

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 993 495**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **15.07.2020** **PCT/EP2020/069955**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.02.2021** **WO21032370**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.07.2020** **E 20746898 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2024** **EP 4018091**

54 Título: **Sistema de control para posicionar al menos dos turbinas eólicas flotantes en un parque eólico**

30 Prioridad:

22.08.2019 EP 19193197

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
02.01.2025

73 Titular/es:

SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY A/S
(100.00%)
Borupvej 16
7330 Brande, DK

72 Inventor/es:

ESBENSEN, THOMAS;
HOEGH, GUSTAV y
LAUGENSEN, KASPER

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 993 495 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de control para posicionar al menos dos turbinas eólicas flotantes en un parque eólico

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un sistema de control para posicionar al menos dos turbinas eólicas flotantes en un parque eólico. Además, la presente invención se refiere a un parque eólico y a un método para posicionar al menos dos turbinas eólicas flotantes en un parque eólico.

10

Antecedentes de la técnica

En el campo técnico de las turbinas eólicas flotantes, es conocida la instalación de una pluralidad de turbinas eólicas flotantes en un parque eólico flotante. Las turbinas eólicas flotantes instaladas en el parque eólico interactúan entre sí a través de sus estelas. La estela de una turbina eólica flotante se produce porque la turbina eólica flotante extrae energía de un flujo de viento entrante. La estela provoca una reducción de la velocidad del viento, lo que también se conoce como déficit de viento, y una mayor variación de la velocidad del viento, lo que también se conoce como turbulencia. Estos fenómenos dan lugar a una disminución de la producción total de energía del parque eólico y a un aumento de la carga de una turbina eólica flotante corriente abajo. La turbina eólica flotante corriente abajo denota una turbina eólica flotante colocada detrás (vista en la dirección del viento) de una fila delantera. La turbina eólica flotante corriente abajo puede funcionar en la estela. La disminución de energía puede ser resultado directo de la menor velocidad del viento, mientras que el aumento de la carga es una consecuencia de las turbulencias que provocan vibraciones en una carga mecánica de la turbina eólica flotante corriente abajo.

Las turbinas eólicas no flotantes (tradicionales) se colocan y operan de tal manera que, mediante un direccionamiento del desvío, puede alejarse de otras turbinas eólicas la estela, dentro de ciertos límites. Esto se debe al hecho de que el direccionamiento del desvío es el único grado de libertad en las turbinas eólicas tradicionales que puede influir en la estela.

En el campo de las turbinas eólicas flotantes, existen grados de libertad adicionales, en total seis grados de libertad, que pueden permitir un direccionamiento más preciso de la estela.

Por lo tanto, puede ser necesario posicionar activamente al menos dos turbinas eólicas flotantes en un parque eólico para mantener una alta producción de energía y una carga baja en cada una de las turbinas eólicas flotantes.

En el documento ES 2014 70.456 A1 se propone posicionar dinámicamente múltiples turbinas eólicas marinas entre sí, donde al menos una turbina eólica se coloca sobre una base flotante.

El documento de KHEIRABADI ALI C ET AL, "Modeling and Power Optimization of Floating Offshore Wind Farms with Yaw and Induction-based Turbine Repositioning", 2019 AMERICAN CONTROL CONFERENCE (ACC), AMERICAN AUTOMATIC CONTROL COUNCIL, 10 de julio de 2019, páginas 5458-5463, investiga el potencial del reposicionamiento de turbinas eólicas flotantes marinas con el objetivo de maximizar la salida de energía de un parque eólico flotante marino.

El documento US 2014.044.541 A1 describe una plataforma flotante anclada a al menos un punto de anclaje, que incluye una turbina eólica, y un dispositivo de desplazamiento para desplazar la turbina eólica. El dispositivo está configurado para desplazar la turbina eólica en función de un conjunto de parámetros, que incluyen la dirección del viento (V), con el fin de minimizar los efectos de la estela aerodinámica.

El documento NL 2009.682 C2 describe una turbina eólica flotante que comprende un arreglo de turbina eólica soportado por una estructura de soporte flotante, al menos un sistema de posicionamiento para detectar datos de posición de la turbina eólica flotante en un momento dado, un medio de transmisión para transmitir los datos de posición detectados a al menos un sistema de control y/o monitoreo, y estando el al menos un sistema de control y/o monitoreo configurado para proporcionar datos procesados a partir del grupo de datos de posición local, datos de desplazamiento, datos de velocidad de movimiento, datos de dirección de movimiento de la turbina eólica flotante en función de los datos de posición recibidos por el medio de transmisión, en donde el al menos un sistema de posicionamiento está dispuesto en la estructura de soporte flotante.

Resumen de la invención

Esta necesidad puede ser satisfecha por el objeto según las reivindicaciones independientes. Las realizaciones ventajosas de la presente invención se describen en las reivindicaciones dependientes.

Según un primer aspecto de la invención se proporciona un sistema de control según la reivindicación 1 para posicionar al menos dos turbinas eólicas flotantes en un parque eólico. El sistema de control comprende un dispositivo de medición configurado para medir un campo de viento entrante en las dos turbinas eólicas, un dispositivo de

determinación, en donde el dispositivo de determinación está configurado para determinar una propiedad de estela en las dos turbinas eólicas, en donde el dispositivo de determinación está configurado para determinar una trayectoria de propagación de la propiedad de estela a través del parque eólico en función de la propiedad de estela determinada en las al menos dos turbinas eólicas flotantes, en donde el dispositivo de determinación está configurado para determinar una ubicación para cada una de las al menos dos turbinas eólicas flotantes que comprende una influencia de estela minimizada en función de la trayectoria de propagación determinada de la propiedad de estela a través del parque eólico, y un dispositivo de reposicionamiento configurado para reposicionar cada una de las dos turbinas eólicas flotantes en la ubicación determinada de tal manera que una primera turbina eólica flotante de las al menos dos turbinas eólicas flotantes sea inclinable hacia un lado en una dirección de rodamiento del flotador y otra turbina eólica flotante de las al menos dos turbinas eólicas flotantes sea inclinable hacia el otro lado en la dirección de rodamiento del flotador.

El sistema de control descrito se basa en la idea de utilizar un control de estela de modo que las turbinas eólicas flotantes puedan moverse y/o reposicionarse junto con una dirección de propagación de estela modificada para lograr una mejor salida de energía del parque. Se utilizan una traslación y/o una rotación de una turbina eólica flotante para reposicionar activamente la turbina eólica flotante fuera de la estela de la otra. Por lo tanto, podría ser posible un reposicionamiento activo de la estela.

Esto puede resultar en un aumento de la salida de energía de un parque eólico, así como en menores cargas de fatiga. Por lo tanto, puede ser posible un costo de energía de menor nivel. Un aumento de la producción total de energía dentro de un parque eólico junto con menores cargas de fatiga debido a un menor nivel de turbulencia, puede resultar en una carga de fatiga reducida, de modo que se puede optimizar el diseño estructural y, por lo tanto, se pueden reducir los costos.

Una turbina eólica flotante comprende una base flotante que puede moverse. Mediante un movimiento de la base flotante, la turbina eólica flotante montada sobre la base flotante se mueve correspondientemente. El movimiento de la base flotante con respecto a la turbina eólica flotante se puede dividir en seis grados de libertad individuales, a saber, tres traslaciones, una sobrecarga, un balanceo y una oscilación vertical, y tres rotaciones, un rodamiento, una inclinación y un desvío.

Debido a las similitudes en la denominación entre la inclinación de la base flotante y el paso de las palas, en lo sucesivo se hace una distinción entre la inclinación del flotador y el paso de las palas. Por un lado, la inclinación del flotador denota la inclinación de la base flotante alrededor de su punto de rotación. Por otro lado, el paso de las palas denota una modificación controlada del paso de las palas de la turbina eólica flotante.

Proporcionar el dispositivo de medición como un dispositivo de medición de una sola pieza puede brindar la posibilidad de medir todos los valores necesarios del campo de viento entrante con un solo dispositivo. Por lo tanto, puede ser posible encontrar una forma rentable de medir el campo de viento entrante.

Proporcionar el dispositivo de medición como un dispositivo de varias partes puede brindar la posibilidad de medir individualmente un valor del campo de viento entrante en diferentes posiciones de la turbina eólica flotante, de modo que sea posible efectuar una medición incluso en posiciones expuestas. De forma adicional, en posiciones donde se prevé un campo de viento entrante complejo, por ejemplo con respecto a un sistema de vórtices complejos, se puede colocar un gran número de dispositivos de medición. De este modo, se puede obtener una distribución precisa y detallada del campo de viento entrante.

Proporcionar el dispositivo de determinación como un dispositivo de determinación de una sola pieza, particularmente como un dispositivo capaz de determinar la propiedad de estela, la trayectoria de propagación y la ubicación, puede brindar la posibilidad de proporcionar un dispositivo de determinación de bajo mantenimiento y fácil instalación.

Proporcionar el dispositivo de determinación como un dispositivo de determinación de varias partes puede brindar la posibilidad de proporcionar un dispositivo de determinación específico para determinar la propiedad de estela, la trayectoria de propagación y/o la ubicación. De este modo, se puede proporcionar una representación precisa y detallada de cada una de las propiedades de la estela, la trayectoria de propagación y/o la ubicación.

Proporcionar el dispositivo de reposicionamiento como un dispositivo de reposicionamiento de una pieza puede proporcionar la posibilidad de reposicionar todas de las al menos dos turbinas eólicas flotantes con un único dispositivo de reposicionamiento, una después de otra o todas a la vez. Por lo tanto, podría ser posible reposicionar rápidamente las dos turbinas eólicas flotantes.

Proporcionar el dispositivo de reposicionamiento como un dispositivo de reposicionamiento de múltiples partes puede proporcionar la posibilidad de reposicionar cada una de las dos turbinas eólicas flotantes de forma individual y precisa.

La propiedad de estela puede comprender una intensidad, una dirección y/o una distribución.

La trayectoria de propagación puede indicar un mapeo de la propiedad de estela en cada ubicación del parque eólico, de modo que se pueda proporcionar una imagen general precisa de la estela en el parque eólico.

5 La ubicación de cada una de las al menos dos turbinas eólicas flotantes que comprende la influencia de la estela minimizada puede indicar una posición individual donde cada turbina eólica flotante está expuesta a una influencia mínima de la estela.

10 Según una realización ilustrativa de la invención, el dispositivo de determinación está configurado además para determinar la trayectoria de propagación de la propiedad de estela a través del parque eólico en función de una posición actual y/o una rotación actual de las dos turbinas eólicas flotantes.

La posición actual de la turbina eólica flotante puede indicar la ubicación específica dentro del parque eólico y/o en relación con las otras turbinas eólicas flotantes en el parque eólico.

15 La rotación actual de la turbina eólica flotante puede indicar un ángulo de inclinación del flotador, un ángulo de desvío del flotador y/o un ángulo de rodamiento del flotador que se desvíen de un valor predeterminado. Por lo tanto, se puede tener en cuenta la alineación exacta de cada turbina eólica flotante para determinar la trayectoria de propagación.

20 La determinación de la trayectoria de propagación en función de una posición actual y/o una rotación actual puede brindar la posibilidad de proporcionar un mapeo preciso de la situación actual de la estela teniendo en cuenta todas las turbinas eólicas flotantes.

25 Según una realización ilustrativa de la invención, el dispositivo de determinación está configurado para determinar la ubicación de cada una de las dos turbinas eólicas flotantes teniendo en cuenta una producción de energía maximizada de cada una de las dos turbinas eólicas flotantes y/o una carga minimizada en cada una de las dos turbinas eólicas flotantes.

30 Una producción de energía maximizada puede denotar una ubicación dentro del parque eólico donde una turbina eólica flotante específica, si está situada allí, proporciona una mayor producción de energía que en otra ubicación.

Una carga minimizada puede indicar una ubicación dentro del parque eólico donde una turbina eólica flotante específica, si está situada allí, está expuesta a una carga menor que en otra ubicación.

35 Teniendo en cuenta una influencia minimizada de la estela, así como una producción de energía maximizada y/o una carga minimizada, existe la posibilidad de reposicionar las dos turbinas eólicas flotantes en una ubicación general óptima. Particularmente, debido a que la ubicación donde se produce la influencia mínima de estela no debe ser la ubicación donde se produce una producción de energía aceptable o incluso buena y/o la ubicación donde las dos turbinas eólicas flotantes están expuestas a cargas mínimas o no dañinas.

40 Según una realización ilustrativa de la invención, el dispositivo de determinación está configurado para determinar la ubicación de cada una de las dos turbinas eólicas flotantes teniendo en cuenta al menos una condición de límite externo.

45 Una condición de límite externo puede denotar una restricción que no está condicionada por la producción de energía de la turbina eólica flotante en sí, sino más bien por condiciones ambientales externas o por restricciones de una estructura de sujeción de la turbina eólica flotante.

50 Tener en cuenta al menos una condición de límite externo puede brindar la posibilidad de prevenir eficazmente daños en las dos turbinas eólicas flotantes.

55 Según una realización adicional de la invención, la condición de límite externo comprende al menos uno del grupo que consiste en una profundidad de agua local, una longitud de una línea de amarre, una longitud de un cable de alimentación, una distancia entre turbinas, un barco entrante y una ruta marítima.

Tener en cuenta la profundidad de agua local puede brindar la posibilidad de prevenir eficazmente daños causados por encallamiento. El dispositivo de determinación puede por lo tanto comprender un buscador sónico de profundidad.

60 Tener en cuenta la longitud de una línea de amarre puede brindar la posibilidad de prevenir de manera efectiva tensiones dañinas en la línea de amarre y, por lo tanto, en la fijación de la línea de amarre con la base flotante. El dispositivo de determinación puede por lo tanto comprender una tabla de datos en la que se almacena la longitud de la línea de amarre de una turbina eólica flotante individual.

65 Tener en cuenta la longitud de un cable de alimentación puede brindar la posibilidad de prevenir eficazmente una rotura, y por tanto una avería completa en la producción de energía de las dos turbinas eólicas flotantes. El dispositivo

de determinación puede por lo tanto comprender una tabla de datos en la que se almacena la longitud del cable de alimentación de una turbina eólica flotante individual.

5 Tener en cuenta la distancia entre turbinas puede brindar la posibilidad de prevenir de manera efectiva daños en una pala de una turbina eólica flotante debido a un contacto directo o indirecto con una pala u otra subestructura de otra turbina eólica flotante. El dispositivo de determinación puede por lo tanto comprender un dispositivo de detección visual.

10 Tener en cuenta la llegada de un barco puede brindar la posibilidad de evitar de manera efectiva, incluso si el barco entrara en el parque eólico, lo que en un primer paso debería haberse impedido, daños perjudiciales a las dos turbinas eólicas flotantes o al barco y, de esta manera, evitar riesgos personales. El dispositivo de determinación puede por lo tanto comprender un dispositivo de detección visual.

15 Tener en cuenta la existencia de una ruta marítima puede brindar la posibilidad de prevenir eficazmente daños a las dos turbinas eólicas flotantes o al barco y, de esta manera, evitar riesgos personales debido a una colisión con un barco. El dispositivo de determinación puede por lo tanto comprender un dispositivo de detección visual.

20 Según otra realización ilustrativa, el dispositivo de determinación está configurado para determinar la ubicación de cada una de las dos turbinas eólicas flotantes teniendo en cuenta un modo operativo individual de cada una de las dos turbinas eólicas flotantes.

25 Una turbina eólica flotante apagada puede tener diferentes propiedades debidas a un campo de viento entrante que una turbina eólica flotante en funcionamiento. El dispositivo de determinación puede por lo tanto comprender un sensor que detecte un modo operativo de la turbina eólica flotante.

Si una turbina eólica flotante está apagada, puede reposicionarse a una ubicación donde el campo de viento entrante no sea perjudicial para la misma. Además, la ubicación donde ubicar la turbina eólica flotante apagada puede elegirse independientemente de la producción de energía.

30 Tener en cuenta el modo operativo individual puede brindar la posibilidad de optimizar la producción energética global del parque eólico.

35 Según otra realización ilustrativa, el dispositivo de determinación está configurado para determinar la ubicación de cada una de las dos turbinas eólicas flotantes teniendo en cuenta un estado colectivo de cada una de las dos turbinas eólicas flotantes.

40 Un estado colectivo de las dos turbinas eólicas flotantes denota uno o más puntos de referencia de todas de las al menos dos turbinas eólicas flotantes. Por ejemplo, cuánta energía deberían producir las al menos dos turbinas eólicas flotantes. Si el parque eólico solo debe producir el 50 % de su capacidad total, por ejemplo, porque se necesita menos energía, el dispositivo de determinación puede tenerlo en cuenta dado que podría afectar la ubicación de las dos turbinas eólicas flotantes.

45 Según otra realización ilustrativa de la invención, el dispositivo de medición comprende un sensor para medir al menos uno de un grupo que consiste en una dirección, una magnitud y una turbulencia del campo de viento entrante.

Un sensor puede denotar un sensor de una sola pieza que puede medir una o más propiedades del campo de viento entrante o un arreglo de una pluralidad de sensores, cada uno capaz de medir una propiedad individual.

50 Proporcionar el sensor como un sensor de una sola pieza puede brindar la posibilidad de medir el campo de viento entrante de manera rentable.

El arreglo de sensores puede brindar la posibilidad de medir el campo de viento entrante en diferentes posiciones. De esta forma se puede obtener un conocimiento detallado y profundo del campo de viento entrante.

55 La dirección del campo de viento puede denotar una dirección del viento en cada posición en el campo de viento entrante.

La magnitud puede indicar la intensidad del viento en cada posición en el campo de viento entrante.

60 La turbulencia puede denotar una turbulencia en el campo de viento entrante causada por una influencia externa en el campo de viento entrante.

65 Según una realización ilustrativa de la presente invención, el dispositivo de determinación comprende al menos uno del grupo que consiste en un dron de parque eólico, un dispositivo de detección y medición de distancia por luz (LIDAR) y un dispositivo de detección y medición de distancia por radio (RADAR).

- Proporcionar el dispositivo de determinación que comprenda un dron de parque eólico puede proporcionar la posibilidad de determinar de forma adicional o alternativa la información sobre el campo de viento entrante en posiciones distanciadas de las dos turbinas eólicas flotantes. Por lo tanto, se puede proporcionar un mapeo más completo y detallado del campo de viento entrante.
- 5 Proporcionar un dispositivo de determinación que comprenda un dispositivo de detección y medición de distancia por luz (LIDAR) puede brindar la posibilidad de determinar tempranamente posibles vórtices y turbulencias. Por lo tanto, la determinación puede ser posible antes de que sea visible la formación de la turbulencia.
- 10 Proporcionar un dispositivo de determinación que comprenda un dispositivo de detección y medición de distancia por radio (RADAR) puede proporcionar la posibilidad de obtener, por medio de ondas electromagnéticas, una medición de distancia y de ángulo con respecto a un vórtice y/o a una turbulencia. Además, puede ser posible un movimiento relativo entre la turbina eólica flotante y la formación del vórtice y/o la turbulencia.
- 15 Según una realización ilustrativa de la invención, el dispositivo de reposicionamiento comprende un dispositivo de reposicionamiento central configurado para reposicionar la totalidad de las dos turbinas eólicas flotantes.
- Proporcionar un dispositivo de reposicionamiento central puede brindar la posibilidad de mantener el dispositivo de reposicionamiento de manera fácil y rentable.
- 20 Según una realización ilustrativa de la presente invención, el dispositivo de reposicionamiento comprende un vehículo submarino automático.
- Proporcionar un vehículo submarino automático puede brindar la posibilidad de reposicionar las dos turbinas eólicas flotantes. Particularmente, un vehículo submarino autónomo podría encargarse de varias turbinas eólicas flotantes en un parque eólico. Además, si se proporciona más de un vehículo submarino automático, las dos turbinas eólicas flotantes pueden moverse a lo largo de cada una de o una combinación de la sobrecarga, el balanceo, la oscilación vertical, el rodamiento, la inclinación y el desvío.
- 25 Proporcionar un vehículo submarino automático puede brindar la posibilidad de reposicionar las dos turbinas eólicas flotantes. Particularmente, un vehículo submarino autónomo podría encargarse de varias turbinas eólicas flotantes en un parque eólico. Además, si se proporciona más de un vehículo submarino automático, las dos turbinas eólicas flotantes pueden moverse a lo largo de cada una de o una combinación de la sobrecarga, el balanceo, la oscilación vertical, el rodamiento, la inclinación y el desvío.
- 30 Según una realización adicional de la invención, el dispositivo de reposicionamiento comprende un dispositivo de reposicionamiento local configurado para reposicionar una de las dos turbinas eólicas flotantes.
- Proporcionar un dispositivo de reposicionamiento local puede brindar la posibilidad de reposicionar las dos turbinas eólicas flotantes individualmente una con respecto a la otra. De esta forma, podrán reposicionarse las dos turbinas eólicas flotantes de forma rápida e individual.
- 35 Según una realización adicional de la invención, el dispositivo de reposicionamiento comprende al menos uno del grupo que consiste en un accionador de palas, un accionador de motor de desvío, un accionador de par de generador, un propulsor submarino y un accionador de línea de amarre.
- 40 Proporcionar el accionador de palas puede brindar la posibilidad de utilizar adicionalmente un accionador ya integrado para cumplir la tarea de reposicionamiento. Por lo tanto, es posible ofrecer una posibilidad rentable de reposicionamiento.
- 45 Proporcionar el accionador de motor de desvío puede brindar la posibilidad de utilizar adicionalmente un accionador ya integrado para cumplir la tarea de reposicionamiento. Por lo tanto, es posible ofrecer una posibilidad rentable de reposicionamiento.
- Proporcionar el accionador de par de generador puede brindar la posibilidad de utilizar adicionalmente un accionador ya integrado para cumplir la tarea de reposicionamiento. Por lo tanto, es posible ofrecer una posibilidad rentable de reposicionamiento.
- 50 Proporcionar un propulsor submarino puede brindar la posibilidad de un medio sencillo y rentable para reposicionar las dos turbinas eólicas flotantes. Proporcionando más de un propulsor submarino en la base flotante, puede reposicionarse la turbina eólica flotante en la dirección de la sobrecarga, el balanceo y/o el desvío. Además, si se acopla un propulsor submarino a la base flotante de forma inclinada, puede ser posible un movimiento en la dirección del desvío y del rodamiento.
- 55 Proporcionar un accionador de línea de amarre acoplado a cada una de las líneas de amarre que sostiene en su lugar la turbina eólica flotante puede proporcionar la posibilidad de recolocar la turbina eólica flotante a lo largo de cada una de o una combinación de la sobrecarga, el balanceo, la oscilación vertical, la inclinación y el desvío.
- 60 Según una realización ilustrativa de la presente invención, el dispositivo de reposicionamiento está configurado para reposicionar la turbina eólica flotante perpendicularmente al campo de viento entrante.
- 65

Perpendicular al campo de viento entrante puede denotar una traslación a lo largo del balanceo, la sobrecarga y/o la oscilación vertical, una rotación a lo largo del desvío, el rodamiento y/o la inclinación, y/o una combinación de traslación y rotación.

- 5 Las dos turbinas eólicas flotantes pueden moverse perpendicularmente al campo de viento entrante mediante al menos uno de los dispositivos de reposicionamiento descritos anteriormente.

El reposicionamiento perpendicular al campo de viento entrante puede brindar la posibilidad de obtener una mayor producción de energía incluso cuando se muevan las dos turbinas eólicas flotantes.

- 10 Según un aspecto adicional de la invención, se proporciona un parque eólico. El parque eólico comprende al menos dos turbinas eólicas flotantes y un sistema de control como el descrito anteriormente.

- 15 También, el parque eólico descrito se basa en la idea de utilizar un control de estela de modo que las turbinas eólicas flotantes puedan moverse y/o reposicionarse para mejorar la producción de energía del parque. Se utilizan una traslación y/o una rotación de una turbina eólica flotante para reposicionar activamente la turbina eólica flotante fuera de la estela de la otra. Por tanto, podría ser posible un reposicionamiento activo de la influencia de la estela.

- 20 Según un aspecto adicional de la invención, se proporciona un método según la reivindicación 15 para posicionar al menos dos turbinas eólicas flotantes en un parque eólico. El método comprende (a) medir un campo de viento entrante en las dos turbinas eólicas, (b) determinar una propiedad de estela en las dos turbinas eólicas, (c) determinar una trayectoria de propagación de la propiedad de estela a través del parque eólico basándose en la propiedad de estela determinada en las dos turbinas eólicas flotantes, (d) determinar una ubicación para cada una de las dos turbinas eólicas flotantes que comprende una influencia de estela minimizada basándose en la trayectoria de propagación determinada de la propiedad de estela a través del parque eólico, y (e) reposicionar cada una de las al menos dos turbinas eólicas flotantes en la ubicación determinada, en donde el reposicionamiento comprende inclinar una primera turbina eólica flotante de las al menos dos turbinas eólicas flotantes hacia un lado en una dirección de rodamiento del flotador y otra turbina eólica flotante de las al menos dos turbinas eólicas flotantes hacia el otro lado en la dirección de rodamiento del flotador.

- 30 También, el método descrito se basa en la idea de utilizar un control de estela de tal manera que puedan moverse y/o reposicionarse las turbinas eólicas flotantes para mejorar la salida de energía del parque. Se utilizan una traslación y/o una rotación de una turbina eólica flotante para reposicionar activamente la turbina eólica flotante fuera de la estela de la otra. Por tanto, podría ser posible un reposicionamiento activo de la influencia de la estela.

- 35 A continuación, se describen algunas realizaciones ilustrativas de la presente invención. Una turbina eólica flotante podría permitir una nueva solución a los problemas de estela. Una turbina eólica flotante puede llevar a cabo una gran traslación y/o una gran rotación. Esto se puede utilizar para dirigir activamente la estela y/o reposicionar una turbina eólica flotante en un parque eólico de modo que puedan evitarse o al menos reducir las influencias de la estela. Esto aumentaría potencialmente la producción anular de energía del parque eólico y podría disminuir la carga de la turbina eólica flotante.

- 40 Por tanto se llevan a cabo los siguientes pasos: (a) medir un viento entrante y comprender, en función de una geometría (una posición y, alternativamente, una rotación de cada turbina eólica flotante), cómo se propaga una estela a través de un parque eólico, (b) utilizar un algoritmo de optimización para calcular un reposicionamiento de cada turbina eólica flotante en el parque eólico a una posición favorable en relación con una producción de energía optimizada y/o una carga reducida, y (c) reposicionar cada una de las turbinas eólicas flotantes.

- 50 La medición del viento entrante se puede efectuar en términos de dirección, magnitud y turbulencia. Además, se puede utilizar un sensor, tal como un dron de parque eólico, un dispositivo de detección y medición por luz (LIDAR) y/o un dispositivo de detección y medición por radio (RADAR), para escanear un campo de viento entrante en busca de una solución optimizada.

- 55 El uso de un algoritmo de optimización puede comprender los siguientes aspectos. A partir de un procedimiento de localización se conoce el diseño básico del parque. El diseño básico del parque puede definir una ubicación central/de base para cada turbina eólica flotante. Además, se pueden proporcionar restricciones de posicionamiento para cada turbina eólica flotante, indicando cómo de lejos puede moverse una turbina eólica flotante en cada dirección, basándose en información tal como, por ejemplo, una profundidad de agua local, la longitud de una línea de amarre o la longitud de un cable de alimentación. Además, se puede establecer una restricción a la distancia entre dos turbinas eólicas flotantes colindantes, para garantizar una separación segura entre las dos turbinas eólicas flotantes colindantes. También se pueden proporcionar límites del parque eólico, que pueden ser estáticos o dinámicos con respecto, por ejemplo, a un barco entrante y a una línea de navegación. En función de la información descrita anteriormente existen diferentes opciones.

- 65 En primer lugar, se puede calcular fuera de línea un diseño óptimo del parque eólico y se puede proporcionar el mismo a un sistema de control, por ejemplo, en términos de una tabla de consulta que indique una posición óptima para cada

turbina eólica flotante en función de la dirección del viento del parque eólico y/o de la velocidad del viento del parque eólico.

En segundo lugar, se puede efectuar una optimización en línea que puede tener en cuenta la información descrita anteriormente y que puede tener en cuenta adicional o alternativamente una turbina eólica flotante que esté parada y/o una turbina eólica flotante que esté experimentando restricciones, una limitación dinámica tal como un límite relativo a cómo puede moverse una turbina eólica flotante, por ejemplo debido a una limitación de un accionador y/o a una ola, y un grado de esfuerzo (por ejemplo, energía) de un accionador para cambiar de una posición actual a una posición optimizada. Se ejecuta un algoritmo de optimización en línea basándose en la información proporcionada, la dirección del viento del parque eólico y la velocidad del viento del parque eólico. La optimización solo puede activarse, por ejemplo, cada 1 a 60 minutos o siempre que la velocidad o la dirección del viento del parque eólico cambien por encima de un umbral predefinido.

El sistema de control puede determinar una nueva posición en un paso temporal fijo (por ejemplo, un paso temporal de 30 segundos a 60 minutos) o siempre que la velocidad del viento de un parque eólico y/o la dirección del viento de un parque eólico hayan cambiado por encima de un umbral predefinido. Además, se puede calcular el grado de esfuerzo (por ejemplo, energía) de un accionador para cambiar a la nueva configuración optimizada. Si se invierte demasiado en comparación con una ganancia en la producción de energía y una reducción en las cargas, el sistema de control puede decidir mantener la configuración actual o puede instruir a la turbina eólica flotante para que pase a la configuración optimizada.

Durante el reposicionamiento, cada una de las turbinas eólicas flotantes puede recibir desde el sistema de control información relativa a si debe reposicionarse la turbina eólica flotante. Cada turbina eólica flotante puede entonces comprender un correspondiente accionador para controlar un movimiento. La turbina eólica flotante puede contar con un control local para moverse (es decir, un control distribuido) o puede contar con un control centralizado. El dispositivo de reposicionamiento podría ser un accionador de palas, un motor de desvío, un par de generador y/o un propulsor submarino acoplado a la turbina eólica flotante y/o un vehículo submarino autónomo (AUV).

Mediante un accionador de paso de palas, se puede modificar una fuerza de empuje efectiva experimentada por la turbina eólica flotante para mover dicha turbina en una dirección normal a un plano del rotor de la turbina eólica flotante. Una modificación en el paso de una pala individual puede crear un desequilibrio (por ejemplo, un momento de desvío) que puede aprovecharse, y/o puede utilizarse un accionador de línea de amarre para cambiar ligeramente la dirección de la turbina eólica flotante.

Se puede utilizar un motor de desvío en la turbina eólica flotante para cambiar la alineación respecto del viento de modo que la turbina eólica flotante pueda moverse debido a la fuerza de empuje a lo largo de una dirección deseada.

Se puede utilizar un par de generador, como el accionador de paso de palas, para cambiar el empuje efectivo experimentado por la turbina eólica flotante modificando la velocidad del rotor.

Se puede utilizar un propulsor submarino acoplado a la turbina eólica flotante para maniobrar dicha turbina, al tiempo que puede anclarse un vehículo submarino autónomo dentro del parque eólico y utilizarse el mismo cuando sea necesario reposicionar la turbina eólica flotante. El vehículo submarino autónomo podrá entonces remolcar la turbina eólica flotante hasta la ubicación específica.

Una división asumida entre el dispositivo de determinación y el dispositivo de reposicionamiento puede ser que el dispositivo de determinación puede proporcionar un punto de referencia para la turbina eólica flotante (y una salida de energía) para optimizar el rendimiento de un parque eólico, mientras que el dispositivo de reposicionamiento recibe estas referencias y puede llevar a cabo una acción de control para llegar al punto de referencia de manera óptima y segura.

Se puede utilizar un accionador de línea de amarre para asegurarse de que cada línea de amarre esté en una configuración favorable durante el reposicionamiento. Puede ser que deba aflojarse y no tensarse cada línea de amarre.

Además, cada una de las dos turbinas eólicas flotantes se puede mover perpendicularmente al campo de viento entrante. Si las aspas del rotor se mueven suficientemente rápido, las aspas tendrán un campo más libre de viento entrante que posiblemente no haya sido frenado por la turbina eólica flotante. Esto puede conllevar una mayor producción de energía. El movimiento perpendicular al campo de viento entrante puede ser una traslación o una inclinación de la turbina eólica flotante hacia adelante y hacia atrás en la dirección de rodamiento del flotador.

Hay que señalar que las realizaciones de la invención se han descrito con referencia a diferentes materias objeto. En particular, algunas realizaciones se han descrito con referencia a reivindicaciones de tipo de método mientras que otras realizaciones se han descrito con referencia a reivindicaciones de tipo de aparato. Sin embargo, un experto en la técnica deducirá a partir de lo anterior y de la siguiente descripción, que, a menos que se indique lo contrario, además de cualquier combinación de características que pertenezcan a un tipo de materia objeto, también se

considera descrita con esta solicitud cualquier combinación entre características relativas a diferentes materias objeto, en concreto, entre características de las reivindicaciones de tipo aparato y características de las reivindicaciones de tipo método.

- 5 Los aspectos definidos anteriormente y otros aspectos de la presente invención se infieren de los ejemplos de realización que se describirán a continuación y se explican con referencia a los ejemplos de realización. La invención se describirá con más detalle a continuación en la memoria haciendo referencia a ejemplos de realización, no estando la invención limitada a los mismos.

10 **Breve descripción de los dibujos**

La Figura 1 muestra un parque eólico que comprende una segunda turbina eólica flotante que opera dentro de una estela de una primera turbina eólica flotante según otra realización ilustrativa de la invención.

- 15 La Figura 2 muestra un parque eólico que comprende una segunda turbina eólica flotante que opera fuera de una estela de una primera turbina eólica flotante según otra realización ilustrativa de la invención.

La Figura 3 muestra una vista esquemática del reposicionamiento de traslación de una turbina eólica flotante según una realización ilustrativa de la invención.

- 20 La Figura 4 muestra una vista esquemática del reposicionamiento de rotación de una turbina eólica flotante según una realización ilustrativa de la invención.

25 **Descripción detallada**

- 25 La ilustración en los dibujos está en forma esquemática. Se observa que en diferentes figuras, los elementos similares o idénticos se proporcionan con los mismos números de referencia o con números de referencia que difieren solo en el primer dígito. Para evitar repeticiones innecesarias o características que ya se han aclarado con respecto a una realización descrita anteriormente, no se aclaran nuevamente en una posición posterior de la descripción.

- 30 La Figura 1 muestra un parque eólico 100 que comprende una segunda turbina eólica 120 flotante que opera dentro de una propiedad 151 de estela de una primera turbina eólica 110 flotante según otra realización ilustrativa de la invención.

- 35 La primera turbina eólica 110 flotante comprende una primera base flotante 133, una primera torre 132 montada en la primera base flotante 133 y tres primeras palas 131, cada una montada en la primera torre 132 a través de un buje y una góndola. La primera turbina eólica 110 flotante se mantiene en su lugar mediante dos primeras líneas 134 de amarre ancladas a un fondo marino 152.

- 40 La segunda turbina eólica 120 flotante comprende una segunda base flotante 143, una segunda torre 142 montada en la segunda base flotante 143 y tres segundas palas 141, cada una montada en la segunda torre 142 a través de un buje. La segunda turbina eólica 120 flotante se mantiene en su lugar mediante dos segundas líneas 144 de amarre (mostradas esquemáticamente en la Figura 1) ancladas al fondo marino 152.

- 45 Como se ilustra en la Figura 1, la segunda turbina eólica 120, particularmente las tres segundas palas 141, están operando en la propiedad 151 de estela de las tres primeras palas 131 de la primera turbina eólica 110 flotante.

- La primera turbina eólica 110 flotante comprende un primer sistema 111 de control que comprende tres primeros dispositivos 112 de medición. Cada uno de los tres primeros dispositivos 112 de medición está montado en una de las tres primeras palas 131. El primer sistema 111 de control comprende además un primer dispositivo 114 de determinación montado en la primera base flotante 133 y dos primeros dispositivos 113 de reposicionamiento. Cada uno de los dos primeros dispositivos 113 de reposicionamiento está montado en una de las dos líneas 134 de amarre. Por razones de claridad, en la Figura 1 solo se muestran en su totalidad las dos primeras líneas 134 de amarre.

- 55 La segunda turbina eólica 120 flotante comprende un segundo sistema 121 de control que comprende tres segundos dispositivos 122 de medición. Cada uno de los tres segundos dispositivos 122 de medición está montado en una de las tres segundas palas 141. El segundo sistema 121 de control comprende además un segundo dispositivo 124 de determinación montado en la segunda base flotante 143 y dos segundos dispositivos 123 de reposicionamiento (no mostrados en la Figura 1). Cada uno de los dos segundos dispositivos de reposicionamiento está montado en una de las dos líneas 144 de amarre, que en la Figura 1 se muestran únicamente esquemáticamente.

- La Figura 2 muestra un parque eólico 100 que comprende una segunda turbina eólica 120 flotante que opera fuera de una propiedad 151 de estela de una primera turbina eólica 110 flotante según otra realización ilustrativa de la invención.

- 65 El parque eólico 100 se muestra en la Figura 2 en un arreglo adicional en comparación con el parque eólico 100 según se muestra en la Figura 1. La segunda turbina eólica 120 flotante ha medido el campo de viento entrante mediante los

- tres segundos dispositivos 122 de medición. De forma adicional, la primera turbina eólica 110 flotante ha medido el campo de viento entrante con los tres primeros dispositivos 112 de medición. El primer dispositivo 114 de determinación y el segundo dispositivo 124 de determinación han determinado que la segunda turbina eólica 120 flotante está posicionada en la propiedad 151 de estela de la primera turbina eólica 110 flotante (según se muestra en la Figura 1). Además, el primer dispositivo 114 de determinación ha determinado una primera ubicación para la primera turbina eólica 110 flotante y el segundo dispositivo 124 de determinación ha determinado una segunda ubicación para la segunda turbina eólica 120 flotante. Tanto la primera ubicación como la segunda ubicación comprenden una influencia minimizada de la propiedad 151, 252 de estela.
- 10 La primera turbina eólica 110 flotante comprende dos primeros dispositivos 113 de reposicionamiento, cada uno acoplado a una de las dos primeras líneas 134 de amarre. En la Figura 2 se muestran únicamente en detalle dos primeras líneas 134 de amarre y dos primeros dispositivos 113 de reposicionamiento, respectivamente, por razones de claridad.
- 15 La segunda turbina eólica 120 flotante se reposiciona a la segunda ubicación mediante los dos segundos dispositivos 123 de reposicionamiento, cada uno acoplado a una de las dos segundas líneas 144 de amarre.
- 20 Como se puede observar en la Figura 2, la propiedad 151 de estela de la primera turbina eólica 110 flotante y la propiedad 251 de estela de la segunda turbina eólica 120 flotante están dirigidas de tal manera que la propiedad 151 de estela y la propiedad 251 de estela no influyan en la respectiva otra turbina eólica flotante.
- La Figura 3 muestra una vista esquemática de una traslación 361 de una turbina eólica flotante según una realización ilustrativa de la invención.
- 25 La turbina eólica flotante de la primera ubicación 371 comprende una propiedad 351 de estela, y la turbina eólica flotante de la segunda ubicación 372 se reposiciona a lo largo de la traslación 61 y comprende una propiedad 352 de estela. Como se puede observar en la Figura 3, la propiedad 351 de estela y la propiedad 352 de estela interactúan únicamente en un área pequeña, de modo que la propiedad 351 de estela y la propiedad 352 de estela no influyen la una sobre la otra.
- 30 La Figura 4 muestra una vista esquemática de una rotación 462 de una turbina eólica flotante según la invención.
- La turbina eólica flotante de la primera ubicación 471 comprende una propiedad 351 de estela y es inclinada hacia un lado, en la dirección de rodamiento del flotador, mediante la rotación 462. La turbina eólica flotante de la segunda ubicación 472 comprende una propiedad 352 de estela y es inclinada hacia el otro lado, en la dirección de rodamiento del flotador, mediante la rotación 462. Por lo tanto, como se puede ver en la Figura 4, la propiedad 351 de estela y la propiedad 352 de estela interactúan únicamente en un área pequeña, de modo que la propiedad 351 de estela y la propiedad 352 de estela no influyen la una sobre la otra.
- 35 Debe advertirse que la expresión “que comprende” no excluye otros elementos o pasos y el uso de los artículos “un/uno” o “una” no excluye una pluralidad. También pueden combinarse elementos descritos asociados a distintas realizaciones. También hay que señalar que los signos de referencia de las reivindicaciones no deben interpretarse como una limitación del alcance de las mismas.
- 40
- 45

REIVINDICACIONES

1. Sistema (111, 121) de control para posicionar al menos dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes en un parque eólico (100), en donde el sistema (111, 121) de control comprende
5
un dispositivo (112, 122) de medición configurado para medir un campo de viento entrante en las dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes,
un dispositivo (114, 124) de determinación configurado
10
para determinar una propiedad (151, 252, 351, 352) de estela en las dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes,
para determinar una trayectoria de propagación de la propiedad (151, 252, 351, 352) de estela a través del parque eólico (100) basándose en la propiedad (151, 252, 351, 352) de estela determinada en las al menos dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes, y
15
para determinar una ubicación para cada una de las al menos dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes que comprende una influencia de estela minimizada en función de la trayectoria de propagación determinada de la propiedad (151, 252, 351, 352) de estela a través del parque eólico (100), y
20
un dispositivo (113, 123) de reposicionamiento configurado para reposicionar cada una de las al menos dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes a la ubicación determinada, **caracterizado por que** una primera turbina eólica flotante de las al menos dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes es inclinada hacia un lado en una dirección de rodamiento del flotador y otra turbina eólica flotante de las al menos dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes es inclinada hacia el otro lado en la dirección de rodamiento del flotador.
25
2. Sistema (111, 121) de control según la reivindicación 1,
en donde el dispositivo (114, 124) de determinación está configurado además para determinar la trayectoria de propagación de la propiedad (151, 252, 351, 352) de estela a través del parque eólico (100) en función de una posición actual y/o una rotación actual de las dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes, y/o
30
en donde el dispositivo (114, 124) de determinación está configurado para determinar la ubicación de cada una de las dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes teniendo en cuenta
35
una producción de energía maximizada de cada una de las dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes y/o una carga minimizada en cada una de las dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes, y/o
un modo operativo individual de cada una de las dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes.
40
3. Sistema (111, 121) de control según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el dispositivo (114, 124) de determinación está configurado para determinar la ubicación de cada una de las dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes teniendo en cuenta al menos una condición de límite externo, en particular en donde la condición de límite externo es una profundidad de agua local, una longitud de línea de amarre y/o una distancia entre turbinas.
45
4. Sistema (111, 121) de control según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores,
en donde el dispositivo (114, 124) de determinación comprende una tabla de datos en la que se almacena la longitud de un cable de alimentación de una turbina eólica flotante individual, y
50
en donde el dispositivo (114, 124) de determinación está configurado para determinar la ubicación de cada una de las dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes teniendo en cuenta al menos la longitud de un cable de alimentación como condición de límite externo, de tal manera que se evita la ruptura y la interrupción completa de la producción de energía de las dos turbinas eólicas flotantes.
55
5. Sistema (111, 121) de control según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores,
en donde el dispositivo (114, 124) de determinación está configurado para determinar la ubicación de cada una de las dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes teniendo en cuenta al menos un barco entrante, de tal manera que se eviten daños perjudiciales a las dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes o al barco,
60
en particular, en donde el dispositivo (114, 124) de determinación comprende un dispositivo de detección visual.
65
6. Sistema (111, 121) de control según una de las reivindicaciones 3 a 5, en donde la condición de límite externo es una ruta marítima.

- 5 7. Sistema (111, 121) de control según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el dispositivo (112, 122) de medición comprende un sensor para medir al menos uno de un grupo que consiste en una dirección, una magnitud y una turbulencia del campo de viento entrante.
- 10 8. Sistema (111, 121) de control según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el dispositivo (114, 124) de determinación comprende al menos uno del grupo que consiste en un dron de parque eólico, un dispositivo de detección y medición de distancia por luz y un dispositivo de detección y medición de distancia por radio.
- 15 9. Sistema (111, 121) de control según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el dispositivo (113, 123) de reposicionamiento comprende un dispositivo central (113, 123) de reposicionamiento configurado para reposicionar la totalidad de las dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes.
- 20 10. Sistema (111, 121) de control según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el dispositivo (113, 123) de reposicionamiento comprende un vehículo submarino automático.
- 25 11. Sistema (111, 121) de control según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el dispositivo (113, 123) de reposicionamiento comprende un dispositivo (113, 123) de reposicionamiento local configurado para reposicionar una de las dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes.
- 30 12. Sistema (111, 121) de control según la reivindicación 11, en donde el dispositivo (113, 123) de reposicionamiento comprende al menos uno del grupo que consiste en un accionador de palas, un accionador de motor de desvío, un accionador de par de generador, un propulsor submarino y un accionador de línea de amarre.
- 35 13. Sistema (111, 121) de control según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el dispositivo (113, 123) de reposicionamiento está configurado para reposicionar cada una de las turbinas eólicas (110, 120) flotantes perpendicularmente al campo de viento entrante.
- 40 14. Parque eólico (100) que comprende al menos dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes y un sistema de control (111, 121) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
- 45 15. Método para posicionar al menos dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes en un parque eólico (100), en donde el método comprende
medir un campo de viento entrante en las dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes,
determinar una propiedad (151, 252, 351, 352) de estela en las dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes,
determinar una trayectoria de propagación de la propiedad (151, 252, 351, 352) de estela a través del parque eólico (100) basándose en la propiedad (151, 252, 351, 352) de estela determinada en las al menos dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes,
determinar una ubicación para cada una de las al menos dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes que comprende una influencia de estela minimizada en función de la trayectoria de propagación determinada de la propiedad (151, 252, 351, 352) de estela a través del parque eólico (100),
reposicionar cada una de las al menos dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes a la ubicación determinada,
caracterizada por que
el reposicionamiento comprende inclinar una primera turbina eólica flotante de las al menos dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes hacia un lado en una dirección de rodamiento del flotador y otra turbina eólica flotante de las al menos dos turbinas eólicas (110, 120) flotantes hacia el otro lado en la dirección de rodamiento del flotador.
- 50

Figura 1

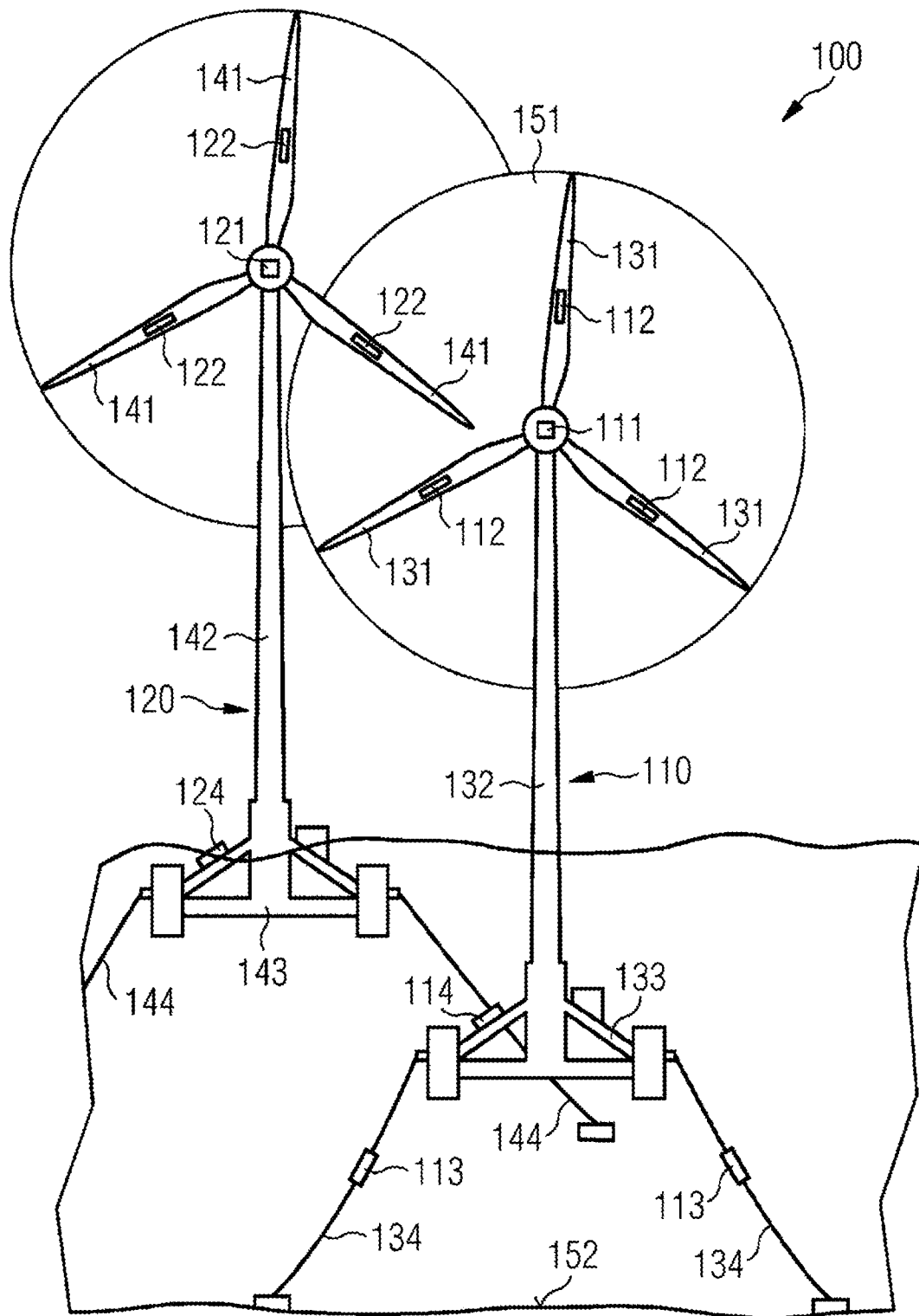


Figura 2

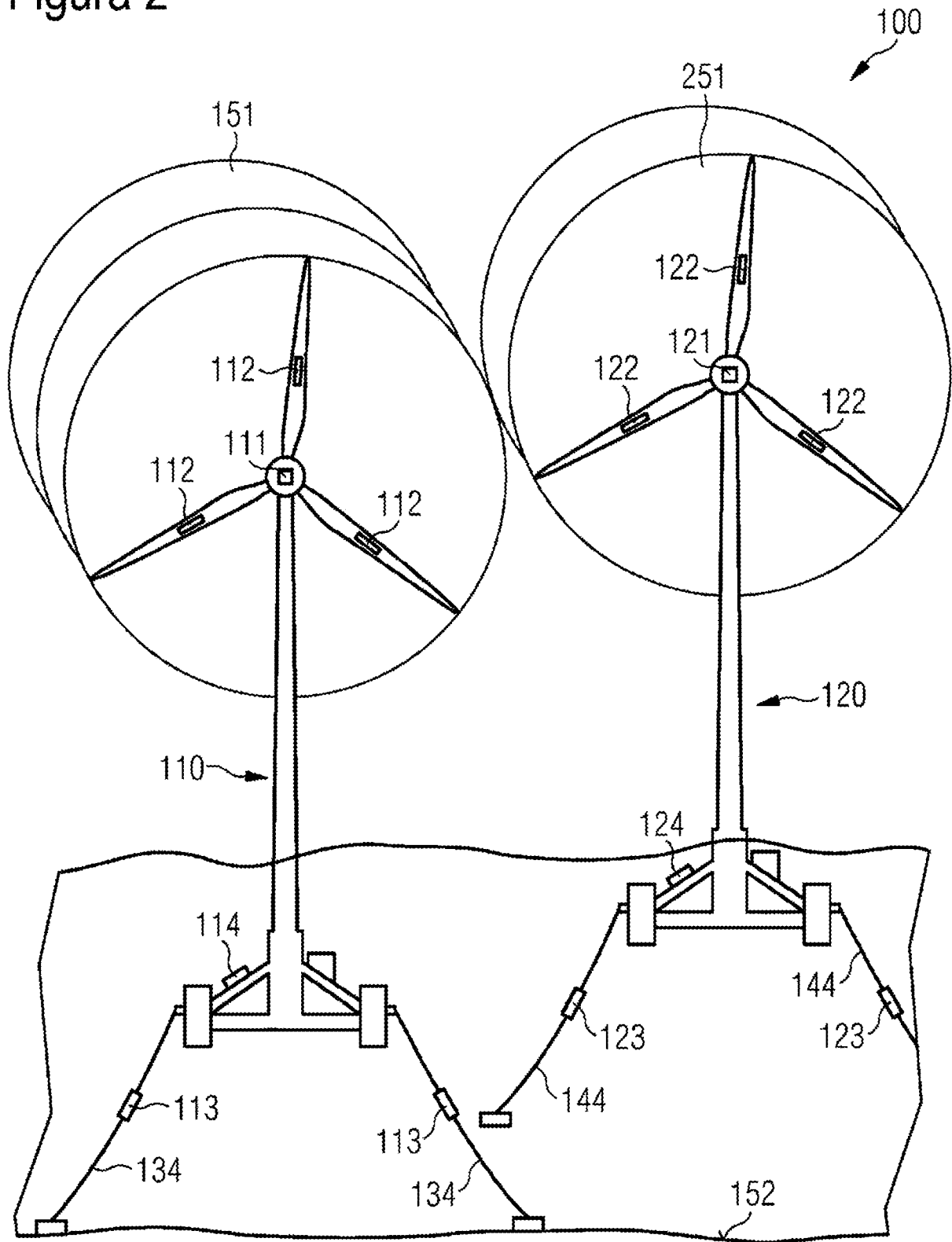


Figura 3

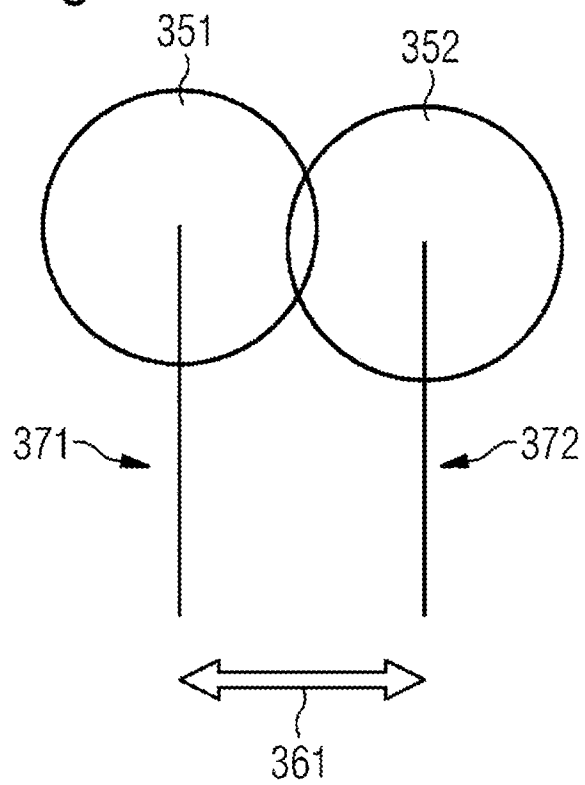


Figura 4

