

Plataforma flotante semisumergible para aerogenerador marino

5 OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención pertenece al campo de la energía eólica marina, y en particular al campo de la energía eólica flotante.

- 10 El objeto de la presente invención es una plataforma flotante de tipo semisumergible para soportar un aerogenerador marino.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

- 15 La energía eólica marina constituye una tecnología de gran importancia en la actual transición hacia sistemas de generación de energía más sostenibles. La energía eólica marina está basada en la disposición de aerogeneradores en el mar, donde el recurso eólico es mayor y más constante que en tierra, presentando además la ventaja adicional de reducir el impacto visual y medioambiental con relación a la implantación de aerogeneradores en tierra.
- 20 medida que se va desplegando la energía eólica marina, se está incrementando la potencia de los aerogeneradores, siendo ya actualmente muy superior a la de los aerogeneradores utilizados en tierra.

- Hasta hace relativamente poco tiempo, las soluciones conocidas en el campo de la eólica marina implicaban el apoyo de los aerogeneradores sobre plataformas cimentadas en el suelo marino, estando así limitada su instalación a áreas marinas con profundidades inferiores a aproximadamente 50 metros. Sin embargo, recientemente se han desarrollado soluciones que permiten disponer los aerogeneradores sobre plataformas flotantes. Una importante ventaja de la tecnología eólica flotante es que se elimina la restricción relativa a la profundidad,
- 30 pudiéndose instalar los aerogeneradores en áreas marinas más alejadas de la costa donde el recurso eólico es mayor, reduciendo al mismo tiempo el impacto ambiental visual y la afección al suelo marino.

- En el diseño de una instalación eólica flotante, la configuración de la plataforma constituye un
- 35 aspecto crítico. La elección de un tipo u otro de plataforma flotante dependerá de las condiciones del mar y los fondos marinos, los vientos de la zona, la potencia del

aerogenerador, la profundidad de los puertos, las instalaciones de fabricación o la disponibilidad y precio de los materiales y equipos. En este contexto, existen actualmente cuatro tecnologías principales de plataformas flotantes: Barcaza (Barge), SPAR, TLP (Tensioned Legs Platform) y Semisumergible. A continuación, se describen brevemente las características principales de cada una de las cuatro (ver la Fig. 1):

- Tecnología barge

El concepto es parecido al de una barcaza en lo que se refiere a dimensiones. Es decir, el tamaño de eslora y manga (largo y ancho) es sensiblemente mayor al del calado (altura). La plataforma flotante presenta mucha superficie de contacto con el agua, que es precisamente lo que le da estabilidad. Es decir, en este tipo de plataformas la estabilidad viene dada por sus formas, empleándose la denominada “estabilidad por carena”. Al igual que los barcos, estas plataformas están hechas para moverse y evitar sobreesfuerzos y tensiones en la estructura. Para minimizar esos movimientos, la plataforma puede dotarse además de placas de arfada (heave plates), que son unas superficies que se sitúan debajo de la línea de flotación. En esta solución, la torre, la góndola y las palas del aerogenerador pueden ser instalados en instalaciones portuarias, para luego ser el conjunto remolcado hasta el emplazamiento final.

- Tecnología spar

En este modelo se utiliza un elemento vertical de grandes dimensiones que tiene la mayor parte del peso en el punto más bajo posible para dar estabilidad. Por ejemplo, si se usa un elemento vertical en forma de columna o cilindro, un extremo de la columna tendrá un peso mucho mayor que el resto de su longitud. Dado que el centro de gravedad de esta columna está muy cercano a dicho extremo pesado, la posición natural de la columna en el agua será vertical con el extremo pesado en la posición más baja. El aerogenerador se fija en el extremo superior de la columna, opuesto a dicho extremo pesado inferior. En resumen, en esta solución la geometría de la columna proporciona la flotabilidad, mientras que situar el peso en el punto más bajo proporciona la estabilidad. Es lo que se conoce como “estabilidad de peso”. Como las turbinas son cada vez más grandes, esta solución obliga a cilindros muy largos para compensar los pesos, lo que hace esta solución muy difícil de fabricar, transportar e instalar.

- Tecnología TLP (Tensioned Legs Platform)

En este concepto la plataforma realmente no es estable por sí misma. Para conseguir el objetivo de reducir al máximo las dimensiones para bajar el coste de fabricación, el volumen de la estructura por encima del agua es el mínimo posible, y el volumen bajo el agua es el suficiente para tener flotabilidad positiva, y la estabilidad del conjunto es dada por la tensión de las líneas de fondeo y la propia flotación. De esta manera, el volumen de la plataforma y, por tanto, su masa, es el menor posible. La geometría en estrella de tres, cuatro o cinco brazos reduce al mínimo los volúmenes de cada brazo.

- Tecnología semisumergible

Este diseño busca minimizar la superficie expuesta al agua, pero siempre maximizando el volumen, que es el que realmente desplaza la masa de agua y aporta flotabilidad. Para ello, los volúmenes que otorgan flotabilidad se estructuran en varios elementos de flotabilidad que se unen mediante elementos estructurales para crear una superficie donde instalar la turbina. La estabilidad de este tipo de plataformas viene dada por las formas y la distancia entre columnas. Al igual que en el caso de varias de las soluciones anteriores, con la tecnología semisumergible la torre, la góndola y las palas del aerogenerador pueden ser instalados en instalaciones portuarias, para luego ser el conjunto remolcado hasta el emplazamiento final.

Las plataformas flotantes de tipo semisumergible existentes actualmente presentan una serie de inconvenientes que afectan negativamente a su coste de fabricación, operación y mantenimiento.

En primer lugar, las plataformas semisumergibles suelen requerir de gran cantidad de material, lo que eleva drásticamente sus costes de fabricación. Además, la mayoría de plataformas semisumergibles diseñadas para eólica marina están formadas por columnas que deben conectarse unas a otras por medio de estructuras relativamente complejas de vigas y tirantes. Ello implica la realización de conexiones de gran dificultad, como por ejemplo en el caso de las uniones no perpendiculares entre unas columnas y otras, impidiendo así la estandarización tanto de los elementos que componen la plataforma como de las uniones. El documento US2020391834A1 constituye un ejemplo de este tipo de plataformas semisumergibles.

Además, existe actualmente la tendencia de emplear el mínimo número de columnas, lo cual

implica de manera natural tamaños de columna muy grandes. Así, en plataformas compuestas por tres o cuatro columnas, como es común en la actualidad, la altura de cada columna puede ser de unos 30 metros para aerogeneradores de alta potencia (aerogeneradores de más de 10 MW). Este tamaño complica enormemente la fabricación de la plataforma a causa de múltiples problemas de tipo práctico que, en última instancia, se traducen en costes añadidos.

Por ejemplo, el calado del puerto donde se fabrican este tipo de plataformas puede no ser suficiente para albergar columnas de semejante tamaño, lo que obliga a la plataforma a disponer de un sistema de lastre que permita ajustar su calado. Por otra parte, la gran altura de las columnas requiere el uso de complejos sistemas de elevación, utillaje y andamiaje durante la fabricación de la plataforma. Otra desventaja relacionada con el gran tamaño de las columnas es la necesidad de que la porción inferior de las mismas tenga una resistencia mecánica que, además de soportar el peso que se apoya sobre la columna, sea capaz de soportar la presión hidrostática correspondiente a la mayor profundidad que alcanzará durante su vida útil. El documento ES2728322T3 describe un ejemplo de plataforma de este tipo donde las columnas tienen una altura de 35 metros.

Otro inconveniente de las plataformas semisumergibles actuales formadas por pocas columnas, por ejemplo tres o cuatro, es que las necesidades de estabilidad requieren que dichas columnas estén separadas una gran distancia unas de otras o que dichas columnas adquieran diámetros grandes. Por ejemplo, haciendo referencia al documento ES2728322T3 mencionado arriba, la distancia entre columnas es de aproximadamente 45 metros, siendo el diámetro completo de la estructura de aproximadamente 92 metros. El uso de elementos de unión tan largos requiere la disposición de refuerzos específicos (elementos adicionales, aumento de espesores, u otros) para garantizar su integridad estructural. Además, las propias limitaciones de espacio en el puerto donde se fabrica la plataforma pueden constituir un problema práctico añadido, limitando e incluso haciendo inviable técnica o económicamente la escalabilidad de los conceptos. En este contexto, la escalabilidad hace referencia a la capacidad de aumentar el tamaño de la plataforma para que sea capaz de sostener aerogeneradores más potentes y, por tanto, más pesados. Por los motivos descritos, los diseños actuales no son escalables por encima de un determinado tamaño.

Por otra parte, en muchos conceptos de plataformas semisumergibles formadas por un conjunto de columnas interconectadas entre sí, la torre del aerogenerador se dispone sobre una columna central o, en todo caso, sobre una estructura de soporte central. Ello implica que la distancia más corta entre el punto donde se encuentra dispuesto el aerogenerador y el

punto de la plataforma más cercano al muelle (normalmente el punto central del elemento de unión entre dos columnas) es muy grande. A modo de ejemplo, y siguiendo con el documento ES2728322T3, esta distancia puede ser de aproximadamente 30 metros. Ello dificulta enormemente el montaje de un aerogenerador de alta potencia en la plataforma, ya que requiere del uso de complejos medios de elevación dotados de radios de giro muy grandes.

Otro inconveniente que presentan muchas de las plataformas semisumergibles actuales está relacionado con la disposición del aerogenerador en un punto de la plataforma, normalmente situado en el centro de la misma, que no está situado sobre una de las columnas que dan flotabilidad al conjunto. Como consecuencia, es necesario instalar una cubierta para dar apoyo al aerogenerador cuya resistencia mecánica debe ser suficiente para transmitir las cargas hasta las columnas, normalmente ubicadas en la periferia. Esto requiere el uso de técnicas y materiales específicos para la cubierta que aseguren dicha resistencia, lo que incrementa el coste de la plataforma en su conjunto. El documento WO2014163501A1 constituye un ejemplo de plataforma flotante de este tipo.

Por otra parte, las enormes dimensiones de las plataformas actualmente conocidas complican el acceso de personal de inspección y mantenimiento, que normalmente llega hasta las plataformas por barco. En efecto, la gran altura del francobordo en estas plataformas dificulta el acceso directo mediante los medios de atraque habitualmente incorporados en el barco, como por ejemplo pasarelas extensibles. Además, la gran distancia entre columnas de este tipo de plataformas obliga al uso de refuerzos y estructuras auxiliares en las pasarelas que permiten el paso de dicho personal entre unas columnas y otras. De nuevo, el documento ES2728322T3 constituye un ejemplo de este tipo de inconvenientes.

En definitiva, existe aún en este campo de la técnica la necesidad de una plataforma flotante semisumergible novedosa que resuelva adecuadamente todos estos inconvenientes.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención describe una plataforma flotante semisumergible que resuelve los problemas anteriores gracias a un diseño esencialmente triangular con al menos seis columnas donde el aerogenerador se apoya sobre una columna situada en el centro de uno de los lados. El mayor número de columnas con relación a los documentos de la técnica anterior, así como el posicionamiento de las mismas en una configuración triangular cuidadosamente seleccionada, permiten reducir las dimensiones de columnas y elementos de

unión al mismo tiempo que se mantiene una buena flotabilidad, estabilidad y comportamiento en la mar, una elevada inercia en la flotación, unas dimensiones reducidas y una alta eficiencia estructural junto con una reducción de peso. El diseño propuesto presenta una pluralidad de ventajas adicionales que se describirán a lo largo de la presente solicitud.

5

A continuación, se describen brevemente algunos términos que se utilizarán a lo largo de la presente descripción.

10

Columna: Cada uno de los elementos de forma alargada que proporcionan flotabilidad a una plataforma semisumergible. Las columnas pueden tener cualquier forma, por ejemplo forma cilíndrica, forma de prisma de base poligonal o, en general, cualquier forma de sólido formado por el desplazamiento de una recta generatriz a lo largo de, y en perpendicular a, una curva cerrada plana que constituye la directriz. En una plataforma semisumergible, las columnas están dispuestas con su eje principal en

15

Elemento de unión: Cada uno de los brazos que conectan mecánicamente unas columnas con otras de acuerdo con una configuración de plataforma dada. Los elementos de unión pueden tener cualquier forma, incluyendo uno o más brazos que pueden estar conectados mediante celosías o cualquier otra estructura. Los brazos pueden tener cualquier forma, incluida la forma cilíndrica, forma de prisma de base poligonal o, en general, forma de sólido formado por el desplazamiento de una recta generatriz a lo largo de, y en perpendicular a, una curva cerrada plana que constituye la directriz. Los brazos de unión también pueden adoptar forma de viga de cualquier

20

25

Placas de arfada: Se trata de unas placas normalmente planas y contenidas en un plano paralelo a, y ubicado debajo de, la superficie del agua. Cuando la plataforma se mueve, las placas de arfada arrastran el agua circundante y aumentan así el término del coeficiente hidrodinámico de masa de la plataforma, de manera que aumentan los períodos propios de la plataforma. Otra función importante de estas placas es el de amortiguar el movimiento de la plataforma, gracias a la energía disipada por el arrastre del agua sobre la plataforma provocado por la turbulencia del agua al fluir alrededor del sus bordes.

30

35

Lastre: Se trata de un tipo de carga que se dispone en tanques dispuestos en el interior

de las columnas con el propósito de ajustar el centro de gravedad de la plataforma para mejorar su estabilidad y corregir escoras y/o trimados. La carga puede ser un fluido que se aloja en tanques dispuestos en las columnas, como por ejemplo agua de mar o agua dulce (normalmente denominada “*agua técnica*”), o bien la columna puede incluir otros materiales pesados tales como hormigón. Cuando la carga empleada es un fluido, puede trasegarse en circuito cerrado, es decir, trasegando agua de unos tanques a otros, o bien en circuito abierto, es decir, intercambiando agua con el exterior. El uso de agua técnica es ventajoso con relación al uso de agua de mar debido a que produce una menor corrosión de los equipos, conductos y depósitos por los que pasa. Además, el uso de agua de mar hace necesario el uso de más medidas de protección (pinturas, corrientes impresas o ánodos de sacrificio) en los tanques para evitar la corrosión, lo que incrementa los costes de mantenimiento.

Dirección vertical: En el contexto de la presente invención, cuando la plataforma semisumergible está en su posición natural, la dirección del eje principal de las columnas coincide con la dirección vertical, es decir, es perpendicular a la superficie del agua. Naturalmente, se considera aquí la superficie del agua como horizontal. Por tanto, a lo largo del presente documento, términos tales como “*superior*”, “*inferior*”, “*encima*”, “*debajo*”, y otros similares deben interpretarse de acuerdo con este criterio.

La presente invención está dirigida a una plataforma flotante semisumergible para un aerogenerador marino que comprende seis columnas dispuestas formando esencialmente un triángulo, de manera que tres columnas de vértice están dispuestas en los vértices del triángulo y tres columnas de lado están dispuestas en los centros de los lados del triángulo. Cada columna está conectada mediante un elemento de unión respectivo a cada una de las columnas adyacentes. En este contexto, se consideran adyacentes a cada columna de vértice únicamente las dos columnas de lado ubicadas en los lados que convergen en dicho vértice. Similarmente, se consideran adyacentes a cada columna de lado únicamente las dos columnas de vértice pertenecientes a dicho lado y las otras dos columnas de lado restantes. Es decir, esta configuración está formada por seis columnas y nueve elementos de unión entre las mismas, de manera que las columnas de vértice están conectadas mediante elementos de unión con otras dos columnas, y las columnas de lado están conectadas mediante elementos de unión con otras cuatro columnas.

Los elementos de unión de esta nueva plataforma pueden, en principio, adoptar cualquier configuración. Por ejemplo, cada elemento de unión puede comprender uno o más brazos de

cualquier sección transversal, dispuestos en horizontal o inclinados, incluyendo celosías y otras estructuras habituales en este campo. En cualquiera de estos casos, todos los elementos de unión serán iguales en lo que respecta a su longitud, facilitando así la estandarización de las operaciones de fabricación y montaje de la plataforma.

5

Por otra parte, se entiende que la forma de triángulo abarca formas similares a un triángulo obtenidas mediante pequeños desplazamientos de las columnas de lado para separarlos de la línea de unión entre columnas de vértice pertenecientes al lado donde se encuentra la columna de lado en cuestión. Similarmente, las columnas de lado pueden no estar situadas de manera exacta en el centro de los lados, estando ligeramente desplazadas en uno u otro sentido.

Adicionalmente, en la plataforma descrita, una columna de lado particular está configurada para soportar el aerogenerador. Esto implica que dicha columna de lado está preparada para la instalación de los medios necesarios para que el aerogenerador se apoye sobre la misma, como por ejemplo una estructura o pieza de transición dedicada. Como, según se ha descrito con anterioridad, cada columna de lado está conectada con otras cuatro columnas, esta configuración facilita la transmisión de las cargas a lo largo de toda la estructura de una manera particularmente distribuida.

20

Por último, aquellas columnas de la plataforma distintas de la columna de lado configurada para soportar el aerogenerador tienen un peso configurado para acercar el centro de masas del conjunto formado por plataforma y aerogenerador a la vertical del centro de carena de la plataforma. En este contexto, el "*centro de carena*" de la plataforma hace referencia al centro de masas del volumen de agua desplazado por la plataforma. Por ejemplo, en el caso específico de una plataforma triangular de estructura homogénea (es decir, columnas y elementos de unión todos iguales entre sí), la vertical del centro de carena coincidiría con el baricentro del triángulo. Así, al diseñar las columnas de tal modo que el centro de masas del conjunto plataforma más aerogenerador esté en, o en cualquier caso lo más cerca posible de, la vertical del centro de carena (y, naturalmente, por debajo del mismo), se disminuye la inclinación que se produce a causa del desequilibrio provocado por el peso del aerogenerador en la columna en cuestión. Para ello, como se describirá más adelante en este documento, las columnas mencionadas pueden disponer de tanques para alojar agua con el propósito de equilibrar la plataforma.

35

Esta estructura confiere a la plataforma flotante semisumergible de la presente invención una

serie de importantes ventajas con relación a las plataformas semisumergibles conocidas de la técnica anterior, algunas de las cuales se describen a continuación.

Columnas más cortas

5

Al aumentarse el número de columnas, pueden utilizarse columnas de menor tamaño, es decir, de menor altura. Ello tiene como primera consecuencia una importante reducción del calado de la plataforma de la invención con relación al calado necesario en las plataformas convencionales formadas por tres o cuatro columnas. Las maniobras de fabricación de la plataforma y de instalación del aerogenerador pueden así llevarse a cabo en un puerto sin requisitos particulares en lo que respecta a profundidad. Además, la reducida altura de las columnas, y por tanto de la propia plataforma, reduce las necesidades de los medios constructivos, andamios, gradas, utillajes y medios de elevación.

10

15

Al tener un menor calado operativo, la plataforma de la invención también permite la opción del llenado de los tanques de lastre con agua técnica utilizando los medios disponibles en el puerto, pudiendo prescindir de un sistema de lastre y disminuyendo los costes de la plataforma.

20

Además, al reducirse la profundidad que alcanza el extremo inferior de las columnas, se reducen también los requisitos en cuanto a la resistencia mecánica necesaria para soportar la presión hidrostática.

25

Elementos de unión más cortos, livianos y sencillos

Al incrementarse el número de columnas, se puede asegurar la inercia en la flotación sin necesidad de que los elementos de unión sean tan largos como en las plataformas de la técnica anterior. Por tanto, los elementos de unión de unión pueden ser más cortos que en dichas plataformas conocidas.

30

Además, el aerogenerador está dispuesto sobre una columna ubicada en el centro de un lado del triángulo que está conectada mediante cuatro elementos de unión de unión con cuatro columnas adyacentes. Por tanto, el reparto de las cargas generadas durante la operación de la plataforma tiene lugar entre un número mayor de elementos de unión de longitud reducida y, en consecuencia, los requisitos estructurales de los elementos

35

de unión se relajan. Ya no son necesarios complejos refuerzos ni grandes grosores en los elementos de unión para que éstos puedan soportar las solicitaciones mecánicas durante la vida útil de la plataforma.

5 **Sencillez del sistema de lastre**

Las plataformas convencionales que emplean columnas de gran tamaño pueden tener un calado tan enorme que impide el uso de determinados puertos. Por ese motivo, tales plataformas pueden tener durante su fabricación un calado menor en comparación con
10 el calado necesario para asegurar su estabilidad durante su vida útil. Posteriormente, una vez han sido remolcados hasta el emplazamiento definitivo, se utiliza agua de mar para lastrar la plataforma e incrementar así su calado hasta llegar a su valor de operación. La disposición de sistemas de lastrado constituye una complicación adicional que implica un mayor tiempo de fabricación e instalación, así como costes económicos
15 asociados tanto a la instalación como al mantenimiento.

En la presente invención, no es necesario modificar el calado durante la fabricación, remolcado, instalación u operación de la plataforma. Gracias al incremento en el número de columnas, la plataforma es completamente estable aún con su calado reducido. Por
20 tanto, puede evitarse el uso de sistemas de lastrado.

Alto potencial de estandarización

La plataforma flotante semisumergible de la presente invención está formada
25 fundamentalmente por dos elementos iguales que se repiten en el diseño: columnas y elementos de unión. Cada uno de estos elementos puede estar compuesto, a su vez, por bloques constructivos que se conectan unos a otros. En principio, tanto el tamaño de las columnas como las dimensiones de los elementos de unión son iguales. Esto permite un elevado grado de estandarización en cuanto a las operaciones de fabricación y montaje de la plataforma, a diferencia de lo que ocurre en muchos de los diseños de
30 plataforma de la técnica anterior. La simplicidad del diseño planteado en la invención permite definirlo fundamentalmente con muy pocos parámetros, lo que permite adaptar las características de la plataforma a las condiciones de cada emplazamiento sin afectar a los medios productivos ni a los requisitos logísticos o de suministro.

35

Fácil montaje del aerogenerador

En la plataforma flotante semisumergible de la presente invención, el aerogenerador se dispone sobre una columna ubicada esencialmente en el centro de uno de los lados del triángulo. De ese modo, disponiendo el lado de la columna donde se encuentra dicha columna en paralelo junto al muelle, la distancia entre el muelle y el aerogenerador es mínima, lo que facilita el montaje del aerogenerador sobre la plataforma al evitar la necesidad de grúas demasiado sofisticadas y equipos especiales, particularmente para los aerogeneradores de alta potencia.

10 Comportamiento estructural

La gran ventaja respecto de las plataformas existentes, consistentes en una configuración de pocas columnas (tres o cuatro), reside en que las solicitaciones son reaccionadas distribuyendo la solicitación en más elementos de flotación que se disponen más cercanos, simplificando los requisitos estructurales de los elementos de unión y de las propias columnas, evitando los pesados escantillones de pontonas, elementos de unión y cubiertas de las configuraciones con número reducido de columnas.

Así mismo las cargas provocadas por el arrastre del agua circundante se localiza en los elementos fuertes de la estructura, cuando en las configuraciones con pontona sumergida, caracterizada por su gran longitud, debe transmitir los esfuerzos provocados a los elementos de flotación. Adicionalmente, el peso y volumen total de las columnas es inferior a los conceptos actuales.

En principio, los elementos de unión pueden estar situados a cualquier altura de las columnas siempre que conecten las columnas unas con otras de una manera suficientemente resistente y que al mismo tiempo aseguren una estabilidad adecuada. Por ejemplo, en una realización particularmente preferida de la invención, las conexiones entre los elementos de unión y las columnas están situadas en una porción inferior de las columnas. De ese modo, los elementos de unión no solo son todos iguales, sino que además están normalmente sumergidos durante la vida útil de la plataforma.

Esta configuración es ventajosa debido a que incrementa la flotabilidad de la plataforma flotante semisumergible. Además, al estar los elementos de unión sumergidos, se ofrece una mayor resistencia frente a la inclinación de la plataforma. Una ventaja adicional es que, al

disponer los elementos de unión a una altura reducida con relación al extremo inferior de las columnas, se facilitan las tareas de montaje, reduciéndose las necesidades de medios constructivos tales como andamios, gradas, utillajes y medios de elevación.

- 5 Cada elemento de unión puede comprender uno o más brazos de diferentes formas, tales como formas de prisma de base cuadrada, rectangular, poligonal o forma de viga cualquier sección transversal adecuada, como por ejemplo de viga en H, en T, en L o similares. Preferentemente, los elementos de unión pueden ser elementos de unión simples, es decir, formados por un único brazo. Por ejemplo, según una realización particularmente preferida de la invención, cada elemento de unión comprende un único brazo que tiene una sección transversal de forma rectangular.

Esta configuración es ventajosa porque proporciona una gran resistencia a la flexión al mismo tiempo que facilita las conexiones con las columnas, facilitando así las operaciones de montaje.

Por otra parte, como se ha comentado con anterioridad, las columnas de la plataforma de la invención pueden tener cualquier forma, tal como forma de cilindro. Sin embargo, de acuerdo con otra realización preferida de la invención, las columnas tienen forma de prisma de base poligonal seleccionado de tal modo que cada conexión entre un elemento de unión y una columna tenga lugar en perpendicular a una cara lateral de dicha columna. Por ejemplo, de acuerdo con una realización particularmente preferida, la plataforma tiene forma de triángulo equilátero y las columnas tienen forma de prisma de base hexagonal.

25 Esta configuración es ventajosa porque todas las conexiones de los elementos de unión tienen lugar contra una superficie plana de las columnas y en perpendicular a la misma. Esto favorece la construcción y reduce las necesidades de capacidad y capacitación de la cadena de suministro. Además, esto permite reducir las necesidades logísticas de los bloques que conforman la plataforma gracias al uso de formatos de chapa planos estándar en lugar de conformados curvos de chapa que, para las dimensiones de las columnas, reducen las capacidades de suministro y requieren de mayor capacidad logística.

Por otra parte, la plataforma de la presente invención puede incluir pasillos que permitan el paso de personas entre columnas para labores de reparación y mantenimiento. Estos pasillos pueden en principio disponerse en cualquier ubicación y con cualquier configuración, aunque, según otra realización preferida de la invención, el interior de los elementos de unión

comprende pasillos configurados para el paso de personas entre unas columnas y otras.

Esta configuración es ventajosa debido a que evita la necesidad de instalar complicadas y costosas pasarelas aéreas entre columnas, como ocurre en muchos de los diseños conocidos de plataformas de este tipo. En la presente invención, resulta mucho más sencillo y económico incluir en el interior de los elementos de unión un paso de hombre que permita el paso entre columnas. Además, se disminuye el riesgo de caída al agua durante las operaciones de inspección y mantenimiento.

10 En principio, las columnas de la plataforma distintas de aquella que soporta el aerogenerador pueden tener cualquier configuración siempre que consigan ubicar el centro de masas del conjunto formado por plataforma más aerogenerador en la vertical del centro de carena de la plataforma. Por ejemplo, dichas columnas pueden tener paredes de mayor grosor o alojar hormigón para incrementar su peso en la magnitud necesaria.

15 Sin embargo, en una realización particularmente preferida de la invención, las columnas distintas de aquella que soporta el aerogenerador comprenden lastre formado por agua técnica o agua de mar. Esta agua técnica o de mar estaría alojada en unos depósitos dispuestos en dichas columnas. Por ejemplo, las tres columnas que no pertenecen al lado donde se apoya el aerogenerador, pueden disponer de tanques interiores para alojar un volumen de agua suficiente para equilibrar el centro de masas del conjunto formado por plataforma más aerogenerador. Opcionalmente, sería posible que las dos columnas de vértice del lado de la plataforma donde está la columna que soporta el aerogenerador dispusieran también de tanques interiores destinados a alojar agua para equilibrar el centro de masas del conjunto. También opcionalmente, la propia columna que soporta el aerogenerador podría tener un tanque para proporcionar una mayor flexibilidad en cuando al equilibrado del centro de masas de la plataforma.

30 Esta configuración es ventajosa debido a que constituye una solución sencilla al problema de equilibrar los pesos de las columnas, ya que el agua puede ser suministrada directamente con los equipos de puerto.

De acuerdo con otra realización preferida más de la invención, la plataforma puede comprender un sistema de lastre activo para trasegar agua de los tanques de unas columnas a otras durante la vida útil de la plataforma para disminuir las inclinaciones de la plataforma.

De acuerdo con otra realización preferida más de la invención, la plataforma comprende además placas de arfada. Las placas de arfada pueden fijarse a los elementos de unión o a las columnas para mejorar su resistencia mecánica sin necesidad de utilizar estructuras o soportes dedicados.

5

Según una realización particularmente preferida de la invención, la plataforma comprende placas de arfada interiores dispuestas entre tramos de elementos de unión contiguos, donde dichos tramos son adyacentes a la columna a la que ambos elementos de unión están conectados. Además, dichas placas de arfada interiores no se extienden fuera del triángulo de la plataforma. Por ejemplo, las placas de arfada interiores pueden ser triangulares, como corresponde para rellenar el espacio entre tramos de elementos de unión contiguos en la zona cercana a la columna común a las que están conectados.

10

De acuerdo con una realización preferida de la invención alternativa a la anterior, la plataforma comprende placas de arfada exteriores que sobresalen radialmente de las columnas de vértice esencialmente en todas direcciones. De ese modo, al menos una porción de dichas placas de arfada exteriores se extiende fuera del triángulo de la plataforma. Por ejemplo, las placas de arfada exteriores tienen forma poligonal o circular.

15

20 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Fig. 1 muestra una vista esquemática de los diferentes tipos de plataforma flotante actualmente conocidos.

Las Figs. 2a y 2b muestran respectivamente una planta y un alzado de un ejemplo de plataforma flotante semisumergible de acuerdo con la presente invención.

25

Las Figs. 3a y 3b muestran respectivamente una planta y un alzado de otro ejemplo de plataforma flotante semisumergible de acuerdo con la presente invención.

30

Las Figs. 4a-4e muestran vistas en perspectiva de ejemplos de plataforma flotante semisumergible con diferentes configuraciones de las placas de arfada y de los elementos de unión entre las columnas.

Las Figs. 5a-5f muestran más vistas en perspectiva de ejemplos de plataforma flotante semisumergible con diferentes configuraciones de las placas de arfada y de los elementos de

35

unión entre las columnas.

La Fig. 6 muestra una vista en perspectiva del aspecto de una plataforma flotante semisumergible según la presente invención ya ubicada en su emplazamiento final y con el aerogenerador montado.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

Se describen a continuación algunos ejemplos de plataformas (1) flotantes semisumergibles de acuerdo con la presente invención haciendo referencia a las figuras adjuntas.

Las Figs. 2a y 2b muestran respectivamente una planta y un alzado de un ejemplo de plataforma (1) flotante semisumergible. Como se puede apreciar, la plataforma (1) tiene una estructura formada por seis columnas (C_V , C_L) dispuestas de manera que conforman un triángulo equilátero. Tres columnas de vértice (C_V) están dispuestas en los vértices del triángulo equilátero, y tres columnas de lado (C_L) están dispuestas en el centro de los lados del triángulo equilátero. En este ejemplo, las columnas (C_V , C_L) tienen sección transversal hexagonal cuya altura es de aproximadamente 12 metros, aunque de manera general su altura puede estar aproximadamente entre 10 metros y 15 metros para aerogeneradores (A) de gran potencia.

En esta estructura triangular, las columnas (C_V , C_L) adyacentes entre sí están conectadas por un conjunto de nueve elementos de unión (B) formados por brazos rectos de sección transversal rectangular y cuyos ejes longitudinales están contenidos en un plano perpendicular al eje de las columnas (C_V , C_L). En particular, para cada columna de vértice (C_V) se consideran adyacentes solo las dos columnas de lado (C_L) ubicadas en el centro de los lados que convergen el vértice del triángulo donde se encuentra dicha columna de vértice (C_V). Por tanto, en cada columna de vértice (C_V) convergen dos elementos de unión (B) que la unen con dos columnas de lado (C_L). A su vez, para cada columna de lado (C_L) se consideran adyacentes las dos columnas de vértice (C_V) situadas en los extremos del lado al que pertenece y las otras dos columnas de lado (C_L) restantes de la estructura. Es decir, en cada columna de lado (C_L) convergen cuatro elementos de unión (B), de los cuales dos elementos (B) la unen con dos columnas de vértice (C_V) y otros dos elementos (B) la unen con dos columnas de lado (C_L). La posición de las columnas (C_V , C_L) en los vértices y en los centros de los lados del triángulo asegura que todos los elementos de unión (B) tengan la misma longitud. En este ejemplo, cada elemento de unión (B) mide aproximadamente 30

metros, aunque su longitud puede estar entre 20 metros y 40 metros.

El punto de conexión entre los elementos de unión (B) y las columnas (C_V , C_L) está situado cerca del extremo inferior de las columnas (C_V , C_L). De ese modo, los elementos de unión (B) se encuentran bajo el nivel del agua cuando la plataforma (1) está en uso, como se muestra en la Fig. 2b (la línea de flotación se muestra mediante línea discontinua). Además, dado que la plataforma (1) en su conjunto tiene forma de triángulo equilátero, una adecuada orientación de las columnas (C_V , C_L) hexagonales asegura que todas y cada una de las conexiones entre columnas (C_V , C_L) y elementos de unión (B) tienen lugar en perpendicular.

La columna de lado (C_L) situada en el lado de la izquierda en la Fig. 1 está configurada para soportar el aerogenerador (A). En este ejemplo, ello implica principalmente que sobre dicha columna de lado (C_L) se dispone una pieza de transición entre la forma hexagonal del extremo superior de la columna y la forma circular de la base de la torre del aerogenerador (A). Para evitar que la plataforma (1) se incline con el peso del aerogenerador (A), las tres columnas (C_V , C_L) de la misma que no pertenecen al lado donde se encuentra la columna de lado (C_L) que soportará el aerogenerador (A) comprenden un lastre. Es decir, cada una de las columnas (C_V , C_L) que no pertenecen al lado izquierdo de la plataforma (1) según la disposición de la Fig. 2a comprende un depósito de agua técnica cuyo volumen está calculado para mantener el centro de gravedad del conjunto formado por la plataforma (1) y el aerogenerador (A) en la vertical del centro de carena de la plataforma (1), que en este ejemplo coincide con el baricentro del triángulo.

La plataforma (1) mostrada en las Figs. 2a y 2b comprende además un conjunto de placas de arfada (P_i) contenidas en el plano de los elementos de unión (B). En particular, este ejemplo incluye nueve placas de arfada (P_i) esencialmente triangulares que no sobresalen fuera de la planta de la plataforma (1), y que están situados entre los tramos de los elementos de unión (B) cercanos a las columnas (C_V , C_L) en las cuales convergen. En otras palabras, cada par de elementos de unión (B) contiguos está unido por una placa de arfada (P_i) triangular en la zona cercana a la columna (C_V , C_L) donde convergen, a excepción de los pares de elementos de unión (B) que conectan ambas columnas de lado (C_L).

Como se ha mencionado con anterioridad en este documento, esta plataforma (1) es muy ventajosa debido a su alta capacidad de estandarización, tanto en cuanto a los elementos que la conforman como a los procesos de fabricación. La plataforma (1) está formada fundamentalmente por tres elementos idénticos que se repiten: columnas (C_V , C_L), elementos

de unión (B) y placas de arfada (P_i). Además, las conexiones entre elementos de unión (B) y columnas (C_v , C_L) son todas perpendiculares. En cualquier caso, nótese que se trata únicamente de un ejemplo, y que es posible que los elementos no sean todos iguales entre sí en función de las necesidades estructurales de la plataforma (1).

5

Las Figs. 3a y 3b muestran otro ejemplo de plataforma similar a la mostrada en las Figs. 2a y 2b excepto por que además comprende unas placas de arfada (P_E) que sobresalen radialmente del extremo del extremo inferior de cada una de las columnas de vértice (C_v) de la plataforma (1), y que tienen una forma hexagonal similar a la de las columnas (C_v , C_L) pero de mayor tamaño. Cada una de estas placas de arfada (P_E) tiene una discontinuidad para permitir el paso de una línea de fondeo de la plataforma (1).

10

Las Figs. 4a a 4e muestran otros ejemplos de plataforma (1) fundamentalmente iguales que la mostrada en las Figs. 2 y 3 a excepción de la configuración de las placas de arfada y de los elementos (B).

15

En la Fig. 4a, la plataforma (1) tiene elementos de unión (B) simples formados por un único brazo horizontal de sección transversal rectangular cuya superficie inferior coincide esencialmente con la superficie del extremo inferior de las columnas (C_v , C_L). Esta plataforma (1) tiene placas de arfada exteriores (P_E) situadas en las columnas de vértice (C_v) y que sobresalen de la planta de la plataforma (1). Concretamente, se trata de tres placas de arfada (P_E) que sobresalen radialmente del extremo inferior de cada una de las columnas de vértice (C_v) de la plataforma (1), y que tienen una forma hexagonal similar a la de las columnas (C_v , C_L) pero de mayor tamaño. Esta plataforma (1) también tiene placas de arfada interiores (P_i) de forma triangular que están dispuestas en las zonas de conexión de cada par de elementos de unión (B) con la respectiva columna (C_v , C_L).

20

25

En la Fig. 4b, la plataforma (1) tiene elementos de unión (B) simples formados por un único brazo horizontal de sección transversal circular. Las placas de arfada son similares a las mostradas en las Figs. 3a y 3b, incluyendo placas de arfada interiores (P_i) en la zona donde cada par de elementos de unión (B) se unen a una columna (C_v , C_L) y placas de arfada exteriores (P_E) de forma hexagonal similar que sobresalen de las columnas de vértice (C_v) y dotadas de una discontinuidad para permitir el paso de una línea de fondeo de la plataforma (1).

30

35

La disposición de la Fig. 4c es similar a la de la Fig. 4a, aunque con unos refuerzos diagonales

en forma de escuadra en las zonas de conexión entre los elementos de unión (B) y las columnas (C_V , C_L). La configuración de la Fig. 4d es similar a la de la Fig. 4c, aunque los refuerzos diagonales están formados por barras inclinadas. La Fig. 4e muestra una configuración donde los elementos de unión son celosías que comprenden dos barras
5 paralelas que conectan las columnas respectivamente en sendos planos situados cerca del extremo inferior y del extremo superior de las columnas.

Las Figs. 5a-5f muestra otro conjunto de diferentes configuraciones de plataforma (1) según la invención en lo que respecta a las placas de arfada (P_I , P_E) y a la sección transversal de los
10 elementos de unión (B). Como se puede apreciar en estas figuras, es posible combinar placas de arfada interiores (P_I) que no sobresalen de la planta de la plataforma (1), como las mostradas en las Figs. 2a y 2b, y placas de arfada exteriores (P_E) que sobresalen de la misma, como las mostradas en las Figs. 3 y 4, de acuerdo con diferentes configuraciones. También es posible utilizar elementos de unión (B) no cilíndricos, como por ejemplo elementos de unión
15 de sección transversal cuadrada o en forma de H o doble T.

Por último, la Fig. 6 muestra el aspecto de un aerogenerador (A) soportado por la plataforma (1) de la invención ya instalado en su posición final.