

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 424 834**

51 Int. Cl.:

**B63B 21/50** (2006.01)

**F03D 11/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.05.2006 E 06747631 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2013 EP 1881927**

54 Título: **Disposición del anclaje para instalaciones de turbina eólica flotante**

30 Prioridad:

**06.05.2005 NO 20052261**

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

**09.10.2013**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**SVEEN, DAGFINN**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 424 834 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

Disposición del anclaje para instalaciones de turbina eólica flotante

5 La invención presente trata de una disposición del anclaje para la instalación de una turbina eólica flotante, como por ejemplo una instalación de turbina eólica que comprende una celda flotante, una torre dispuesta sobre la celda flotante, un generador montado sobre la torre que puede rotar en relación con la dirección del viento y equipado con un rotor eólico, y una disposición de líneas de anclaje conectadas a anclas en el fondo del mar.

La ventaja de utilizar turbinas eólicas flotantes es que permiten el acceso a zonas de instalación prácticamente ilimitadas, dado que se pueden utilizar zonas marinas relativamente profundas.

10 Normalmente, las turbinas eólicas están dispuestas de manera que el rotor se orienta al viento con la torre situada aguas abajo en la dirección del viento. Esto es así para evitar que el flujo de viento se vea afectado antes de que pase a través del rotor, ya que de otra manera podrían producirse pérdidas de energía, vibraciones e esfuerzos perjudiciales en la turbina.

15 Para controlar esto, se requiere una corrección activa de la dirección de la turbina alrededor del eje vertical de la torre a medida que cambia la dirección del viento. Esto se consigue normalmente colocando entre la parte superior de la torre y la góndola un anillo de cojinete rotativo con una solución de piñón y corona.

La guiñada se realiza mediante un sistema que registra la dirección del viento y automáticamente acciona el piñón mediante un motor para hacer que el rotor gire hasta la dirección del viento.

Esto funciona bien cuando la torres está sobre una cimentación fija, como por ejemplo en las instalaciones terrestres y en las instalaciones marinas en aguas someras.

20 Cuando la torre se monta en un soporte flotante, es necesario asegurar una resistencia a la rotación alrededor del eje vertical suficiente, de manera que se realice una rotación activa de la góndola en lugar de permitir que la totalidad de la planta gire demasiado cuando la turbina eólica está sujeta a cargas de viento oblicuas.

25 La resistencia a la rotación está provista mediante líneas de anclaje que están pretensadas mediante una fuerza específica. Cuando las líneas de anclaje están fijadas directamente a una construcción cilíndrica esbelta, como se describirá más adelante, proporciona poca resistencia a la rotación debido a que la línea de anclaje está conectada cerca del eje de rotación. La resistencia a la rotación se produce cuando la torre es girada desde su posición de equilibrio y se produce un brazo de resistencia que es función del ángulo ( $\alpha$ ) y del radio ( $r$ ) desde el eje de rotación hasta el punto de fijación de la línea. El brazo de resistencia ( $a$ ) es en este caso:  $a = \text{sen}(\alpha) \times r$ .

30 Siendo  $F_n$  la fuerza resistente correspondiente a la componente normal sobre el eje de rotación de la pretensión de la línea, el momento resistente será entonces:

$$M_r = F_n \times a = F_n \times \text{sen}(\alpha) \times r.$$

El momento resistente contra la rotación es así, como se ha mostrado anteriormente, una función sinusoidal con un máximo a  $90^\circ$  (véase más adelante). A pequeños ángulos de rotación la resistencia a la rotación se comportará como un muelle lineal de rotación.

35 Una plataforma anclada de diseño triangular ha sido descrita previamente en el documento de Patente de los Estados Unidos nº 3 082 608. Desde cada esquina, preferiblemente a un ángulo de  $20^\circ$ , se extienden dos cadenas o cables que están unidas a grandes pesos dispuestos en el fondo del mar, mientras que desde cada peso se extienden líneas de anclaje adicionales a anclas pesadas situadas más alejadas de la plataforma. El propósito de esta solución es principalmente servir como solución de anclaje diseñada para eliminar el movimiento de la plataforma causado por las olas. La solución proporcionará resistencia a la rotación pero no será adecuada para anclar una turbina eólica flotante cilíndrica esbelta, porque presupone que hay una gran distancia entre los tres puntos fijos para las líneas de anclaje. Esta solución conocida está basada en un sistema de anclaje tenso, que genera grandes cargas dinámicas sobre las líneas de anclaje. Adicionalmente esta solución de anclaje es pesada y compleja, lo que a su vez implica grandes costes de fabricación e instalación.

45 El documento US 5,476,059 describe un mejorador de par para un sistema de plataforma off shore en el que una torre está anclada mediante un dispositivo de cadena catenaria, para ayudar a minimizar el giro de la torre cuando el buque se orienta al viento.

El documento WO2004/104411 describe una disposición para anclar una estructura flotante que comprende unos botalones de atraque dispuestos de manera pivotante en cada extremo, en el que cada botalón de atraque en su extremo libre tiene un manguito a través del cual pueden circular las cadenas o cables de anclaje. La cadena del ancla que circula a través de uno de los manguitos está unido al extremo opuesto de la estructura.

- 5 La invención presente proporciona una solución para anclar una instalación de turbina eólica flotante mediante la cual es posible incrementar significativamente la resistencia inicial a la rotación alrededor del eje vertical. Proporciona también una solución que es extremadamente simple y que puede ser utilizada para anclar instalaciones de turbinas eólicas en aguas muy profundas.

La invención presente proporciona una instalación de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1.

- 10 Las reivindicaciones dependientes 2 a 8 definen características ventajosas de la invención.

La invención será descrita con más detalle por medio de un ejemplo y mediante referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La Figura 1 muestra un esquema en perspectiva de una turbina eólica flotante con una disposición de anclaje de acuerdo con la invención presente;

- 15 La Figura 2 muestra un esquema de la estructura de la disposición de anclaje relacionada con la invención mostrada en la Figura 1; y

la Figura 3 muestra un diagrama en el que la resistencia a la rotación (momento de rotación) está calculado en base al ángulo de rotación para un sistema de anclaje convencional y comparado con la invención presente.

- 20 Como se ha mencionado, la Figura 1 muestra un esquema en perspectiva de una instalación de turbina eólica flotante 1 con una disposición de anclaje 6 de acuerdo con la invención. La turbina eólica incluye, aparte de las líneas de anclaje 11, una celda flotante 7 preferiblemente circular y esbelta, una torre 8 montada sobre la celda flotante 7, y en el extremo superior de la torre un generador 9 que puede girar en relación a la dirección del viento, orientando un rotor eólico 10. La forma alargada ha sido seleccionada con el objetivo de conseguir un desplazamiento bajo con una buena estabilidad y así minimizar el efecto del viento y las olas. Los pesos 12 pueden estar dispuestos aún más ventajosamente sobre las líneas de anclaje para crear la tensión necesaria en éstas.

- 25 Como es aún más claro por la disposición de las líneas de anclaje 6 mostradas en la Figura 2, se han utilizado tres líneas de anclaje 11 a intervalos de 120°. Las líneas de anclaje individuales 11 están fijadas cada una por un extremo a las anclas o puntos de anclaje en el fondo del mar (no mostrados), y por el otro extremo, en unos puntos de unión 5 a cierta distancia de la celda flotante 7, están conectadas a dos líneas 2 y 3 que se separan hacia fuera y que están fijadas dispuestas por parejas mediante unas cartelas 4 unidas a la celda de flotación 7. Cada una de las líneas de anclaje 11 forma con éstas un esquema en forma de delta o una bifurcación en forma de Y a / hacia el punto de fijación en la celda de flotación 7. En este contexto se debe notar que aunque el ejemplo utiliza una línea 2 y una línea 3, cada una extendiéndose el mismo ángulo hacia sus respectivas cartelas de fijación 4 en la celda de flotación 7, se pueden utilizar dos o más líneas 2 o dos o más líneas 3, cada una extendiéndose a diferentes ángulos hacia varias cartelas de fijación en la celda de flotación 7.

- 30 La longitud de las líneas 11 es relativamente larga, dependiendo de la profundidad del mar en el punto donde está situada la turbina eólica, y de las pretensiones en las líneas de anclaje individuales, que puede ser del orden de 1000 kN. El ángulo de las líneas con respecto al plano horizontal es aproximadamente de entre 30° y 70°, y la longitud de las líneas 2, 3, dependiendo de las dimensiones del conjunto de la instalación de la turbina eólica y de la celda de flotación, puede ser del orden de 50 m.

- 35 Con estos valores sugeridos, los cálculos muestran que la disposición de acuerdo con la invención es del orden de 9 veces más resistente a la rotación de lo que sería con una solución convencional en la que las líneas de anclaje están fijadas directamente a la celda de flotación, sin que las líneas estén dispuestas en forma de delta.

- 40 En la figura 3 se muestran las características de resistencia a la rotación de una solución convencional y de una solución con líneas en forma de delta de acuerdo con la invención.

- 45 Como se ha mencionado anteriormente, la Figura 3 muestra un diagrama en el que la resistencia a la rotación (momento de rotación) se calcula en base al ángulo de rotación para un sistema de anclaje convencional comparado con la invención presente. Durante el giro alrededor del eje de rotación vertical, la carga de pretensión de la línea de anclaje se incrementará gradualmente en una de las línea divididas, mientras que la carga en la otra irá disminuyendo correspondientemente. Cuando el ángulo de rotación alcanza una cierta magnitud, la línea que se

descarga quedará sin tensión. El ángulo de rotación al que se queda sin tensión dependerá de la longitud de las líneas en forma de delta, o de la distancia entre el punto de división y el eje vertical de rotación. Para ángulos pequeños, antes de que se quede sin tensión una línea, la disposición funcionará como si el punto fijo en la boya hubiera sido movido al punto de fijación en la línea de anclaje. Esto proporcionará un brazo R largo, de manera que el momento de resistencia al giro será:

5

$$M_r = F_n \times \text{sen}(\alpha) \times R$$

Cuando el ángulo de rotación alcanza un valor crítico ( $\beta$ ) de manera que una línea quede destensada, el incremento del momento se hará pequeño hasta que se alcance el momento máximo. El ángulo crítico para que se destensa una de las líneas en forma de delta en el ejemplo calculado aquí, como se muestra en la Figura 3, es del orden de 6°. La curva aquí cambia de dirección en un punto por encima de los 14.000 kNm.

10

Con el incremento de la resistencia a la rotación con respecto a la inicial conseguida con esta disposición, se puede efectuar un control activo de la dirección de la turbina con un ángulo de respuesta aceptable en la torre.

Para un sistema de anclaje convencional, se puede apreciar además en la figura que la resistencia a la rotación incrementa el destensado hasta que se alcanza una resistencia a la rotación máxima en un ángulo cercano a 90°.

15

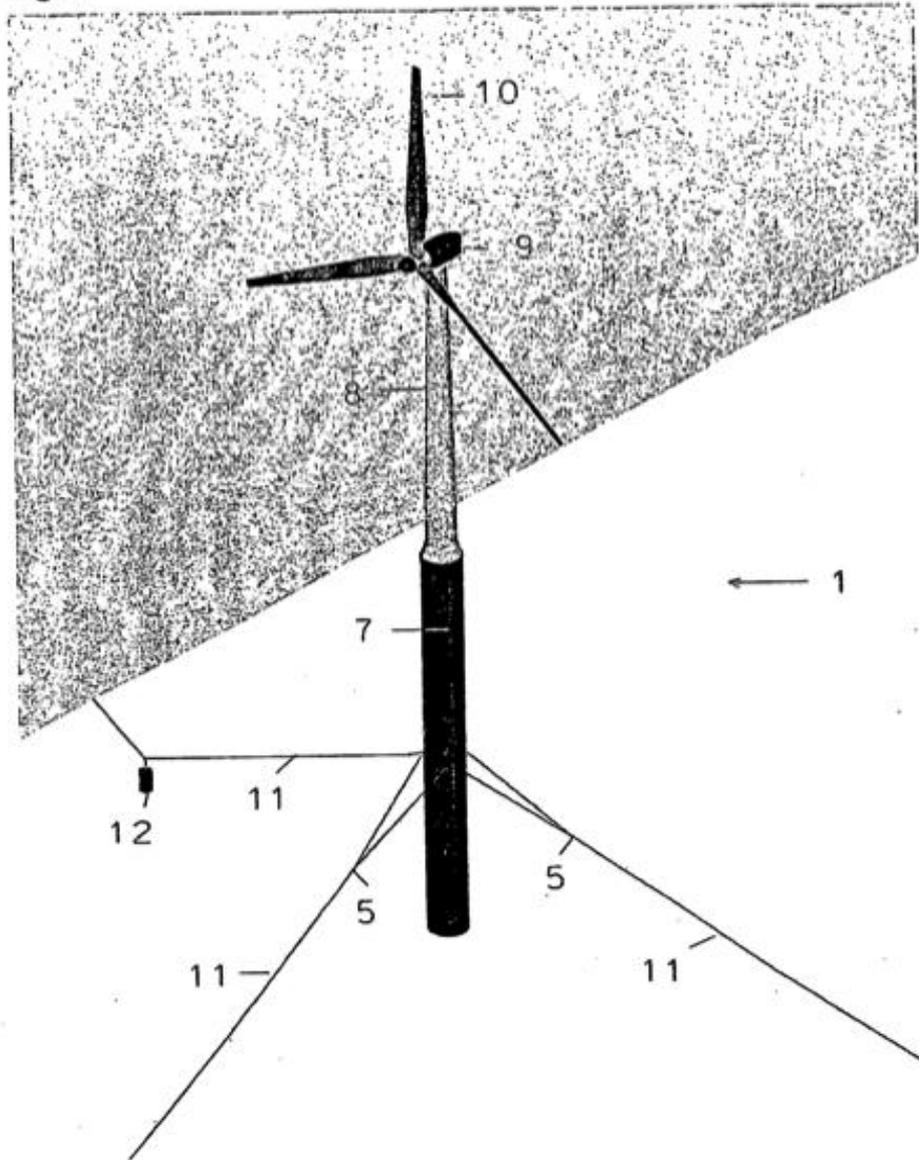
La invención tal como se define en las reivindicaciones no se limita a la realización mostrada en las Figuras y descrita anteriormente, de manera que en lugar de tres líneas de anclaje, se pueden usar cuatro o más líneas de anclaje 11, cada una con las líneas 2, 3 correspondientes dispuestas en un esquema con forma de delta. El uso de tres líneas de anclaje a intervalos de 120° es sin embargo considerado representativo de la solución más simple y barata.

20

**REIVINDICACIONES**

- 1.- Una instalación de turbina eólica flotante que comprende:
- una celda flotante alargada cilíndrica (7) de radio (r);
  - una torre (8) dispuesta sobre la celda flotante;
  - 5 un generador (9) montado sobre la torre, pudiendo el generador rotar en relación con la dirección del viento;
  - un rotor eólico (10) unido al generador; y
  - una disposición de línea de anclaje (6) que comprende una pluralidad de líneas de anclaje (11) fijadas por un primer extremo de las mismas a puntos de anclaje respectivos, en la que:
  - 10 cada una de las líneas de anclaje (11) se extiende desde su punto de anclaje respectivo hasta un punto fijo (5) en un segundo extremo de la línea de anclaje, y
  - cada una de las líneas de anclaje está conectada a la celda de flotación (7) mediante al menos dos líneas adicionales (2, 3) que están conectadas a unos puntos de anclaje respectivos en los primeros extremos de las mismas y a la celda flotante por el segundo extremo de las mismas,
  - 15 estando los puntos de fijación situados a una distancia (R) mayor que el radio (r) de la celda flotante de manera que las dos líneas adicionales, que se extienden entre los puntos de anclaje respectivos y la celda flotante, se separan hacia fuera de manera que forman una disposición en forma de delta.
- 2.- La instalación de turbina eólica flotante de acuerdo con la reivindicación 1, en la que las líneas de anclaje se extienden desde los puntos de anclaje a un ángulo de entre 30 ° y 70 ° con respecto al plano horizontal.
- 20 3.- La instalación de turbina eólica flotante de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, en la que la disposición de la línea de anclaje (6) comprende tres líneas de anclaje (11) dispuestas simétricamente a intervalos de 120 °.
- 4.- La instalación de turbina eólica flotante de acuerdo con la reivindicación 1, 2, ó 3, en la que las líneas (2, 3) en cada una de las disposiciones en forma de delta están dispuestas a un ángulo entre sí de entre 20 ° y 60 °.
- 25 5.- La instalación de turbina eólica flotante de acuerdo con la reivindicación 1, 2, 3 ó 4, en la que las líneas (2, 3) en cada una de las disposiciones en forma de delta, que se extienden entre los puntos de fijación respectivos y la celda flotante, están dispuestas a un ángulo con respecto al plano horizontal de entre 30 ° y 70 °.
- 6.- La instalación de turbina eólica flotante de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en la que las líneas (2, 3) en cada una de las disposiciones en forma de delta están fijadas a la celda flotante (7) alrededor de la celda de flotación a la máxima distancia posible entre los puntos de fijación de las mismas.
- 30 7.- La instalación de turbina eólica flotante de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en la que las líneas (2, 3) en cada una de las disposiciones en forma de delta están unidas por parejas a cartelas de unión (4) en la celda flotante (7).
- 8.- La instalación de turbina eólica flotante de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en la que los puntos de anclaje son anclas o puntos de anclaje en el fondo del mar.

Fig. 1





**Fig. 3**

**Resistencia a la rotación**

