

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 824 373**

21 Número de solicitud: 201930986

51 Int. Cl.:

B63B 39/03 (2006.01)

B63B 39/14 (2006.01)

F03D 13/25 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

11.11.2019

43 Fecha de publicación de la solicitud:

11.05.2021

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

05.08.2021

Fecha de concesión:

20.05.2022

45 Fecha de publicación de la concesión:

27.05.2022

73 Titular/es:

SEAPLACE SL (100.0%)

C/ Bolivia 5

28109 Madrid (Madrid) ES

72 Inventor/es:

MOREU GAMAZO, Jaime;

TABOADA GOSÁLVEZ, Miguel;

DE GUZMÁN MONTÓN, Santiago;

TERCEÑO HERNÁNDEZ, Miriam;

BUENO ENCISO, Pedro;

POMBO SILVA, Albino;

MARTÍN AGÜÍ, Rafael y

MOREU MUNAIZ, Manuel

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

54 Título: **PROCEDIMIENTO Y SISTEMA PARA REDUCIR LA INCLINACIÓN MEDIA Y REDUCIR LOS MOVIMIENTOS DE UNA PLATAFORMA FLOTANTE EÓLICA MARINA, SUBESTACIÓN O SIMILAR**

57 Resumen:

Procedimiento y sistema para reducir la inclinación media y reducir los movimientos de una plataforma flotante eólica marina, subestación o similar.

Procedimiento y sistema que permite a una plataforma eólica flotante formada por al menos un cuerpo flotante, la reducción de los movimientos de cabeceo-balance y la reducción/cancelación de la inclinación media de la plataforma, combinando durante la operación del aerogenerador, simultáneamente, un sistema de lastre activo y pasivo en los que exclusivamente se actúa sobre la altura de agua de los tanques de lastre.

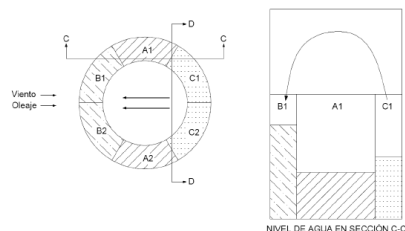


FIG 2C

ES 2 824 373 B2

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

DESCRIPCIÓN**PROCEDIMIENTO Y SISTEMA PARA REDUCIR LA INCLINACIÓN MEDIA Y REDUCIR
LOS MOVIMIENTOS DE UNA PLATAFORMA FLOTANTE EÓLICA MARINA,
SUBESTACIÓN O SIMILAR****5 SECTOR DE LA TÉCNICA**

El campo técnico de aplicación principal de la presente invención es el de las estructuras flotantes marinas de la industria del sector eólico como son las de soporte de generadores eólicos, subestaciones y similares, además de la aplicación para las estructuras flotantes marinas de la industria del sector de los hidrocarburos o cualquier tipo de dispositivo o unidad
10 flotante marina.

Procedimiento y sistema que permite a una plataforma eólica flotante formada por al menos un cuerpo flotante, la reducción de los movimientos de cabeceo-balance y la reducción/cancelación de la inclinación media de la plataforma, combinando durante la operación del aerogenerador, simultáneamente, un sistema de lastre activo y pasivo en los
15 que exclusivamente se actúa sobre la altura de agua de los tanques de lastre.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

El auge de las energías renovables hace que se tienda a la búsqueda de un mayor aprovechamiento de estas. Particularizando para la energía eólica, la tendencia que se observa es la de la instalación de plataformas en la mar donde las velocidades de viento son
20 mayores que en tierra (y menos turbulentos), asegurando así una mayor producción de energía. Estas características de viento además mejoran cuanto más nos alejamos de la costa.

Sin embargo, estos emplazamientos presentan como inconveniente el que en muchos casos las plataformas fijas (plataformas ya economizadas y bien conocidas) no son competitivas, ya
25 sea por desniveles en el lecho marino, por el tipo de suelo o porque nos encontremos a profundidades mayores de 60 metros. Esto lleva a que las soluciones más viables pasen a ser las flotantes, con la consiguiente alteración del coste debido al aumento del tamaño de las soluciones, necesidad de un sistema de fondeo y medios de anclaje al lecho marino, diferentes operaciones marinas, nuevas incertidumbres, riesgos... Además, estas plataformas, al no
30 estar fijas, están expuestas a los movimientos inducidos por el viento, el oleaje y la corriente,

que hacen que disminuya el rendimiento del generador eólico, aumente la fatiga de ciertos componentes de la unidad, posibilidad de resonancias, etc.

En la actualidad existen múltiples soluciones flotantes, algunas de ellas operando, otras en demostración, y una mayoría en desarrollo. Estas soluciones se basan principalmente en cuatro tipos de estructuras provenientes de la Industria del Petróleo, siendo otras muchas híbridos que aprovechan las mejores características de cada tipología clásica: Spars, TLPs (Tension Leg Platforms), Semisumergibles (o semis), y las barcazas (barges). Las estructuras tipo Spar son estructuras tradicionalmente esbeltas que se caracterizan porque el centro de gravedad se encuentra por debajo del centro del volumen sumergido o centro de carena, asegurando de esta manera la estabilidad. Estas estructuras presentan, en general, un mejor comportamiento que las estructuras semisumergibles a los movimientos verticales (arfa) debido a su gran calado y tienen una respuesta reducida a las fuerzas de excitación vertical de las olas. Con respecto a las TLPs, se trata de estructuras que tienen exceso de flotabilidad gracias a unos cuerpos sumergidos, obteniendo la estabilidad a través un amarre de tendones pre-tensionados. Esta estructura es muy rígida ante los movimientos verticales y los angulares (los tendones actúan casi como si la estructura fuese fija). Sin embargo, su complejidad constructiva, alto coste de instalación y posibles acoplamientos de frecuencia hacen que esta solución siga por el momento lejos de mercado. Por su parte, las semisumergibles son estructuras estabilizadas gracias al área de la flotación, obtenida por varias columnas separadas entre sí, que en general presentan muy buen comportamiento en cabeceo y balance aunque no tanto en movimientos verticales, teniendo que disponer de medios amortiguadores. Estas plataformas son muy estables y las operaciones de transporte e instalación se simplifican enormemente respecto a las otras tipologías. Por último, las barcazas son soluciones que logran la estabilidad gracias al área en la flotación de un único cuerpo (en vez de varias columnas como las semisumergibles). Esto resulta en una estructura más compacta que las semisumergibles pero de mucho área en la flotación y por ello sujeta a unas grandes aceleraciones, lo que repercute sobre los diferentes componentes.

De las soluciones flotantes actuales, algunas se diseñan para reducir la inclinación media, con el consiguiente aumento del rendimiento del generador de viento. Cuando el viento incide sobre la turbina durante la operación, se transforma en energía mecánica gracias a la rotación de las palas, y produce un momento que tiende a inclinar la torre en la misma dirección del viento respecto a la vertical. Esta inclinación hace que el área barrida por las palas ya no se encuentre perpendicular a la dirección del viento, y por tanto, que disminuya la potencia

producida. Por lo general, hay un máximo admisible dinámicamente en operación de 10 grados de inclinación de la torre con respecto a la vertical, aunque es preferible estar por debajo de los tres grados. Para ello, se pueden instalar los denominados sistemas activos de lastre o sistemas activos compensadores de escora, que son habituales en los barcos. Su objetivo es la cancelación del ángulo de inclinación medio. En el caso de los barcos, la escora suele ser principalmente debida a situaciones de carga asimétricas o una inundación. En el caso de una plataforma eólica, la escora se debe a la acción del viento. Para cancelar la escora (o ponerla con un ángulo de cero grados) el sistema compensador de escora realiza el trasvase de agua de lastre entre tanques, generando de esta manera un par que se opone al escorante. Estos sistemas, en su mayoría instalados en plataformas semisumergibles, barcasas, o soluciones híbridas, además se emplean para minimizar los costes de transporte e instalación ya que ayudan a reducir los medios auxiliares externos necesarios para el transporte e instalación de la plataforma. La complejidad de estos sistemas varía de una plataforma a otra, así como los medios para realizar los lastrados y los modos de trasvase de agua entre tanques. La corrección de la escora media con tanques de lastre es considerada por la industria como una corrección activa. Es decir, si la escora media es no nula, y queremos anularla, es necesario el traslado de agua de un tanque a otro, lo que requiere un aporte de energía, lo que le da la connotación de corrección activa.

Pero las plataformas no sólo se encuentran sometidas a la acción del viento. También está el oleaje, que, junto con la variabilidad del viento y las corrientes, producen el movimiento de las unidades en torno a la inclinación media de la unidad. Aunque los diseños se optimicen para tener el mejor comportamiento en la mar posible, la existencia de medios en la plataforma que mejoren el comportamiento en la mar durante la operación permitirá una disminución adicional de los Costes de Operación y Mantenimiento debido al aumento de la vida a fatiga, al alargamiento de los tiempos entre mantenimientos y al aumento de la vida útil en general, aumentando los tiempos de disponibilidad operativa y haciendo más competitiva la solución. Para reducir los movimientos producidos por el oleaje y la corriente, la industria marina distingue medios activos (como giroestabilizadores) o pasivos (como los tanques anti-balance, que pueden ser, o bien de superficie libre, o bien de disposición en "U").

En los tanques de superficie libre, los tanques pasivos más simples, el agua se mueve de lado a lado del tanque, dependiendo la frecuencia de oscilación natural de la altura del agua en el tanque (así como de las dimensiones del tanque). Así, se puede ajustar la frecuencia natural del tanque a un valor determinado gracias a la variación del nivel de agua, de manera que el

tanque, al ser excitado cerca de su resonancia, o ponga de manera pasiva, es decir sin requerir la aportación exterior de energía, un momento que reduce el movimiento de alta frecuencia de balance o cabeceo. Aunque se requiere un aporte de energía inicial para ajustar la altura del tanque para que este trabaje de manera efectiva, el funcionamiento de los tanques de superficie libre es considerado en la industria marina como pasivo. Esto se debe a que ese aporte de energía busca ajustar el periodo de resonancia del tanque, pero una vez hecho, el agua en el interior del tanque se mueve sola (por el efecto del oleaje, viento y corrientes). Estos movimientos del agua en el interior del tanque realizan así una corrección pasiva cada pocos segundos.

En los tanques de disposición en U, el principio de funcionamiento es diferente. Un tanque con forma de "U" (FIG 4B), consiste en dos columnas verticales comunicadas por su parte inferior. Este tanque logra la amortiguación mediante el movimiento oscilante de la masa de agua contenida en ellas.

Existen soluciones en las que se tienen sistemas activos para la reducción de los movimientos en plataformas:

La solución presentada en ES2681271T3 hace referencia a un procedimiento para controlar una inclinación de una plataforma de aerogenerador flotante de al menos tres columnas estabilizadoras en las que está montada la torre, teniendo cada una un volumen interno para contener el lastre. En base a las mediciones recibidas por el sistema de sensores, el sistema de control ajusta el paso de la turbina y el par de torsión para maximizar la obtención de energía, y a su vez actúa sobre los tanques de lastre con el fin de reducir los movimientos de balance y cabeceo de baja frecuencia debidos al oleaje y/o viento. Esta solución es de aplicación a plataformas de al menos tres columnas estabilizadoras independientes, actuando cada una de ellas como tanque de lastre. Este hecho limita el campo de aplicación de la invención ES2681271T3 a otras plataformas, donde la presente invención de este documento sí es aplicable, como por ejemplo, a plataformas de un solo cuerpo flotante, subdividido en su interior en distintos tanques de lastre. Por otro lado, el sistema de lastre que se describe en la patente es un sistema de lastre activo, enfocado a compensar los movimientos de baja frecuencia debidos a oleaje y/o viento a través del trasiego de agua de lastre mediante bombas entre las columnas estabilizadoras. Los movimientos de baja frecuencia en la plataforma son debidos principalmente a la acción del viento y de forma menos significativa al oleaje, pudiéndose dar algún mar de fondo con periodos de ola suficientemente altos que puedan ser

mitigados con el sistema de lastre activo. Sin embargo, el oleaje generalmente en las plataformas flotantes marinas produce movimientos de cabeceo y balance de alta frecuencia, que derivan en fuertes aceleraciones en la turbina y grandes esfuerzos en la torre que la soporta. La patente ES2681271T3 carece de medios para mitigar estos movimientos de alta frecuencia en su procedimiento, ya que los tiempos de respuesta que tienen los sistemas activos de lastre por medio de bombeo son altos, y quedan fuera del rango de la frecuencia del oleaje. La presente invención mejora en este aspecto el sistema de lastre añadiendo medios de compensación pasivos, que tienen unos periodos de acción más bajos, es decir, frecuencias más altas, lo que permite compensar los movimientos de cabeceo y balance de la plataforma. Estos medios pasivos de la presente invención se basan en tanques anti-balance que pueden ser de superficie libre o de disposición en "U".

Por otro lado, hay soluciones en las que se combina un sistema activo y un sistema pasivo para la reducción de los movimientos en plataformas:

- a) La solución presentada en ES 2643906 T3 es una solución de actuación simultánea. En este caso, el sistema activo sólo está diseñado para corregir la inclinación de la plataforma, siendo la propia plataforma la que dispone de medios estructurales externos que permiten la amortiguación del movimiento frente a la acción del oleaje y la corriente mediante el aumento de la masa añadida. Estos medios estructurales que actúan como sistema pasivo, comúnmente denominados planchas de arfada (heave plates, en inglés), para que sean efectivos y resistan la fuerza de excitación de las olas, fatiga y demás sollicitaciones a las que están expuestos, requieren de unas dimensiones y un reforzado importante. Esto hace que este sistema pasivo sea bastante más caro que el expuesto en la presente invención que no conlleva ningún coste adicional ya que lo que hace es aprovechar los tanques existentes en la plataforma aplicando el principio de tanques anti-balance de superficie libre para la corrección de los movimientos de balance/cabeceo. Estos sistemas de amortiguación, planchas de arfada, son de aplicación a estructuras flotantes tipo semisumergibles mientras que la presente invención es de aplicación a cualquier unidad flotante que disponga de tanques de lastre. El sistema activo de esta solución sólo corrige la inclinación de la plataforma mientras que en la presente invención los tanques que actúan en la corrección de la inclinación gracias al sistema activo también pueden actuar simultáneamente corrigiendo los movimientos de balance y cabeceo al ajustar de manera conveniente su altura de llenado sin afectar a la corrección de la inclinación media. Por tanto, los

tanques pertenecientes al sistema de la presente invención actúan indistintamente como activos (corrección de escora) o pasivos (corrección de balance y cabeceo) y, dependiendo de la actuación requerida, con la posibilidad de que un mismo tanque actúe de manera simultánea activa y pasivamente.

- 5 b) La solución US 4864968A presenta también una combinación de un sistema activo y un sistema pasivo para el control de movimientos aunque su funcionamiento no es de manera simultánea. La corrección del trimado/escora se realiza activamente, mientras que la amortiguación de balance/cabeceo puede realizarse activa o pasivamente, pero en ningún caso de manera simultánea, ya que el sistema activo se basa en actuar sobre
10 la presurización de tanques y el sistema pasivo comunica los tanques presurizados con el exterior, perdiendo así la simultaneidad. La presente invención, además de poseer la simultaneidad, no necesita aporte de energía durante la amortiguación del movimiento de balance/cabeceo aunque su efectividad puede optimizarse modificando las alturas de agua en los tanques de superficie libre. Por tanto, es más económica en operación
15 al tender a la pasividad y es ajustable con menos gasto energético.

Y también hay soluciones activas-pasivas pero exclusivamente para el amortiguamiento del movimiento en arfada de plataformas:

- c) La solución US 4167147A presenta un sistema activo-pasivo de cámaras de presión de aire controladas por bombas con o sin válvulas que permiten el llenado/vaciado de
20 tanques de lastre abiertos al mar ejerciendo una fuerza anti-arfada (siendo la arfada el movimiento vertical de la plataforma) que es una función de la velocidad de la oscilación de la plataforma. Este sistema puede operarse de manera activa controlando bombas y válvulas, de manera puramente pasiva produciendo una diferencia de presión en los tanques abriendo válvulas y apagando bombas o, de una manera pasiva controlada actuando exclusivamente sobre las válvulas. Sin embargo, esta solución no corrige el
25 balance/cabeceo de la plataforma. El sistema pasivo de la presente invención presenta la ventaja de ser el sistema más económico de la industria al no tener la necesidad de disponer de ningún medio para poder amortiguar el movimiento ya que se basa en el principio de tanques de superficie libre. Además, la presente invención no corrige el
30 movimiento de arfada.
- d) El principio de funcionamiento de los tanques en U es otro método pasivo que permite la mejora del comportamiento en la mar de las unidades flotantes. Sin embargo, este

sistema solo es capaz de amortiguar el movimiento cuando la dirección de incidencia del oleaje es paralelo al tubo que une los tanques. Por ello, en la solución US2019/0061884 A1 se plantea un sistema de amortiguación multidireccional de tanques en U pudiendo ser pasivo puro o pasivo controlado a través de la actuación en válvulas. El sistema pasivo de la presente invención permite también la amortiguación multidireccional sin la necesidad de conexión entre tanques, ya que el principio de funcionamiento es el de superficie libre, con el consiguiente ahorro de material, que no es despreciable, y sin la necesidad de medios de restricción de movimiento de fluido, ya sea líquido o gaseoso como plantea la solución US2019/0061884 A1.

10 **EXPLICACIÓN DE LA INVENCION**

La presente invención se refiere a un procedimiento, y sistemas, para adrizar y reducir los movimientos en instalaciones marinas cuya particularidad innovadora consiste en la combinación de un sistema pasivo y un sistema activo de lastre que permite, mediante una operación combinada de ambos sistemas, por una parte, aumentar el rendimiento de funcionamiento del aerogenerador al ser capaz de cancelar la inclinación media de la plataforma cuando se enfrenta a la acción del viento y la corriente (sistema activo), y, por otra parte, aumentar la vida a fatiga de la plataforma (además de sus componentes) y disminuir los costes de mantenimiento al mejorar el comportamiento en la mar ya que es capaz de reducir los movimientos de cabeceo y balance de la plataforma cuando se enfrenta a la acción del oleaje y de la variabilidad del viento (sistema pasivo, basado en los tanques anti-balance pasivos, cuya eficiencia es ajustada por el sistema activo). La fatiga en los componentes del aerogenerador y de la torre se verá reducida también por la cancelación de la inclinación media de la plataforma.

El procedimiento para adrizar y reducir los movimientos en instalaciones marinas se establece en base a un subsistema de sensores donde se recogen mediciones ambientales (altura de olas, periodos, velocidad del viento...) y propias de la plataforma flotante (inclinación, nivel de lastre en tanques...), un subsistema de componentes (bombas y válvulas de accionamiento remoto) y un subsistema de control y actuadores que proporciona el soporte informático y de automatización. En dicho procedimiento se computan, almacenan y procesan las mediciones de los sensores mediante el subsistema informático, el cual, en función de cómo se hayan programado los módulos lógicos y algoritmos de cálculo, establece de forma automática un proceso de trasiego y lastrado y una distribución del lastre en los tanque del sistema para

optimizar un objetivo predefinido (función objetivo), como puede ser, entre otros, corregir la inclinación media de la forma más rápida o corregir la inclinación media y compensar los movimientos de balance y cabeceo con el menor gasto energético.

5 La compensación de la inclinación media consiste en el trasiego de agua de unos tanques a otros para generar un momento opuesto a la inclinación media. Esta compensación se denomina compensación activa ya que requiere de medios activos de trasiego de lastre para realizar su función de adrizamiento.

10 La compensación de los movimientos debidos al oleaje (balance y cabeceo) consiste en lograr que el lastre de un tanque determinado, sin comunicación con otro tanque, oscile debido al propio movimiento de la plataforma a un periodo tal que compense total o parcialmente la propia oscilación de la plataforma. El periodo de oscilación del lastre en un tanque es función de la altura de agua en el tanque y sus dimensiones. Esta compensación se considera pasiva ya que, aunque requiere medios activos de trasiego de lastre para ajustar la altura del agua en el tanque, una vez realizado dicho trasiego, la amortiguación de los movimientos es un
15 fenómeno totalmente independiente de cualquier intervención externa.

La presente invención muestra las siguientes características innovadoras, frente a los antecedentes anteriormente descritos, de aplicación a la industria eólica marina, mejorando sustancialmente la respuesta de plataformas flotantes eólicas marinas, subestaciones o similares frente al viento, oleaje y corriente:

- 20 a) Un único sistema que permite reducir dos tipos de movimientos cruciales para la disminución del OPEX, por un lado, la inclinación media de la torre, y por otro el cabeceo y balance.
- b) La reducción/anulación de movimientos es combinada y simultánea.
- 25 c) Los medios empleados se reducen a un conjunto de tanques de lastre, un sistema de lastre, y un sistema de control, que permita que al menos dos de estos tanques puedan actuar indistintamente para la anulación/reducción de los dos movimientos característicos.
- d) Los tanques de reducción de movimientos pueden anular/reducir por sí mismos todos los movimientos especificados en la invención o alguno de ellos en combinación con
30 otro conjunto/conjuntos de tanques del sistema.

- e) Sistema económico que no requiere de muchos medios para su instalación en plataformas flotantes eólicas marinas, subestaciones o similares.
- f) Sistema versátil perfectamente adaptable a cualquier tipo de plataforma flotante eólica marina, subestación o similar.

5 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La presente invención se describe en más detalle con referencia a las figuras que la acompañan, en los que con carácter ilustrativo, y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

La figura número 1A muestra una vista esquemática del alzado y planta de un ejemplo de plataforma flotante eólica marina, subestación o similar, en el que el objeto de la invención es de aplicación, formado por un cuerpo flotante que puede estar completa o parcialmente sumergido.

La figura número 1B muestra una vista esquemática del alzado y planta de un ejemplo de plataforma flotante eólica marina, subestación o similar, en el que el objeto de la invención es de aplicación, formado por varios cuerpos flotantes que pueden estar completa o parcialmente sumergidos.

La figura número 2 muestra una vista esquemática del alzado de un ejemplo de plataforma flotante eólica marina, subestación o similar sometida a viento y oleaje colineal (procedentes de la misma dirección), además de vistas en planta-alzado del conjunto de tanques del sistema de reducción de movimientos en las que se muestra el funcionamiento del sistema.

La figura número 3 muestra una vista esquemática del alzado de un ejemplo de plataforma flotante eólica marina, subestación o similar sometida a viento y oleaje cuyas direcciones principales de procedencia forman 90°, además de vistas en planta-alzado del conjunto de tanques del sistema de reducción de movimientos en las que se muestra el funcionamiento del sistema.

La figura número 4A muestra vistas del alzado y planta de un ejemplo de tanque anti-balance de superficie libre en el que se puede observar el frente de ola en la superficie libre del mismo inducido por el balance/cabeceo de la plataforma y que produciría el efecto amortiguador sobre dichos movimientos.

La figura número 4B muestra una vista en alzado de una columna de agua entre dos tanques

unidos mediante un conducto por su parte inferior.

La figura número 5 muestra un diagrama del sistema para adrizar y reducir movimientos.

La figura número 6 muestra un diagrama de bloques del sistema para adrizar y reducir movimientos.

5 REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

Por lo tanto, es objeto de la presente invención proporcionar un procedimiento, y sistema, para adrizar y reducir los movimientos de plataformas flotantes eólicas marinas (1), subestaciones o similares por medio del cual sea posible, durante el periodo de operación y en condiciones extremas, reducir/cancelar el ángulo de inclinación media de la unidad con respecto a la vertical producido principalmente por efecto del viento y la corriente y, simultáneamente, disminuir la amplitud de balance/cabeceo producida por el oleaje y por la variabilidad de la velocidad viento.

La presente invención consiste en un sistema combinado para adrizar y reducir los movimientos en el que parte de los tanques de lastre (100) que componen el sistema, dependiendo de la dirección de incidencia de las condiciones metoceánicas (viento, corriente y olas) sobre la plataforma flotante eólica marina (1), subestación o similar, pueden actuar indistintamente tanto para reducir los movimientos de cabeceo y balance, y/o para la reducción/cancelación de la inclinación media. La inclinación media se reducirá/cancelará mediante el principio de tanques anti-escora, trasegando agua entre tanques (100) a priori opuestos, corrección que se logra exclusivamente por medios activos (sistema de lastre). Sin embargo, la reducción de los movimientos de balance y cabeceo se realizará mediante el principio de los tanques anti-balance pasivos de superficie libre (FIG 4A), seleccionando para este fin al menos un tanque en el que el agua oscila preferentemente a lo largo de la dirección del oleaje (a lo largo de la dimensión más larga del tanque si no hay obstáculos internos). Mediante un ajuste previo del nivel de agua en el tanque, se optimizará la reducción del movimiento en torno a ciertos periodos del oleaje de forma pasiva gracias a la oscilación, en oposición de fase con respecto al oleaje, del frente de la ola que se forma en la superficie libre del propio tanque. Si bien el tanque de superficie libre (FIG 4A) en este caso actúa de manera pasiva, siendo su operación por ello muy económica, la regulación de altura del tanque requiere la actuación del sistema de lastre, habiendo una operación inicial activa asociada. En el caso de oleaje irregular, compuesto de muchas componentes regulares propagándose en

múltiples direcciones, se actuará sobre varios tanques (100). Las variaciones de altura requeridas para reducir el movimiento de balance y cabeceo no deben modificar la cancelación de la inclinación media ni el calado. Y esto es posible si se cuenta con un número suficiente de tanques (100), como mínimo tres.

- 5 Cuando la plataforma flotante eólica marina (1), subestación o similar se halle instalada en su emplazamiento definitivo y preparada para la operación, se encontrará lastrada acorde a sus requerimientos de diseño. Parte o el total de ese lastre necesario para la operación estará contenido en los tanques (100) del sistema para adrizar y reducir los movimientos de la plataforma (1), no estando alguno de ellos completamente lleno, posibilitando de esta manera
10 el trasiego de lastre entre los tanques del sistema (100) para adrizar y reducir los movimientos de la plataforma.

La plataforma flotante eólica marina (1), subestación o similar se encontrará expuesta a la acción del viento, la corriente y el oleaje y variará su posición de equilibrio de acuerdo a la intensidad de estos, y a las características propias de diseño de la plataforma (1). En términos
15 generales, la plataforma (1) adquirirá una nueva posición de equilibrio inclinándose un cierto ángulo Θ_{im} (ángulo de inclinación media de la plataforma) respecto a la vertical debido a la acción del viento y, oscilará otro cierto ángulo $\Theta_{b/c}$ (ángulo balance/cabeceo de la plataforma (1)) a la frecuencia del oleaje alrededor de esta nueva posición de equilibrio debido a la acción de las olas. La dirección de oscilación será la de incidencia de oleaje, que en el caso de que
20 sea colineal con el viento (provenientes de la misma dirección), tendrá la misma dirección de la inclinación media (FIG 2A) y, en el caso de que formen 90° (FIG 3A) oscilará perpendicularmente a la dirección de la inclinación media.

Cuando la plataforma flotante eólica marina (1), subestación o similar se encuentre en mares regulares (o monocromáticos), formados por olas regulares a un periodo determinado, y en el
25 que el viento y oleaje son colineales (provenientes de la misma dirección) (FIG 2A), la plataforma adquiere su nueva posición de equilibrio (FIG 2B). La escora media asociada al momento de vuelco provocado principalmente por el viento (ángulo de inclinación media) se cancelará al generar un momento recuperador (adrizante) trasegando agua desde los tanques Cs a los tanques Bs (FIG 2C), que en este caso actúan como tanques anti-escora.
30 Simultáneamente, los movimientos de cabeceo y balance de la plataforma flotante eólica marina (1), subestación o similar debidos a la incidencia del oleaje se reducirán mediante el ajuste de la altura de los tanques As, que en este caso actúan como tanques anti-balance

pasivos de superficie libre, hasta llegar al periodo efectivo que amortigua el movimiento de balance de la plataforma debido al oleaje (FIG 2D). Para no variar el calado, en el caso de que haya que introducir (o en otro caso quitar) agua en los tanques As, esta se quitará (o en otro caso introducirá) de los tanques Bs y tanques Cs de tal manera que no se modifique la corrección de escora (FIG 2D).

Si el viento y el oleaje siguen siendo colineales (provenientes de la misma dirección), pero la plataforma flotante eólica marina (1), subestación o similar se encuentra en una mar irregular (FIG 2E), mar formada por un número muy grande de olas regulares con distintos periodos, los tanques que actúan como tanques de superficie libre (tanques As) serán más efectivos a unas frecuencias que a otras. Por ello, estos tanques As podrán llenarse a diferente altura, de manera que el rango de frecuencias en el que son efectivos sea mayor, amortiguando así el balance de la plataforma debido al oleaje incidente a diferentes periodos. De nuevo, los tanques empleados en la cancelación del ángulo de inclinación media (tanques Bs y Cs) de la plataforma flotante eólica marina (1), subestación o similar, además de actuar como compensadores de vuelco (y tener que trasegar agua entre ellos), tendrán que ajustar su nivel para evitar una variación de calado, o trimado, producido por la actuación sobre los tanques As.

Cuando la plataforma flotante eólica marina, subestación o similar se enfrenta a la incidencia de viento y oleaje desalineado, varios de los tanques del sistema para adrizar y reducir los movimientos de la plataforma poseerán doble función, independientemente del tipo de mar. En la FIG 3A se esquematiza una desalineación a 90° de las condiciones ambientales y en la FIG 3B la posición de equilibrio alcanzada. En este caso (FIG 3C) los tanques Bs y Cs cancelarán la inclinación media mediante el trasiego de agua entre ellos (de Cs a Bs), pero alguno o varios de ellos reducirán los movimientos de cabeceo y balance a través del ajuste de su altura de llenado, usando para dicho ajuste agua desde los tanques As, que es aportada de manera adecuada a todos los tanques Bs y Cs para no modificar la inclinación media (FIG 3D). De esta manera, algunos de los tanques Bs y Cs presentarán la doble función de cancelación del ángulo de inclinación media provocado por el viento (adrizar) y de reducción de los movimientos de cabeceo/balance provocados por el oleaje incidente, y los tanques As actuarán de ajuste de llenado-vaciado de lastre de los tanques Bs y Cs (para mantener el calado), además de poder ayudar a reducir los movimientos de cabeceo/balance debidos a la turbulencia del viento.

En un estado de la mar general compuesto por un mar de viento (oleaje de cresta corta, suma de múltiples olas regulares propagándose en direcciones diferentes) y uno o más mares de fondo (oleaje de cresta larga, irregular y propagándose sensiblemente en una única dirección) con periodos dominantes diferentes, los tanques (100) serán usados para reducir los movimientos de cabeceo y balance debidos al oleaje. El procedimiento será análogo al de los casos previos, se trasegará agua de unos tanques (100) a otros para cancelar la inclinación media y ajustar el nivel de agua de los tanques (100) más efectivos ante movimientos de balance y cabeceo.

La escala de tiempos en la que el sistema activo actúa es lenta en comparación con la corrección pasiva, asociada a los periodos del oleaje (unos pocos segundos habitualmente). Las correcciones relativas a diferencias en la inclinación media van sobretodo asociadas a variaciones en la intensidad media del viento, cuyo valor es razonablemente constante durante decenas de minutos. Lo mismo le sucede a los ajustes activos necesarios para adaptar la frecuencia propia de los tanques (100): el oleaje asociado a un estado de la mar tiene un espectro de energía que es razonablemente constante durante rangos de una o más horas. Por ello, una vez ajustada la altura de agua, el funcionamiento en pasivo, donde la frecuencia de los movimientos del agua en los tanques (100) es de unos pocos segundos, puede estar en el entorno de una o más horas. Por tanto, la frecuencia de actuación del sistema activo es muy baja (horas) en comparación a la del sistema pasivo (segundos).

El sistema para adrizar y reducir los movimientos de plataformas flotantes eólicas marinas (1), subestaciones o similares es, por tanto, un sistema combinado-simultáneo que contendrá al menos tres tanques (100), y en el que al menos dos de esos tanques (100) pueden actuar indistintamente de manera activa, mediante trasiego de lastre, o de manera pasiva, por el movimiento de su superficie libre previo ajuste de la altura de agua.

Para ello, en una plataforma flotante eólica marina (1), subestación o similar, con capacidad de albergar lastre líquido y hecho de cualquier material/es susceptible/s de ser empleado/s en un entorno marino, se configura un sistema combinado de reducción de movimientos de cabeceo/balance y cancelación de inclinación media (FIG 5) cuyo objetivo es el de aumentar el rendimiento de la plataforma flotante (1) en su operación y reducir los daños a fatiga de los componentes estructurales y que:

a) contiene al menos tres tanques de lastre (100)

b) en la que el medio de trasiego es al menos una bomba (102) que mueve agua de un tanque a otro, indistintamente, a través de una distribución de tuberías que conectan los tanques (100),

c) el trasiego de agua a través de las tuberías de conexión (104) entre tanques se controla con válvulas operadas remotamente (106),

d) que contiene un subsistema de sensores, un subsistema de actuadores y un subsistema de control que alberga los módulos lógicos y algoritmos de cálculo cuya resolución proporciona la distribución de lastre necesaria para compensar automáticamente la escora/trimado, a la vez que se logra el amortiguamiento de los movimientos de balance/cabeceo. El subsistema de control se albergará en uno o más ordenadores. Esta división en subsistemas atiende meramente a un hecho descriptivo para la comprensión de la presente invención, no apartándose del alcance general, ya que el funcionamiento global del sistema es independiente de dicha división en subsistemas, debiendo considerarse, por tanto, como un simple ejemplo y no siendo restrictiva dicha división.

El número de tanques (100) que componen el sistema para adrizar y reducir movimientos de la plataforma (1) será dependiente del tipo de estructura y de los condicionantes de diseño. Si bien con tres tanques (100) sólo se podría hacer un único ajuste que mantenga el calado (por ejemplo, corrigiendo sólo el trimado y cabeceo), a partir de tres las posibilidades de diferentes ajustes son muy superiores. Aunque una mayor subdivisión es favorable al proporcionar un mayor número de grados de libertad para la consecución del objetivo combinado, un número de tanques (100) alto resulta en tanques de menores dimensiones (manga o eslora), lo que resta eficiencia al sistema pasivo al depender la eficiencia enormemente de las dimensiones del tanque (100).

El procedimiento que, partiendo de una distribución inicial de lastre, se usa para la obtención de la secuencia de trasiego y la distribución final de lastre en los tanques del sistema que produce la compensación del ángulo de inclinación media y/o el amortiguamiento de los movimientos de balance/cabeceo de la plataforma, atiende a las siguientes fases (FIG 6):

1) La plataforma flotante eólica marina (1), subestación o similar se encuentra expuesta a los agentes externos, como pueden ser las condiciones ambientales, que originan movimientos en la plataforma (1). De entre los diferentes movimientos inducidos, los que van

a ser controlados por el sistema para adrizar y reducir movimientos son las escoras o trimados (de muy baja frecuencia, con periodos característicos del orden de decenas de minutos derivados de los cambios de la velocidad media y/o dirección del viento y corriente debidos a los fenómenos meteorológicos que tienen lugar a lo largo de un día), y los movimientos de balance/cabeceo inducidos a la frecuencia del oleaje (con periodos característicos del orden de los 4 segundos a los 30 segundos producidos por mares de viento y/o mares de fondo).

2) En una primera fase se define la estrategia de control de la secuencia de trasiego en el subsistema de control. Dicha estrategia determina en qué momento se debe activar la secuencia de trasiego y qué criterio de optimización se debe seguir para su cálculo. La estrategia de control viene definida por: un conjunto de parámetros de control, unas leyes de activación del sistema basadas en dichos parámetros, y, al menos, una función objetivo a optimizar dependiente de las distribuciones inicial y final de lastre en los tanques, de la secuencia de trasiego con sus correspondientes distribuciones intermedias de lastre en los tanques y, de los medios para realizar dicho trasiego. Los parámetros de control serán al menos cuatro, un ángulo de inclinación media umbral (Θ_{imu}) y un rango de tiempo (t_1) por encima del cual si permanece la plataforma se activa el sistema para corregir la inclinación de la plataforma, y un periodo característico umbral (T_{cu}) y un rango de tiempo (t_2) por encima del cual si la diferencia en valor absoluto entre los periodos del agua (T_{ti}) de los tanques de lastre (100) y los periodos característicos del balance/cabeceo de la plataforma debidos al oleaje (T_o) supera el valor del periodo característico umbral se activa el sistema para modificar la altura de lastre de los tanques (100) que actuarán como tanques anti-balance pasivos. La optimización de la función objetivo determina la distribución final del lastre en los tanques del sistema y la secuencia de trasiego entre ellos desde una distribución inicial de lastre, conducentes a corregir la inclinación media y/o simultáneamente aumentar el amortiguamiento de los movimientos de balance y cabeceo, considerando para la consecución de este fin minimizar alguna de las siguientes variables: el consumo de energía, la altura del centro de gravedad del agua en los tanques (maximizando así la estabilidad de la plataforma), el tiempo para alcanzar la distribución final de lastre, los esfuerzos estructurales en la turbina eólica (4) y/o la interferencia en su operación, los movimientos de balance y/o cabeceo, o alguna combinación ponderada de estas. La elección de los parámetros de control y de la función objetivo a optimizar para el trasiego se realiza de forma automática por parte del subsistema de control, el cual tiene definido unos criterios basados en la operación, condiciones ambientales y las condiciones de la plataforma flotante eólica marina (1), subestación o similar. Para la elección de los parámetros de control y de la función

objetivo también está contemplada la opción manual, para ejecutarse en caso excepcional o de emergencia, o la definición desde un centro de control exterior a la plataforma.

3) En una segunda fase se toman datos del estado de la plataforma (1) a través del subsistema de sensores y son transmitidos al subsistema de control. El subsistema de
5 sensores es el conjunto de sensores y transductores instalados en la plataforma (1). Básicamente, estos sensores producirán una señal eléctrica digital o analógica que es llevada al ordenador/res de control para su procesamiento. En función del tipo de sensor, más sofisticado o no, puede ser que esta señal ya venga acondicionada o procesada de alguna manera. En la plataforma (1) podrá haber sensores que midan velocidad de viento y dirección
10 (por ejemplo anemómetros), velocidad de la corriente y su dirección (como por ejemplo correntómetros), sensores que midan la altura de ola absoluta y sirvan para obtener posteriormente el periodo (como por ejemplo sensor ultrasónico o boya exterior), un sistema que mida los movimientos instantáneos de la plataforma (1) (como por ejemplo un sistema inercial), sensores de nivel que midan el calado de la plataforma (1) y el nivel del agua en
15 cada tanque de lastre (100) del sistema. El sistema de trasiego estará monitorizado a través del subsistema de sensores, que aportará como mínimo datos al subsistema de control del estado de las bombas, estado de las válvulas, flujo y presión en el sistema.

4) En una tercera fase, a partir de los datos del subsistema de sensores, el subsistema de control calcula el ángulo de inclinación media de la plataforma (1), los periodos del agua
20 de los tanques de lastre (100) derivados de ellos y los periodos característicos del balance/cabeceo de la plataforma debidos al oleaje.

5) En una cuarta fase se analiza la activación del sistema para adrizar y reducir los movimientos comparando tanto el ángulo de inclinación media de la plataforma (1) como la
25 diferencia en valor absoluto de los periodos del agua de los tanques de lastre (100) y los periodos característicos del balance/cabeceo de la plataforma debidos al oleaje obtenidos con los parámetros de la estrategia de control, siendo:

- Θ_{im} el ángulo de inclinación media de la plataforma (1) debido a los movimientos inducidos por las fuerzas externas.
- t_1 el tiempo usado para calcular la inclinación media Θ_{im}
- Θ_{imu} el ángulo de inclinación media umbral (parámetro de control).

- T_{tl} los periodos del agua de los tanques de lastre (100) del sistema para adrizar y reducir movimientos.
- T_o los periodos característicos del balance/cabeceo de la plataforma debidos al oleaje.
- T_{cu} el periodo característico umbral (parámetro de control).

- 5 • t_2 el tiempo usado para calcular T_o .

Si la inclinación media de la plataforma es inferior o igual al parámetro de control inclinación media umbral durante un rango de tiempo t_1 y

- 10 a) La diferencia en valor absoluto entre los periodos característicos del balance/cabeceo de la plataforma debidos al oleaje T_o y los periodos del agua de los tanques de lastre (100) T_{tl} efectivos para el amortiguamiento del balance/cabeceo durante un rango de tiempo t_2 es menor o igual al periodo característico umbral, entonces el sistema no se activa. Es decir: Si $\theta_{im}|_{t_1} \leq \theta_{imu}$ y, además $|T_{tl} - T_o|_{t_2} \leq T_{cu}$ para los tanques de lastre (100) que van a amortiguar los movimientos del oleaje, el sistema no se activa.
- 15 b) La diferencia en valor absoluto entre los periodos característicos del balance/cabeceo de la plataforma debidos al oleaje T_o y los periodos del agua de los tanques de lastre (100) T_{tl} efectivos para el amortiguamiento del balance/cabeceo durante un rango de tiempo t_2 es mayor al periodo característico umbral, entonces el sistema se activa modificando adecuadamente la altura del agua de los tanques de lastre (100) que van a actuar como tanques de superficie libre (FIG 4A) para amortiguar el movimiento de
- 20 balance/cabeceo producidos por el viento y el oleaje. Es decir: Si $\theta_{im}|_{t_1} \leq \theta_{imu}$ y, además $|T_{tl} - T_o|_{t_2} > T_{cu}$ para los tanques de lastre (100) que van a amortiguar los movimientos del oleaje, el sistema se activa para amortiguar el balance/cabeceo.

Si la inclinación media de la plataforma (1) es superior al parámetro de control inclinación media umbral durante un rango de tiempo t_1 y

- 25 c) La diferencia en valor absoluto entre los periodos característicos del balance/cabeceo de la plataforma debidos al oleaje T_o y los periodos del agua de los tanques de lastre (100) T_{tl} efectivos para el amortiguamiento del balance/cabeceo durante un rango de tiempo t_2 es menor o igual al periodo característico umbral, entonces el sistema se activa trasegando agua entre los tanques de lastre (100) para compensar el ángulo de

inclinación media. Es decir: Si $\theta_{im}|_{t_1} > \theta_{imu}$ y, además $|T_{tl} - T_o|_{t_2} \leq T_{cu}$ para los tanques de lastre (100) que van a amortiguar los movimientos del oleaje, el sistema se activa para compensar la inclinación media.

d) La diferencia en valor absoluto entre los periodos característicos del balance/cabeceo de la plataforma debidos al oleaje T_o y los periodos del agua de los tanques de lastre (100) T_{tl} efectivos para el amortiguamiento del balance/cabeceo durante un rango de tiempo t_2 es mayor al periodo característico umbral, entonces el sistema se activa trasegando agua entre los tanques de lastre (100) para compensar el ángulo de inclinación media producido por el viento y modificando adecuadamente la altura del agua de los tanques de lastre (100) que van a actuar como tanques de superficie libre (FIG 4A) para amortiguar el movimiento de balance/cabeceo producidos por el viento y el oleaje. Es decir: si $\theta_{im}|_{t_1} > \theta_{imu}$ y, además $|T_{tl} - T_o|_{t_2} > T_{cu}$ para los tanques de lastre (100) que van a amortiguar los movimientos del oleaje, el sistema se activa para compensar la inclinación media y amortiguar el balance/ cabeceo de manera simultánea.

6) En una quinta fase, una vez que el sistema para adrizar y reducir movimientos de la plataforma (1) es activado de cualquiera de las maneras anteriores, se calcula la distribución final de agua en los tanques y la secuencia de trasiego entre ellos para realizar la acción de control, optimizando la función objetivo definida en la primera fase. Para ello, a partir de los datos del estado de los tanques (100) que suministra el subsistema de sensores en el instante anterior de la activación del sistema, si la compensación objetivo es:

a) el amortiguamiento del balance/cabeceo de la plataforma, se calcula la distribución de lastre en los tanques al final de la secuencia de trasiego, para que la diferencia en valor absoluto entre los periodos de oscilación de la superficie libre (FIG 4A) en los tanques (100) y los periodos característicos de balance/cabeceo de la plataforma debidos al oleaje sea nula, $|T_{tl} - T_o| = 0$, sin modificar la inclinación media de la plataforma.

b) la corrección del ángulo de inclinación media, se calcula la distribución de agua en los tanques al final de la secuencia de trasiego para que la inclinación media de la plataforma (1) esté por debajo de la inclinación media umbral, es decir, $\Theta_{im} \leq \Theta_{imu}$, sin alterar la acción amortiguadora de los tanques anti-balance de superficie libre que estuviera activa.

c) amortiguar simultáneamente el balance/cabeceo y corregir el ángulo de inclinación

media, se calcula la distribución de agua en los tanques al final de la secuencia de trasiego, de modo y manera que simultáneamente, la diferencia en valor absoluto entre los periodos de oscilación de la superficie libre (FIG 4A) en los tanques (100) y los periodos característicos de balance/cabeceo de la plataforma debido al oleaje sea nula, $|T_{ti} - T_o| = 0$ y la inclinación media de la plataforma (1) esté por debajo de la inclinación media umbral, es decir, $\Theta_{im} \leq \Theta_{imu}$.

La distribución de lastre entre los tanques del sistema, realizada por un algoritmo específico, determina para cada tanque su nivel de llenado y por consiguiente su periodo natural de oscilación, lo que, unido a su relación con los niveles de agua del resto de tanques de sistema, establece si el tanque en cuestión está actuando como tanque anti-escora, tanque anti-balance de superficie libre, o simultáneamente como tanque anti-escora y anti-balance.

En función del número de tanques del sistema, las interconexiones entre ellos y los medios de trasiego disponibles, las posibles combinaciones de distribuciones finales de lastre entre los diferentes tanques y de secuencias de trasiego desde una distribución inicial de lastre, que logren la compensación objetivo (la acción de control), puede ser muy elevada, y por ello, el cálculo de la distribución final de lastre y de la secuencia de trasiego entre el estado inicial y final se realiza en base a la optimización de la función objetivo definida en la estrategia de control de la fase 1, considerando para este fin minimizar:

- el consumo de energía de los medios de trasiego. En este caso, tanto la distribución final de lastre como la secuencia de trasiego se calcula imponiendo que el paso desde el estado inicial al estado final se realice con el mínimo consumo de energía.
- la altura del centro de gravedad del agua en los tanques de lastre del sistema en su acción de control, es decir maximizar la estabilidad de la plataforma (1). En este caso, tanto la distribución final de lastre como la secuencia de trasiego del estado inicial al final se calculan para lograr este fin, por ejemplo, distribuyendo el lastre de la manera más uniforme posible en altura entre los tanques.
- el tiempo en adrizar y/o amortiguar el balance/cabeceo. En este caso, la distribución final de lastre y secuencia de trasiego desde el estado inicial al final,

se calculan de manera que el adrizado y la funcionalidad de amortiguamiento se realice lo más rápido posible con los medios de trasiego que se disponen.

- minimizar los esfuerzos estructurales en la turbina eólica (4) y/o interferir mínimamente en su operación. En este caso, la distribución final de lastre y la secuencia de trasiego entre el estado inicial y final, se calcula para que tanto el ángulo de inclinación como el amortiguamiento durante el trasiego sean conducentes a este fin, por ejemplo, evitando posibles resonancias con la operación de la turbina y ángulos de inclinación extremos durante el trasiego que pudieran darse al corregir la inclinación media de la plataforma en situaciones excepcionales de cambios de dirección e intensidad del viento.

- los movimientos de balance y cabeceo debidos al oleaje. En este caso, la distribución final de lastre y la secuencia de trasiego entre el estado inicial y el final, se calcula para que los movimientos de balance y cabeceo se reduzcan al máximo, por ejemplo, seleccionando el máximo número de tanques con posibilidad de ejercer una función anti-balance compatible con la corrección de la inclinación media.

- una combinación ponderada de las anteriores. En este caso, partiendo de una distribución inicial de lastre, la distribución final de lastre y la secuencia de lastrado se elige de modo y manera que se minimice la suma factorizada de los cuadrados de los valores que las funciones objetivo toman para un conjunto de distribuciones finales de lastre y secuencias de lastrado compatibles con la compensación objetivo en inclinación media y/o en balance/cabeceo.

7) En una sexta fase, el subsistema de control ordenará al subsistema de actuadores de los medios de trasiego (bombas, válvulas) que realice el trasiego definido y la plataforma (1) alcanzará la nueva posición corregida, volviendo así a la fase 3) del procedimiento.

Todo este proceso descrito es automático y se realiza completamente en cuestión de muy pocos minutos, dependiendo del tipo de secuencia de trasiego. Este sistema para adrizar y reducir movimientos estará integrado dentro de los demás sistemas de la plataforma (1) y podrá ser monitorizado desde el puesto/s de control del parque, desde donde se podrá modificar la estrategia de control de la secuencia de trasiego de acuerdo a los criterios de funcionamiento requeridos.

Este procedimiento además de corregir la inclinación media producida por el viento es capaz de corregir la inclinación debida a la inundación de, al menos, un tanque de lastre (100) provocado por una vía de agua, adrizando la plataforma (1) y manteniendo el calado. En esta realización, el sistema para adrizar y reducir los movimientos de una plataforma (1) estará

5 conectado al exterior (bucle abierto) a través de al menos una toma de mar. Los criterios de corrección son exactamente los mismos que los expuestos anteriormente, es decir, que no se superen unos valores umbrales. En este caso se detecta la inundación completa de uno de los tanques (100) a través del sensor de nivel del tanque (100). El control, al detectar la inundación, lastrará de manera acorde los tanques (100) necesarios para corregir

10 completamente la inundación; y simultáneamente, desalojará lastre del resto de tanques (100) de la plataforma (1) a través de la toma mar, ya que al producirse la inundación se aumenta el calado. Si la avería lo permite, se achicará agua hasta emerger la plataforma (1) al calado de transporte, para facilitar su traslado y reparación. El criterio que define esta secuencia de trasiego será una combinación ponderada del mínimo tiempo de adrizamiento y de mínima

15 altura del centro de gravedad (máxima estabilidad) para garantizar la seguridad de la plataforma (1).

Un bucle abierto permite además modificar el calado de la plataforma (1), para variar el calado de transporte a operación y viceversa.

Si el sistema incorpora cuatro tanques (100) o más, pueden permitirse varias combinaciones

20 de llenado de tanques (100) que resulten en un mismo trimado, escora y calado. En tal caso, cabe la posibilidad de mover agua de unos tanques (100) a otros para almacenar energía potencial sin modificar el trimado, escora y calado. Así se pueden aprovechar excesos de energía generados por la turbina eólica (4). En momentos de menor generación, se podrá aprovechar la energía almacenada si se incorpora un generador que aproveche el salto de

25 agua.

Este procedimiento puede además corregir los movimientos de balance y cabeceo mediante el uso de al menos un tanque con forma de "U" (FIG 4B), consistente en dos columnas verticales comunicadas por su parte inferior y que, gracias a su diseño, permiten el movimiento oscilante de la masa de agua contenida en ellas a un periodo y fase tales que se genera un

30 momento oscilante opuesto al balance/cabeceo de la plataforma cuyo periodo es independiente del desnivel medio entre ellas. El periodo de oscilación del agua en el tanque dependerá del diseño y del llenado del mismo.

Adicionalmente, se pueden utilizar las señales provenientes del aerogenerador en su conjunto y de sus subsistemas, que entre otras miden o estiman el empuje y par aerodinámico, el estado de operación y supervisión (alarmas, advertencias), las revoluciones, los esfuerzos estructurales, aceleraciones, etc., y estas son tenidas en cuenta en la optimización de las funciones objetivo.

De manera informativa y nunca limitativa se muestran a continuación algunos ejemplos de realización preferente para el sistema asociado al procedimiento de la presente invención.

Ejemplos de plataformas flotantes eólicas marinas (1), subestaciones o similares en los que son de aplicación la presente invención se muestran en la figura 1A y 1B. El cuerpo flotante 1 puede tener cualquier tipo de forma mientras que sea hueco para ser capaz de contener en su interior al menos los tanques que conforman el sistema para adrizar y reducir movimientos, aunque por darle generalidad se ha representado como un cilindro/cilindros. El/los cuerpo/s flotante/s (1) tiene una pieza de transición (2), una torre (3) y una turbina eólica (4). La turbina eólica (4) ilustrada es de eje horizontal, downwind o upwind, pudiendo ser también de eje vertical, y donde el número de palas puede ser cualquiera. El cuerpo flotante (1) puede disponer tanto de aerogenerador (4) que se encuentre centrado o descentrado en el cuerpo flotante (1) o en el conjunto de cuerpos flotantes (1). El/los cuerpo/s flotante/s (1) se fijarán al fondo marino (7) mediante un sistema de fondeo (5) cuyas características (catenaria, semi-rígido, rígido...), materiales (cadena, cable,...), disposición (1, 2, 3, 4... líneas) y tipo de anclaje (tipo de anclas, tipo de anclajes a plataforma...) será acorde al tipo de solución. El/los cuerpo/s flotante/s (1) pueden estar completamente sumergidos por debajo de la línea de flotación (6) o parcialmente. Adicionalmente, el/los cuerpo/s flotante/s (1) pueden servir para soportar subestaciones eléctricas o similares. En ese caso, el aerogenerador (4), la torre (3) y la pieza de transición (2) se sustituirían por los módulos superiores (topsides) pertinentes.

Un ejemplo de plataforma eólica marina (1), subestación o similar sometida a la acción colineal del viento y oleaje se muestra en la figura 2A. El viento al incidir sobre la plataforma formada por un cuerpo flotante (1), una pieza de transición (2), una torre (3), una turbina eólica (4) y un sistema de fondeo (5) produce un empuje que hace que la torre (3) forme un ángulo de inclinación media (Θ_{im}) con respecto a la vertical. Si además, en la misma dirección incide el oleaje, a este ángulo de inclinación media (Θ_{im}) se le añade el ángulo de balance/cabeceo ($\Theta_{c/b}$) que irá oscilando en un sentido y otro debido a las fuerzas del oleaje. En la figura 2B, se muestra en planta y alzado una distribución genérica de tanques del sistema para adrizar

y reducir movimientos antes de realizar correcciones con el sistema. Cuando incide el viento, figura 2C, se produce un momento escorante que inclina la plataforma de tal manera que los tanques C1 y C2 se sumergen más, y el oleaje genera un movimiento oscilatorio en la dirección de su acción, haciendo que la unidad oscile a la frecuencia de este. En este caso, el sistema de reducción de movimientos trasvasa agua desde los tanques Cs a los tanques Bs para generar un momento recuperador que se oponga al momento escorante producido por el viento y, simultáneamente ajustará la altura de los tanques As para que estos produzcan, por el movimiento de su superficie libre (figura 4A), un momento anti-balance que contrarreste el balance de la plataforma debido al oleaje. El ajuste de la altura de los tanques As se logra trasvasando lastre de los tanques Bs y Cs a los tanques As, de tal manera que no se modifique el momento adrizante producido por los tanques Bs y Cs. Cuando la mar es regular, la altura en los tanques que actúan como reductores de movimientos mediante el principio de superficie libre será la misma, como se ve en la figura 2D. Esto se debe a que en una mar regular el oleaje tiene una única frecuencia, lo que exige la misma altura en los tanques. Sin embargo, cuando la mar sea irregular, esta altura puede variar entre los tanques para abarcar más periodos del oleaje. En tal caso, un tanque A aumentará su nivel de agua y el otro tanque A lo reducirá, compensando el giro que este cambio produce mediante un movimiento de agua de un tanque C al otro tanque C, como se muestra en la figura 2E, y/o bien del tanque B al otro B.

Un ejemplo de plataforma eólica marina, subestaciones o similares sometida a la acción de viento y oleaje a 90° se muestra en la figura 3A. El viento al incidir sobre la plataforma formada por un cuerpo flotante (1) una pieza de transición (2), una torre (3), una turbina eólica (4) y un sistema de fondeo (5) produce un empuje que hace que la torre (3) forme un ángulo de inclinación media (Θ_{im}) con respecto a la vertical. Perpendicularmente actúa el oleaje, provocando un ángulo de balance/cabeceo ($\Theta_{c/b}$) que irá oscilando con diferente magnitud y sentido debido al embate de las olas. En la figura 3B, se muestra en planta y alzado una distribución genérica de tanques del sistema para adrizar y reducir movimientos antes de realizar correcciones con el sistema. Cuando incide el viento en la unidad, figura 3C, se produce un momento escorante que inclina la plataforma de manera que los tanques Cs se hunden más. El oleaje, por su parte, genera un movimiento oscilatorio en la dirección de su acción (por el que los tanques As se mueven arriba y abajo alternativamente). En este caso, el sistema de reducción de movimientos trasvasa agua desde los tanques Cs a los tanques Bs para generar un momento recuperador que se oponga al momento escorante producido por el viento. Y, simultáneamente, para corregir el movimiento oscilatorio provocado por el

oleaje, figura 3D, los tanques A funcionarán de ajuste de llenado-vaciado de lastre de los tanques Cs y Bs, cuya altura, y por tanto su periodo de oscilación, se puede ajustar para que actúen como tanques anti-balance de superficie libre, de tal manera que no se modifique su acción anti-escora ni el calado de operación, es decir los tanques Cs y Bs actúan
 5 simultáneamente como tanques anti-escora (en la dirección del viento) y anti-balance (en la dirección de las olas). Además, el nivel de altura de los tanques As se podría ajustar (jugando con los demás tanques en la medida de lo posible) para reducir movimientos asociados a la turbulencia/variabilidad del viento.

Un ejemplo de tanque de superficie libre se muestra en la figura 4A. El agua se mueve de lado
 10 a lado del tanque, dependiendo la frecuencia de oscilación natural de la altura del agua en el tanque, así como de las dimensiones y forma del mismo. Ajustando la frecuencia natural del tanque a un valor determinado y excitándolo cerca de su resonancia, el frente de ola (el movimiento de la superficie libre) opone un momento de carácter dinámico que reduce el movimiento de balance/cabeceo.

15 Se ha descrito la invención con referencia a casos específicos, y de un solo cuerpo flotante (1), sin apartarse del alcance general de la invención según lo definido en las reivindicaciones adjuntas. Por esta razón, la especificación y con ello los dibujos no son restrictivos ni limitantes y deben considerarse como un ejemplo.

REIVINDICACIONES

1- Procedimiento para reducir la inclinación media y reducir los movimientos de una plataforma flotante eólica marina (1), subestación o similar que comprende,

- un control configurado para realizar dicho procedimiento,
- al menos tres tanques de lastre (100),
- al menos una bomba (102) configurada para mover agua de un tanque a otro, indistintamente, a través de una distribución de tuberías (104) que conectan los tanques (100), y
- unas válvulas operadas remotamente (106) para controlar el trasiego de agua a través de las tuberías de conexión (104) entre tanques (100),

el procedimiento caracterizado porque comprende:

- detectar, al menos, velocidad de viento, dirección de viento, altura de ola, el periodo de la ola, los ángulos de la inclinación de la plataforma (1), el calado, y el nivel de agua de los tanques de lastre (100).
- comparar que:
 - el ángulo de inclinación media de la plataforma (Θ_{im}) durante un rango de tiempo t_1 sea menor o igual que el ángulo de inclinación media umbral (Θ_{imu})

$$\theta_{im}|_{t_1} \leq \theta_{imu}$$

- la diferencia en valor absoluto entre los periodos característicos del balance/cabeceo de la plataforma debidos al oleaje (T_o) y los periodos del agua de los tanques de lastre (T_{tl}) efectivos para el amortiguamiento del balance/cabeceo durante un rango de tiempo (t_2) sea menor o igual al periodo característico umbral (T_{cu}).

$$|T_{tl} - T_o|_{t_2} \leq T_{cu} \text{ para los tanques de lastre (100) que van a amortiguar los movimientos del oleaje.}$$

- al menos una función objetivo de la estrategia de control de la secuencia de trasiego,

y que puede ser minimizada: el consumo de energía de los medios de trasiego, la altura del centro de gravedad del agua de lastre en los tanques del sistema, el tiempo en adrizar y/o amortiguar el balance/cabeceo, los esfuerzos estructurales en la turbina eólica y/o interferir mínimamente en su operación, los movimientos de balance y cabeceo debidos al oleaje, o una combinación ponderada de las anteriores.

- Transferir agua entre los tanques de lastre (100) en el momento que alguna de las comparaciones anteriores sea mayor que los valores umbrales, asegurando que la distribución de lastre final y la secuencia de trasiego se realizan de acuerdo a la optimización de la función objetivo, y que comprende:

- compensar, por medio del principio de tanque anti-escora (sistema activo), el ángulo de inclinación media de la plataforma (Θ_{im}) producido por el viento.
- y/o amortiguar, por medio de tanques anti-balance pasivos, el movimiento de balance/cabeceo producidos por el viento y el oleaje.

2- Procedimiento según la reivindicación 1-, donde el lastre está en sistema de bucle abierto, permitiendo llenar/vaciar los tanques de lastre (100) con agua del exterior.

3- Procedimiento según la reivindicación 2-, donde se transfiere agua entre los tanques de lastre (100) del sistema para compensar el ángulo de inclinación media de la plataforma (Θ_{im}) producido por la inundación de al menos uno de los tanques provocada por una vía de agua y simultáneamente se corrige el aumento de calado provocado por la inundación deslastrando otros tanques (100) de la plataforma (1).

4- Procedimiento según la reivindicación 1-, donde se transfiere agua entre los tanques de lastre (100) del sistema para almacenar excesos de energía como energía potencial en los tanques (100).

5- Procedimiento según la reivindicación 2-, donde se transfiere agua entre los tanques de lastre (100) del sistema para almacenar excesos de energía como energía potencial en los tanques (100).

6- Procedimiento de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la compensación pasiva también se obtiene por la oscilación de agua en un tanque con forma de "U", consistente en dos columnas verticales comunicadas por su parte

inferior.

- 5 7- Procedimiento de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde se modifica la estrategia de control de la secuencia de trasiego de acuerdo a los criterios de funcionamiento requeridos para más de una plataforma dentro de uno o más parques eólicos.
- 10 8- Procedimiento de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde se reciben señales provenientes del aerogenerador en su conjunto, que miden o estiman el empuje y par aerodinámico, el estado de operación y supervisión, las revoluciones y los esfuerzos estructurales, y estas son tenidas en cuenta en la optimización de las funciones objetivo.
- 15 9- Soporte de datos legible por un ordenador que comprende instrucciones que, al ejecutarse en un ordenador, hacen que el ordenador lleve a cabo las etapas de cualquiera de los procedimientos de las reivindicaciones anteriores para reducir la inclinación media y reducir los movimientos de una plataforma flotante eólica marina (1), subestación o similar.
- 20 10- Sistema para reducir la inclinación media y reducir los movimientos de una plataforma flotante eólica marina (1), subestación o similar que realiza la reivindicación 1- caracterizado por:
- un control configurado para realizar dicho procedimiento,
 - al menos tres tanques de lastre (100),
 - al menos una bomba (102) que mueve agua de un tanque (100) a otro, indistintamente, a través de una distribución de tuberías (104) que conectan los tanques (100),
 - unas válvulas operadas remotamente (106) para controlar el trasiego de agua a través de las tuberías de conexión (104) entre tanques (100).
- 25 11- Sistema de acuerdo a la reivindicación 10- y que realiza el procedimiento de la reivindicación 2-, donde el sistema está conectado al mar a través de, al menos, una toma de mar.

- 12- Sistema de acuerdo a la reivindicación 10- y que realiza el procedimiento de la reivindicación 3-, donde el sistema está conectado al mar a través de, al menos, una toma de mar.
- 5 13- Sistema de acuerdo a la reivindicación 10- y que realiza el procedimiento de la reivindicación 4-, donde hay un generador de energía movido por al menos una turbina que aproveche el salto de agua y al menos cuatro tanques de lastre (100).
- 14- Sistema de acuerdo a la reivindicación 11- y que realiza el procedimiento de la reivindicación 5-, donde hay un generador de energía movido por al menos una turbina que aproveche el salto de agua y al menos cuatro tanques de lastre (100).
- 10 15- Sistema de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones de la 10- a la 14- y que realiza el procedimiento de la reivindicación 6-, donde hay tanques anti-balance de disposición en "U".
- 15 16- Sistema de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones de la 10- a la 15- y que realiza el procedimiento de la reivindicación 7-, donde el control del sistema se encuentra monitorizado en el puesto/s de control del parque.
- 20 17- Sistema de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones de la 10- a la 16- y que realiza el procedimiento de la reivindicación 8-, donde el sistema de control recibe señales del conjunto del aerogenerador, que miden o estiman el empuje y par aerodinámico, el estado de operación y supervisión, las revoluciones, los esfuerzos estructurales, y las emplea en la optimización de la función objetivo.

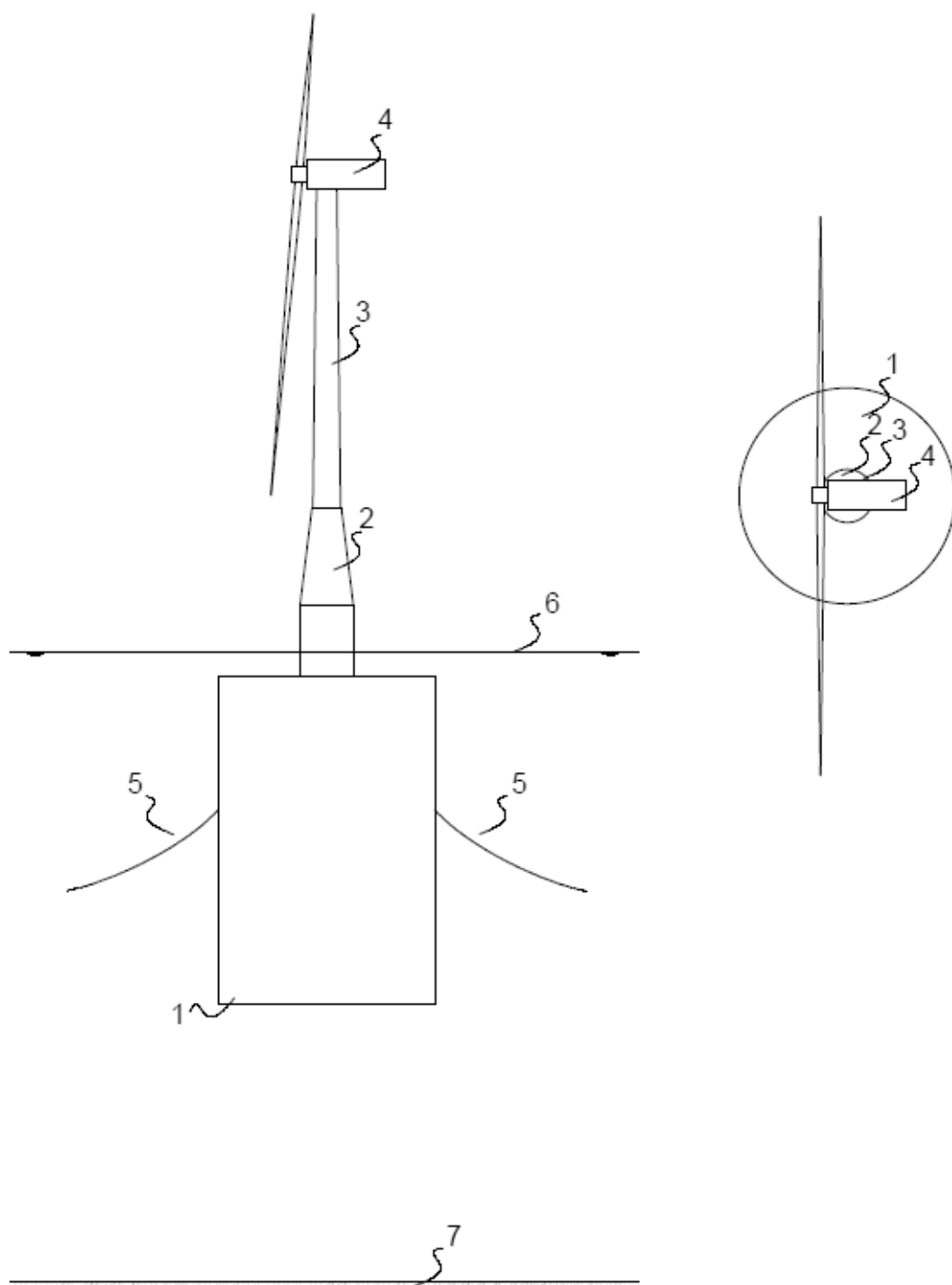


FIG 1A

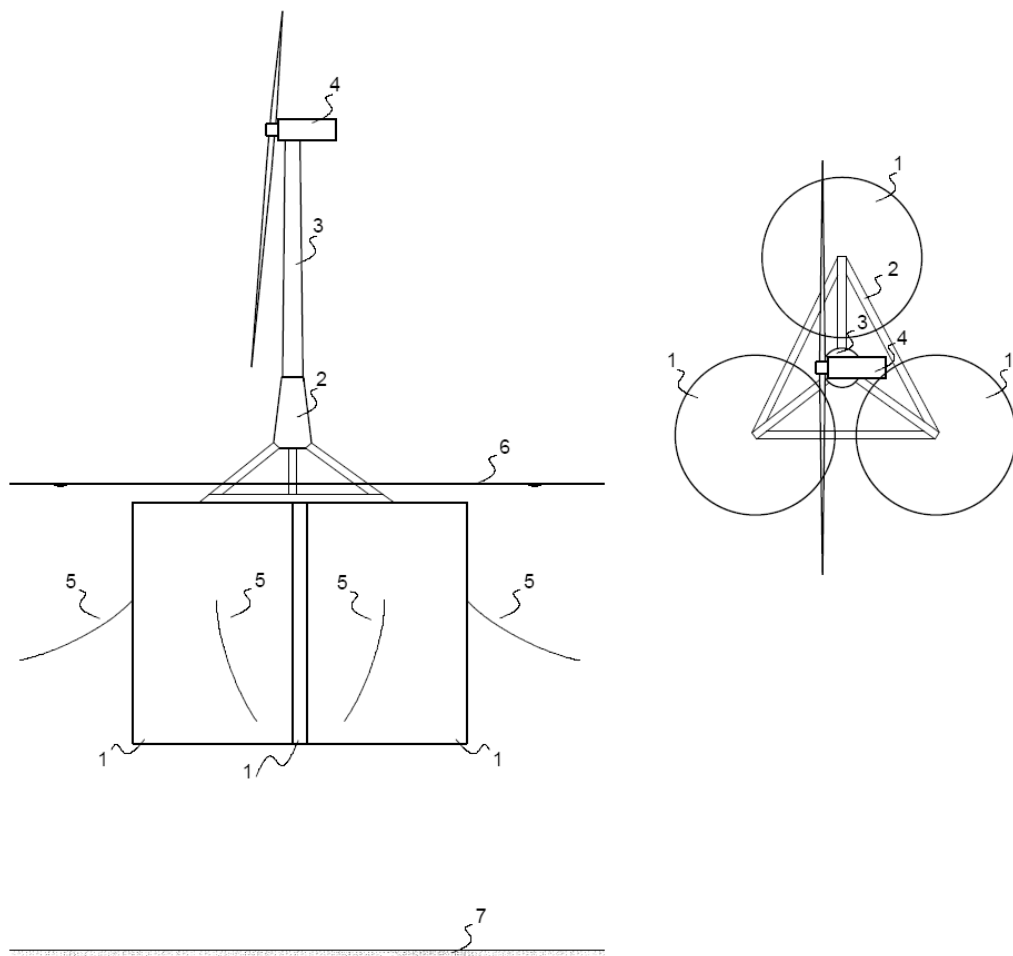


FIG 1B

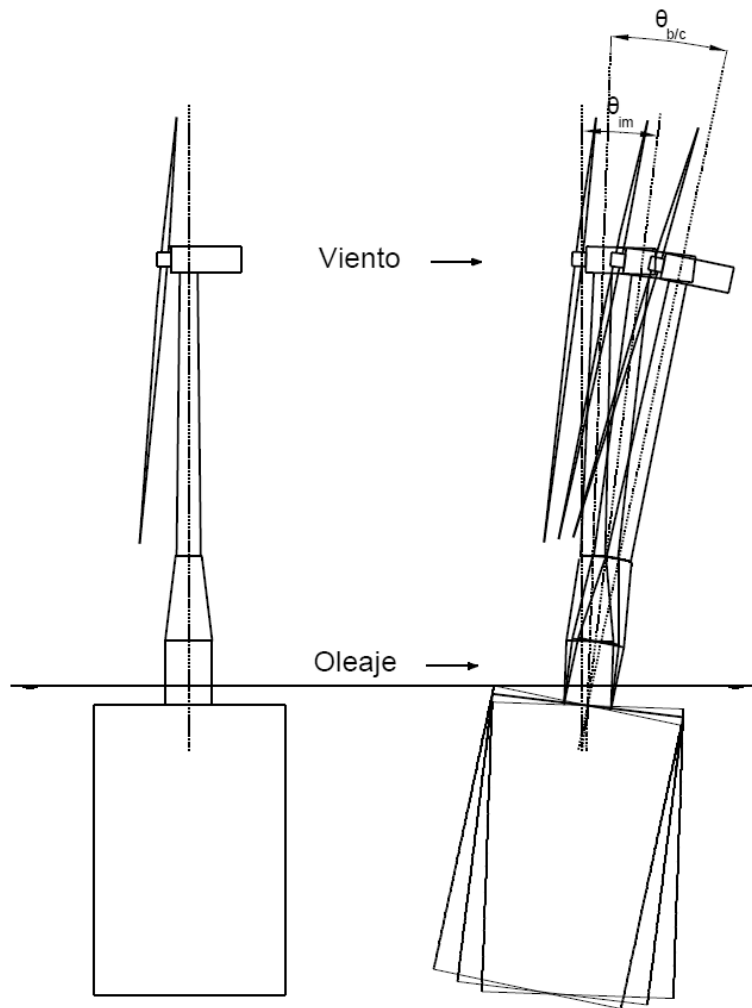


FIG 2A

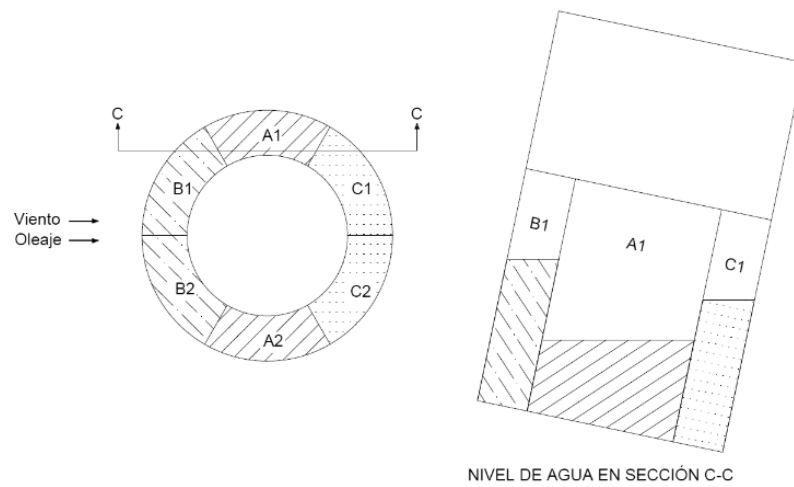


FIG 2B
32

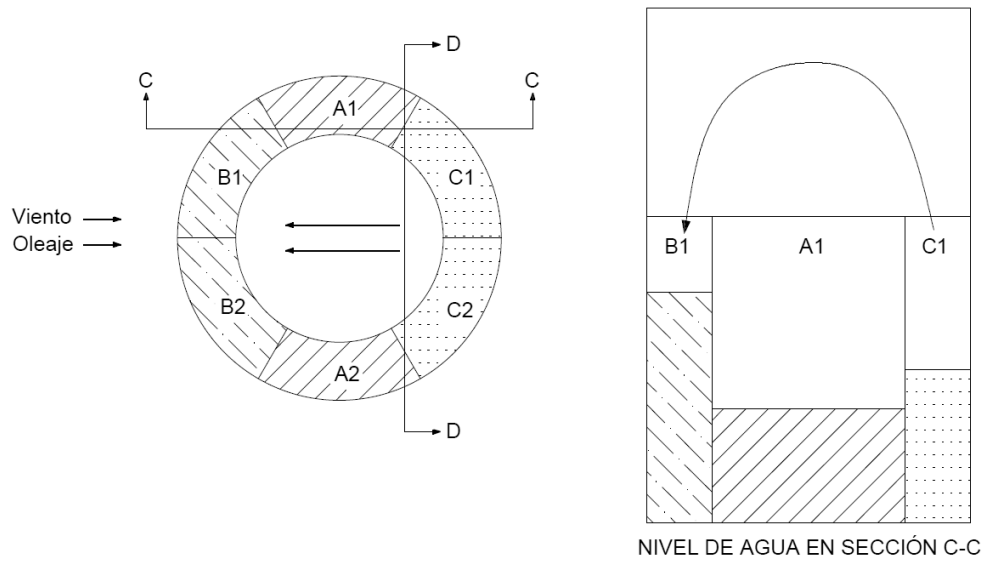


FIG 2C

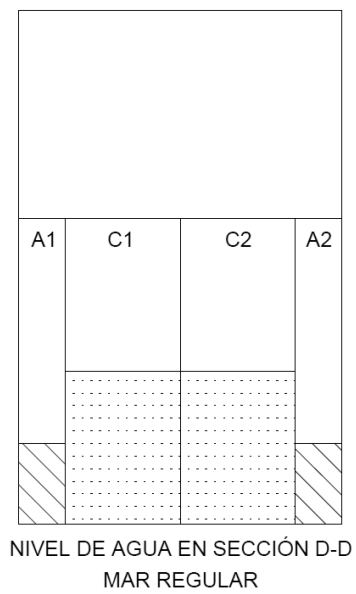


FIG 2D

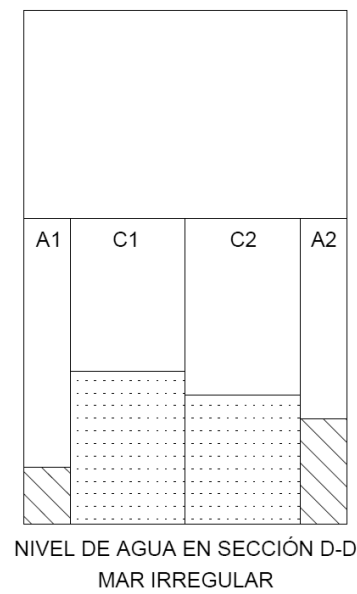


FIG 2E

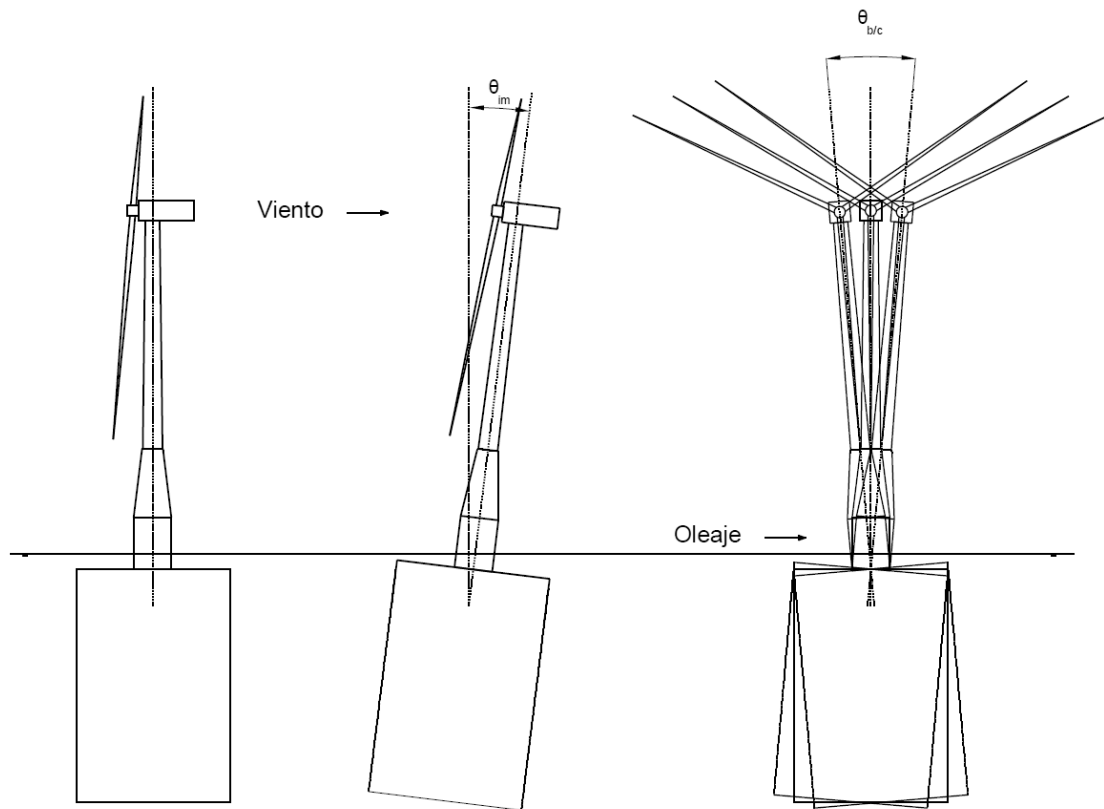
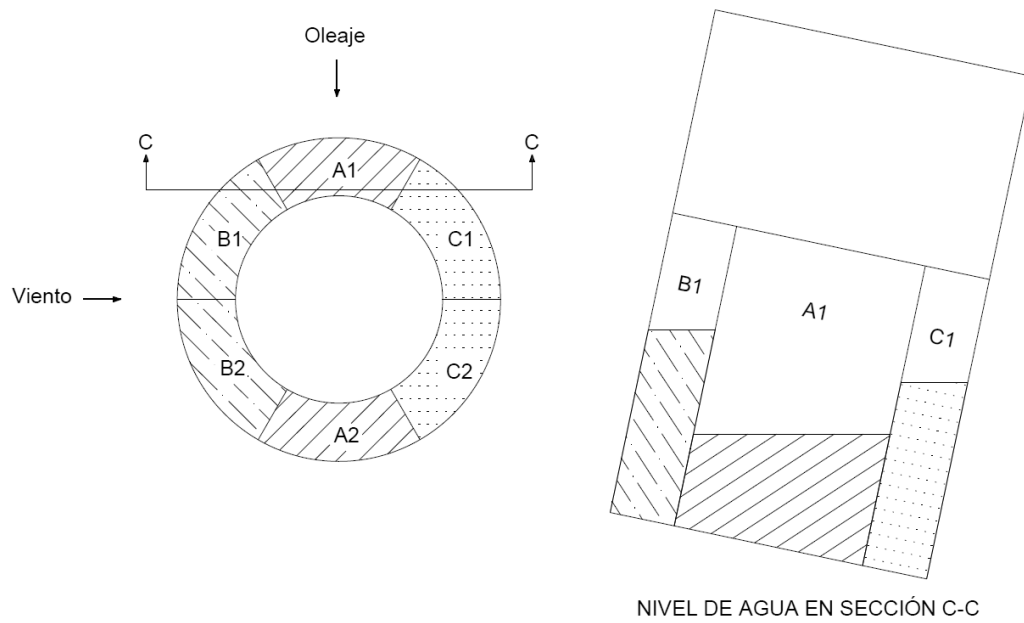
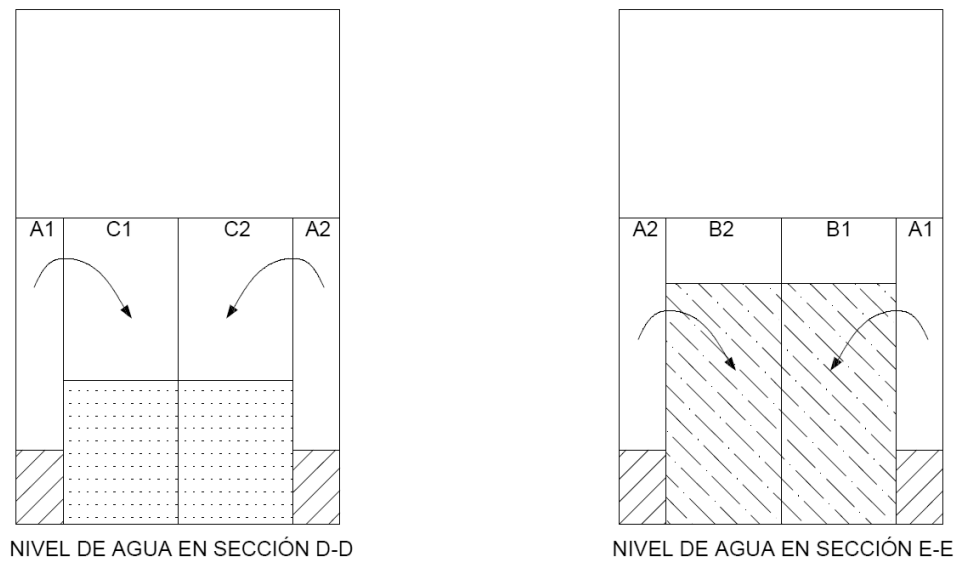
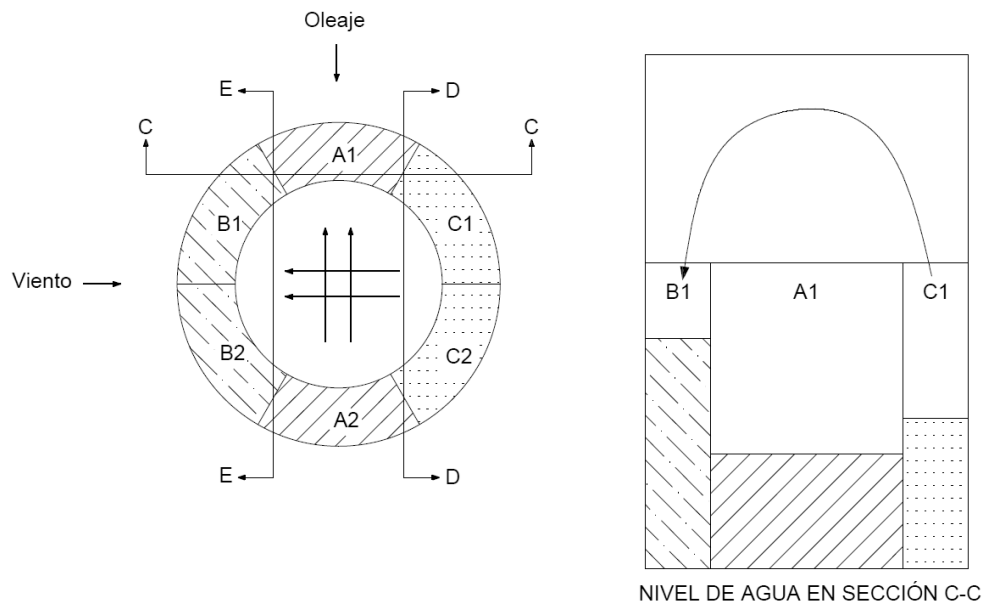


FIG 3A



NIVEL DE AGUA EN SECCIÓN C-C

FIG 3B



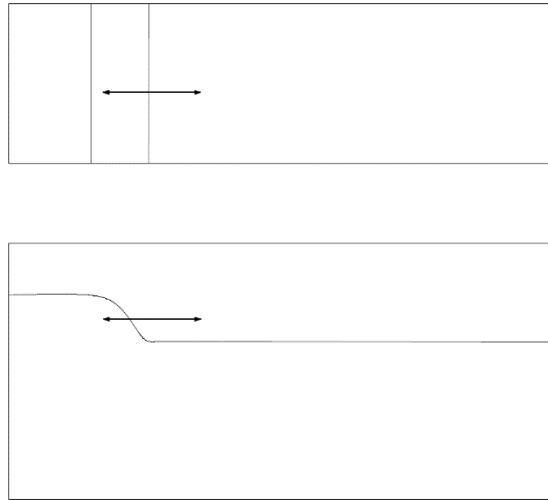


FIG 4A

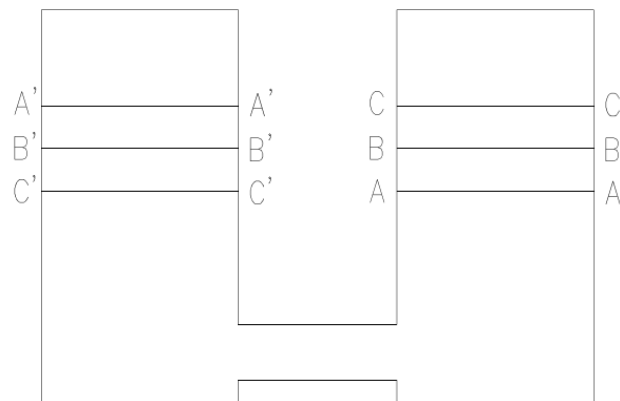


FIG 4B

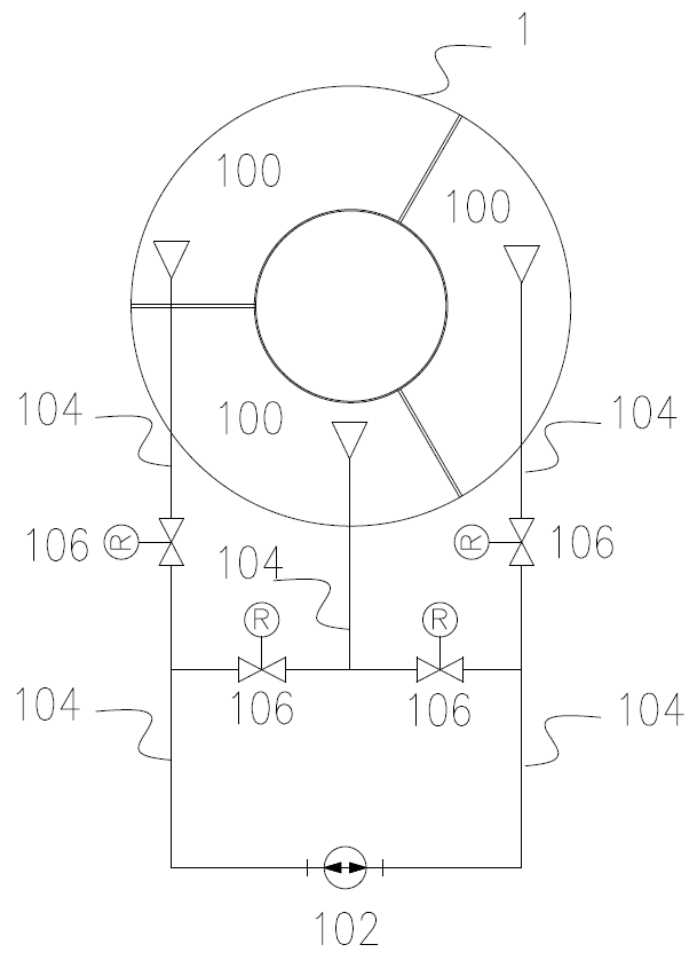


FIG 5

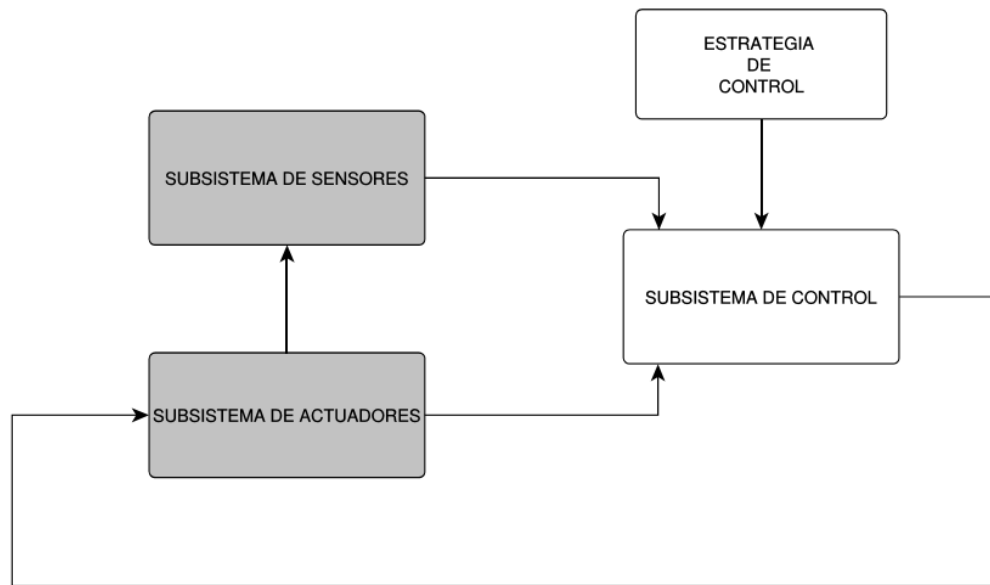


FIG 6