UN SISTEMA DE CONEXIÓN PARA UN AEROGENERADOR MARINO FLOTANTE ORIENTABLE CON EL VIENTO, UN SISTEMA DE AEROGENERADOR MARINO FLOTANTE Y UN SISTEMA INTERCONECTADO

CAMPO TÉCNICO

La presente invención se refiere a un sistema de conexión para conectar una estructura de soporte flotante marina orientable con el viento de un aerogenerador a un sistema de amarre preinstalado. La invención se refiere además a un sistema de aerogenerador marino flotante FOWT que comprende una estructura de soporte flotante marina orientable con el viento de un aerogenerador, un sistema de amarre preinstalado y un sistema de conexión configurado para conectar la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento del aerogenerador al sistema de amarre preinstalado. La invención también se refiere a un sistema interconectado que comprende un sistema de aerogenerador marino flotante FOWT conectado a una pluralidad de elementos eléctricos externos.

ESTADO DE LA TÉCNICA

La invención pertenece al campo de las estructuras marinas flotantes y más específicamente al campo de los aerogeneradores marinos flotantes, pero podría ser de aplicación a los campos de los convertidores de energía undimotriz y las turbinas de corrientes de marea. Se han explorado diversas soluciones del estado de la técnica en este ámbito, con el objetivo de mejorar la facilidad de instalación y la funcionalidad de los sistemas FOWT. La siguiente sinopsis destaca algunas de estas soluciones del estado de la técnica junto con sus desventajas asociadas.

Los sistemas tradicionales de aerogeneradores marinos flotantes (FOWT) del estado de la técnica disponen de un sistema de amarre de mantenimiento de posición que proporciona suficiente estabilidad en todos los grados de libertad para permitir el funcionamiento estable de una góndola de aerogenerador de eje horizontal (HAWT) montada en la parte superior. El HAWT tiene un sistema activo de orientación que mantiene el eje del rotor de la turbina orientado hacia la dirección del viento incidente, para maximizar la producción de energía. Esto es equivalente a lo que se hace con los aerogeneradores de cimentación fija, en mar abierto y en mar abierto. En estas condiciones, los cables eléctricos submarinos de interconexión del parque (que generalmente operan a una tensión entre 20 kV y 66 kV, pero está previsto que alcancen tensiones aún más altas en el futuro) que típicamente conectan cada FOWT a una red eléctrica se encaminan hacia la estructura de soporte flotante del FOWT usando un tubo en I o un tubo en J que lleva el cable (o cables) al interior del casco. Una vez dentro del casco, estos cables se conectan a una aparamenta. Si varios FOWTs están conectados en cadena para optimizar la disposición del parque, dos o incluso tres cables

pueden estar conectándose a la aparamenta, y típicamente un cable saldrá de la aparamenta hacia arriba hacia un transformador de tensión, y de ahí al convertidor del aerogenerador.

Otro enfoque en el estado de la técnica involucra una clase de FOWTs en la que toda la estructura de soporte flotante puede orientarse con el viento para alinearse con el viento, las olas y las corrientes incidentes. Para este tipo de FOWT, la disposición convencional ya no es válida porque se necesita una forma de acomodar el movimiento de orientación sin restricciones del flotador sin dañar el cable eléctrico. La mayoría de las soluciones propuestas incluyen alguna variación de un sistema de rodamiento de orientación más un conector eléctrico giratorio externo (es decir, que no es una parte integral del sistema de conexión, sino que está configurado como un elemento externo a la estructura de soporte flotante) que a veces utiliza una simple caja de conexiones como elemento de conexión para los cables submarinos. En algunos diseños, la potencia eléctrica combinada de potencialmente 5 o 6 sistemas FOWT puede estar pasando a través del conector eléctrico giratorio, por lo que un fallo de uno de estos sistemas puede dejar varias unidades FOWT fuera de servicio durante un tiempo prolongado hasta que el problema pueda ser reparado, lo que en el peor de los casos requiere remolcar un FOWT a tierra, lo que entonces puede dejar también las unidades FOWT aguas abajo desconectadas durante un tiempo prolongado, incapaces de producir electricidad. Adicionalmente, los anillos deslizantes compactos de alta tensión que operan a 66 kV o más son una tecnología relativamente nueva con una complejidad significativa y potenciales problemas de fiabilidad (que se verían exacerbados por tener que operar por debajo del nivel del agua). Es posible tener una aparamenta directamente como punto de conexión para el cable submarino de modo que al menos el anillo deslizante en sí esté eléctricamente protegido, pero entonces la propia aparamenta puede convertirse en el punto débil de fiabilidad, y nuevamente encontrarse en una posición inconveniente para el mantenimiento, hasta el punto de que la sustitución de una aparamenta averiada puede ser muy compleja, si es que es posible.

En el estado de la técnica relacionado con los aerogeneradores marinos orientables con el viento, un desafío crítico que permanece subóptimamente resuelto es la refrigeración eficiente del transformador (p. ej., transformadores de tensión), cuando están dispuestos en la zona de conexión entre una estructura de soporte flotante marina orientable con el viento con un aerogenerador y un sistema de amarre preinstalado. Los transformadores son componentes de los sistemas de aerogeneradores marinos que son responsables de convertir una potencia eléctrica generada para ser transmitida a través de cables submarinos. Sin embargo, el entorno marino hostil y corrosivo presenta desafíos únicos para mantener la temperatura de funcionamiento óptima de estos transformadores.

Dadas las desventajas inherentes asociadas con estas soluciones del estado de la técnica, persiste una necesidad evidente de un sistema de conexión mejorado que aborde estos desafíos, a la vez

que proporcione una reducción de la complejidad estructural de los sistemas de conexión, una accesibilidad mejorada de las partes sujetas a operaciones de mantenimiento, así como una mejora en la fiabilidad y robustez del sistema de conexión global en el contexto de las configuraciones de sistemas FOWT.

RESUMEN DE LA INVENCIÓN

La presente invención tiene como objetivo proporcionar un sistema de conexión que elimine los problemas mencionados anteriormente, reduciendo la complejidad y mejorando enormemente la fiabilidad y la capacidad de mantenimiento del sistema/parque FOWT.

Un primer aspecto de la invención se refiere a un sistema de conexión para conectar una estructura de soporte flotante marina orientable con el viento de un aerogenerador a un sistema de amarre preinstalado (también denominado estructura de amarre preinstalada). Un sistema de amarre preinstalado, en el contexto de los aerogeneradores marinos, es un conjunto de anclas, cadenas y otros componentes que se instalan en el lecho marino antes del despliegue de la estructura del aerogenerador. Este sistema se utiliza para asegurar y estabilizar los aerogeneradores marinos flotantes en sus ubicaciones designadas, permitiéndoles generar electricidad de manera eficiente y segura, incluso en entornos de aguas profundas. Un ejemplo no limitativo de sistema de amarre preinstalado está representado por las plataformas de patas tensadas TLP, en las que una pluralidad de líneas de amarre (p. ej., tres o más) están tensadas para proporcionar la estabilidad y el soporte necesarios para la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento de un aerogenerador, permaneciendo de este modo la TLP configurada en una posición estática o cuasiestática. Un tensado adecuado garantiza que el aerogenerador permanezca en su posición prevista y pueda resistir las fuerzas dinámicas ejercidas por el entorno marino. No obstante, el sistema de amarre preinstalado también es compatible con otras configuraciones, como con una configuración catenaria.

La estructura de soporte flotante marina orientable con el viento según la invención puede comprender uno o más aerogeneradores y puede estar configurada según una pluralidad de configuraciones. En una configuración preferida, la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento comprende una columna pivote configurada para ser conectada al sistema de amarre preinstalado por medio de un sistema de conexión según el primer aspecto de la invención. La estructura de soporte flotante marina orientable con el viento puede estar configurada como una base flotante poligonal (p. ej., triangular) que comprende una pluralidad de vértices (p. ej., tres vértices en el caso de la configuración triangular), en donde la columna pivote puede estar dispuesta en uno de los vértices.

El sistema de conexión del primer aspecto de la invención comprende un elemento torreta y un conector de anillos deslizantes. El elemento torreta comprende: una base, un elemento de soporte, un cuerpo columnar y un sistema de rodamiento. La base y el cuerpo columnar pueden estar conectados de manera que no exista rotación relativa entre ellos (es decir, pueden estar conectados de forma rígida/solidaria entre sí).

La base está configurada para estar conectada de forma solidaria (también referido como «estáticamente» o «rígidamente», es decir, de manera que la base -y preferiblemente también el resto del elemento torreta- esté configurada para permanecer estática con respecto al sistema de amarre preinstalado) al sistema de amarre preinstalado. El término solidaria/estáticamente debe interpretarse en el contexto de la presente invención como una conexión entre la base y el sistema de amarre preinstalado configurada para impedir rotaciones relativas entre la base y el sistema de amarre preinstalado (p. ej., como resultado de cualquier rotación relativa de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento de un aerogenerador con respecto al sistema de amarre preinstalado). Esta conexión solidaria también es compatible con la provisión de uno o más elementos elásticos (opcionales) en la conexión entre la base y el sistema de amarre preinstalado para mejorar el ajuste entre estos dos elementos, y también con la configuración de la base para ser conectada selectivamente a y desconectada del sistema de amarre preinstalado. A este respecto, la base del elemento torreta puede estar configurada para interactuar selectivamente con una parte de conexión del sistema de amarre preinstalado, de manera que la base pueda estar configurada para ser conectada selectivamente a y desconectada de la parte de conexión del sistema de amarre preinstalado.

El elemento de soporte comprende una aparamenta soportada por el elemento de soporte, en donde la aparamenta está configurada para ser conectada a uno o más cables submarinos y para recibir mediante conexión por cable una potencia generada por un generador del aerogenerador. El elemento de soporte puede comprender (o puede estar configurado como) una mesa o plataforma sobre la cual la aparamenta puede estar dispuesta.

Los uno o más cables submarinos son externos al sistema de conexión (también denominado dispositivo de conexión). Estos cables submarinos pueden usarse para transmitir la potencia eléctrica generada por los aerogeneradores marinos a tierra o a subestaciones, para interconectar múltiples aerogeneradores situados a distancia entre sí o para importar energía desde tierra firme a las instalaciones marinas, especialmente en los casos en que se necesita almacenamiento de energía o energía de respaldo. Así, al menos algunos de estos cables submarinos están configurados para transportar la electricidad producida por los aerogeneradores, permitiendo que sea integrada en la red eléctrica para su distribución. En consecuencia, los uno o más cables submarinos configurados para ser conectados a la aparamenta pueden comprender al menos un

cable submarino configurado para recibir (p. ej., a través de una conexión indirecta con una(s) interfaz(ces) de conexión intermedia(s) — p. ej., pasando a través del conector de anillos deslizantes) la potencia generada por el generador del al menos un aerogenerador de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento (este cable se denomina a menudo cable de exportación y puede comprender tres fases, cada una con un terminal respectivo). Los uno o más cables submarinos también pueden comprender otros cables submarinos para la interconexión con otros elementos eléctricos externos tales como subestaciones u otros aerogeneradores.

La aparamenta puede estar configurada para proporcionar protección de alta tensión a todo el sistema FOWT que comprende el sistema de conexión según el primer aspecto de la invención. Además, la aparamenta puede estar configurada para proporcionar la protección manteniendo la continuidad eléctrica a cualquier unidad eléctrica externa aguas abajo conectada a la aparamenta por medio de los uno o más cables submarinos. Así, en el caso de tener, por ejemplo, uno o más sistemas FOWT externos conectados a la aparamenta, entonces incluso cuando el aerogenerador del sistema FOWT en el que está instalado el sistema de conexión de la primera invención tiene que ser revisado para mantenimiento, la aparamenta está configurada para asegurar dicha continuidad eléctrica para los sistemas FOWT externos (p. ej., conectados en serie entre sí por medio de la aparamenta del sistema de conexión).

El cuerpo columnar está configurado para extenderse (p. ej., longitudinalmente a lo largo de una dirección vertical cuando el elemento torreta está en una posición operativa, es decir, cuando el elemento torreta está dispuesto para conectar efectivamente la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento al sistema de amarre preinstalado) desde la base hasta el elemento de soporte. El cuerpo columnar comprende un pasaje interior configurado para alojar los uno o más cables eléctricos submarinos destinados a ser conectados a la aparamenta del elemento de soporte. Preferiblemente, el cuerpo columnar puede estar configurado para estar conectado de forma solidaria a la base del elemento torreta, de manera que el cuerpo columnar permanezca en una posición estática con respecto a la base del elemento torreta.

El sistema de rodamiento está configurado para conectar el elemento torreta (preferiblemente el cuerpo columnar del elemento torreta) a la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento, de manera que la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento sea giratoria con respecto al sistema de amarre preinstalado para alinear el aerogenerador con un viento incidente.

Debe señalarse que el elemento de soporte puede estar configurado como una parte integral del cuerpo columnar o puede estar configurado para ser conectable al cuerpo columnar. El elemento de soporte puede estar conectado al cuerpo columnar, p. ej., conectado de forma solidaria, de

manera que el elemento de soporte permanezca en una misma posición predeterminada (es decir, estática) con respecto al cuerpo columnar cuando la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento gira con respecto al sistema de amarre preinstalado (es decir, el elemento de soporte es estático con respecto al sistema de amarre preinstalado).

Un problema relacionado con los sistemas de rodamiento en el contexto de los aerogeneradores marinos es que las fricciones indeseadas en el sistema de rodamiento pueden acabar causando un fenómeno de «adherencia-deslizamiento», que se refiere a un tipo de movimiento inducido por fricción que puede ocurrir en el sistema de rodamiento. La adherencia-deslizamiento es un fenómeno que ocurre cuando dos superficies están en contacto, y tienden a adherirse una a la otra debido a la fricción. Cuando una fuerza externa, tal como un viento incidente, intenta superar esta fricción estática y mover una superficie con respecto a la otra (p. ej., la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento con respecto al sistema de amarre preinstalado), las superficies «deslizan» repentinamente y pueden moverse de manera brusca o discontinua. Este movimiento brusco puede resultar en vibraciones, ruido, y un aumento del desgaste de los componentes del sistema de rodamiento.

Para resolver este problema, el elemento de soporte puede comprender además un sistema de disipación de energía que comprende uno o más elementos muelle-amortiguador (p. ej., elastómeros y/o elementos amortiguadores), en donde el elemento de soporte puede estar conectado al cuerpo columnar por medio del sistema de disipación de energía, en donde el sistema de disipación de energía puede estar configurado como un filtro de vibración torsional mecánica entre el cuerpo columnar y el elemento de soporte. Así, el sistema de disipación de energía puede interpretarse como un dispositivo configurado para filtrar vibraciones torsionales mecánicas (p. ej., vibraciones o aceleraciones resultantes de un fenómeno de adherencia-deslizamiento en el sistema de rodamiento) entre el elemento torreta (es decir, el cuerpo columnar del elemento torreta) y la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento para proteger el elemento de soporte (es decir, de manera que dichas aceleraciones/vibraciones torsionales sean minimizadas antes de alcanzar el elemento de soporte).

En consecuencia, el sistema de disipación de energía puede comprender uno o más elementos muelle-amortiguador y puede estar configurado de manera que, cuando la rotación de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento con respecto al sistema de amarre preinstalado provoca que una vibración torsional mecánica sea transmitida al cuerpo columnar (p. ej., como resultado de un fenómeno de adherencia-deslizamiento) por el sistema de rodamiento, entonces la vibración torsional mecánica provoca que los uno o más elementos muelle-amortiguador se deformen momentáneamente absorbiendo al menos una parte de dicha vibración torsional mecánica, reduciendo de este modo la vibración torsional mecánica recibida por el elemento de

soporte. Tras dicha deformación elástica momentánea, los uno o más elementos muelle-amortiguador recuperan su forma original de manera que el elemento de soporte recupera su posición relativa predeterminada inicial con respecto al cuerpo columnar.

Por lo tanto, el sistema de disipación de energía puede estar configurado para conectar el elemento de soporte al cuerpo columnar de manera que ambos elementos permanezcan en una misma posición estática uno con respecto al otro (p. ej., cuando la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento gira con respecto al sistema de amarre preinstalado), pero en donde los uno o más elementos muelle-amortiguador proporcionan una deformación torsional elástica (p. ej., temporal) en la conexión entre el elemento de soporte y el cuerpo columnar en respuesta a la vibración torsional mecánica causada por la rotación de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento con respecto al sistema de amarre preinstalado. Los uno o más elementos muelle-amortiguador pueden estar configurados para tener una deformación elástica que sea proporcional a la vibración torsional mecánica recibida por el cuerpo columnar. En esta configuración, los elementos muelle-amortiguador pueden estar configurados para tener una baja deformación cuando la aceleración torsional del cuerpo columnar es baja, pero se produciría una deformación significativa y absorción de energía en los elementos muelle-amortiguador cuando el cuerpo columnar experimenta altas vibraciones torsionales mecánicas (p. ej., altas aceleraciones torsionales), protegiendo de este modo cualquier equipo montado en el elemento de soporte, y recuperando su posición relativa predeterminada inicial con respecto al cuerpo columnar en ausencia de aceleración torsional en el mismo. Todas las configuraciones anteriormente descritas para el elemento de soporte son ampliamente compatibles con todas las realizaciones de la invención.

El conector de anillos deslizantes comprende una primera parte de conexión y una segunda parte de conexión (p. ej., las dos partes pueden estar configuradas para deslizar una con respecto a la otra mientras mantienen el contacto eléctrico entre ellas; p. ej., estando cada parte de conexión configurada respectivamente como un anillo deslizante, ambos anillos deslizantes en contacto entre sí y permitiéndoseles deslizar uno con respecto al otro). La primera parte de conexión está configurada para ser conectada a uno o más cables configurados para transportar la potencia generada por el generador del aerogenerador, en donde estos cables pueden estar configurados para ser conectados directamente (es decir, sin elementos intermedios) o indirectamente (es decir, con elementos intermedios, tales como un transformador de tensión) al generador del aerogenerador (debe señalarse que la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento puede comprender una pluralidad de aerogeneradores cada uno de los cuales puede comprender un generador respectivo, de manera que el conector de anillos deslizantes también puede estar configurado para ser conectado a todos los generadores de la pluralidad de aerogeneradores). La

segunda parte de conexión está configurada para ser conectada por cable a la aparamenta (es decir, de manera que la aparamenta reciba la potencia generada por el generador del aerogenerador (p. ej., para luego exportarla a al menos uno de los uno o más cables submarinos). La primera parte también está configurada para ser giratoria con respecto al sistema de amarre preinstalado conjuntamente con la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento, mientras que la segunda parte de conexión está configurada para permanecer en una misma posición con respecto al sistema de amarre preinstalado. Además, el conector de anillos deslizantes está configurado de manera que la primera parte de conexión y la segunda parte de conexión están en contacto eléctrico. Así, el contacto eléctrico entre la primera parte de conexión y la segunda parte de conexión se mantiene cuando no hay rotación relativa entre dichas partes, pero también incluso cuando hay una rotación relativa entre dichas primera y segunda partes de conexión. Preferiblemente, el conector de anillos deslizantes está configurado de manera que la rotación relativa entre la primera y la segunda partes de conexión sea relativa al mismo eje longitudinal alrededor del cual el sistema de rodamiento permite una rotación relativa entre la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento y el sistema de amarre preinstalado (es decir, el conector de anillos deslizantes puede estar alineado con el elemento torreta).

El sistema de conexión puede estar además configurado de manera que, cuando el sistema de conexión está conectando efectivamente (es decir, cuando el sistema de conexión está en una posición operativa) la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento del aerogenerador al sistema de amarre preinstalado, el elemento de soporte está configurado para estar posicionado/dispuesto sustancialmente por encima de un nivel del agua sobre el cual la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento está dispuesta para flotar. Esto impide que el equipo eléctrico entre en contacto con el agua en caso de fugas. El sistema de rodamiento puede estar configurado para ser estanco, sin embargo es difícil garantizar que esta característica se mantenga durante toda la vida útil del sistema de conexión. Preferiblemente, el conector de anillos deslizantes también puede estar configurado para estar dispuesto por encima de dicho nivel del agua cuando el sistema de conexión está dispuesto en su posición operativa. Más preferiblemente, el conector de anillos deslizantes puede estar configurado de manera que la distancia desde el conector de anillos deslizantes hasta el nivel del agua sea mayor que la distancia desde el elemento de soporte hasta el nivel del agua (es decir, el conector de anillos deslizantes puede estar configurado para estar dispuesto más alejado del nivel del agua que el elemento de soporte; p. ej., el conector de anillos deslizantes puede estar dispuesto por encima de la ubicación del elemento de soporte cuando el sistema de conexión está dispuesto de manera que el elemento torreta está dispuesto verticalmente).

En algunas realizaciones, cuando el sistema de conexión está dispuesto conectando efectivamente la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento del aerogenerador al sistema de amarre preinstalado (es decir, cuando el sistema de conexión está en su posición operativa), el elemento torreta puede estar dispuesto en una posición vertical, de manera que el elemento torreta se extiende verticalmente desde la base hasta el elemento de soporte (p. ej., estando el cuerpo columnar también dispuesto verticalmente). Preferiblemente, el cuerpo columnar puede extenderse al menos parcialmente entre la base y el elemento de soporte; y/o el conector de anillos deslizantes puede estar configurado para estar dispuesto en una posición situada por encima del elemento torreta en una dirección vertical.

El conector de anillos deslizantes puede estar configurado para ser desplazable lateralmente desde su posición de manera que el elemento de soporte sea accesible desde arriba (es decir, desde la parte superior), de modo que cualquier dispositivo/elemento (p. ej., la aparamenta y/o el transformador de tensión) que esté dispuesto en el elemento de soporte pueda ser retirado mediante equipo de elevación a bordo o externo, tal como una grúa de puerto o de buque, de modo que puedan ser sustituidos en caso de avería.

El elemento de soporte puede comprender (o puede estar configurado como) al menos una plataforma transitable configurada para soportar la aparamenta. Preferiblemente, la al menos una plataforma transitable puede estar configurada para estar al menos parcialmente rodeada por una plataforma transitable exterior de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento (p. ej., la plataforma transitable exterior puede estar integrada en la columna pivote de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento) de manera que se permita a una persona caminar entre ellas. La plataforma exterior puede estar configurada de manera que, cuando la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento gira con respecto al sistema de amarre preinstalado para alinear el aerogenerador con un viento incidente, la plataforma exterior gira conjuntamente con la estructura de soporte marina con respecto al sistema de amarre preinstalado y a la plataforma transitable del elemento de soporte.

El elemento torreta puede comprender además una caja de conexiones configurada para conectar los uno o más cables submarinos a la aparamenta, en donde preferiblemente la caja de conexiones puede estar dispuesta en el elemento de soporte, p. ej., cerca de la aparamenta (p. ej., la caja de conexiones puede estar configurada para estar preconectada a la aparamenta). El hecho de tener una caja de conexiones (p. ej., como interfaz) para conectar los uno o más cables submarinos (p. ej., de manera que puedan estar indirectamente conectados a la aparamenta) facilita la operación de conectar dichos cables, dado que los conectores de la propia aparamenta podrían no estar en una posición conveniente y los cables submarinos no son fáciles de manejar y es mejor mantenerlos relativamente rectos. Esto es especialmente ventajoso cuando el elemento de soporte comprende

al menos una plataforma transitable, como se ha descrito anteriormente, ya que es más fácil para un operario (es decir, un trabajador humano) establecer dicha conexión.

Según algunas realizaciones, la aparamenta puede estar configurada (p. ej., dimensionada) para recibir al menos un cable submarino de cada uno de una pluralidad de elementos eléctricos externos (es decir, externos al sistema de conexión, a la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento, al sistema de amarre preinstalado — es decir, externos al sistema de aerogenerador marino flotante FOWT respectivo). Además, la aparamenta puede estar configurada para mantener la continuidad eléctrica a cualquier elemento/unidad eléctrica externa aguas abajo conectada a la aparamenta por medio de los cables submarinos respectivos (de manera que esta continuidad pueda mantenerse incluso cuando se realiza el mantenimiento/se desconecta para fines de mantenimiento el al menos un aerogenerador de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento). La pluralidad de elementos eléctricos externos puede comprender: uno o más aerogeneradores externos (p. ej., dos); y/o una o más subestaciones eléctricas externas; y/o un nodo de conexión eléctrica externo; y/o uno o más elementos consumidores de electricidad externos. En algunas realizaciones, la aparamenta puede estar configurada como un nodo de conexión (p. ej., un nodo de conexión común) entre dichos diferentes elementos eléctricos externos. Más particularmente, la pluralidad de elementos eléctricos externos puede comprender cualquier combinación de dos elementos eléctricos externos, a saber: al menos un aerogenerador marino flotante externo (también denominado aerogenerador externo) y al menos una subestación eléctrica; al menos un aerogenerador marino flotante externo y al menos un nodo de conexión eléctrica; al menos un aerogenerador marino flotante externo y al menos un elemento consumidor de electricidad; al menos una subestación eléctrica y al menos un nodo de conexión eléctrica externo; al menos una subestación eléctrica y al menos un elemento consumidor de electricidad; o al menos un nodo de conexión eléctrica y al menos un elemento consumidor de electricidad.

Esta configuración de la aparamenta es especialmente ventajosa para utilizar el sistema de conexión para conectar varios elementos eléctricos externos (p. ej., varios aerogeneradores externos) en una configuración «en cadena» (es decir, en una configuración en serie). En el contexto de los aerogeneradores marinos, una «conexión en cadena» se refiere típicamente a un método de conectar múltiples aerogeneradores u otros componentes eléctricos juntos de manera secuencial para formar un circuito eléctrico continuo. Este término se utiliza a menudo en el contexto de la interconexión de los sistemas eléctricos de aerogeneradores marinos dentro de un parque eólico o entre los aerogeneradores y una subestación marina (u otro(s) elemento(s) eléctrico(s) externo(s) conectado(s) a la misma).

El sistema de conexión puede comprender además un transformador de tensión configurado para adaptar la potencia generada por el generador del aerogenerador a una tensión más alta que circula

a través de los uno o más cables submarinos. Así, el transformador de tensión puede estar configurado para estar dispuesto en una posición del sistema de conexión entre el generador y la aparamenta, de manera que la aparamenta reciba la potencia generada por el generador del aerogenerador convenientemente adaptada a la tensión más alta que circula a través de los uno o más cables submarinos. Preferiblemente, el sistema de conexión comprende además una carcasa configurada para alojar el transformador de tensión. La carcasa puede estar configurada para ser hermética al aire y/o hermética al agua, es decir, puede estar configurada como una carcasa protectora contra la intemperie.

Según algunas realizaciones, el transformador de tensión puede estar dispuesto en la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento de manera que el transformador de tensión pueda estar configurado para ser giratorio conjuntamente con la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento con respecto al sistema de amarre preinstalado. Además, el transformador de tensión también puede estar configurado para recibir (p. ej., mediante conexión por cable) la potencia generada por el generador del aerogenerador, para adaptar su tensión, y para proporcionar (p. ej., mediante conexión por cable) dicha potencia con una tensión adaptada a la primera parte de conexión del conector de anillos deslizantes. En otras palabras, el transformador de tensión puede estar configurado para ser conectado entre el generador del aerogenerador y la primera parte de conexión del conector de anillos deslizantes, de manera que la aparamenta pueda estar conectada por cable a la segunda parte de conexión del conector de anillos deslizantes para recibir la potencia adaptada.

En otras realizaciones, el transformador de tensión puede estar dispuesto en el elemento torreta (preferiblemente, en el elemento de soporte del elemento torreta — es decir, junto con la aparamenta) y puede estar conectado por cable entre la segunda parte de conexión del conector de anillos deslizantes y la aparamenta, de manera que la conexión por cable de la aparamenta a la segunda parte de conexión del conector de anillos deslizantes se proporcione/pase a través del transformador de tensión. Tener el transformador de tensión en el elemento de soporte (es decir, en el elemento torreta) significa que el conector de anillos deslizantes operaría a una tensión mucho más baja. Dado que los anillos deslizantes en el rango de 400 a 10 kV o 20 kV (el rango típico de tensiones de generador utilizadas para los aerogeneradores) son equipos muy estándar, bien probados, y también mucho más pequeños en tamaño debido a requisitos de aislamiento eléctrico mucho menores, esto proporciona una gran ventaja en términos de fiabilidad y manejo del equipo.

La carcasa puede estar configurada como una carcasa refrigerada por fluido que comprende una pluralidad de conductos, comprendiendo dicha pluralidad de conductos una pluralidad de conductos de fluido (configurados para permitir la circulación de fluido a través de la carcasa para la refrigeración del transformador de tensión) y al menos un conducto adicional (p. ej., un conducto

para cables) para cables del transformador de tensión para la conexión por cable del transformador de tensión. Los cables del transformador de tensión se refieren a cualquier cable eléctrico que conecte el transformador con cualquier otro elemento del sistema de conexión (p. ej., aquellos cables que conectan el transformador de tensión con la aparamenta y con la segunda parte de conexión del conector de anillos deslizantes o con el conjunto de acoplamientos giratorios apilados descrito a continuación). Los conductos de fluido pueden comprender al menos una entrada de fluido y al menos una salida de fluido. Nótese que en el caso de un transformador refrigerado por líquido (a diferencia de uno refrigerado por aire) puede no ser necesario tener un recinto de carcasa adicional para el transformador, dado que la carcasa del transformador ya incluiría la funcionalidad proporcionada por la carcasa en términos de facilitar y contener el flujo de fluido refrigerante a través de las superficies de intercambio de calor del transformador.

Preferiblemente, el sistema de conexión puede comprender además un conjunto de acoplamientos giratorios apilados. El conjunto de acoplamientos giratorios apilados puede estar configurado para estar conectado como un elemento superior del sistema de conexión (p. ej., junto con el conector de anillos deslizantes). Así, el conjunto de acoplamientos giratorios apilados puede estar conectado al elemento de soporte o a cualquier elemento dispuesto en el elemento de soporte (p. ej., el transformador de tensión y/o la carcasa del transformador de tensión). El conjunto de acoplamientos giratorios apilados puede comprender una pluralidad de secciones giratorias apiladas unas sobre otras, en donde la pluralidad de secciones giratorias están configuradas de manera que, cuando la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento gira con respecto al sistema de amarre preinstalado para alinear el aerogenerador con un viento incidente, las secciones giratorias giran unas con respecto a otras (p. ej., con rotación ilimitada) para proporcionar un paso de fluido (p. ej., un paso continuo; también denominado ruta/canal de fluido) para permitir que un fluido refrigerante (p. ej., un gas, tal como aire, o un líquido, tal como agua) para la refrigeración del transformador de tensión pase a través del conjunto de acoplamientos giratorios apilados (p. ej., para circular desde un sistema de refrigeración por fluido hacia la carcasa refrigerada por fluido).

En algunas realizaciones, el sistema de conexión puede estar configurado de manera que el fluido refrigerante que pasa a través del conjunto de acoplamientos giratorios apilados se haga circular luego directamente a través de la carcasa refrigerada por fluido del transformador de tensión. En otras realizaciones, el sistema de conexión puede estar configurado de manera que un primer fluido refrigerante circule a través del conjunto de acoplamientos giratorios apilados y un segundo fluido refrigerante circule a través de la carcasa refrigerada por fluido, de manera que el sistema de conexión comprenda además un intercambiador de calor intermedio (p. ej., que puede considerarse como un sistema de refrigeración por fluido) configurado para transmitir calor entre el segundo y el primer fluidos refrigerantes.

El sistema de refrigeración por fluido (es decir, el dispositivo desde el cual se suministra el fluido refrigerante que pasa a través del conjunto de acoplamientos giratorios apilados) puede estar configurado como un sistema intercambiador de calor general (p. ej., dispuesto en la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento). En algunas realizaciones, el sistema de refrigeración por fluido puede estar configurado para renovar el aire en el interior de la carcasa del transformador de tensión por medio de un intercambio con el exterior (p. ej., comprendiendo el sistema de refrigeración por fluido un sistema de aire forzado, tal como uno o más ventiladores configurados para provocar una circulación de aire entre el interior de la carcasa y un exterior — es decir, aire procedente del exterior de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 y del exterior del sistema de amarre preinstalado 300).

Preferiblemente, las secciones giratorias también pueden estar configuradas para girar unas con respecto a otras para proporcionar adicionalmente un paso para al menos una parte de los cables del transformador de tensión configurados para recibir mediante conexión por cable la potencia generada por el generador del aerogenerador (p. ej., desde la segunda parte de conexión del conector de anillos deslizantes).

El conjunto de acoplamientos giratorios apilados puede estar configurado para ser sustancialmente coaxial con el sistema de rodamiento del elemento torreta y con el conector de anillos deslizantes (p. ej., con un eje central del elemento torreta, que es también un eje central del cuerpo columnar). Esto facilita el mantenimiento de estas unidades. En algunos casos, esto también permitirá el tendido de los cables eléctricos submarinos, si esto se realiza utilizando un cabrestante que puede tirar convenientemente desde una cubierta superior. El conjunto de acoplamientos giratorios apilados y/o el conector de anillos deslizantes pueden estar configurados para ser desplazables lateralmente (fuera del eje central) mediante un sistema estructural auxiliar adecuado. En consecuencia, el conjunto de acoplamientos giratorios apilados y/o el conector de anillos deslizantes pueden estar configurados para interactuar con un sistema estructural auxiliar del sistema de conexión y/o de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento, de manera que el conjunto de acoplamientos giratorios apilados y/o el conector de anillos deslizantes sean desplazables fuera del eje central del cuerpo columnar. Preferiblemente, el sistema estructural auxiliar puede comprender (o puede estar configurado como) uno o más raíles y/o una o más bisagras y/o una o más articulaciones flexibles configuradas para interactuar con el conjunto de acoplamientos giratorios apilados y/o con el conector de anillos deslizantes. Así, el elemento de soporte puede estar configurado de manera que, cuando el conjunto de acoplamientos giratorios apilados y/o el conector de anillos deslizantes se desplazan lateralmente, el elemento de soporte sea accesible desde la parte superior, de modo que cualquier dispositivo/elemento (p. ej., la aparamenta y/o el transformador de tensión) que esté dispuesto en el elemento de soporte pueda

ser retirado mediante equipo de elevación a bordo o externo, tal como una grúa de puerto o de buque, de modo que puedan ser sustituidos en caso de avería. Debe señalarse que en aquellas realizaciones que no tienen ningún conjunto de acoplamientos giratorios apilados, el conector de anillos deslizantes puede estar configurado para ser desplazable lateralmente fuera del eje central del cuerpo columnar según la descripción proporcionada. En aquellas realizaciones en las que tanto el conjunto de acoplamientos giratorios apilados como el conector de anillos deslizantes son desplazables lateralmente, el sistema estructural auxiliar puede estar configurado como un único sistema común para ambos dispositivos.

El conector de anillos deslizantes puede estar preferiblemente configurado como una parte integral del conjunto de acoplamientos giratorios apilados. Sin embargo, en algunas realizaciones, el conector de anillos deslizantes y el conjunto de acoplamientos giratorios apilados pueden estar configurados como elementos independientes, ambos dispuestos por encima de la posición del elemento de soporte.

Un segundo aspecto de la invención se refiere a un sistema de aerogenerador marino flotante FOWT que comprende: un sistema de amarre preinstalado, una estructura de soporte flotante marina orientable con el viento que comprende al menos un aerogenerador, uno o más cables submarinos, y un sistema de conexión según cualquiera de las realizaciones anteriormente descritas, en donde el sistema de conexión está configurado para conectar la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento al sistema de amarre preinstalado, de manera que la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento sea giratoria con respecto al sistema de amarre preinstalado para alinear el aerogenerador con un viento incidente.

El sistema de amarre preinstalado puede estar configurado como una plataforma de patas tensadas TLP, en la que una pluralidad de líneas de amarre (p. ej., tres o más) están tensadas para proporcionar la estabilidad y el soporte necesarios para la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento de un aerogenerador, permaneciendo de este modo la TLP configurada en una posición estática o cuasiestática. En realizaciones preferidas.

La estructura de soporte flotante marina orientable con el viento puede comprender uno o más aerogeneradores y puede estar configurada según una pluralidad de configuraciones. En una configuración preferida, la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento comprende una columna pivote configurada para ser conectada al sistema de amarre preinstalado por medio del sistema de conexión según el primer aspecto de la invención. Así, la columna pivote puede estar configurada para tener un espacio interior para recibir el sistema de conexión. La estructura de soporte flotante marina orientable con el viento puede estar configurada como una base flotante poligonal (p. ej., triangular) que comprende una pluralidad de vértices (p. ej., tres vértices en el caso

de la configuración triangular), en donde la columna pivote puede estar dispuesta en uno de los vértices.

Los uno o más cables submarinos pueden estar configurados para ser conectados a la aparamenta y pueden comprender al menos un cable submarino para recibir la potencia generada por el generador del al menos un aerogenerador de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento (este cable puede comprender tres fases, cada una con un terminal respectivo). Los uno o más cables submarinos también pueden comprender otros cables submarinos para la interconexión con otros elementos eléctricos externos tales como subestaciones u otros aerogeneradores.

El sistema de conexión según el primer aspecto de la invención está configurado para proporcionar tanto una conexión mecánica como una conexión eléctrica entre la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento y el sistema de amarre preinstalado, según la descripción proporcionada anteriormente para el primer aspecto de la invención.

El elemento de soporte puede comprender (o puede estar configurado como) al menos una plataforma transitable configurada para soportar la aparamenta del sistema de conexión. Preferiblemente, la al menos una plataforma transitable puede estar configurada para estar al menos parcialmente rodeada por una plataforma transitable exterior de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento (p. ej., la plataforma transitable exterior puede estar integrada en la columna pivote de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento) de manera que se permita a una persona caminar entre ellas. Así, la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento puede comprender una plataforma exterior configurada de manera que, cuando la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento gira con respecto al sistema de amarre preinstalado para alinear el aerogenerador con un viento incidente, la plataforma exterior gira conjuntamente con la estructura de soporte marina con respecto al sistema de amarre preinstalado y a la plataforma transitable del elemento de soporte.

Un tercer aspecto de la invención se refiere a un sistema interconectado que comprende: un sistema de aerogenerador marino flotante FOWT según el segundo aspecto de la invención (es decir, que comprende un sistema de conexión según el primer aspecto de la invención); y una pluralidad de elementos eléctricos externos configurados para ser conectados mediante cables submarinos respectivos a la aparamenta del sistema de conexión del sistema de aerogenerador marino flotante FOWT.

La pluralidad de elementos eléctricos externos puede comprender: uno o más aerogeneradores externos (p. ej., dos); y/o una o más subestaciones eléctricas externas; y/o un nodo de conexión eléctrica externo; y/o uno o más elementos consumidores de electricidad externos. En algunas

realizaciones, la aparamenta puede estar configurada como un nodo de conexión (p. ej., un nodo de conexión común) entre dichos diferentes elementos eléctricos externos (p. ej., para conectar uno o más sistemas FOWT externos al sistema FOWT del segundo aspecto de la invención, en donde preferiblemente esta conexión puede estar configurada como una configuración «en cadena»). Más particularmente, la pluralidad de elementos eléctricos externos puede comprender cualquier combinación de dos elementos eléctricos externos según la lista de combinaciones proporcionada anteriormente.

La pluralidad de elementos eléctricos externos puede estar configurada para ser conectada en serie o en paralelo o en una combinación de ambas.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La Fig. 1 representa una vista general de un sistema genérico de aerogenerador marino flotante (FOWT) 500 según un segundo aspecto de la invención que comprende: un sistema de amarre preinstalado 300, una estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 que comprende un aerogenerador 201 y un sistema de conexión 100 según cualquiera de las realizaciones del primer aspecto de la invención.

La Fig. 2 muestra un sistema de conexión 100 del primer aspecto de la invención según una primera realización.

La Fig. 3 muestra un sistema de conexión 100 del primer aspecto de la invención según una segunda realización.

La Fig. 4 muestra un sistema de conexión 100 del primer aspecto de la invención según una tercera realización.

La Fig. 5 representa un sistema de conexión 100 del primer aspecto de la invención según una cuarta realización.

Las Figs. 6A-6C muestran tres diagramas unifilares de conexiones eléctricas de las realizaciones representadas en las Figs. 2-5.

La Fig. 7 muestra un sistema interconectado según un tercer aspecto de la invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS FIGURAS

La Fig. 1 representa una vista general de un sistema genérico de aerogenerador marino flotante (FOWT) 500 que comprende: un sistema de amarre preinstalado 300, una estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 que comprende un aerogenerador 201, y un sistema de

conexión 100 según cualquiera de las realizaciones del primer aspecto de la invención, en donde el sistema de conexión 100 está configurado para conectar la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 al sistema de amarre preinstalado 300, de manera que la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 sea giratoria con respecto al sistema de amarre preinstalado 300 para alinear el aerogenerador 201 con un viento incidente. El sistema FOWT 500 de la Fig. 1 es ampliamente compatible con cualquiera de las disposiciones mostradas en cualquiera de las Figs. 2-5 a continuación.

La Fig. 1 representa el sistema de amarre preinstalado 300 como una plataforma de patas tensadas. Sin embargo, este sistema de amarre preinstalado 300 también es compatible con otras configuraciones, como con una configuración catenaria. La estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 también es compatible con una pluralidad de configuraciones. En una realización preferida, la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 comprende un aerogenerador 201 conectado al resto de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 por medio de una estructura trípode que está conectada a una base de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200, estando dicha base configurada como una base triangular (es decir, una estructura de base triangular dispuesta horizontalmente). La estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 también puede comprender una pluralidad de aerogeneradores 201.

El sistema de conexión 100 proporciona una conexión mecánica entre la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 y el sistema de amarre preinstalado 300, pero también una conexión eléctrica entre uno o más cables submarinos 400 y la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200, de manera que una potencia generada por un generador del aerogenerador 201 puede ser transmitida fuera del sistema FOWT 500.

La estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 está configurada para flotar sobre el agua de manera que al menos una parte de dicha estructura 200 está por encima de un nivel del agua W. Con propósitos ilustrativos, la parte de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 que está configurada para ser conectada al sistema preinstalado 300 por medio del sistema de conexión 100 ha sido identificada como una columna pivote 204.

La Fig. 2 representa una primera realización del sistema de conexión 100 del primer aspecto de la invención que es compatible con el sistema FOWT de la Fig. 1. El sistema de conexión 100 de la Fig. 2 comprende un elemento torreta 1 y un conector de anillos deslizantes 6. El elemento torreta 1 comprende: una base 2, un elemento de soporte 3, un cuerpo columnar 4 y un sistema de rodamiento 5.

La base 2 está configurada para estar conectada de forma solidaria al sistema de amarre preinstalado 300, es decir, de manera que la base 2 (y por tanto el elemento torreta 1) permanece en una posición estática (o cuasiestática) con respecto al sistema de amarre preinstalado 300. Aunque no se muestra en la Fig. 1, esta conexión solidaria también es compatible con la provisión de uno o más elementos elásticos (opcionales) en la conexión entre la base 2 y el sistema de amarre preinstalado 300 para mejorar el ajuste entre estos dos elementos. Así, la base 2 de la Fig. 2 también está configurada (característica opcional) para ser conectada selectivamente a y desconectada del sistema de amarre preinstalado 300. A este respecto, la base 2 del elemento torreta 1 puede estar configurada para interactuar selectivamente con una parte de conexión 301 del sistema de amarre preinstalado 300, de manera que la base 2 pueda estar configurada para ser conectada selectivamente a y desconectada de la parte de conexión 301 del sistema de amarre preinstalado 300.

El elemento de soporte 3 comprende una aparamenta 31 soportada por el elemento de soporte 3, en donde la aparamenta 31 está configurada para ser conectada a los uno o más cables submarinos 400 y para recibir mediante conexión por cable una potencia generada por un generador del aerogenerador 201. El elemento de soporte 3 de la Fig. 2 se muestra (característica opcional) como comprendiendo (o estando configurado como) una plataforma transitable configurada para soportar la aparamenta 31.

El cuerpo columnar 4 está configurado para extenderse desde la base 2 hasta el elemento de soporte 3. El cuerpo columnar 4 comprende un pasaje interior 41 configurado para alojar los uno o más cables submarinos 400 para permitir la conexión de dichos uno o más cables submarinos 400 a la aparamenta 31 del elemento de soporte 3.

El sistema de rodamiento 5 está configurado para conectar el elemento torreta 1 (preferiblemente el cuerpo columnar 4 del elemento torreta 1) a la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200, de manera que la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 sea giratoria con respecto al sistema de amarre preinstalado 300 para alinear el aerogenerador 201 con un viento incidente. En la Fig. 2, la parte de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 que está configurada para ser conectada al elemento torreta 1 por medio del sistema de rodamiento 5 está representada como la columna pivote 204.

Aunque no es visible en la Fig. 2, el elemento de soporte 3 es compatible con una pluralidad de configuraciones. Así, el elemento de soporte 3 puede estar configurado como una parte integral del cuerpo columnar 4 o puede estar configurado para ser conectable al cuerpo columnar 4. El elemento de soporte 3 puede estar conectado al cuerpo columnar 4 de manera que el elemento de soporte 3 permanezca en una misma posición predeterminada (es decir, estática) con respecto al cuerpo

columnar 4 cuando la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 gira con respecto al sistema de amarre preinstalado 300. El elemento de soporte puede comprender además el sistema de disipación de energía que comprende uno o más elementos muelle-amortiguador descrito en el resumen de la invención.

El conector de anillos deslizantes 6 comprende una primera parte de conexión 61 y una segunda parte de conexión 62 (las dos partes pueden estar configuradas para deslizar una con respecto a la otra mientras mantienen el contacto eléctrico entre ellas). En la Fig. 2 (y también en las Figs. 3-5), el conector de anillos deslizantes se representa esquemáticamente de manera que la primera parte de conexión 61 se representa como un primer anillo deslizante y la segunda parte de conexión 62 se representa como un segundo anillo deslizante (la condición de deslizamiento se representa mediante un rodamiento esquemático — véase el área marcada con X — entre las dos partes de conexión 61, 62). La primera parte de conexión 61 está configurada para ser conectada a uno o más cables 202 configurados para transportar la potencia generada por el generador del aerogenerador 201. En la Fig. 2, dado que el generador del aerogenerador 201 no se muestra, estos cables 202 se representan como comprendiendo tres terminales destinados a recibir (es decir, mediante el establecimiento de una conexión adecuada) la potencia generada por el generador del aerogenerador 201. Estos cables 202 pueden estar configurados para ser conectados directamente (es decir, sin elementos intermedios) o indirectamente (es decir, con elementos intermedios, tales como un transformador de tensión) al generador del aerogenerador 201 (debe señalarse que la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento puede comprender una pluralidad de aerogeneradores cada uno de los cuales puede comprender un generador respectivo, de manera que el conector de anillos deslizantes 6 también puede estar configurado para ser conectado a todos los generadores de la pluralidad de aerogeneradores). La segunda parte de conexión 61 está configurada para ser conectada por cable a la aparamenta 31 (es decir, de manera que la aparamenta 31 reciba la potencia generada por el generador del aerogenerador). La primera parte 61 también está configurada para ser giratoria con respecto al sistema de amarre preinstalado 300 conjuntamente con la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200, mientras que la segunda parte de conexión 62 está configurada para permanecer en una misma posición con respecto al sistema de amarre preinstalado 300. Además, el conector de anillos deslizantes 6 está configurado de manera que la primera parte de conexión 61 y la segunda parte de conexión 62 están en contacto eléctrico. Así, el contacto eléctrico entre la primera parte de conexión 61 y la segunda parte de conexión 62 se mantiene cuando no hay rotación relativa entre dichas partes, pero también incluso cuando hay una rotación relativa entre dichas primera 61 y segunda 62 partes de conexión.

El sistema de conexión 100 también está configurado de manera que, cuando el sistema de conexión 100 está conectando efectivamente (es decir, cuando el sistema de conexión está en una posición operativa como se muestra en la Fig. 2) la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 del aerogenerador 201 al sistema de amarre preinstalado 300, el elemento de soporte 3 está configurado para estar posicionado/dispuesto por encima de un nivel del agua (véase W en la Fig. 1) sobre el cual la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 está dispuesta para flotar. Esta es una característica opcional de la invención. La Fig. 2 muestra la configuración preferida en la que el conector de anillos deslizantes 6 también está configurado para estar dispuesto por encima de dicho nivel del agua W cuando el sistema de conexión 100 está dispuesto en su posición operativa. En particular, en la Fig. 2, el conector de anillos deslizantes 6 está configurado de manera que la distancia desde el conector de anillos deslizantes 6 hasta el nivel del agua W es mayor que la distancia desde el elemento de soporte 3 hasta el nivel del agua W (es decir, el conector de anillos deslizantes 6 está configurado para estar dispuesto más alejado del nivel del agua W que el elemento de soporte 3). En la configuración mostrada en la Fig. 2, el elemento torreta 1 está dispuesto verticalmente, y el conector de anillos deslizantes 6 está dispuesto por encima de la posición del elemento de soporte 3 del elemento torreta 1 (es decir, el conector de anillos deslizantes 6 no está soportado por el elemento de soporte 3, sino que está dispuesto en una posición más alta).

Además, el elemento torreta 1 de la Fig. 2 está configurado para estar dispuesto en una posición vertical (es decir, verticalmente) en su posición operativa. El elemento torreta 1 se extiende verticalmente desde la base 2 hasta el elemento de soporte 3 (p. ej., estando el cuerpo columnar 4 también dispuesto verticalmente).

Aunque no es visible en la Fig. 2, el elemento torreta 1 puede comprender además una caja de conexiones configurada para conectar los uno o más cables submarinos 400 a la aparamenta 31, en donde preferiblemente la caja de conexiones puede estar dispuesta en el elemento de soporte.

La aparamenta 31 de la Fig. 2 puede estar opcionalmente configurada (p. ej., dimensionada) para recibir al menos un cable submarino 400 de cada uno de una pluralidad de elementos eléctricos externos (no visibles en la Fig. 2). La pluralidad de elementos eléctricos externos puede comprender: uno o más aerogeneradores externos (p. ej., dos); y/o una o más subestaciones eléctricas externas; y/o un nodo de conexión eléctrica externo; y/o uno o más elementos consumidores de electricidad externos. En algunas realizaciones, la aparamenta puede estar configurada como un nodo de conexión (p. ej., un nodo de conexión común) entre dichos diferentes elementos eléctricos externos.

La Fig. 3 representa una segunda realización del sistema de conexión 100 del primer aspecto de la invención que es compatible con el sistema FOWT de la Fig. 1. La realización representada en la Fig. 3 se basa en la primera realización de la Fig. 2, pero comprende además un transformador de tensión. Debe señalarse que aquellas características que han sido descritas como características opcionales de la Fig. 2 son también características opcionales para la realización de la Fig. 3. Además, la Fig. 3 se muestra como una configuración opcional en la que la plataforma transitable 32 (es decir, la al menos una plataforma transitable 32) está configurada para estar al menos parcialmente rodeada por una plataforma transitable exterior 203 de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 (p. ej., la plataforma transitable exterior puede estar integrada en la columna pivote 204) de manera que se permita a una persona caminar entre ellas. Esta característica también es compatible con cualquiera de las realizaciones de las Figs. 2, 4 y 5.

Así, en la Fig. 3, el sistema de conexión 100 comprende además un transformador de tensión 7 configurado para adaptar la potencia generada por el generador del aerogenerador 201 (visible en la Fig. 1 pero no en la Fig. 3) a una tensión más alta que circula a través de los uno o más cables submarinos 400. Así, el transformador de tensión 7 puede estar configurado para estar dispuesto en una posición del sistema de conexión 100 entre el generador (es decir, el generador del aerogenerador 201, que no es una parte del sistema de conexión 100) y la aparamenta 31, de manera que la aparamenta 31 reciba la potencia generada por el generador del aerogenerador 201 convenientemente adaptada a la tensión más alta que circula a través de los uno o más cables submarinos 400. Preferiblemente y opcionalmente, el sistema de conexión 100 comprende además una carcasa configurada para alojar el transformador de tensión 7, en donde dicha carcasa puede estar configurada para ser hermética al aire y/o hermética al agua.

La Fig. 3 muestra una configuración opcional en la que el transformador de tensión 7 está dispuesto en la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 (en la Fig. 3, el transformador de tensión 7 está más particularmente dispuesto dentro de la columna pivote 204 opcional de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200) de manera que el transformador de tensión 7 está configurado para ser giratorio conjuntamente con la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 con respecto al sistema de amarre preinstalado 300. Además, el transformador de tensión 7 está configurado para recibir mediante conexión por cable la potencia generada por el generador del aerogenerador 201 de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200, para adaptar su tensión, y para proporcionar mediante conexión por cable dicha potencia con una tensión adaptada a la primera parte de conexión 61 del conector de anillos deslizantes 6. Así, el transformador de tensión 7 de la Fig. 3 está configurado para ser conectado entre el generador del aerogenerador 201 y la primera parte de conexión 61 del conector

de anillos deslizantes 6, mientras que la aparamenta 31 está conectada por cable a la segunda parte de conexión 62 del conector de anillos deslizantes 6 para recibir dicha potencia adaptada.

La Fig. 4 representa una tercera realización del sistema de conexión 100 del primer aspecto de la invención que es compatible con el sistema FOWT de la Fig. 1. La realización representada en la Fig. 4 se basa en la primera y la segunda realizaciones, pero el transformador de tensión 7 está dispuesto en una posición diferente con respecto a la segunda realización. Debe señalarse que aquellas características que han sido descritas como características opcionales de las Figs. 2 y/o 3 son también características opcionales para la realización de la Fig. 4.

En la realización de la Fig. 4, el transformador de tensión 7 está dispuesto en el elemento torreta 1 (en particular, la Fig. 4 representa la configuración opcional en la que el transformador de tensión 7 está dispuesto en el elemento de soporte 3 del elemento torreta 1 — es decir, junto con la aparamenta 31) y está conectado por cable entre la segunda parte de conexión 62 del conector de anillos deslizantes 6 y la aparamenta 31. Así, la conexión por cable de la aparamenta 31 a la segunda parte de conexión 62 del conector de anillos deslizantes 6 se proporciona (es decir, pasa a través de) el transformador de tensión 7. Por lo tanto, según esta configuración, la potencia generada por el generador del aerogenerador 201 (no visible en la Fig. 4, pero visible en la Fig. 1) alcanza (p. ej., a través de los uno o más cables 202) la primera parte de conexión 61 del conector de anillos deslizantes 6, luego dicha potencia se transmite a la segunda parte de conexión 62 del conector de anillos deslizantes 6 y se transmite entonces al transformador de tensión 7 que adapta/transforma su tensión a la tensión más alta que circula a través de los uno o más cables submarinos 400. La potencia adaptada por el transformador de tensión 7 se transmite entonces a la aparamenta 31, y desde la aparamenta 31 a al menos uno de los uno o más cables submarinos 400 (debe señalarse que cada uno de los uno o más cables submarinos puede comprender varios cables — p. ej., tres cables cada uno con una fase). Tener el transformador de tensión 7 en el elemento de soporte 3 (es decir, en el elemento torreta) significa que el conector de anillos deslizantes operaría a una tensión mucho más baja. Como se ha divulgado anteriormente, el sistema de conexión 100 puede comprender opcionalmente una carcasa configurada para alojar el transformador de tensión 7.

La Fig. 5 representa una cuarta realización del sistema de conexión 100 del primer aspecto de la invención que es compatible con el sistema FOWT de la Fig. 1. La realización representada en la Fig. 5 se basa en la tercera realización, pero el transformador de tensión 7 tiene una carcasa (no visible en la Fig. 5 debido al hecho de que la Fig. 5 es una representación esquemática simplificada) y el sistema de conexión 100 comprende además un conjunto de acoplamientos giratorios apilados 8. Debe señalarse que aquellas características que han sido descritas como características

opcionales de la Fig. 2 también son características opcionales compatibles para la realización de la Fig. 5.

La carcasa del transformador de tensión 7 está configurada como una carcasa refrigerada por fluido que comprende una pluralidad de conductos 71, comprendiendo dicha pluralidad de conductos 71 una pluralidad de conductos de fluido (configurados para permitir la circulación de fluido a través de la carcasa para la refrigeración del transformador de tensión — p. ej., al menos un conducto de entrada de fluido y al menos un conducto de salida de fluido) y al menos un conducto adicional para cables del transformador de tensión para la conexión por cable del transformador de tensión (p. ej., aquellos cables para conectar el transformador de tensión 7 a la aparamenta 31 y a la segunda parte de conexión 62 del conector de anillos deslizantes 6).

El conjunto de acoplamientos giratorios apilados 8 está configurado para estar conectado como un elemento superior del sistema de conexión 100. El conjunto de acoplamientos giratorios apilados 8 puede comprender una pluralidad de secciones giratorias apiladas unas sobre otras, en donde la pluralidad de secciones giratorias están configuradas de manera que, cuando la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 gira con respecto al sistema de amarre preinstalado 300 para alinear el aerogenerador 201 con un viento incidente, las secciones giratorias giran unas con respecto a otras para proporcionar un paso de fluido hacia el interior para permitir que un fluido refrigerante para la refrigeración del transformador de tensión 7 pase a través del conjunto de acoplamientos giratorios apilados 8. A este respecto, la Fig. 5 representa una vista esquemática del conducto de entrada y el conducto de salida dispuestos en la parte superior del bloque que representa el transformador de tensión 7 (en este caso, este bloque puede interpretarse como representando la carcasa del transformador de tensión 7). Estos dos conductos están entonces conectados al conjunto de acoplamientos giratorios apilados 8 que, como se ha descrito anteriormente, proporciona una ruta respectiva para cada conducto (p. ej., una ruta continua) independientemente de la posición relativa de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 con respecto al sistema de amarre preinstalado 300.

La Fig. 5 muestra una configuración opcional en la que dos conductos auxiliares 205 respectivos están conectados al conjunto de acoplamientos giratorios apilados 8 como una continuación hacia el exterior de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 (representada, en la Fig. 5, por la columna pivote 204) de dichas rutas respectivas proporcionadas por el conjunto de acoplamientos giratorios apilados 8. Los conductos auxiliares 205 se consideran estáticos con respecto a la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 (es decir, los conductos auxiliares 205 están configurados para girar conjuntamente con la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 con respecto al sistema de amarre preinstalado 300). Debe señalarse que esta realización particular muestra solo una de las soluciones descritas en el

resumen de la invención, concretamente aquella en la que se fuerza la circulación de aire (las rejillas de ventilación no se muestran) desde el exterior de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento hasta el transformador de tensión. Sin embargo, el resto de las soluciones descritas también son compatibles con la realización de las figuras (p. ej., el uso de un intercambiador de calor intermedio como se ha descrito anteriormente).

Aunque no es visible en las figuras, el conjunto de acoplamientos giratorios apilados 8 y/o el conector de anillos deslizantes 6 pueden estar configurados para interactuar con un sistema estructural auxiliar del sistema de conexión 100 y/o de la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200, de manera que el conjunto de acoplamientos giratorios apilados 8 y/o el conector de anillos deslizantes 6 sean desplazables fuera de un eje central del cuerpo columnar 4. Preferiblemente, el sistema estructural auxiliar puede comprender (o puede estar configurado como) uno o más raíles y/o una o más bisagras y/o una o más articulaciones flexibles configuradas para interactuar con el conjunto de acoplamientos giratorios apilados 8 y/o con el conector de anillos deslizantes 6. Esta configuración es compatible con cualquiera de las realizaciones de las Figs. 2-4 (es decir, para aquellas realizaciones que no tienen ningún conjunto de acoplamientos giratorios apilados 8, el sistema es aplicable únicamente al conector de anillos deslizantes 6).

El conector de anillos deslizantes 6 de la Fig. 5 puede estar preferiblemente configurado como una parte integral del conjunto de acoplamientos giratorios apilados 8. En una realización alternativa, el conector de anillos deslizantes 6 y el conjunto de acoplamientos giratorios apilados 8 pueden estar configurados como elementos independientes, ambos dispuestos por encima de la posición del elemento de soporte 3.

Las Figs. 6A-6C muestran tres diagramas unifilares de las conexiones eléctricas por cable de las realizaciones representadas en las Figs. 2-5. En las tres Figs. 6A-6C, una línea de puntos separa una parte A de una parte B. La parte A representa aquellos elementos que están configurados para ser fijos, es decir, para permanecer en una misma posición relativa con respecto al sistema de amarre preinstalado 300 (es decir, para estar dispuestos estáticamente con respecto al sistema de amarre preinstalado 300). La parte B representa aquellos elementos que están configurados para ser móviles conjuntamente con la estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 con respecto al sistema de amarre preinstalado 300. A este respecto, se señala que el conector de anillos deslizantes 6 comprende una primera parte de conexión 61 que pertenece a la parte A, y una segunda parte de conexión 62 que pertenece a la parte B.

Los elementos representados en las Figs. 6A-6C son compatibles con el funcionamiento a una pluralidad de tensiones. Así, por ejemplo, los uno o más cables submarinos y la aparamenta 31 están normalmente configurados para operar a tensiones en el rango de 20 a 127 kV, en donde 33

y 66 kV son valores específicos compatibles dentro de dicho rango (esto se expresa a menudo como 20/33/66/127 kV). El generador del aerogenerador 201 normalmente produce potencia en el rango de 0,4 a 20 kV, en donde el rango de 3,3 a 10 kV también es habitual.

La Fig. 6A representa un diagrama unifilar de conexiones eléctricas de la realización representada en la Fig. 2. En particular, la Fig. 6A muestra que los uno o más cables submarinos 400 están conectados a la aparamenta 31, que a su vez está conectada a la primera parte de conexión 61 del conector de anillos deslizantes 6. Luego, la segunda parte de conexión 62 del conector de anillos deslizantes 6 está conectada para recibir la potencia generada por el generador del aerogenerador 201. En esta realización no hay transformador de tensión, de manera que la tensión de la potencia generada por el generador del aerogenerador 201 no se adapta a la tensión que circula a través de los uno o más cables submarinos 400. Por lo tanto, esta configuración es útil cuando no hay necesidad de adaptar la tensión porque la tensión de la potencia generada por el generador del aerogenerador 201 ya es compatible con la tensión que circula a través de los uno o más cables submarinos 400.

La Fig. 6B muestra un diagrama unifilar de conexiones eléctricas de la realización de la Fig. 3. En esta realización, los uno o más cables submarinos 400 están conectados a la aparamenta 31, que a su vez está conectada a la primera parte de conexión 61 del conector de anillos deslizantes 6. Luego, la segunda parte de conexión 62 del conector de anillos deslizantes 6 está conectada al transformador de tensión 7, que a su vez está conectado para recibir la potencia generada por el generador del aerogenerador 201. Así, el transformador de tensión 7 está dispuesto/conectado entre el conector de anillos deslizantes 6 y el generador del aerogenerador 201, de manera que el transformador de tensión 7 está configurado para adaptar la tensión de la potencia generada por el generador del aerogenerador 201 a la tensión más alta que circula a través de los cables submarinos 400. Debe señalarse que, en esta configuración, el conector de anillos deslizantes 6 debe operar a la tensión más alta de los uno o más cables submarinos 400, de manera que debe estar dimensionado para soportar dicha tensión. En consecuencia, el transformador de tensión 7 comprende un primer devanado (conectado a la segunda parte de conexión 62 del conector de anillos deslizantes 6, y configurado para funcionar como el secundario del transformador de tensión 7) configurado para operar a la tensión de los uno o más cables submarinos (p. ej., 20/33/66/127 kV, es decir, en el rango de 20 a 127 kV, tal como a 33 o 66 kV) y un segundo devanado (conectado para recibir la tensión de la potencia generada por el generador del aerogenerador 201, y configurado para funcionar como el primario del transformador de tensión 7) configurado para operar a una tensión correspondiente con la de la potencia generada por el generador del aerogenerador 201 (p. ej., en el rango de 0,4 a 20 kV, tal como a 0,4 o 3,3 o 10 kV).

La Fig. 6C representa un diagrama unifilar de conexiones eléctricas compatible con las realizaciones representadas en las Figs. 4 y 5 (la presencia del conjunto de acoplamientos giratorios apilados 8 en la realización de la Fig. 5 no afecta a la conexión eléctrica del conector de anillos deslizantes 6). En estas dos realizaciones, los uno o más cables submarinos 400 están conectados a la aparamenta 31, que a su vez está conectada al transformador de tensión 7. El transformador de tensión 7 también está conectado a la primera parte de conexión 61 del conector de anillos deslizantes 6, mientras que la segunda parte de conexión 62 del conector de anillos deslizantes 6 está a continuación conectada para recibir la potencia generada por el generador del aerogenerador 201. Debe señalarse que esta configuración es especialmente ventajosa porque la disposición del transformador en la parte A (p. ej., en el elemento de soporte 3) reduce la tensión a la que el conector de anillos deslizantes 6 debe operar, de manera que el conector de anillos deslizantes 6 está configurado para operar a una tensión mucho más baja (la tensión de la potencia generada por el generador de un aerogenerador 201 es habitualmente menor que la tensión que circula a través de los cables submarinos 400). Así, el conector de anillos deslizantes 6 requiere requisitos de aislamiento mucho menores y es por tanto mucho más pequeño en tamaño, lo cual es especialmente ventajoso en aplicaciones marinas debido al transporte requerido de todos los elementos hasta la ubicación del sistema FOWT y el manejo necesario durante la instalación del sistema.

En el diagrama de la Fig. 6C, el transformador de tensión 7 comprende un primer devanado (conectado a la aparamenta 31, y configurado para funcionar como el secundario del transformador de tensión 7) configurado para operar a la tensión de los uno o más cables submarinos (p. ej., 20/33/66/127 kV, es decir, en el rango de 20 a 127 kV, tal como a 33 o 66 kV) y un segundo devanado (conectado a la primera parte de conexión 61 del conector de anillos deslizantes 6 para recibir la tensión de la potencia generada por el generador del aerogenerador 201, y configurado para funcionar como el primario del transformador de tensión 7) configurado para operar a una tensión correspondiente con la de la potencia generada por el generador del aerogenerador 201 (p. ej., en el rango de 0,4 a 20 kV, tal como a 0,4 o 3,3 o 10 kV).

La Fig. 7 muestra un sistema interconectado según un tercer aspecto de la invención que comprende: un sistema de aerogenerador marino flotante FOWT 500 según el segundo aspecto de la invención; y una pluralidad de elementos eléctricos externos configurados para ser conectados mediante cables submarinos 400 respectivos a la aparamenta 31 del sistema de conexión 100 del sistema de aerogenerador marino flotante 500.

Debe señalarse que el sistema de aerogenerador marino flotante FOWT 500 de la Fig. 7 es un sistema FOWT según la Fig. 1, es decir, que comprende: un sistema de amarre preinstalado 300, una estructura de soporte flotante marina orientable con el viento 200 que comprende un

aerogenerador 201, y un sistema de conexión 100 según cualquiera de las realizaciones del primer aspecto de la invención. Por lo tanto, el sistema FOWT 500 es compatible con un sistema de conexión 100 de cualquiera de las Figs. 2 a 5.

La pluralidad de elementos eléctricos externos está representada en la Fig. 7 como una pluralidad (la pluralidad está opcionalmente representada por dos unidades, pero en otros casos el número de unidades puede ser mayor) de sistemas de aerogeneradores marinos flotantes FOWT externos 500', 500''. Los tres sistemas FOWT 500, 500' y 500'' se muestran como opcionalmente conectados en una configuración/disposición «en cadena». Sin embargo, debe señalarse que la invención también es compatible con otras configuraciones tales como la configuración de la aparamenta 31 del sistema de conexión 100 del sistema FOWT 500 como un nodo común para conectar al menos una parte de los elementos eléctricos externos en paralelo.

Además, debe señalarse que la pluralidad de elementos eléctricos externos puede estar configurada para comprender (alternativa o complementariamente a los sistemas FOWT externos) uno o más de: una subestación eléctrica y/o un nodo de conexión eléctrica y/o un elemento consumidor de electricidad.

En algunas realizaciones, la pluralidad de elementos eléctricos externos puede comprender cualquier combinación de dos elementos eléctricos externos como se ha enumerado anteriormente en el resumen de la invención.