravedad G a la línea 12 del agua de la estructura 2 de soporte debería ser aproximadamente igual a la distancia desde el centro de gravedad G al punto de unión del tanque 6 de flotabilidad a la estructura 2 de soporte. En otras palabras, como se muestra en la Figura 3, el centro de gravedad G debería estar aproximadamente a mitad de camino entre el punto de unión del tanque 6 de flotabilidad a la estructura 2 de soporte y el punto en el que la estructura 2 de soporte pasa a través de la línea 12 del agua.

15 También es importante considerar el cabeceo. M_{55} es la contribución a la inercia del sistema debida a la rotación de cabeceo alrededor del centro de gravedad G de la turbina eólica 1 y puede ser escrita como sigue:

$$M_{55} = I_{55} + A_{55} \cong I_{55} + \frac{1}{12} \rho \pi R^2 L^3 + \rho \pi R^2 L (\xi_G - \xi_B)^2 \quad (11)$$

20 en donde I_{55} es el momento de inercia de la turbina eólica 1 con respecto al centro de gravedad G y A_{55} es la inercia hidrodinámica de la parte sumergida de la estructura 2 de soporte. La expresión aproximada dada en la segunda parte de la ecuación (11) se obtiene aceptando que la estructura 2 de soporte es un cilindro largo esbelto con un radio constante. La coordenada ξ se mide a lo largo del eje 13 de la estructura 2 de soporte de modo que $x = \xi \cos \alpha$. L es la longitud de la parte sumergida de la estructura 2 de soporte.

De una forma similar, el coeficiente C_{55} de la fuerza restablecedora del cabeceo puede ser escrito como sigue:

$$C_{33} = \rho g A_1 (x_G - x_{F1})^2 + \frac{\rho g \pi R^2}{\cos \alpha} (x_G - x_{WL})^2 \quad (12)$$

25 en donde x_{WL} es la coordenada x del centro del área del plano del agua de la estructura 2 de soporte.

El período natural del sistema en el cabeceo T_5 puede entonces ser escrito como sigue:

$$T_5 \cong 2\pi \sqrt{\frac{M_{55}}{C_{55}}} \quad (13)$$

30 Si el sistema no fuera aproximadamente simétrico con respecto al centro de gravedad G de la turbina eólica 1, las ecuaciones del movimiento de subida y bajada – cabeceo conjuntas del sistema estarían resueltas. Esto implicaría una inercia y unos términos restablecedores conjuntos de la forma M_{35} y C_{35} .

Como con el caso de los movimientos de subida y bajada, y por los mismos motivos, idealmente $T_5 > 20$ segundos. In embargo, en ciertos casos, por ejemplo en donde la rigidez del sistema sea particularmente grande, $T_5 < 5$ segundos sería una elección más práctica.

De la ecuación (12) se puede ver que la simetría del sistema sería mejorada si:

$$35 \quad A_1 \cong \frac{\pi R^2}{\cos \alpha} \quad (14)$$

Además, el momento de inercia I_{55} de la ecuación (11) debería tener un valor mínimo cerca del centro de gravedad G . Este requerimiento es generalmente cumplido para la contribución relacionada con la masa seca del sistema. También sería aproximadamente cumplida para la masa hidrodinámica del sistema si el centro de flotabilidad B estuviera cerca del centro de gravedad G .

Un tipo adicional de movimiento que podría ser considerado es el rodamiento. El rodamiento con respecto al eje 13 de la estructura 2 de soporte está generalmente sólo débilmente acoplado a los otros modos de movimiento (movimiento de subida y bajada y de cabeceo). La inercia en el rodamiento generalmente sólo tiene una contribución insignificante de los efectos hidrodinámicos. Esto significa que la inercia de rodamiento M_{44} puede ser escrita como

5 sigue:

$$M_{44} = I_{44} + A_{44} \cong I_{44}. \quad (15)$$

Los efectos restablecedores contra el rodamiento vienen del posible conjunto de pesos y del tanque 6 de flotabilidad, como se ha discutido antes. Para ángulos pequeños se puede suponer que la fuerza F_1 de flotabilidad permanece aproximadamente constante. (Lo mismo es también cierto para F_2).

10 Considerando solamente el tanque 6 de flotabilidad, y no un posible conjunto de pesos, la fuerza C_{44} restablecedora del rodamiento puede ser escrita como sigue:

$$C_{44} = -mgy_G + F_1 r \cos \alpha \quad (16)$$

y el período natural en el rodamiento T_4 puede entonces ser escrito como sigue:

$$T_4 \cong 2\pi \sqrt{\frac{M_{44}}{C_{44}}} \quad (17)$$

15

REIVINDICACIONES

1. Un método para mover una turbina eólica flotante (1) con relación a una extensión de agua, la turbina eólica flotante tiene un cuerpo flotante con una barquilla (10) en su extremo superior, y el método comprende:
- 5 mantener a flote la turbina eólica flotante (1) en la extensión de agua; y
- remolcar la turbina eólica flotante mientras que se mantiene el cuerpo flotante en una posición inclinada, por lo que la barquilla (10) es mantenida libre del agua.
2. Un método como el reivindicado en la reivindicación 1, en donde la turbina eólica flotante es mantenida en una posición inclinada por un miembro flotante (6).
- 10 3. Un método como el reivindicado en la reivindicación 2, en donde la turbina eólica flotante comprende una estructura (2) de soporte y un generador (3) de la turbina eólica, estando el miembro flotante (6) unido a la estructura de soporte, y
- en donde el miembro flotante (6) está preferiblemente unido por un cabo (8) a la estructura de soporte, y
- 15 el método comprende preferiblemente tirar con un cabrestante del cabo (8) hacia dentro o fuera del miembro flotante (6) o de la estructura (2) de soporte.
4. Un método como el reivindicado en cualquier reivindicación anterior, que además comprende aplicar unas fuerzas horizontales o casi horizontales al sistema, y
- 20 en donde las fuerzas horizontales o casi horizontales son preferiblemente aplicadas por un remolcador o un cabrestante con un cable trenzado fijado en tierra.
5. Un método como el reivindicado en las reivindicaciones 2 o 3, o 4, cuando dependen de las reivindicaciones 2 o 3, que además comprende el ajuste de una fuerza de flotabilidad ejercida por el miembro flotante (6) para mantener el sistema en equilibrio estático.
- 25 6. Un método como el reivindicado en la reivindicación 5, en donde la fuerza de flotabilidad se ajusta añadiendo o retirando un lastre (7) al o del miembro flotante (6).
7. Un sistema de turbina eólica flotante que comprende una turbina eólica flotante y un miembro flotante (6), la turbina eólica flotante comprende un cuerpo flotante que forma una estructura (2) de soporte y un generador (3) de la turbina eólica, en donde
- 30 el miembro flotante (6) está unido a la estructura de soporte por un cabo (8) y está dispuesto de modo que el cuerpo flotante sea mantenido en una posición inclinada y la barquilla sea mantenida libre del agua mientras que la turbina eólica flotante es remolcada en una extensión de agua.
8. Un sistema como el reivindicado en la reivindicación 7, en donde el cabo es un cable trenzado, una cadena o un cable.
- 35 9. Un sistema como el reivindicado en la reivindicación 7 u 8, que además comprende un peso, y en donde el peso está preferiblemente unido a la estructura de soporte.
10. Un sistema como el reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en donde la estructura (2) de soporte comprende una estructura (4) de soporte inferior y una torre (5), y preferiblemente,
- en donde el miembro flotante (6) está unido a la estructura (4) de soporte inferior, y
- en donde el miembro flotante (6) es preferiblemente un tanque de flotabilidad.
- 40 11. Un sistema como el reivindicado en la reivindicación 10, en el que la reivindicación 10 es dependiente de la reivindicación 9,
- en donde el peso está unido a la torre (5), y
- en donde el peso está preferiblemente unido a la torre (5) cerca de la línea del agua.
12. Un sistema como el reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11,
- 45 en donde el cabo (8) está preferiblemente adaptado para ser tirado con un cabrestante hacia dentro o fuera del miembro flotante (6) o de la estructura (2) de soporte, y preferiblemente

comprende además un cordaje de sujeción adaptado para unir el cabo (8) a la estructura (2) de soporte.

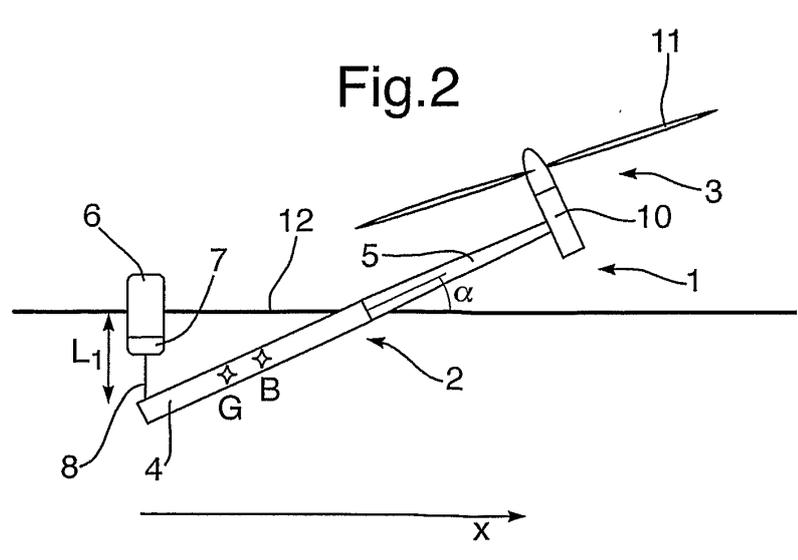
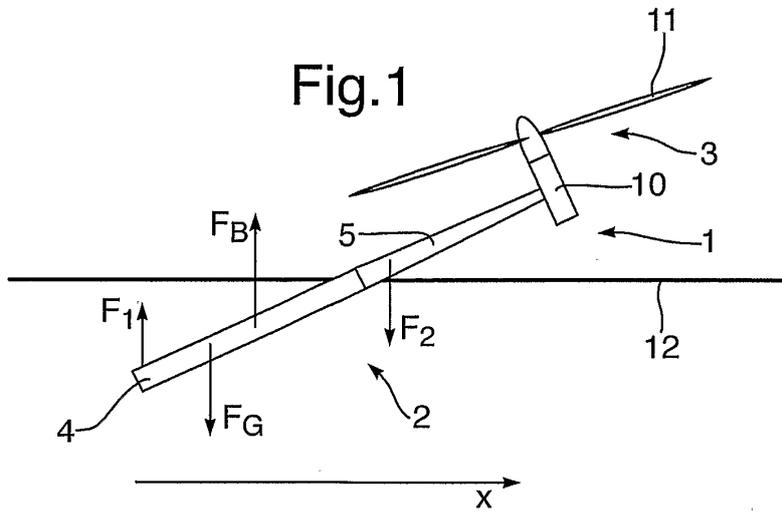
13. Un sistema como el reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones 7 a 12, en donde un período natural de oscilación del sistema está fuera del intervalo de 5 a 20 segundos.

5 14. Un sistema como el reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones 7 a 13, en donde un período natural de oscilación del sistema es mayor que 20 segundos, o

en donde un período natural de oscilación del sistema es menor de 5 segundos.

10 15. Un sistema como el reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones 7 a 14, en donde una distancia desde un centro de gravedad del sistema a una línea del agua de la estructura (2) de soporte es aproximadamente igual a una distancia desde un centro de gravedad del sistema a un punto de unión del miembro flotante (6), y

en donde un centro de gravedad del sistema está preferiblemente colocado cerca de un centro de flotabilidad del sistema.



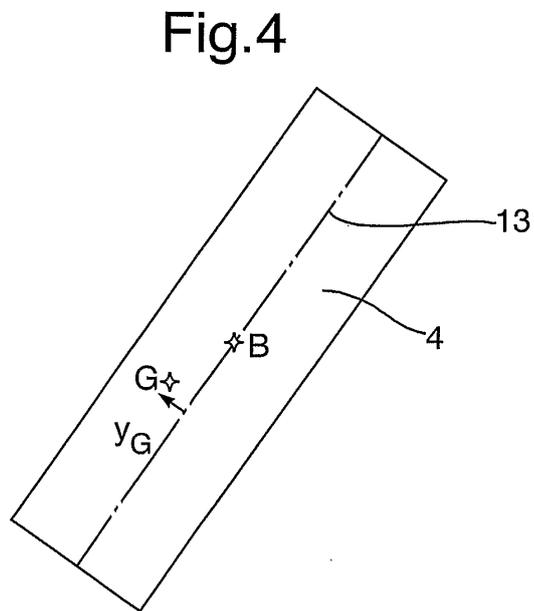
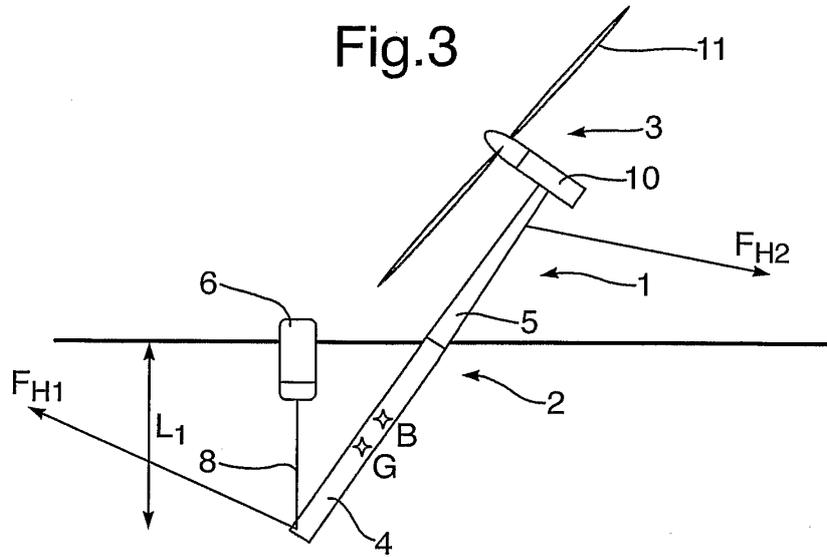


Fig.5

