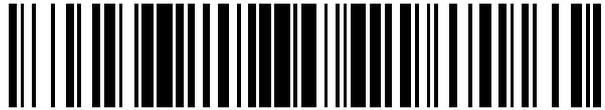


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 660 886**

21 Número de solicitud: 201600704

51 Int. Cl.:

**F03D 13/25** (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

**26.08.2016**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**26.03.2018**

56 Se remite a la solicitud internacional:

**PCT/ES2017/070499**

71 Solicitantes:

**CLECOSER S.L. (100.0%)  
Huelva nº 3 dup  
28002 Madrid ES**

72 Inventor/es:

**NEBRERA SALCEDO, Juan Pablo**

74 Agente/Representante:

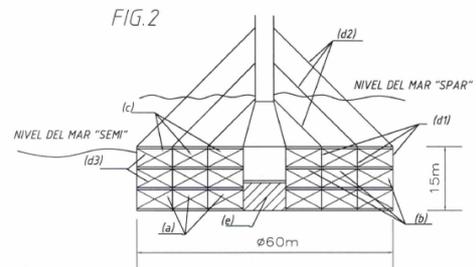
**TEMIÑO CENICEROS, Ignacio**

54 Título: **Fundación para aerogeneradores flotantes**

57 Resumen:

Fundación para aerogeneradores flotantes, que comprende una o más estructuras construida/s con materiales ligeros y caracterizada/s por el uso de bolsas de materiales poliméricos hinchables a voluntad con fluidos más o menos pesados que el agua de mar, jugando con la flotabilidad para conseguir el equilibrio del conjunto en todos los momentos.

La utilización de materiales poliméricos en bolsas que se llenan o vacían a voluntad con fluidos de distintas densidades, en distintos momentos y modos de operación, incorporados en el seno de una/s estructura/s ligera/s, proporcionan grandes ventajas tanto en cuanto al coste como a la seguridad en la construcción, transporte, instalación y operación del conjunto fundación-aerogenerador, así como la posibilidad de desinstalarlo y transportarlo a puerto para grandes revisiones o reparaciones.



ES 2 660 886 A1

**DESCRIPCIÓN**

**Fundación para aerogeneradores flotantes**

5 **SECTOR DE LA TÉCNICA**

Fundaciones para aerogeneradores flotantes

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

- 10 Los aerogeneradores off-shore se han desarrollado mucho en los últimos años, especialmente los apoyados en el fondo marino.
- Sin embargo, por encima de una cierta profundidad, los costes de este tipo de fundaciones (monopilote, jacket, gravity-based, etc.) se vuelven excesivos, por lo que existe una gran actividad de desarrollo de nuevas fórmulas basadas en fundaciones
- 15 flotantes amarradas o ancladas de algún modo al fondo marino.
- Estas soluciones son muy variadas, tanto en cuanto a los materiales a utilizar, a los diseños para asegurar una cierta estabilidad del aerogenerador (especialmente en cuanto a aceleraciones y verticalidad del fuste), y a los sistemas constructivos y de transporte e instalación utilizados.
- 20 Casi en todos los casos se utilizan como materiales el acero y el hormigón, en estructuras cuyo diseño trata de:
- acumular una masa importante que aleje las frecuencias de la estructura soporte de las de las olas
  - reducir las necesidades de calado durante la construcción y puesta en agua
  - 25 - en algunos casos, reducir o eliminar la necesidad de grandes buques o artefactos especiales para el transporte e instalación de las fundaciones y sus correspondientes aerogeneradores
  - posibilitar el desamarre de la fundación y el aerogenerador desde su lugar de instalación para transportarlos a puerto para grandes reparaciones, y volver a
  - 30 instalarlos en su posición una vez terminada la reparación
  - en algunos casos, la fundación no es totalmente pasiva, puesto que se puede mover el agua que hace de lastre en tanques de hormigón o acero para compensar los movimientos debidos al oleaje o al momento de vuelco producido por el viento sobre las palas del aerogenerador.
  - 35 - el sistema constructivo idealmente debe hacer posible la construcción del conjunto en tierra para su transporte ya completo hasta su lugar de instalación, donde se amarra al

sistema de amarre preinstalado; dependiendo del diseño del sistema y de su procedimiento constructivo, los requisitos del puerto o yard donde se realice la construcción pueden ser más o menos exigentes

- 5 - conseguir, especialmente cuando se trata de estructuras tipo spar (en las que solo sobresale el fuste de la superficie del agua), la mayor distancia posible entre el centro de carena (lo más alto posible) y el de gravedad (lo más bajo posible), de forma que la pérdida de verticalidad inducida por el oleaje o los esfuerzos del viento sobre el aerogenerador se compensen por el momento adrizante

## 10 **EXPLICACIÓN DE LA INVENCION**

La fundación que se propone se caracteriza por comprender:

- Una estructura ligera compuesta por una combinación de miembros rígidos y cables, en forma general de jaula, en cuyo centro se inserta la parte inferior del fuste del aerogenerador
- 15 - En todos o algunos de los espacios huecos de la estructura se aloja una pluralidad de bolsas de tamaños y formas variables, construidas con materiales poliméricos semirrígidos resistentes al agua de mar, que se llenan o vacían a voluntad con varios fluidos en distintos momentos de la construcción, transporte, instalación y operación del conjunto
- 20 - Las citadas bolsas se diseñan para modificar a voluntad su volumen, presión y/o densidad del fluido que contienen
- Los compartimentos y bolsas se integran mecánicamente con la estructura, para la que se utilizan materiales tales como acero, hormigón u otros; en las realizaciones preferentes, para conseguir un bajo coste, se utilizarán elementos
- 25 de hormigón pre y pos-tensados y cables, generalmente de acero
- Un sistema de bombeo de líquidos y compresión de aire, manejado por un sistema de control que tiene en cuenta variables tales como inclinación del mástil y profundidad del conjunto o de partes específicas respecto de la superficie del agua, y que actúa para inyectar o dejar escapar fluidos de los
- 30 compartimentos activos, de forma que el comportamiento de la estructura soporte sea el adecuado para cada modo de operación en cada momento

La invención permite realizaciones bien del tipo semisumergible o bien del tipo spar, añadiendo en este caso lastre en la parte inferior, a fin de bajar el centro de gravedad; comprende una base de forma cilíndrica o prismática con una estructura en forma

35 general de jaula; el fuste del aerogenerador se prolonga en una base (algo ensanchada en una realización preferente), que se inserta en esta base hasta llegar a

la parte inferior de la jaula, y, entre otras funciones, aloja parte de los componentes electromecánicos, como bombas de agua, compresores, sensores y sistema de control de la fundación. La estructura en forma de jaula Fig. 1 y Fig. 2 contiene distintos tipos y formas de bolsas semirrígidas; en una de las realizaciones preferentes, serían bolsas de tres tipos.

Las bolsas de tipo (a), situadas en la parte más baja de la jaula, pueden contener, dependiendo del modo de operación, agua de mar (densidad 1,03 kg/dm<sup>3</sup>), o salmuera de densidad hasta de 1,24 kg/dm<sup>3</sup>.

Igualmente, dependiendo del modo de operación, las bolsas tipo (b) pueden contener agua dulce, salmuera o agua de mar.

Las bolsas del tipo (c) contendrán normalmente más o menos volumen de aire ligeramente comprimido.

En una realización preferente, diseñada para trabajar principalmente como semisumergible, la estructura consta de cuatro "forjados" rígidos, de los que una posible realización del superior se muestra en la Fig. 3. Estos forjados pueden construirse con jácenas de acero o de hormigón pretensado o postensado.

Los forjados van unidos entre sí por cables (Fig.2) (d1) ubicados en los nodos; a su vez, los nodos principales están conectados por cables (d2) al fuste del aerogenerador. Otros cables (d3) unen diagonalmente los nodos para dar mayor rigidez a la estructura cuando ésta entra en carga.

En la parte baja del fuste se puede crear un espacio Fig. 2 (e) donde se aloje un lastre complementario; el tipo y cantidad de este lastre dependerá del lugar y procedimiento elegido para la construcción del conjunto. En los casos en que se pretenda operar como spar de forma permanente, será necesario que el primer forjado se realice en hormigón u otro material pesado (Fig. 4 (B) (1) o Fig. 7 (A) (1), a fin de bajar el centro de gravedad suficientemente. El diseño completo depende mucho del tipo de aerogenerador, ya que puede haber grandes diferencias de peso incluso para máquinas de la misma potencia.

En estado operativo normal el sistema de control mantiene a la estructura a la altura deseada sobre la superficie. A este respecto es de destacar que, en condiciones de mar normales, la estructura diseñada como semisumergible se mantiene a flote (Fig. 4 (A)), aumentando la altura del buje del aerogenerador y al menos potencialmente el viento que es capaz de capturar. En condiciones de mar muy adversas, y siempre que se haya diseñado para trabajar como spar en estas condiciones, el comportamiento en supervivencia mejora al sumergirse la estructura (Fig. 4 (B)) hasta una profundidad a la que apenas afecten los esfuerzos inducidos por el oleaje. En otras realizaciones

preferentes puede modificarse el diseño, utilizando los mismos conceptos básicos de la invención, para operar como spar en todas las condiciones de operación.

La profundidad en estado operativo, es decir, con el conjunto amarrado al fondo y conectado a su cable dinámico de evacuación de energía, se regula principalmente  
5 inyectando más o menos aire a las bolsas (c) Fig. 2. En la realización preferente como semisumergible, las bolsas (c) ubicadas en el tercio exterior de su piso están siempre llenas de aire, equilibrando su flotabilidad (junto con la del espacio hueco de la parte baja del fuste) el peso real o aparente de nacelle, fuste, todas las estructuras y bolsas con salmuera. Las bolsas (c) de los dos tercios centrales se usarán para regular la  
10 profundidad, al inyectarles más o menos volumen de aire.

En este estado operativo las bolsas (a), y parte o todas las (b), están llenas de salmuera de la mayor densidad posible, con el objeto de bajar el centro de gravedad del conjunto. La distancia entre las bolsas (c) y (a) afecta a la separación entre el centro de gravedad y el de carena, que es un parámetro importante que afecta de  
15 forma directa al comportamiento en mar del conjunto (seakeeping).

Las bolsas (b), rellenas en operación bien de agua de mar o de salmuera, tienen por objetivo aumentar la masa del conjunto y alejarse de las frecuencias del oleaje, del aerogenerador o de los cambios de viento en todo momento.

Las bolsas (c), además de aportar la mayor parte de la flotabilidad, permiten la  
20 compensación activa del momento de vuelco causado por el viento continuo sobre las palas del aerogenerador, contribuyendo a mantener la verticalidad del fuste, en especial en situaciones de viento sostenido.

El invento permite adoptar sistemas constructivos fácilmente industrializables y que no requieren de grandes medios auxiliares ni en el puerto, ni en su transporte ni en su  
25 instalación en el mar.

Los forjados se pueden armar en tierra, usando piezas prefabricadas.

El primer paso sería construir la base del fuste y ubicarlo en el centro del espacio donde vayamos a hacer el montaje. Alrededor de esta base iremos armando los forjados. Una vez armada la estructura del forjado inferior y fijada ésta al fuste, se  
30 instalan sobre este las bolsas (a) y se llenan de aire; a continuación se instala el segundo forjado, sobre el que se fijan las bolsas (b) y se llenan de aire, el tercer forjado donde se fijan las (c), llenándolas también de aire y por último se arma el cuarto forjado. En paralelo se instalan los cables que unen los forjados entre sí y el forjado superior con el fuste, si bien éstos últimos quedarán flojos, al no estar instalada  
35 la sección del fuste a la que se unirán.

A continuación se pone en mar el conjunto, bien arrastrándolo por una superficie de

hormigón tipo playa o con una grúa y una estructura auxiliar que evite esfuerzos excesivos, dado que en este momento, como se ha dicho, todavía no están instalados los cables que unirán el forjado superior con el fuste (aunque sí deben instalarse los cables de arriostamiento de la estructura).

5 Es importante destacar que en este momento el conjunto flota casi totalmente, por lo que requiere un calado mínimo para su maniobra en el puerto.

Una vez en el mar, llevaremos el conjunto a una zona próxima al muelle cuyo fondo ha sido preparado al efecto (ver Fig. 5 o Fig. 6) donde, vaciando de aire las bolsas (a) y, si es preciso, las (b), lo hundiremos hasta que se apoye en el fondo preparado y

10 nivelado. También puede mantenerse a flote y realizar las siguientes operaciones a flote, dependiendo de lo tranquilas que sean las aguas del puerto.

Una vez atracado o descansando en el fondo, será necesario añadir el lastre fijo a la base del fuste (si se ha diseñado así), terminar las instalaciones electromecánicas que se alojen en la base del fuste y a continuación instalar la primera sección de la parte

15 aérea de éste, instalando los cables que unen la estructura y el fuste para dar rigidez al conjunto antes de terminar la instalación del fuste y proceder a la instalación y comisionado de la nacelle y las palas.

Una vez terminado el "commissioning", el conjunto, a través del hinchado de las bolsas, se vuelve a poner en flotación con el calado deseado y se saca a una zona de

20 calado suficiente, donde se llenan (siempre total o parcialmente, dependiendo del calado disponible y otros parámetros de diseño) de salmuera las bolsas (a), de agua de mar o salmuera las (b) y de aire las (c), poniendo el conjunto en el modo de transporte.

Una vez transportado por remolcadores o ancleros hasta su posición final en el mar,

25 se procede al amarrado y conexión del cable dinámico de evacuación eléctrica (preinstalados en el emplazamiento), y se vuelve a sumergir, en todo o en parte, para dejarlo en la posición operativa que se desee (semi o spar).

Este procedimiento constructivo preferente se ha expuesto de forma ilustrativa y no limitativa.

30 La invención descrita resuelve los problemas planteados para las fundaciones flotantes para aerogeneradores:

- Se trata de una invención que utiliza materiales económicos y fácilmente reciclables, en cantidades muy inferiores a las otras soluciones que se han planteado, sustituyendo en gran parte hormigón o acero por de agua de mar,
- 35 salmuera o aire como fluidos alojados en bolsas poliméricas semirrígidas para dar masa, flotabilidad y equilibrio

- Su construcción en puerto o yard es fácilmente industrializable (piezas pequeñas, manejables por grúas corrientes)
- Es fácil, por su ligereza, poner en el agua la estructura con las bolsas llenas de aire
- 5 - No requiere grandes calados en puerto; puede terminarse con una grúa desde el muelle
- Permite llevar el conjunto hasta su posición definitiva y amarrarlo sin artefactos o buques especiales, usando simples remolcadores o buques ancleros
- Su instalación en su ubicación definitiva no tiene requisitos especiales en  
10 cuanto a las condiciones meta-oceánicas, ampliando la ventana temporal en que esta instalación se puede realizar en áreas con condiciones meta-oceánicas frecuentemente muy adversas, como p.e. el mar del Norte
- Puede usarse como spar o como semisumergible, simplemente cambiando en el diseño la flotabilidad de las bolsas (más o menos aire), añadiendo más peso  
15 al forjado inferior, que habría que realizar en parte al menos en hormigón, o añadiendo una segunda estructura suspendida por cables debajo de la primera, realizada en material pesado y/o cargada con bolsas de salmuera u otro fluido pesado
- Con este diseño tipo spar, puede operar como semisumergible normalmente y  
20 puede hundirse aún más en condiciones de mar extremas, alejando a la estructura de la zona de influencia del oleaje, y reduciendo así los esfuerzos soportados en régimen de supervivencia
- El diseño permite utilizar esta fundación en aguas relativamente poco profundas (especialmente en su versión semisumergible), como las que se  
25 encuentran en bastantes áreas del mar del Norte y otras zonas de gran potencial eólico off-shore en el mundo, o en aguas más profundas, sin más limitación que el coste del sistema de amarre
- El conjunto de todos los factores conduce a una fundación muy económica en comparación con el estado de la técnica actual, pero que reúne las ventajas de  
30 las mejores ideas planteadas
- En este sentido, es de destacar que algunos de los conceptos que se plantean en esta invención son aplicables a algunas de las fundaciones diseñadas actualmente con otros materiales; la utilización de los conceptos de la  
35 invención en estas configuraciones actualmente en acero u hormigón podrían dar lugar a ahorros decisivos para su competitividad

### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención se acompaña, como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde, con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

- 5 Fig. 1.- Perspectiva general de la fundación, en este caso representada como cilíndrica, y fuste del aerogenerador.
- Fig. 2.- Sección general de la fundación y parte del fuste del aerogenerador
- Fig. 3.- Planta de la fundación mostrando la parte superior de la estructura en jaula
- 10 Fig. 4.- Otra sección de la fundación mostrando su estado operativo como semisumergible (A) o como spar (B)
- Fig. 5.- Sección de la fundación cuando, tras la fase inicial de su construcción, se pone apoyada en el fondo marino junto al muelle, mostrando algunas dimensiones orientativas para una realización preferente
- 15 Fig. 6.- Sección durante la etapa de montaje del fuste y resto del aerogenerador
- Fig. 7.- Secciones de varias realizaciones operando en modo spar (A), (B) y (D) o semi (C)

### REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

20 Describimos a continuación una realización preferente para una fundación de un aerogenerador de 6 MW cuya nacelle pese 700 Tm y sufra un esfuerzo horizontal del viento sobre sus palas de unas 150 Tm.

El conjunto de nacelle, palas y fuste pesa en torno a 1100 Tm.

La estructura tendrá un diámetro de 60 m y la altura de cada piso la fijamos en 5 m.  
25 dando una altura de estructura total de 15 m.

Algunos datos generales son los siguientes:

El volumen de bolsas tipo (c) y (b) llenas de salmuera de densidad 1,24 kg/dm<sup>3</sup> será de unos 27.000 m<sup>3</sup>, y por tanto su peso aparente de unas 6.500 Tm.

En total, el peso real o aparente del conjunto en operación es de 7.500 Tm.

30 Las bolsas (a) con una altura de 5 m proporcionan una flotabilidad, si están totalmente llenas de aire, de 13.500 Tm, por lo que, si se llenan totalmente, el conjunto flota con un alto borda de unos 2 m.

La masa total del conjunto, suponiendo que llenamos de salmuera las bolsas (b), sería de más 35.000 Tm, y de más de 30.000 incluso con las bolsas (b) llenas de agua de  
35 mar.

Una inclinación de 5° del fuste daría lugar a un momento adrizante por la mayor

flotabilidad del lado hundido y la menor del lado que se eleva sobre el agua. Un cálculo aproximado sería del orden de 20.000 mTm, mientras que, a título meramente comparativo, el momento de vuelco inducido por el empuje del viento sobre las palas, suponiendo una altura de buje de 120 m, sería del orden de 18.000 mTm.

5 Esto nos indica que, a falta de la realización de un proyecto completo, que excede con mucho el objetivo de este documento, las dimensiones orientativas propuestas son más que suficientes para asegurar la estabilidad del conjunto en el mar dentro de las inclinaciones máximas en operación que recomiendan los fabricantes, que son del orden de 10-15°.

10 En la hipótesis de que se quiera trabajar como spar, el momento adrizante se produce al desplazarse el eje de la vertical; el centro de carena, situado más arriba gracias a la flotabilidad de las bolsas (c) y el hueco de la base del fuste, "empuja" hacia arriba, mientras que todo el peso, real y aparente para las partes hundidas, "empuja" en el centro de gravedad hacia abajo. Para bajar el centro de gravedad, se puede, en una  
15 realización preferente, sustituir el primer forjado de la estructura por uno de hormigón armado de suficiente peso, que se puede construir a la vez que la base del fuste y de forma integral con ésta (ver (1) en Fig. 7 (A)).

En otra realización preferente se construye una losa de hormigón alrededor de la base del fuste, losa que, en operación, quedará "suspendida" del forjado inferior a través de  
20 cables (Fig. 7 (B) (2)) prolongación de los que unen este con los otros forjados y con la parte media del fuste de la torre.

Para facilitar la construcción, y como parte del procedimiento de ésta, a esta losa, además de dejar unidos los cables definitivos, que quedarán flojos, con su longitud final de diseño, se le instalarán unos cables provisionales de suspensión mucho más  
25 cortos (para facilitar el resto de las operaciones de construcción y transporte) cables que hay que eliminar en el momento de la instalación del conjunto en su posición definitiva, dejando caer la losa de forma controlada.

Otra realización preferente, especialmente conveniente cuando las circunstancias del emplazamiento aconsejan trabajar en spar de forma permanente o en supervivencia,  
30 añada una segunda estructura conteniendo bolsas de material polimérico llenas de salmuera u otro fluido muy denso, suspendida con cables de la primera en estado de operación Fig. 7 (D). En este caso, durante la construcción los forjados conteniendo estas bolsas deben instalarse primero, con las bolsas vacías, y permanecerán vacías hasta que, ya en su posición definitiva en el mar, y como parte del proceso de  
35 instalación, se eliminen los cables provisionales que mantienen los forjados de la estructura inferior unidos entre sí y al forjado inferior de la estructura superior, y se

## ES 2 660 886 A1

llenen poco a poco del fluido pesado (p.e. salmuera) las bolsas de la estructura inferior, hasta quedar en su posición final (Fig. 7 (D)).

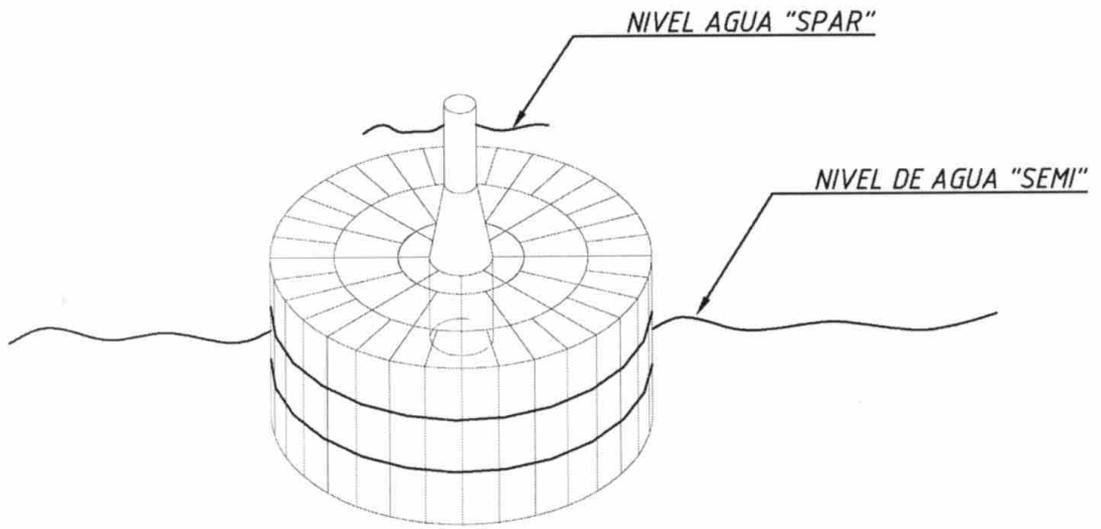
**REIVINDICACIONES**

1. Fundación flotante para aerogenerador off-shore, caracterizada por (i) una estructura ligera y abierta, compuesta por piezas rígidas y cables, que  
5 incorpora una pluralidad de bolsas de material polimérico hinchables o vaciables a voluntad con distintos tipos de fluidos líquidos o gaseosos, (ii) un sistema de bombeo de líquidos y compresión de gases y tuberías asociadas para llenar las bolsas, (iii) un sistema de control para, en función del modo de trabajo (construcción en tierra, construcción en mar, transporte, instalación en  
10 su emplazamiento u operación normal o de emergencia) y de las señales coleccionadas por una serie de sensores (verticalidad, profundidad, aceleraciones en la nacelle, entre otros), ordenar el llenado o vaciado de las distintas bolsas con los distintos fluidos
2. Una fundación según la reivindicación 1 caracterizada porque la estructura  
15 consta de varios forjados
3. Una fundación según todas o alguna de las reivindicaciones anteriores caracterizada porque los forjados están unidos con cables entre sí, incluyendo riostras, y a la parte media del fuste del aerogenerador
4. Una fundación según todas o alguna de las reivindicaciones anteriores  
20 caracterizada porque está diseñada para trabajar como semisumergible, donde una parte de la estructura sobresale de la superficie marina en operación normal
5. Una fundación según todas o alguna de las reivindicaciones anteriores caracterizada porque el conjunto se diseña para trabajar como spar (donde  
25 solo sobresale del agua el fuste) bien en condiciones normales de operación, en condiciones de supervivencia o en ambas
6. Una fundación según todas o alguna de las reivindicaciones anteriores caracterizada porque el sistema de control permite el equilibrado proactivo del momento de vuelco producido por la acción del viento sobre el aerogenerador y su fuste, en base a las indicaciones de sensores de verticalidad del fuste.  
30
7. Una fundación según todas o alguna de las reivindicaciones anteriores caracterizada porque la totalidad o una parte del forjado inferior se realiza en losa de hormigón o material pesado similar a fin de bajar el centro de gravedad del conjunto
- 35 8. Una fundación según todas o alguna de las reivindicaciones anteriores caracterizada porque se añade una segunda estructura suspendida de la

primera por medio de cables, con o sin bolsas adicionales llenas de un fluido más pesado que el agua de mar (p.e. salmuera), destinada a bajar el centro de gravedad del conjunto

- 5
9. Una fundación según todas o alguna de las reivindicaciones anteriores caracterizada porque la estructura está rodeada externamente en todas o determinadas áreas por una protección, por ejemplo de rejilla metálica. Una fundación según todas o alguna de las reivindicaciones anteriores caracterizada porque se diseña para amarrarse a un punto único de amarre (single point mooring) bien en forma de boya o directamente al fondo marino en
- 10
- forma de muerto, "suction bucket" u otro sistema de anclaje (todos ellos no son objeto de esta invención), y que, en función de la dirección del viento, bornea alrededor de este punto de amarre
10. Una fundación según todas o alguna de las reivindicaciones anteriores caracterizada porque todos los sistemas y componentes se monitorizan y
- 15
- controlan remotamente

FIG.1



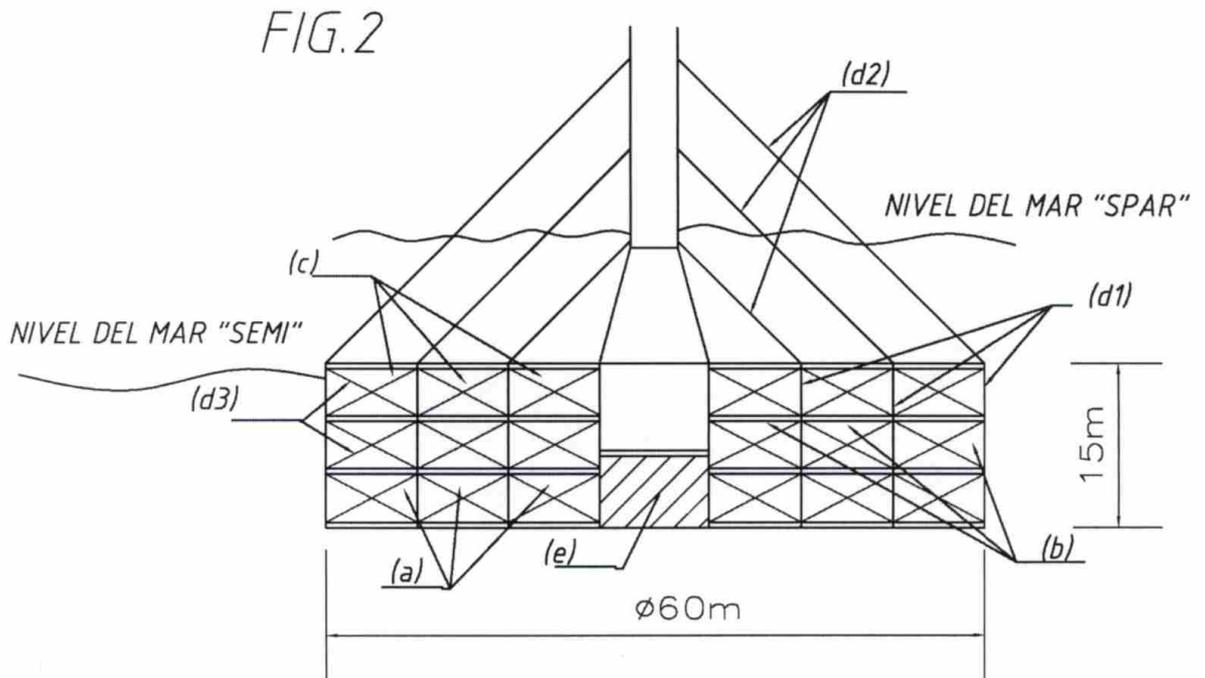


FIG.3

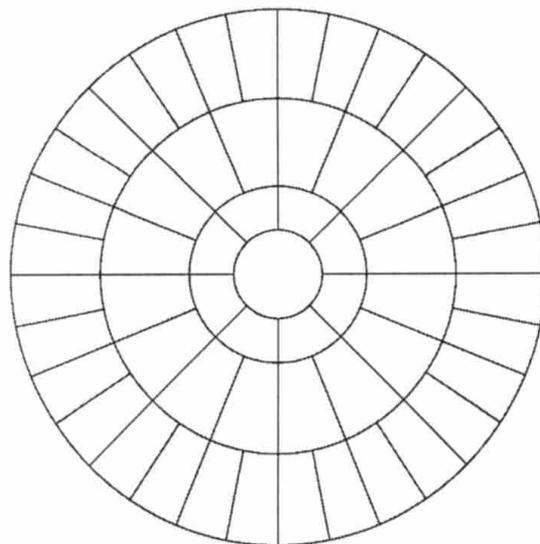


FIG.4

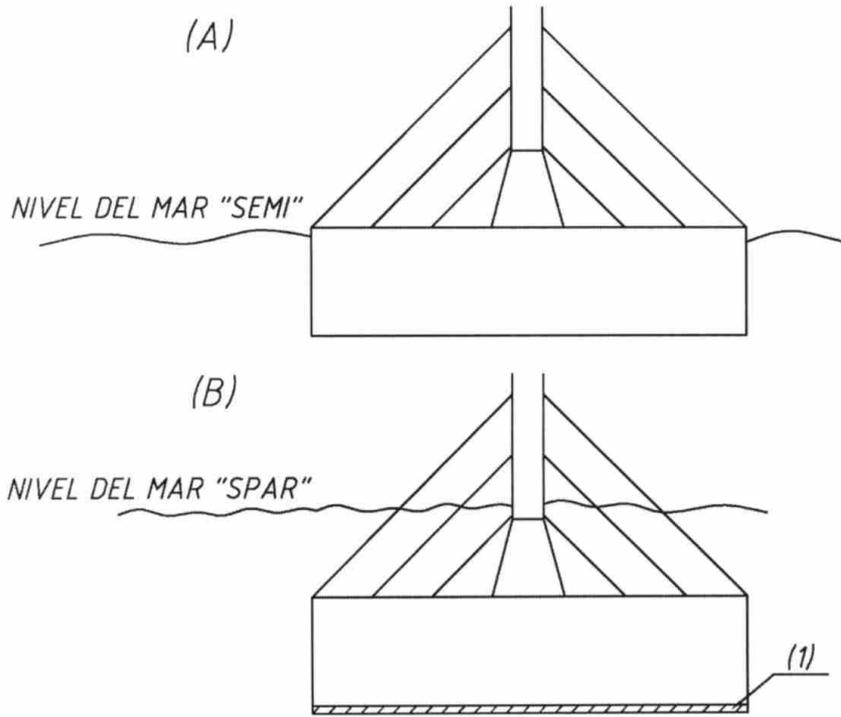


FIG.5

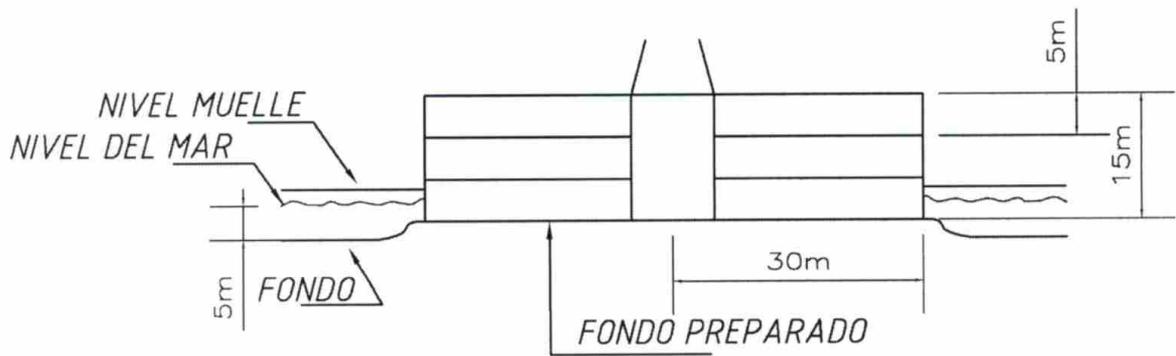


FIG.6

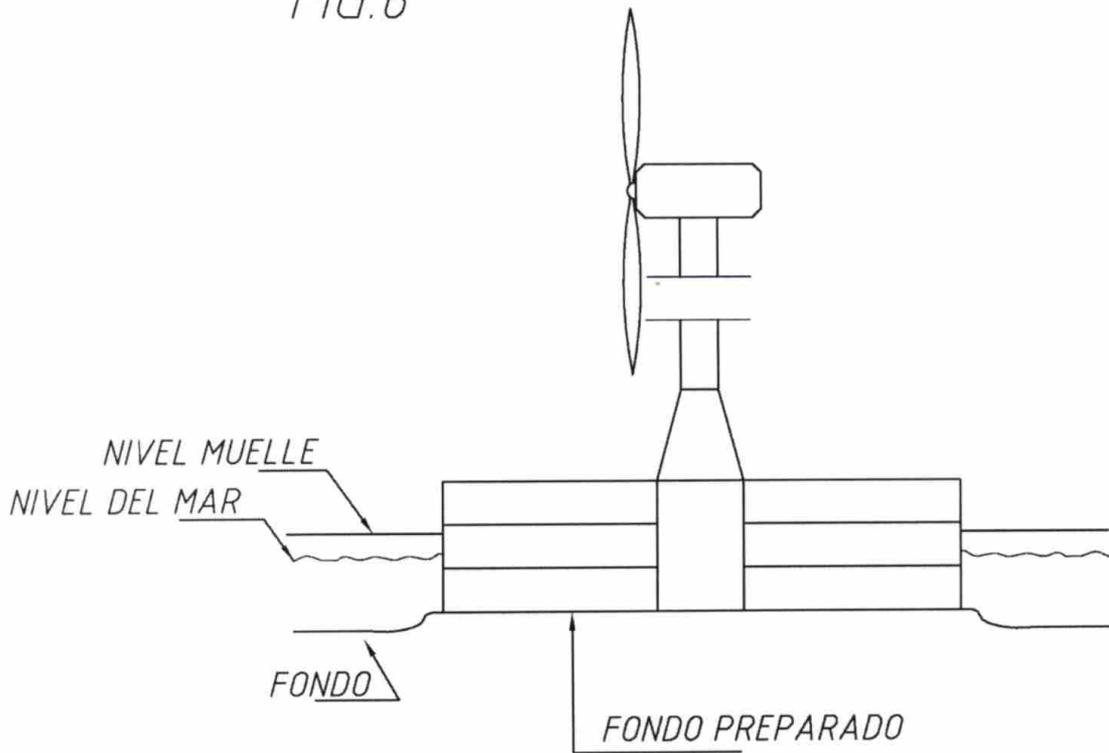


FIG.7

